

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЙ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Пояснювальна записка до дипломної роботи

магістра

(Класифікаційний рівень)

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство. Відродження та
технічний сервіс автомобілів»

(Шифр і назва напрямку підготовки (спеціальності))

на тему: «Дослідження працездатності деталей карданної
передачі вантажного автомобіля з вибором їх матеріалів»

Шифр ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу, група МТВАм-22-1


Підпис

А.А. Антонов
Ініціали, прізвище

Керівник *к.т.н., доц. каф. ТАМ*


Підпис

О.Ю. Рудик
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТАМ *д.т.н., проф.*


Підпис

О.В. Духа
Ініціали, прізвище

13 — 12 — 2023 р.

Хмельницький, 2023

ХМЕЛНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

факультет інженерів транспорту та архітектури

кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»

освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Духа О.В.

2023 року

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Антоніву Анатолію Аркадійовичу

Провище ім.в.по батькові

1. Тема проекту (роботи) Дослідження працездатності деталей карданної передачі вантажного автомобіля з вибором їх матеріалів

керівник проекту (роботи) Рудик Олександр Юхимович к.т.н., доцент

Провище ім.в.по батькові, п'яксовий студент, вчитель шкільний

Затверджено наказом університету від 15 серпня 2023 р. № 28 (30)

2. Строк подання студентом проекту на кафедру 10 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно-технологічна документація з розбирання, дефектації, складання і регулювання карданної передачі.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Загальні відомості, технічні особливості та ремонт карданної передачі.

2. Вибір матеріалів деталей карданного валу.

3. Розрахунок навантажень на деталі карданного валу.

4. Комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану деталей карданного валу.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Графічну частину проекту представити у вигляді презентації на слайдах

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв


7. Дата видачі завдання _____


КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд	30.09.2023	
2	Технологічний розділ	25.10.2023	
3	Дослідницький розділ	15.11.2023	
4	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	22.11.2023	
5	Оформлення презентації магістерської роботи	1.12.2023	
6	Нормоконтроль магістерської роботи	5.12.2023	
7	Підписання розділів. Затвердження дати захисту	10.12.2023	

Студент

Керівник проекту (роботи)


Підпис


Підпис

А.А. Антонов
Ініціали, прізвище

О.Ю. Рудик
Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 96 сторінок, кількість рисунків – 54, таблиць – 16, додатків – 2, кількість джерел згідно з переліком посилань – 29.

Об'єкт дослідження: карданна передача автомобіля МАЗ-5336.

Мета роботи: здійснити вибір матеріалів деталей карданного валу з призначенням режимів їх термічної обробки. На базі твердотільних моделей цих деталей провести розрахунки їх напружено-деформованих станів.




Результати та їх новизна: здійснений вибір матеріалів деталей карданного валу з призначенням режимів їх термічної обробки; наведена методика цементації хрестовини карданного валу у кип'ячому шарі; у CAD-модулі SolidWorks побудовані твердотільні моделі деталей; у SolidWorks Simulation проведені розрахунки їх напружено-деформованих станів.

Рекомендації щодо використання результатів роботи: розроблений оптимальний режим цементації та наступної термообробки хрестовини.

Перелік ключових слів: МАЗ-5336, КАРДАННИЙ ВАЛ, ФЛАНЕЦЬ, ХРЕСТОВИНА, ШЛІЦЕВИЙ ВАЛ, ТРУБА, SOLIDWORKS SIMULATION.

Зміст

Анотація	7
Abstract	8
Перелік скорочень.....	9
Вступ	11
1 Загальні відомості, технічні особливості та ремонт карданної передачі	13
1.1 Загальні відомості про карданну передачу.....	14
1.2 Технічні особливості карданної передачі автомобіля МАЗ-5336.....	15
1.3 Несправності карданної передачі МАЗ-5336	17
1.4 Догляд за карданною передачею.....	18
1.5 Деталі карданної передачі МАЗ-5336	20
1.5.1 Фланець кардана – призначення і будова	20
1.5.2 Хрестовина карданного валу	22
1.5.3 Шліцевий вал карданного валу	24
1.5.4 Труба карданного валу.....	25
1.6 Технічне обслуговування автомобілів МАЗ	26
1.6.1 Щоденне технічне обслуговування МАЗ.....	27
1.6.2 Перше технічне обслуговування МАЗ	28
1.6.3 Друге технічне обслуговування МАЗ.....	32
2 Вибір матеріалів деталей карданного валу.....	33
2.1 Фланець кардана	33

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження працездатності деталей карданної передачі вантажного автомобіля з вибором їх матеріалів	Літ.	Арк.	Акресив
Розроб.		Антонов					4	96
Перевір.		Рудик						
Н. Копр.		Бабак						
Затверд.		Дюха				ХНУгр.МТВАм-22-1		

Зміст

Анотація	7
Abstract	8
Перелік скорочень.....	9
Вступ	11
1 Загальні відомості, технічні особливості та ремонт карданної передачі	13
1.1 Загальні відомості про карданну передачу	14
1.2 Технічні особливості карданної передачі автомобіля МАЗ-5336.....	15
1.3 Несправності карданної передачі МАЗ-5336.....	17
1.4 Догляд за карданною передачею.....	18
1.5 Деталі карданної передачі МАЗ-5336.....	20
1.5.1 Фланець кардана – призначення і будова	20
1.5.2 Хрестовина карданного валу.....	22
1.5.3 Шліцевий вал карданного валу	24
1.5.4 Труба карданного валу.....	25
1.6 Технічне обслуговування автомобілів МАЗ	26
1.6.1 Щоденне технічне обслуговування МАЗ.....	27
1.6.2 Перше технічне обслуговування МАЗ	28
1.6.3 Друге технічне обслуговування МАЗ	32
2 Вибір матеріалів деталей карданного валу	33
2.1 Фланець кардана	33

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження працездатності деталей карданної передачі вантажного автомобіля з вибором їх матеріалів	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Антонов						4	96
Перевір.	Рудик					ХНУГр.МТВАм-22-1		
Н. Контр.	Бабак							
Затверд.	Диха							

2.1.1	Загальна інформація про сталь 40.....	33
2.1.2	Властивості сталі 40	34
2.1.3	Механічні властивості сталі 40	35
2.2	Хрестовина карданного валу	36
2.2.1	Загальна інформація про сталь 12ХН3А.....	36
2.2.2	Властивості сталі 12ХН3А	38
2.2.3	Механічні властивості сталі 12ХН3А	38
2.2.4	Цементация сталі 12ХН3А у кип'ячому шарі	39
2.3	Шліцевий вал карданного валу	43
2.3.1	Загальна інформація про сталь 40Х.....	43
2.3.2	Загальні властивості сталі 40Х.....	44
2.3.3	Механічні властивості сталі 40Х	45
2.4	Труба карданного валу	45
2.4.1	Загальна інформація про сталь 20.....	45
2.4.2	Загальні властивості сталі 20	47
2.4.3	Опис сталі 20.....	47

3 Розрахунок навантажень, діючих на деталі карданного валу 49

4 Комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану

	деталей карданного валу	51
4.1	Визначення працездатності фланця кардана	51
4.1.1	Загальні відомості про SW	51
4.1.2	Створення геометричної моделі фланця кардана	56
4.1.3	Початок розрахунку фланця кардана у середовищі SWS	56
4.1.4	Призначення матеріалу фланця кардана в SW	57
4.1.5	Додання граничних умов	58
4.1.6	Прикладення навантажень до фланця кардана	59
4.1.7	Створення сітки й виконання розрахунку	60

4.1.8 Виведення результатів розрахунку.....	62
4.2 Розрахунок хрестовини карданного валу	68
4.3 Дослідження шліцевого валу	73
4.4 Моделювання напружено-деформованого стану труби карданного валу.....	80
Висновки.....	86
Список використаних джерел	88
Додатки	91

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Анотація

Карданна передача служить сполучною ланкою між коробкою перемикавання передач і заднім мостом. Їзда при її несправності призводить до серйозної аварії, особливо якщо кардан не ізольований від зовнішнього середовища. Тому дослідження працездатності деталей карданної передачі вантажного автомобіля є актуальним.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Abstract

Cardan transmission serves as a connecting link between the gearbox and the rear axle. Driving with its malfunction leads to a serious accident, especially if the gimbal is not isolated from the outside environment. Therefore, research into the performance of truck cardan transmission parts is relevant.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік скорочень

КПП – коробка перемикачів передач.

ТО – технічне обслуговування.

РДЗ – ручне дугове зварювання.

АДЗ – аргондугове зварювання.

ЕШЗ – електрошлакове зварювання.

КТЗ – контактне точкове зварювання.

ХТО – хіміко-термічна обробка.

C – вуглець.

Si – кремній.

Mn – марганець.

Ni – нікель.

S – сірка.

P – фосфор.

Cr – хром.

Cu – мідь.

As – миш'як.

Fe – залізо.

A_{c1} – критична точка перетворення перліту в аустеніт.

A_{c3} (A_{cm}) – критична точка кінця розчинення фериту в аустеніті.

A_{r3} – критична точка початку виділення фериту з аустеніту.

A_{r1} – критична точка перетворення аустеніту в перліт.

$\sigma_{0,2}$ – границя (межа) текучості, [МПа].

σ_B – межа короточасної міцності, [МПа].

σ_{-1} – межа витривалості на стиск-розтяг (симетричний цикл), [МПа].

δ_5 – відносне подовження при розриві, [%].

KCU – ударна в'язкість, [кДж/м²].

НВ – твердість за Брінеллем, [МПа].

НРС – твердість за Роквеллом, шкала С, [МПа].

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

SW – SolidWorks.

SWS – SolidWorks Simulation.

MCE – метод скінченних елементів.

CE – скінченний елемент.

s_b – межа короткочасної міцності, [МПа].

s_T – межа пропорційності (межа текучості для постійної деформації), [МПа].

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Актуальність теми. Хрестовини карданної передачі випробовують зворотно-обертальні рухи при коченні із проковзуванням і працюють при великих циклічних контактних напруженнях в умовах граничного змащення при наявності в контакті абразивних часток. Шліцеві з'єднання карданних валів зазнають зворотно-поступальні переміщення зони контакту поверхні шліців, періодичний контакт шліців, граничне тертя при наявності в контакті абразивних часток. У фланці кардана відбувається знос отворів під підшипники і поява на їх поверхні тріщин, сколів. У результаті ці деталі піддаються втомному, окисному, абразивному зношуванню, заїданню, фреттинг-корозії й викришуванню. Тому необхідний обґрунтований вибір матеріалів для їх виготовлення з наступним міцнісним розрахунком.

Новизна роботи. Здійснений вибір матеріалів деталей карданного валу з призначенням режимів їх термічної обробки. Наведена методика цементації хрестовини карданного валу у кип'ячому шарі. На базі твердотільних моделей деталей карданного валу, побудованих у CAD-модулі SolidWorks, проведені розрахунки їх напружено-деформованих станів з використанням SolidWorks Simulation.

Достовірність отриманих результатів та обґрунтованість висновків і рекомендацій забезпечена застосуванням сучасних методів досліджень, достатнім об'ємом експериментально-розрахункової частини роботи, використанням комп'ютерної техніки для розв'язання задач.

Результати досліджень були представлені на:

- III Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції, м. Полтава, 22–23 лютого 2023 року;
- XI International Scientific and Practical Conference. – Toronto, Canada. 24-26 August 2023.

Можливість використання висновків і рекомендацій у наукових дослідженнях та на практиці: розроблений оптимальний режим цементації та

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наступної термообробки хрестовини – глибина цементованого шару $h = (1,1-1,4)$ мм; поверхнева концентрація вуглецю складає $(0,9-1,0)$ %С; твердість поверхні $(60-62)$ HRC.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Загальні відомості, технічні особливості та ремонт карданної передачі

Автомобіль є найбільш мобільним та універсальним засобом комунікації та займає важливе місце в транспортному комплексі країни.

Для підвищення ефективності транспорту необхідно прискорювати створення й впровадження передової техніки й технології, поліпшувати умови праці й побуту персоналу, підвищувати його кваліфікацію й зацікавленість у результатах праці, зміцнювати матеріально-технічну й ремонтну бази, підвищувати рівень комплексної механізації ремонтних робіт.

Інтенсифікація виробництва, підвищення продуктивності праці, економія всіх видів ресурсів – це завдання, які мають безпосереднє відношення й до автомобільного транспорту, і його підсистеми, технічної експлуатації автомобілів, що забезпечує його працездатність. Її розвиток і вдосконалювання диктуються інтенсивністю розвитку самого автомобіля і його роллю в транспортному комплексі країни, необхідністю економії трудових, матеріальних, паливних, енергетичних та інших ресурсів при експлуатації автомобілів, ТО, ремонті й зберіганні.

Однієї з найважливіших проблем, що стоять перед автомобільною промисловістю, є підвищення експлуатаційної надійності автомобілів. Розв'язок цієї проблеми забезпечується за рахунок випуску більш надійних моделей автомобілів, а також удосконалюванням методів технічної експлуатації. Це вимагає застосування прогресивних і ресурсозберігаючих ТП ТО й ремонту, ефективних засобів механізації, підвищення кваліфікації персоналу.

Важливим елементом розв'язку проблеми керування технічним станом автомобілів є вдосконалювання ТП та організації виробництва ТО й ремонту автомобілів, що включає раціоналізацію структури інженерно-технічної служби, устаткування постів і робочих місць і наукову організацію праці.

Ефективність розвитку підприємств багато в чому визначається якістю проектних рішень, які повинні забезпечувати:

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– реалізацію в проектах, досягнень науки, закордонного досвіду для того, щоб побудовані знову або реконструйовані підприємства були технічно передовими й забезпечували високу якість ТО й ремонту автомобілів відповідно до науково обґрунтованих нормативів по витратах праці, сировини, матеріалів і паливно-енергетичних ресурсів;

– високу ефективність капітальних вкладень;

При цьому ефективність капіталовкладень забезпечується за рахунок:

– першочергового нарощування потужностей шляхом переозброєнь;

– механізації й автоматизації виробничих процесів і подальшого скорочення ручної праці.

Скорочення трудомістких робіт, оснащення робочих місць і постів високопродуктивним устаткуванням слід розглядати як одне з головних напрямків технічного прогресу при переозброєнні підприємств автомобільного транспорту.

1.1 Загальні відомості про карданну передачу

Карданна передача — шарнірний механізм, який передає обертання між валами, що перетинаються в центрі карданної передачі й мають можливість взаємного кутового переміщення [1]. Широко використовується в різних областях діяльності, коли важко забезпечити співвісність обертових елементів. Подібні функції може виконувати також зубчаста муфта, при потребі в збереженні однакової кутової швидкості обох частин шарніра. При широкому діапазоні кутів повороту й плавності ходу, як правило, використовуються шарніри іншого типу — шарніри рівних кутових швидкостей.

Карданна передача має істотний недолік — несинхронність обертання валів (якщо один вал обертається рівномірно, то інший — ні), що збільшується при зростанні кута між валами. Це виключає можливість застосування карданної передачі в багатьох пристроях, наприклад, у трансмісії передньоприводних автомобілів (де головна проблема — у передачі крутного моменту на поворотні

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

колеса). Почасти цей недолік може бути скомпенсований використанням на одному валу парних шарнірів, у яких вилки проміжного валу перебувають в одній площині. Однак там, де потрібна синхронність, як правило, використовується не карданна передача, а шарнір рівних кутових швидкостей — більш досконала, однак і більш складна конструкція того ж призначення.

Загальний вигляд автомобіля МАЗ-5336 наведено на рис. 1.1.

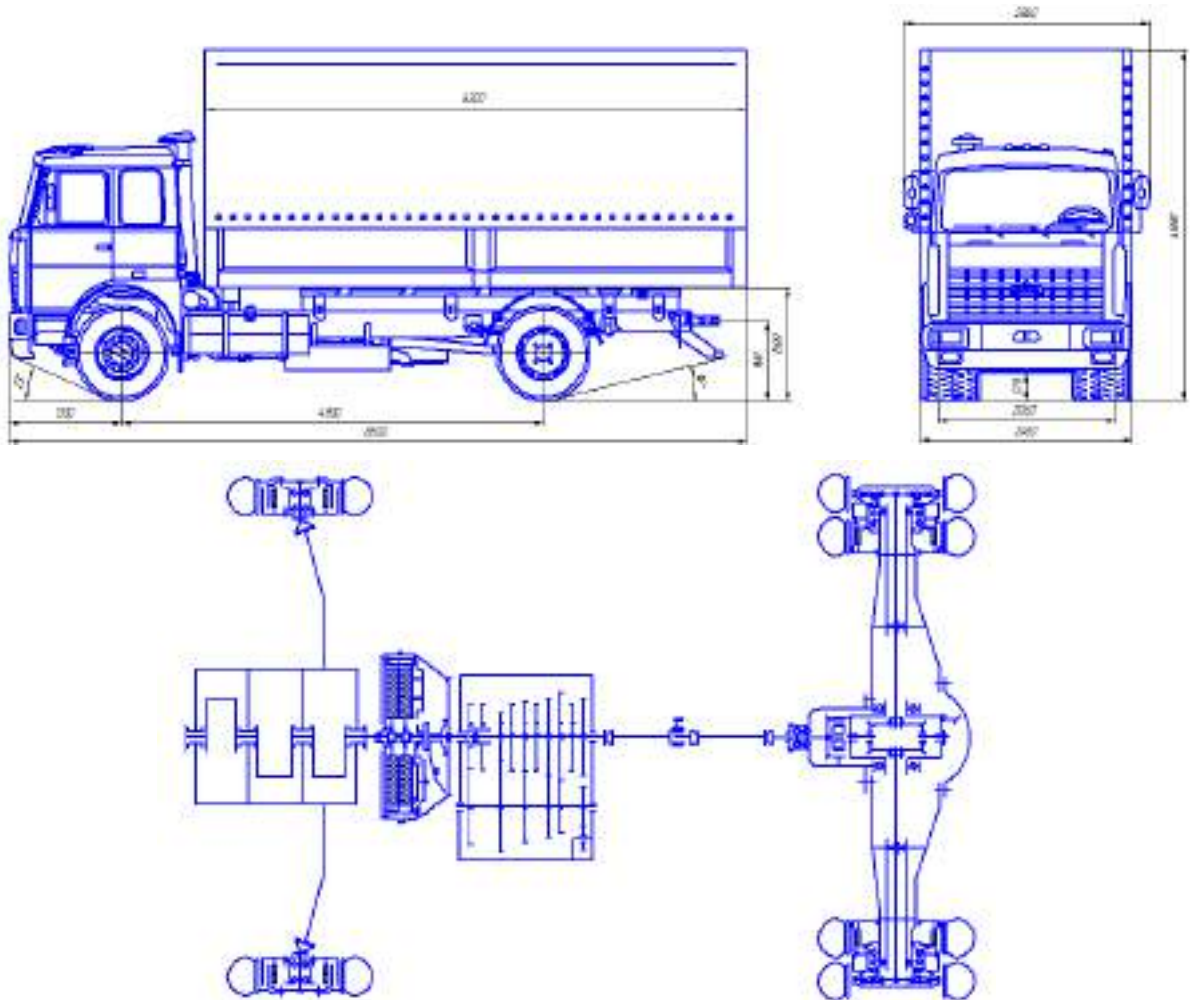
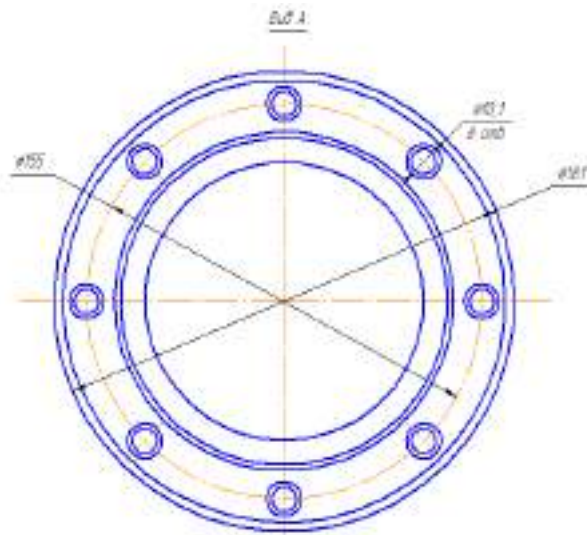
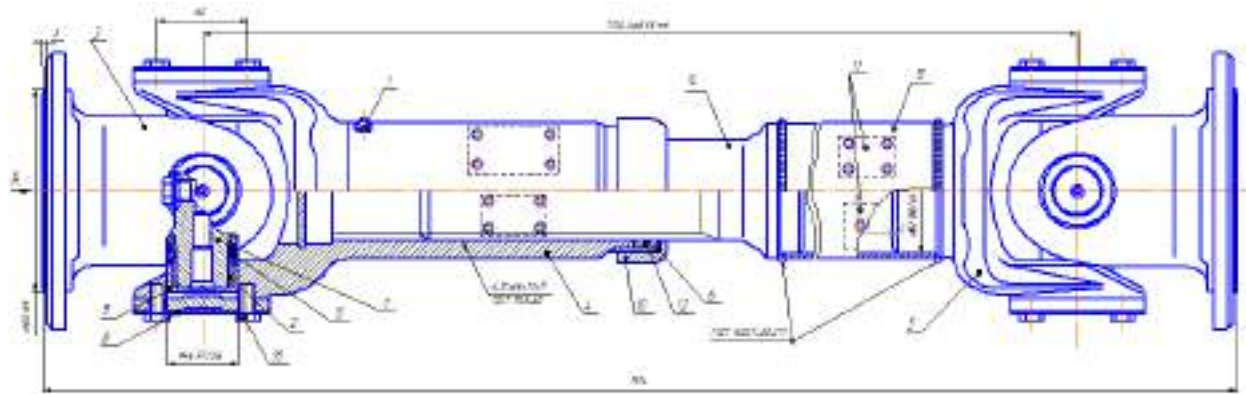


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд автомобіля МАЗ-5336 (Компас-3D)

1.2 Технічні особливості карданної передачі автомобіля МАЗ-5336

Карданний вал МАЗ-5336 (рис. 1.2) служить сполучною ланкою між КПП і заднім мостом [2].

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



		<i>Складальні одиниці</i>	
1		Маслянка вилки	1
2		Підшипник голчастий	8
		<i>Деталі</i>	
3		Фланець кардана	2
4		Вилка ковзаюча	1
5		Вилка	1
6		Кільце сальника	1
7		Хрестовина кардана	2
8		Кришка	8
9		Кришка підшипника	8
10		Обдійма сальника	1
11		Пластина балансувальна	4
12		Сальник	1
13		Сальник гол. підшипника	8
14		Вал шлицевий	1

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ

Арк.

16

15	Труба кардана ГОСТ 5005-82	1
16	Болт М12 х 14 ГОСТ 2037- 96	16

Рисунок 1.2 – Карданний вал МАЗ-5336 (Компас-3D)

Виготовлений карданний вал з труби з тонкими стінками електрозварюванням, до кінця якої потім приварюють вилку шарніра, а до передньої частини наконечник. Хрестовини ж виготовлені з міцної сталі високої якості, що забезпечує довгий термін служби деталі.

Всього на деталі розташовано 4 цапфи, після установки які шліфуються. Механічна обробка забезпечує високу точність деталей [3].

У стакани акуратно монтуються підшипники. Між цапфами і голкопідшипниками передбачений невеликий зазор.

У вилку карданної передачі МАЗ-5336 укручуються болти, а для запобігання самовідкручування кріплення, є присутньою стопорна пластина з вусиками.

Завдяки шліцьовому з'єднанню в карданній передачі забезпечується можливість при необхідності змінити довжину між шарнірами.

При експлуатації ресори прогинаються. В результаті відбувається поетапне переміщення заднього моста. Змінивши відстань між усіма шарнірами карданної передачі, можна відновити з'єднання.

Основна перевага конструкції – довговічність і стійкість [3].

1.3 Карданна передача МАЗ-5336 та її несправності

Про проблеми з передачею говорять постійний шум, який чутний при русі вантажівки МАЗ-5336 накатом [4]. Також можливе виникнення різних вібрацій. У табл. 1.1 наведені найпоширеніші несправності передачі.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Найпоширеніші несправності карданної передачі [4]

Причина поломки	Як усунути несправність?
У шліцьовому з'єднанні немає мастила	Змастіть шліцьове з'єднання
Ослабло затягування болтів кріплень	Повністю затягніть болти
Елементи шліцьового з'єднання зношені	Замініть карданний вал
У проміжній опорі зношений підшипник	Замініть підшипник
Карданний вал скручений	Замініть деталі

Карданна передача МАЗ-5336 при ремонті розбирається. Послідовність розбирання наступна:

- затискаємо вал у лещатах;
- знімаємо болти, кришки підшипників;
- молотком вибиваємо підшипник з хрестовини передачі всередину вилки.

Проте карданна передача МАЗ-5336 має у своїх будові елементи, які підлягають ремонту. Наприклад, фланець-вилка, хрестовина і ковзаюча вилка. Незважаючи на високу міцність деталей (фланець-вилка виготовлена з міцної сталі), через великі навантаження вони часто виходять з ладу. Тому карданна передача МАЗ вимагає розбирання.

Основний дефект фланця-вилки – це знос отворів під підшипники. У цьому випадку фланець ремонтують.

1.4 Догляд за карданною передачею

Як правило, догляд за передачею – це періодичне змащування агрегатів, ретельна перевірка стану кріплення фланців, кришок підшипників та інших деталей. Рекомендується великовантажний автомобіль оглядати при розгальмованому гальмі [4]. Для цього необхідно встановити важіль перемикачів КПП в нейтральне положення, а під колеса вантажівки встановити спеціальні

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

упори. Послаблення кріплення фланців валу КПП може привести до того, що карданна передача з часом вийде з ладу.

Необхідно періодично робити огляд фланців:

- від'єднайте кінець валу;
- розшпінтуйте гайку кріплення;
- підтягніть кріплення повністю та акуратно зашпінтуйте.

Якщо при похитуванні фланців-вилок карданної передачі буде виявлено послаблення кріплення фланців вторинного валу коробки передач або ведучої шестерні редуктора середнього (заднього) моста, від'єднайте відповідний фланець карданного валу, розшпінтуйте гайку кріплення фланця КПП або ведучого моста, підтягніть її та знову зашпінтуйте [6].

Болти кріплення фланців карданних валів мають бути затягнуті моментом від 160 до 200 Нм. Заміна болтів з'єднання фланців термічно необробленими не допускається. Не допускається також перевищення моментів затягування болтів, оскільки це може викликати їх руйнування.

Періодично перевіряйте наявність відчутного люфта у шліцьовому з'єднанні, між хрестовиною і голчастими підшипниками. При послабленні болтів 16 кріплень кришок 8 (рис. 1.2) відігніть стопорну пластину і підтягніть болти моментом від 27 до 39 Нм, після чого підігніть стопорну пластину до однієї з граней голівок болтів.

Болти кріплена промопори затягуйте моментом від 90 до 108 Нм. Розбирати шарніри дозволяється тільки у разі виходу з ладу підшипників, ущільнень, хрестовини. Періодично очищайте зовнішні поверхні карданного валу і шарнірів від бруду, особливо голівки масельничок та отвір у заглушці ковзаючої вилки. У разі втрати заглушки вона має бути встановлена наново для оберігання шліцьового з'єднання від бруду.

Строго дотримуйте періодичність виконання мастильних операцій і відповідність вживаного мастила для карданної передачі (підшипників, шліцьового з'єднання).

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При складанні карданного валу або заміні новим його шліцьове з'єднання зберіть так, щоб отвори вилок, які знаходяться на карданному валу, були розташовані обов'язково в одній площині. Для цього необхідно поєднати стрілки, вибиті на трубі валу і на ковзаючій вилці.

При знятті карданного валу рекомендується розібрати шліцьове з'єднання, очистити від старого мастила і бруду, знову змастити і зібрати, поєднавши стрілки на вилці і трубі.

Щоб уникнути ушкодження ущільнень шарніра, не допускається користуватись монтажною лопаткою або іншими предметами, які вставляються у вилку шарніра для прокручування карданного валу. Для розбирання шарніра рекомендується користуватися спеціальним знімачем. Повторна установка пошкоджених торцевих ущільнень в шарнір недопустима.

При складанні шарніра на дві поруч розташовані шпильки хрестовини напесовуються торцеві ущільнення, після чого її вставляють у вилку (фланець). Інші торцеві ущільнення встановлюйте на шпильки через отвори під підшипники на вилках (фланцях) і напесовуйте на посадочні поясочки шпильок. Для запесування торцевого ущільнення на посадочний поясочок шпильки користуйтеся спеціальною оправкою.

1.5 Деталі карданної передачі МАЗ-5336

1.5.1 Фланець кардана – призначення і будова

У карданному валу фланець (поз. 3 на рис. 1.2) встановлюється біля торцевого ущільнення, ковзаючої вилки хрестовини. Перевірка кріплення механізму проводиться при розгальмованому стоячому гальмі. Також великовантажна техніка обов'язково має бути загальмована спеціальними упорами [6].

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фланець кардана або фланець-вилка (рис. Б1) термічно оброблений для надання більшої твердості. Тому легко витримує підвищені навантаження. Проте, деталь з часом вимагає відновлення. Головні причини – це:

- знос отворів під підшипники;
- ушкодження болтів кріплення;
- поява на поверхні тріщин, сколів.

Ці сліди зносу легко усунути. Для цього фланець необхідно бракувати при відстані між щоками не більше (135,09-134,96) мм. Якщо отвори під підшипники пошкоджені, то в цьому випадку рекомендується поставити ремонтні втулки. Проте відновлення отворів можливе тільки при їх зносі не більше, ніж на 50,05 мм.

Відновлення фланця кардана:

- посадочним буром встановити фланець у спеціальне пристосування токарного верстата;
- закріпити притиском і приступити до його розточування;
- запресувати ремонтні втулки, які приварюють до вилки в 4 точках з внутрішньої сторони;
- втулки акуратно запилюємо урівень напилком на фланець кардана, розгортаємо і розточуємо механізм до діаметру 50,027 мм; вісь отворів (під підшипники) обов'язково повинна перетинати посадочний бурт до 0,1 мм;
- при підвищеному зносі отвору в 10,5 мм його необхідно розсвердлити до 12 мм;
- зенкуємо елементи під кутом в дев'яноста градусів на глибину, не менше 8 мм;
- заварюємо електродом діаметром 4 мм;
- встановлюємо фланець на токарному верстаті в пристосування і перевіряємо поверхню деталі з обох боків;
- встановити деталь кондуктор, просвердлити 8 отворів і зафіксувати з 2-х сторін (ці отвори мають бути розташовані по діаметру 0,12 мм рівномірно).

Якщо фланець сильно пошкоджений, його необхідно замінити.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5.2 Хрестовина карданного валу

«Найслабкіше» місце у будові карданного валу – хрестовина (поз. 7 на рис. 1.2). Саме цей елемент піддається найбільшим навантаженням під час руху [7].

Хрестовина – основний елемент карданного валу (виготовлена зі сталі, піддається загартуванню до твердості 58-64 HRC), має просту конструкцію і складається з:

- хрестовини з чотирма шпильками;
- голкопідшипників;
- ущільнень;
- пильовика;
- стопорного кільця.

Ущільнення манжета захищає підшипник хрестовини від бруду і вологи. Пильовик утримує мастило.

Чашки підшипників можуть фіксуватися декількома способами:

- притискними кришками;
- планками;
- внутрішніми і зовнішніми стопорними кільцями;
- зачеканюванням.

Головні технологічні характеристики хрестовини – твердість і шорсткість. Ці параметри визначають зносостійкість, впливають на термін експлуатації та надійність.

Надійність ущільнювачів хрестовини залежить від якості обробки поверхні. Шорсткість повинна складати 1,25 мкм. Груба обробка, а також неправильне розташування ущільнювачів, призводять до несправностей:

- інтенсивний знос;
- порушення герметичності;
- низька ефективність ущільнювача;
- вихід з ладу шарніра;

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– поломка кардана.

Правильна обробка забезпечує високу герметичність.

Змащування хрестовини виконується з масельнички, яка встановлена збоку між шпильками або в середині. Хрестовини з масельничкою мають тривалий термін служби. Надлишки мастила вилучаються через запобіжний клапан. Сальники підшипників оберігають від ушкоджень при підвищенні тиску.

Ремонт хрестовини карданного валу потрібний при зносі шпильок. Якщо відстань між торцями елементів менше 126,91 мм або більше 127,05 мм, хрестовина відновленню не підлягає. Зношені шпильки наплавляють, а потім шліфують. Пошкоджені сальники хрестовини замінюють.

Необхідно регулярно оглядати і перевіряти карданний вал, кріплення кришок голкопідшипників. Слабке затягування призводить до збільшення люфту між хрестовиною карданного валу і денцем підшипника.

Періодично перевіряйте стан запобіжного клапана. Перед змащуванням очистите хрестовину.

Контролюйте зазори. Збільшений люфт хрестовини карданного валу призводить до підвищених навантажень. Якщо відстань між торцями менше встановлених меж, денця підшипників руйнуються.

При огляді хрестовини карданного валу також звертати увагу на шийки голкопідшипників. Не допускаються вм'ятини та інші ушкодження на деталі. Знос шийок не має бути < 33,58 мм.

Після ремонту перевірте хрестовину: вона повинна вільно провертатися в голкопідшипниках без заїдань.

Хрестовина кардана у зборі з підшипником випробовують поворотно-обертальні рухи при коченні з прослизанням. Працюють при великих циклічних контактних напруженнях і в умовах граничного змащування за наявності в контактні абразивних часток. У результаті піддаються втомному, окислювальному, абразивному зношуванню і викришуванню. Їх виготовляють з легованих цементованих сталей марок 20Х, 15ХГНТА, 20ХГНТР, 12ХН3А і піддають

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхневому зміцненню, цементації з наступним загартуванням і низькотемпературним відпуском.

Для вантажних автомобілів хрестовини кардана виготовляють із сталі зниженої прожарюваної 55пп, поверхнєве зміцнення якої забезпечується загартуванням і низьким відпуском. Вал кардана і вилки кардана виготовляють з покращуваних сталей марок 40, 45, 40Х, які піддають поверхневому загартуванню СВЧ з низьким відпуском (перед цим поковки з них нормалізують, а зі сталі 40Х – покращують [29]).

1.5.3 Шліцевий вал карданного валу

Наявність шліцевого з'єднання в кардані МАЗ-5336 забезпечує можливість зміни його довжини (відстані між шарнірами) при прогині ресор, який викликає деяке подовжнє переміщення заднього моста [13]. У цьому випадку шліцевий кінець валу (поз. 14 на рис. 1.2) переміщається в ковзаючій вилці настільки, наскільки це необхідно внаслідок зміни відстані між карданами.

Для оберігання шліцевого з'єднання від підвищеного зносу в результаті забруднення і втрати мастила до ковзаючої вилки з одного боку приварена металева заглушка, а з іншого боку шліцевого з'єднання є ущільнення (повстяне кільце 6, змонтоване в металевій обоймі 10 у вигляді ковпачкової гайки, яка притискає сальник до торця ковзаючої вилки при намотуванні на її різьбовий кінець – див. рис. 1.2). Мастило в шліцеве з'єднання підводиться через масельничку 1, укручену в отвір на вилці.

Необхідно також стежити за станом сальника на кінці ковзаючої вилки. При порушенні цього ущільнення знос шліцевого з'єднання зростає, що може призвести до підвищеного биття карданного валу. Кардани і шліцеве з'єднання карданного валу МАЗ-5336 потрібно змащувати відповідно до рекомендацій карти змащування.

Ковзаюча вилка карданного валу МАЗ-5336 не повинна мати тріщин; допускається збільшення ширини западини шліців до розміру 5,15 мм.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допускається зменшення товщини шліца (на шліцьовому хвостовику валу) до розміру 4,8 мм. ковзаюча вилка переміщалася по шліцах карданного валу від зусилля руки без відчутної кутової гри.

Шліцьові з'єднання карданних валів випробовують зворотно-поступальні переміщення зони контакту поверхні шліців, періодичний контакт шліців, граничне тертя за наявності в контакті абразивних часток, тому піддаються абразивному та окислювальному зносу, заїданню, фреттинг-корозії (знос відбувається при мікропереміщеннях контактуючих поверхонь з однорідних матеріалів з великою частотою).

1.5.4 Труба карданного валу

Карданний вал виготовляється із зварної або безшовної труби (поз. 15 на рис. 1.2). З одного боку до нього приварюється нерухома вилка шарніра, а з іншої – шліцьова втулка, на яку посаджена рухлива ковзаюча вилка з шарніром. Шліцьове з'єднання кардана забезпечує зміну його робочої довжини при роботі підвіски [14].

При ремонті карданного валу оглядаються люфти в хрестовинах і підвісних опорах, а сама труба перевіряється на предмет деформацій.

Фінальний і обов'язковий етап в ході будь-якого ремонту карданного пристрою – це проведення його балансування. Воно потрібне для остаточної перевірки карданного валу. І навіть у разі виявлення дисбалансу у вже зібраному механізмі, можна урівноважити його балансувальними тягарцями, які приварюються на трубу карданної передачі. Карданний вал, який пройшов грамотне балансування, повинен функціонувати фактично без єдиного звуку.

Труби кардана не несуть великого навантаження, тому їх виготовляють з нормалізованих сталей марок 15, 20, 08кп, які добре зварюються.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.6 Технічне обслуговування автомобілів МАЗ

Своєчасне ТО МАЗ – гарантія безвідмовної роботи вантажівки. Якісне ТО продовжить термін експлуатації великовантажного автомобіля, дозволить заощадити на запасних частинах [9].

Існує декілька видів ТО залежно від періодичності та трудомісткості:

- щоденне ТО (ЩТО);
- перше ТО (ТО-1);
- друге ТО (ТО-2).

Щоденний огляд водії виконують самостійно перед кожною поїздкою. Друге і перше технічне обслуговування МАЗ проводиться фахівцям на базі обладнаних СТО і майстерень.

Перелік необхідних робіт наведений у керівництві з експлуатації автомобіля, який встановлений відповідно до нормативної документації виробниками транспортного засобу.

ТО МАЗ необхідно виконувати в умовах, які виключають випадкове попадання бруду або пилу всередину вузлів транспортного засобу. Роботи з регулювання приладів живлення, електроустаткування, гідравліки й пневмопідвіски повинні здійснювати тільки фахівці.

Виконувати усі операції слід в строгій відповідності з керівництвом МАЗ по ТО. Періодичність робіт встановлюється, виходячи з умов експлуатації великовантажного автомобіля МАЗ з урахуванням пробігу.

Дані про періодичність проведення ТО МАЗ наведені у табл. 1.2.

Якщо автомобіль експлуатується в умовах щебених або гравієвих доріг в гірській місцевості, доріг з твердим покриттям, кар'єрів, тимчасових під'їзних шляхів, ТО-1 необхідно проводити через 2400 км, а ТО-2 – через 9600 км.

ТО МАЗ призначено для виявлення і попередження несправностей. Своєчасно виконані роботи дозволять понизити знос деталей. Виконується ТО на спеціальних стендах з використанням необхідних інструментів і приладів.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 – Періодичність проведення ТО МАЗ

Категорія умов	Характеристики умов експлуатації	Періодичність ТО-1, км	Періодичність ТО-2, км
I	Дороги з асфальто- і цементобетонним, а також з покриттям, прирівняним до них; в приміській зоні і поза нею; на вулицях малих населених пунктів.	4000	16000
II	Дороги з асфальто- і цементобетонним, а також з покриттям, прирівняним до них; в гірській місцевості; щебеневі або гравієві дороги задовільного стану; вулиці великих міст.	3200	12800

ТО МАЗ включає декілька операцій:

- очищення;
- змащування і заправка;
- контрольні і кріпильні роботи;
- регулювання вузлів, агрегатів і систем.

Перед ТО здійснюється діагностика. Потім при ТО перевіряють роботу гальм, рульової системи, а також інших агрегатів автомобіля. Сезонне технічне обслуговування МАЗ виконується два раз на рік.

При підготовці транспортного засобу до зимових або літніх умов експлуатації замінюють мастило, охолоджуючу рідину паливо. Раз на рік міняють елементи осушувача стислого повітря і фільтру.

1.6.1 Щоденне технічне обслуговування МАЗ

Фахівці радять проводити ЩТО перед початком руху. Комплекс робіт дозволяє визначити технічну готовність транспортного засобу [10]. Виконується згідно з керівництвом МАЗ з ремонту й обслуговуванню.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЩТО потрібне для безпечної експлуатації автомобіля і складається з наступних робіт:

- контрольні;
- прибирально-мийні;
- мастильно-заправні й очисні.

Для виконання робіт необхідно мати в наявності мінімальний набір інструментів, а також керівництво для проведення ремонту. ЩТО допоможе зберегти транспортний засіб в належному стані і дозволить запобігти серйозній поломці, позбавить від можливих проблем.

1.6.2 Перше технічне обслуговування МАЗ

Поради з ТО-1 автомобілів МАЗ розміщені у табл. 1.3 [11]. У ній можна не лише прочитати про те, як проводити ТО-1, але й за допомогою яких інструментів здійснювати ремонт.

Таблиця 1.3 – Поради з ТО-1 автомобілів МАЗ

Операція ТО	Пристосування	Примітки
Під час першого обслуговування виконують увесь об'єм робіт ЩТО, а також наступні операції:		
Обслуговування двигуна, системи змащування й охолодження		
1. Перевірка натягу паса водяного насоса. Регулювання.	Гайковий ключ 8x10, викрутка.	Необхідно натиснути на середину гілки паса. При нормальному натягу від сили в 30 Н прогин складає 10-15 мм.
ТО зчеплення		
2. Перевірка цілісності захисного ковпака. Заміна за наявності розривів		
ТО карданної передачі		

3. Перевірка люфта в шліцьовому з'єднанні, а також у шарнірах карданної передачі.	Перевірку під час обслуговування здійснюють при вимкненій передачі. Трубу карданного валу злегка погойдують в радіальній площині.	
4. Перевірка і підтягування гайок кріплення фланців.	Гайковий ключ 13x17.	Момент затягування гайок – 44-56 Н*м. Обслуговування і перевірку виконують при розгальмованому стоянковому гальмі. Під колеса автомобіля підкладають упори. Включають нейтральну передачу.
ТО заднього моста		
5. Перевірка з'єднань на наявність підтікань.	Накидні гайкові ключі 13x17, 19x22.	Не допускається теча мастила через сальник ведучої шестерні, сальник маточин, прокладки редуктора, кришку заднього моста.
ТО переднього моста та рульового керування		
6. Перевірка кріплення і шплінтування гайок, кульових пальців, кермової сошки, стопорних шайб. Усунення несправностей.	Молоток, викрутка, пасатижі, торцевий ключ 55, накидний гайковий ключ 27x30.	Момент затягування при обслуговуванні повинен складати 140-200 Нм. Після підтяжки гайок встановлюють нові шплінти.
7. Усунення несправностей.	Молоток, викрутка, пасатижі, торцевий ключ 55, накидний гайковий ключ 27x30, люфтометр, гайковий ключ 24x27.	Люфт в шарнірах рульової тяги не допускається. Вільний хід керма повинен складати не більше 20°. Люфт пальця сошки в розподільнику при обслуговуванні – не > 2 мм при вимкненому двигуні.
8. Перевірка люфта і регулювання підшипників маточин передніх коліс.	Молоток, ключі 13x17, 12x13, монтажна лопата.	
ТО гальмівної системи		
9. Перевірка тиску і роботи компресора. Перевірка стану і	Гайкові ключі 27x30, 32x36, 24x27, 10x12, 19x22.	При обслуговуванні включають гальма і визначають падіння тиску (не > 30 кПа впродовж 15 хв., а при

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

герметичності з'єднань приладів і трубопроводів.		вимкнених – не > 30 кПа впродовж 30 хв.).
Перевірка стану кріплення і шплінтування пальців вилок штоків. Усунення несправностей.	Молоток, викрутка, пасатижі, гайкові ключі 17x19, 19x22.	Пальці мають бути зашплінтовані.
10. Перевірка ходу штоків гальмівних камер і деталей приводу.	Лінійка, гайкові ключі 10x12, 13x17.	Хід штока повинен складати 25-30 мм.
11. Перевірка справності ручного гальма.	Молоток, викрутка, пасатижі, гайкові ключі 8x10, 24x27, 19x22.	Хід рукоятки повинен складати 110-160 мм.
12. Перевірка і підтягування болтів кріплення супорта.	Ключ 17x19	
13. Перевірка натягу паса приводу компресора. Регулювання.	Гайкові ключі 17x19, 32x36.	При обслуговуванні необхідно натиснути на середину короткої гілки паса. При нормальному натягу від зусилля в 30 Н прогин складає 5-8 мм.
14. Перевірка вільного ходу педалі гальма. Регулювання.	Гайкові ключі 12x13, 17x19, лінійка.	
ТО ходової частини		
15. Візуальний огляд і перевірка стану рами, ресор, амортизаторів, буксирного пристрою.	Металева щітка, гайкові ключі 13x17, 17x19, молоток.	На деталях рами і листах ресор мають бути відсутніми тріщини і злами. Не допускається послаблення клепанних з'єднань. Окремі листи ресор не повинні виступати у сторони. Не допускається значний знос втулок, а також підтікання амортизатора.
16. Перевірка і підтягування гайок кріплення коліс.	Монтажна лопатка, ключ.	Момент затягування гайок – 250-300 Нм
17. Перевірка ковпачків вентилів, стану шин, тиску повітря в шинах. При необхідності підкочування коліс.	Манометр, шланг, пасатижі.	
ТО системи живлення		
18. Візуальний огляд і	Гайкові ключі	Підтікання палива не допускається.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

перевірка стану приладів, герметичності з'єднання.	12x12, 17x19, викрутка, пасатижі.	
19. Перевірка на справність механізму подачі палива, приводу зупинки двигуна, включення гальма.	Гайкові ключі 12x13, 10x12, 13x17, 19x22, викрутка, пасатижі.	При натиснутій педалі газу важіль регулятора повинен упиратися у болт обмеження максимальних оборотів. Не допускається люфт у шарнірних з'єднаннях тяги. Рукоятка моторного гальма і зупинки двигуна повинна переміщатися без обмежень.

ТО електрообладнання

20. Перевірка стану і герметичності електропроводки, чохлів і шлангів на клемових з'єднаннях і роз'ємах.		
21. Перевірка стану кріплення акумулятора, очистити від бруду і слідів електроліту, проčiщення вентиляційних отворів, Перевірка рівня електроліту. При необхідності долити дистильованої води.	Гайкові ключі 12x14, 13x17, 17x19, кислотостійкі рукавички, дріт 1,5 мм, дрантя, рівномірна трубка, ємність з дистильованою водою.	Кінцевики і клеми мають бути чистими, покритими шаром технічного вазеліну. Пролитий електроліт витирають змоченою розчином нашатирного спирту дрантям. Рівень електроліту повинен знаходитися на 15-20 мм вище за запобіжні щитки.

Далі приступаємо до мастильно-очисних робіт, тобто виконуємо змащування й очищення деталей. Послідовність виконання цього виду робіт – табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Додаткові роботи обслуговування МАЗ по самоскидах і тягачах

Операція ТО	Примітки
Перевірка герметичності та стану трубопроводів і вузлів системи механізму підйому.	Візуальний огляд.
Перевірка справності запірною механізму заднього борту.	Гайкові ключі 17x19, 19x22, викрутка, молоток.
Перевірка і підтягування гайок кріплення кронштейнів платформи.	Гайкові ключі 19x22, 22x24, 24x27, молоток.
Перевірка і підтягування гайок кріплення поперечок рами.	Молоток, вороток, голівка змінна 19, гайковий ключ 22x24.
Перевірка і підтягування гайок кріплення кронштейна ящика акумулятора.	Ключ спеціальний 17, вороток, гайковий ключ 19x22, голівка 19.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка і підтягування гайок кріплення кронштейнів паливного бака.	Молоток, вороток, гайковий ключ 22x24, голівка 19.
Перевірка і підтягування болтів кріплення діафрагми коробки відбору потужності.	
Перевірка і підтягування болтів кріплення діафрагми клапана управління механізмом піднімання платформи.	
Перевірка справності та кріплення упору платформи.	Вороток, пасатижі, головка 17, молоток, гаєчний ключ 17x19.
Перевірка стану сідельного пристрою. Підтягування болтів кріплення.	Гаєчні ключі 19x22, 22x24, 24x27, пасатижі.
Мащення вузлів тертя через прес-маслянки.	Карта змащування.
Перевірка рівня мастила у масляному баку гідропіднімача. Долив при необхідності.	Мастилороздавальна колонка.

1.6.3 Друге технічне обслуговування МАЗ

ТО-2 МАЗ проводиться у спеціалізованих майстернях в строгій відповідності з керівництвом транспортного засобу. Виконується через кожні 12000-16000 км залежно від умов експлуатації з періодичністю в 4 рази частіше ТО-1. ТО-2 вимагає виконання робіт ТО-1, а також ряду інших робіт [12].

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Вибір матеріалів деталей карданного валу

2.1 Фланець кардана

Для виготовлення фланця кардана приймаємо сталь 40 [16, 17].

2.1.1 Загальна інформація про сталь 40

Вітчизняні замінники сталі 40: сталі 35, 45, 40Г.

Клас: сталь конструкційна вуглецева якісна.

Хімічний склад сталі 40 наведено на рис. 2.1.

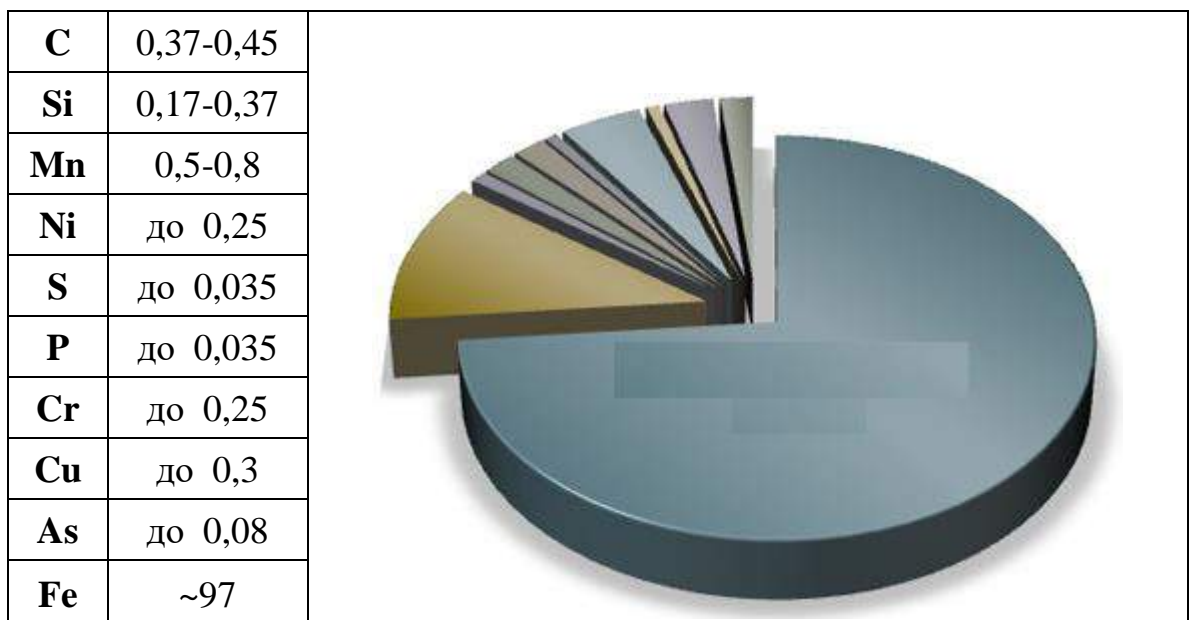


Рисунок 2.1 – Хімічний склад сталі 40 (у %)

Зарубіжні аналоги марки сталі 40 наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Зарубіжні аналоги марки сталі 40

США	1042, 1040, G10420, G10400
Германія	1.1186, 1.0511, C40E, C40, C42D, C40R, Ck40, Ck35, Cm40
Японія	S43C, S40C, SWRCH40K, SWRCH38K
Франція	C40E, 2C40, XC3841, FR38, XC42, XC38H1, XP42H1, XC42H1
Англія	080A40, 060A40, C40, 080M40, CS40, C40E
Євросоюз	C35, C40, 1.1186, C40E
Італія	C40E, C40, C40R
Бельгія	C40-2
Іспанія	C40E
Китай	ML40, 40
Швеція	1650, 1555,
Болгарія	C40E, 40
Угорщина	C40E
Польща	40rs, 40, 40A, P40, D40
Румунія	OLC40X, OLC40
Австралія	M1040, 1040

2.1.2 Властивості сталі 40

Термообробка: нормалізація.

Температура кування, °С: початку 1250, кінця 800. Заготовки перерізом до 400 мм охолоджуються на повітрі.

Твердість матеріалу: $HB\ 10^{-1} = 187\ МПа$.

Температура критичних точок, °С: $A_{c1} = 724$, $A_{c3}(A_{cm}) = 790$, $A_{r3}(A_{rcm}) = 760$, $A_{r1} = 680$.

Зварюваність матеріалу: обмежено зварювана. Методи зварювання: РДЗ, АДЗ під флюсом і газовим захистом, ЕШЗ. Рекомендується підігрів і наступна термообробка. КТЗ без обмежень.

Флокеночуйність: не чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості: не схильна.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оброблюваність різанням: в гарячекатаному стані при НВ 170 і $\sigma_b=520$ МПа, $K_{0\text{ тв. спл}} = 1,2$ і $K_{0\text{ б.ст}} = 1,05$.

Для фланця кардана режим термічної обробки наступний: гартування 850 °С, вода; відпуск 400 °С, повітря.

2.1.3 Механічні властивості сталі 40

Механічні властивості прокату сталі 40 наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Механічні властивості прокату сталі 40

Стан поковки	σ_b (МПа)	δ_5 (δ_4) (%)	ψ %	КСУ, Дж/см ²
	не менше			
Сталь гарячекатана, кована, калібрована і сребрянкя 2-ї категорії після нормалізації	570	19	45	59
Сталь калібрована 5-ї категорії: – після нгартування	610	6	35	–
– після відпалу або високого отпуску	510	14	40	–

Механічні властивості поковок сталі 40 наведені у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Механічні властивості поковок сталі 40

Термообробка	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_b (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	КСУ (Дж / см ²)	НВ, не більше
Нормалізація	300-500	215	430	18	40	44	123-167
Гартування. Відпуск	300-500	275	530	15	32	29	156-197

Механічні властивості сталі 40 залежно від температури відпуску (гартування 850 °С, масло) наведені у табл. 2.4.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 – Механічні властивості сталі 40 залежно від температури відпуску

Температура відпуску, °С	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_b (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	КСУ (Дж / см ²)	НВ
200	750	930	7	45	29	267
300	710	860	8	51	69	247
400	640	790	10	57	88	225
500	550	730	12	62	127	208
600	450	660	16	66	167	188
700	380	620	17	71	206	170

Ударна в'язкість сталі 40 КСУ, (Дж/см²) наведена у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Ударна в'язкість сталі 40

T= +20 °С	T= -40 °С	T= -80 °С	Стан поставки й термообробка
78	55	51	Гартування 850 °С, вода. Відпуск 400 °С

Фізичні властивості сталі 40 наведені у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Фізичні властивості сталі 40

T (Град)	E 10 ⁻⁵ (МПа)	α 10 ⁶ (1/Град)	λ (Вт/(м·град))	ρ (кг/м ³)	C (Дж/(кг·град))	R 10 ⁹ (Ом·м)
20	2.13		51.5	7850	483	160
100	2.1	11.9	50.6		486	221
200	1.98	12.7	48.1		497	296

2.2 Хрестовина карданного валу

Для виготовлення хрестовини карданного валу приймаємо сталь 12ХН3А [18, 19].

2.2.1 Загальна інформація про сталь 12ХН3А

Розшифрування марки сталі 12ХН3А: цифра 12 перед маркою сталі говорить проте, що у ній міститься 1,2% С, Х – свідчить про невеликий вміст Cr менше 1,5%, а Н3 – що є Ni у кількості 3%, буква А на кінці позначення повідомляє, що

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

це високоякісна чиста сталь із вмістом шкідливих сірки та Р менше 0,025%. Таким чином, перед нами легована високоякісна сталь.

Вітчизняні аналоги сталі 12ХН3А: сталі 12ХН2, 20ХН3А, 25ХГТ, 12Х2Н4А, 20ХНР. Вид поставки: сортовий прокат, у тому числі фасонний. Клас: сталь конструкційна легована. Використання у промисловості: шестерні, вали, черв'яки, кулачкові муфти, поршневі пальці та інші цементовані деталі, до яких пред'являються вимоги високої міцності, пластичності та в'язкості серцевини і високої поверхневої твердості; працююча під дією ударних навантажень або при негативних температурах до -100 °С.

Хімічний склад у % сталі 12ХН3А наведено на рис. 2.2.

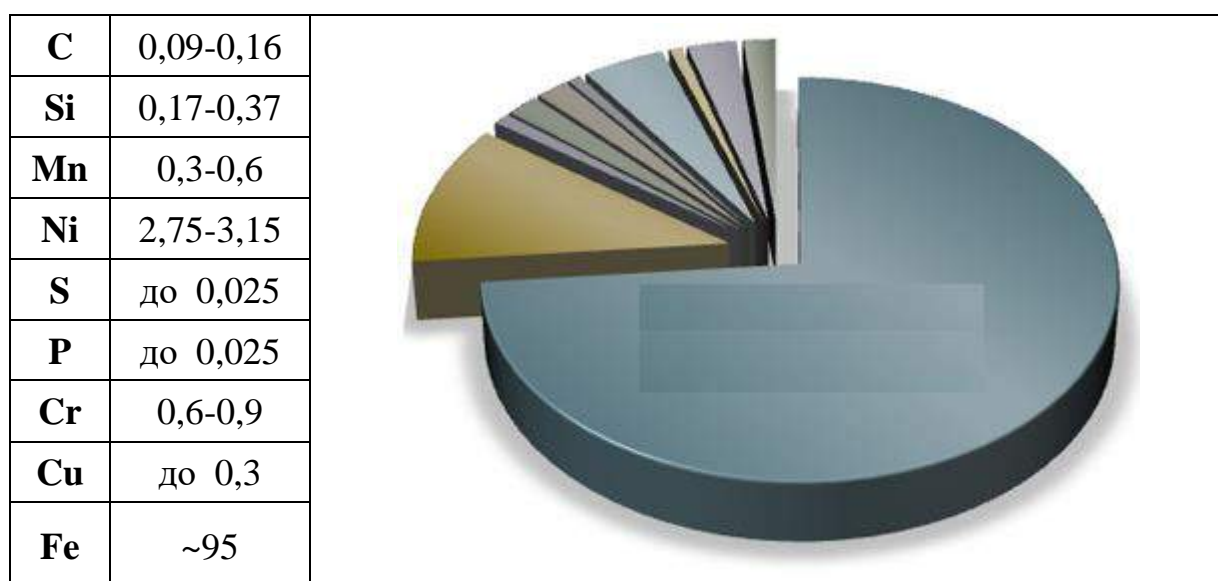


Рисунок 2.2 – Хімічний склад сталі 12ХН3А (у %)

Зарубіжні аналоги сталі 12ХН3А наведені у табл. 2.7

Таблиця 2.7 – Зарубіжні аналоги марки сталі 12ХН3А

США	3415
Германія	12Ni14, 1.5732, 14NiCr14, 14NiCr10
Японія	SNC815H, SNC815
Франція	14NC11, 10NC11

Англія	655M13
Іспанія	15NiCr11
Болгарія	12ChN3A
Угорщина	BNC2
Польща	12HN3A
Румунія	13CrNi30q
Чехія	16420

2.2.2 Властивості сталі 12ХН3А

Питома вага: 7850 кг/м³.

Температура кування, °С: початку 1220, кінця 800. Перерізи до 100 мм охолоджуються на повітрі, (101-300) мм в ямі.

Термообробка: гартування та відпуск.

Твердість матеріалу: НВ 10⁻¹ = 217 МПа.

Температура критичних точок, °С: Ас₁ = 715, Ас₃(Ас_м) = 773, Аr₃(Аrс_м) = 726, Аr₁ = 659.

Оброблюваність різанням в гарячекатаному стані при НВ 183-187: К_v тв. спл=1,26 і К_v б.ст=0,95.

Зварюваність матеріалу: обмежено зварювана; методи зварювання: РДЗ, АДЗ під флюсом.

Флокеночуйність: чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості: схильна.

2.2.3 Механічні властивості сталі 12ХН3А

Механічні властивості заготовки сталі 12ХН3А діаметром 70 мм в залежності от температури відпуску (гартування 800 °С, масло) наведені у табл. 2.8.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.8 – Механічні властивості заготовки сталі 12ХН3А діаметром 70 мм в залежності от температури відпуску

Температура відпуску, °С	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	КСУ (Дж / см ²)	НВ
200	1270	1370	12	60	98	400
300	1130	1270	13	68	78	380
400	1080	1200	14	68	83	375
500	930	1030	19	70	118	280
600	670	730	24	75	167	230

2.2.4 Цементация сталі 12ХН3А у кип'ячому шарі

На зразках із сталі 12ХН3А, яка цементується за оптимальним режимом, були досліджені режими подальшої термічної обробки з метою створення повного циклу обробки у киплячому шарі. За існуючою технологією деталі з цієї сталі піддають після цементації: високому відпуску, гартуванню і низькому відпуску.

Були вивчені:

- 1) безпосереднє гартування з цементаційного нагріву в холодний (20 °С) киплячий шар;
- 2) гартування в холодний киплячий шар з попереднім підстижуванням від температури цементації 950 до 800° С;
- 3) гартування як окрема операція після високого відпуску.

Перші два режими не дали позитивних результатів внаслідок неприпустимо великої кількості залишкового аустеніту: по першому режиму (70-75) %, а по другому (19-25) % відповідно. Тому детальніше був досліджений третій режим.

Досліджували кількість залишкового аустеніту (на магнітометрі Штейнберга), ударну в'язкість і твердість залежно від часу витримки. Розподіл вуглецю після цементації був практично однаковим. Зі збільшенням часу витримки кількість залишкового аустеніту знижується, причому найінтенсивніше в перші три години відпустки. Ударна в'язкість трохи підвищується, а твердість спочатку дещо збільшується у зв'язку з розпадом залишкового аустеніту, а потім

знижується. При повторному відпуску твердість, як і кількість залишкового аустеніту, знижуються зі збільшенням тривалості відпуску.

Найцікавіші дані отримані при вивченні впливу середовища відпуску на кількість залишкового аустеніту. Після відпуску в киплячому шарі кількість аустеніту така сама, як і після відпуску у свинцевій ванні, і приблизно удвічі менше, ніж після відпуску в електропечі.

Інтенсивніший розпад залишкового аустеніту після відпуску в киплячому шарі порівняно з відпуском в електропечі можна пояснити швидкісним нагрівом. Як і при нагріві у свинці, напружений стан, що характеризується дефектами кристалічної будови, у процесі нагріву зберігається до вищих температур, ніж при нагріві в електропечі. Дефекти кристалічної ґратки служать зародковими центрами для виділення карбідної фази, яких у разі швидкісного нагріву в киплячому шарі і у свинці більше, ніж при нагріві в електропечі.

Розподіл вмісту вуглецю в цементованому шарі сталі 12ХН3А наведено на рис. 2.3.



1 – цементация при 950 °С, 4 год. у шахтній цементацийній електричній печі Ц-105 гасом; 2 – те саме, у печі з кип'ячим шаром з доданням 20% сирого газу; 3 – цементация при 940 °С, 11 год. у печі Ц-105 гасом (серійний процес)

Рисунок 2.3 – Розподіл вмісту вуглецю в цементованому шарі сталі 12ХН3А

У процесі відпуску в киплячому шарі виділяється більше карбідів, що обідняє залишковий аустеніт вуглецем. Це викликає підвищення мартенситної точки і повніший розпад залишкового аустеніту при наступному охолодженні. Крім того, при швидкісному нагріві не встигають завершитися процеси перерозподілу легуючих елементів. Зокрема, Ni, що не входить до складу карбідів, зосереджується при повільному нагріві в твердому розчині, і, збагачений Ni залишковий аустеніт характеризується більшою стійкістю, ніж при швидкому нагріві у киплячому шарі.

Порівняльні експерименти показали, що при охолодженні відпущених зразків на повітрі кількість залишкового аустеніту виявляється на 20-30% менше, ніж при охолодженні в маслі. Швидке охолодження в маслі веде до мартенситного перетворення частини збідненого залишкового аустеніту, яке, у свою чергу, не йде до кінця, тоді як уповільнене охолодження на повітрі стимулює розвиток бейнітного перетворення, що протікає повніше, ніж мартенситне.

За отриманими даними був вибраний режим високого відпуску в киплячому шарі при 650 °С упродовж 3х год. з наступним охолодженням на повітрі.

Після відпуску деталі нагрівали до 820 °С в електропечі (2 год.) або в киплячому шарі (2 год.) і гартували (як в холодний киплячий шар часток корунду 120 мкм, так і в масло). Заздалегідь були зняті термограми охолодження хрестовин. У діапазоні температур (820-250) °С хрестовина охолоджується в маслі дещо швидше, ніж в киплячому шарі, а при нижчих температурах – повільніше. Час охолодження до (220-250) °С в обох середовищах однаковий – до 1,5 хв.

Твердість і структуру після гартування вивчали безпосередньо на хрестовинах. Механічні властивості сталі 12ХНЗА визначали на зразках завдовжки 170 мм діаметром до 21 мм, які пройшли увесь описаний вище цикл термообробки. При гартуванні по досліджених варіантах вони виявилися практично однаковими. Кількість залишкового аустеніту при нагріві у киплячому шарі була менше, ніж при нагріві в електропечі, а за однакових умов нагріву гартування в киплячому шарі давала менше залишкового аустеніту, ніж

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гартування у маслі. Структура після гартування у киплячому шарі і маслі була практично однаковою: цементований шар сталі 12ХН3А складається з мілкоголчастого мартенситу, карбідів і залишкового аустеніту, а серцевина – з перліту і фериту.

У результаті був вибраний найбільш швидкий варіант гартування, що дає до того ж найменшу кількість залишкового аустеніту: нагрів у киплячому шарі до 820 °С з витримкою (загальний час 2 год.); охолодження в холодному киплячому шарі (2 год.).

На закінчення проведено порівняння результатів випробувань цементованої сталі 12ХН3А на зносостійкість, статичну міцність при розтягуванні та втомі після цементації і наступної термообробки в киплячому шарі з результатами термічної обробки за існуючою технологією.

Зносостійкість випробовували на машині МИ-1М (цикл 15 000 об.) при терті кочення з прослизанням без змащування при питомому тиску в місці контакту випробовуваної пари 39 кгс/мм², що відповідає питомому тиску на шипах хрестовини та її швидкості обертання – 320 об./хв. Втрата маси зразків склала 430-461 міліграм.

За результатами вказаних випробувань рекомендований наступний оптимальний режим цементації та наступної термообробки хрестовини зі сталі 12ХН3А:

- цементація з добавкою 15% природного гасу при 950 °С протягом 2,5 год.; охолодження на повітрі;
- високий відпуск при 650 °С протягом 3 год.; охолодження на повітрі;
- нагрів під гартування до 820 °С в киплячому шарі та витримка 2 год.;
- охолодження в холодному киплячому шарі та низький відпуск в киплячому шарі 170 °С протягом 2 год.

Результат:

- глибина цементованого шару складає (1,1-1,4) мм;
- поверхнева концентрація вуглецю (з урахуванням його перерозподілу при охолодженні та високому відпуску) складає 0,9-1,0 %С;

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– твердість поверхні 60-62 HRC.

2.3 Шліцевий вал карданного валу

2.3.1 Загальна інформація про сталь 40X

Для виготовлення шліцевого валу приймаємо сталь 40X [20, 21].

Розшифрування марки сталі 40X: у ній міститься 0,40% С і менше 1,5% Cr.

Вітчизняні аналоги сталі 40X: 45X, 38ХА, 40ХН, 40ХС, 40ХФ, 40ХР. Клас: сталь конструкційна легована. Вид поставки: сортовий прокат, у тому числі фасонний.

Використання в промисловості: осі, вали, вал-шестерні, плунжери, штоки, колінчасті та кулачкові вали, кільця, шпинделі, оправки, рейки, губчасті вінці, болти, півосі, втулки та інші покращувані деталі підвищеної міцності.

Хімічний склад сталі 40X наведено на рис. 2.4.

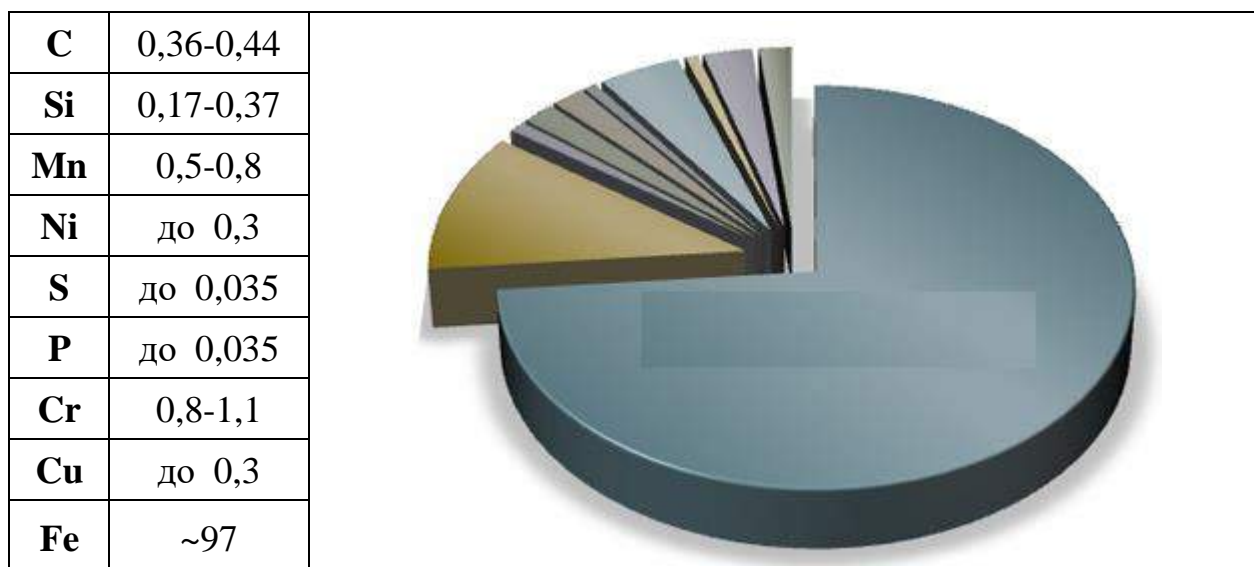


Рисунок 2.4 – Хімічний склад сталі 40X (у %)

Зарубіжні аналоги марки сталі 40X наведені у табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Зарубіжні аналоги марки сталі 40X

США	5140, 5135, 5140RH, 5140H, G51400, G51350, H51400, H51350
Германія	1.7035, 1.7034, 37Cr4, 1.7045, 41CrS4, 41Cr4, 42Cr4
Японія	SCr435H, SCr435, SCr440H, SCr440
Франція	38C4, 37Cr4, 41Cr4, 38C4FF, 42C4TS, 42C4
Англія	41Cr4, 37Cr4, 530A40, 530A36, 530H40, 530H36, 530M40
Євросоюз	37Cr4KD, 37Cr4, 41Cr4KD, 41Cr4, 41CrS4
Італія	36CrMn5, 36CrMn4, 38Cr4KB, 37Cr4, 41Cr4, 38CrMn4KB, 41Cr4KB
Бельгія	41Cr4, 37Cr4, 45C4
Іспанія	38Cr4, 37Cr4, 38Cr4DF, 41Cr4DF, 41Cr4, F.1201, 42Cr4, F.1202, F.1210
Китай	38CrA, 35Cr, 40CrA, 40Cr, 45Cr, 40CrH, ML38CrA, 45CrH, ML40Cr
Болгарія	40Ch, 37Cr4, 41Cr4
Угорщина	41Cr4, 37Cr4, Cr2Z
Польща	40H, 38HA
Румунія	40Cr10q, 40Cr10
Австралія	5132H, 5140
Пд. Корея	SCr435H, SCr435, SCr440

2.3.2 Загальні властивості сталі 40X

Твердість матеріалу: $HB\ 10^{-1} = 217\ \text{МПа}$.

Температура критичних точок °C: $A_{c1} = 743$, $A_{c3}(A_{cm}) = 815$, $A_{r3}(A_{rcm}) = 730$, $A_{r1} = 693$. Флокеночуйність: чутлива.

Зварюваність: важкозварювана; методи зварювання: РДЗ, ЕШЗ, необхідні підігрів з наступною термообробкою; КТЗ – необхідна наступна термообробка.

Оброблюваність різанням: в гарячекатаному стані при $HB\ 163-168$ і $\sigma_B = 610\ \text{МПа}$, $K_{v\ \text{тв. спл}} = 1,2$ і $K_{v\ \text{б.ст}} = 0,95$.

Температура кування, °C: початку – 1250, кінця – 800. Перерізи до 350 мм охолоджуються на повітрі. Схильність к відпускнуї крихкості: схильна.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3.3 Механічні властивості сталі 40Х

Механічні властивості сталі 40Х при перерізі заготовки 101-200 мм (гартування 840-860 °С, вода, масло; відпуск 580-650 °С, повітря) наведені табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Механічні властивості сталі 40Х (діаметр заготовки шліцевого валу – 100 мм).

$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_b (МПа)	δ_4 (%)	Ψ (%)	КСУ (кДж / м ²)	НВ
490	655	15	45	59	212-248

2.4 Труба карданного валу

Для виготовлення труби карданного валу приймаємо сталь 20 [22, 23].

2.4.1 Загальна інформація про сталь 20

Вітчизняні аналоги сталі 20: сталі 15, 25. Клас: сталь конструкційна вуглецева якісна. Використання у промисловості:

– 20А після нормалізації або без термообробки (крюки кранів, муфти, вкладиші підшипників та інші деталі, працюючі при температурі від – 40 до 450 °С під тиском; після ХТО – шестерні, черв'яки та інші деталі, до яких пред'являються вимоги високої поверхневої твердості при невисокій міцності серцевини);

– 20кп, 20пс без термообробки або нормалізації (патрубки, штуцера, вилки, болти, фланці, корпуси апаратів та інші деталі з киплячої сталі, працюючі від - 20 до 425 °С;

– після цементації і ціанування – деталі, від яких потрібно висока твердість поверхні і невисока міцність серцевини (осі, кріпильні деталі, пальці, зірочки).

Вид постачання: сортовий прокат у тому числі фасонний.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Хімічний склад сталі 20 наведено на рис. 2.5

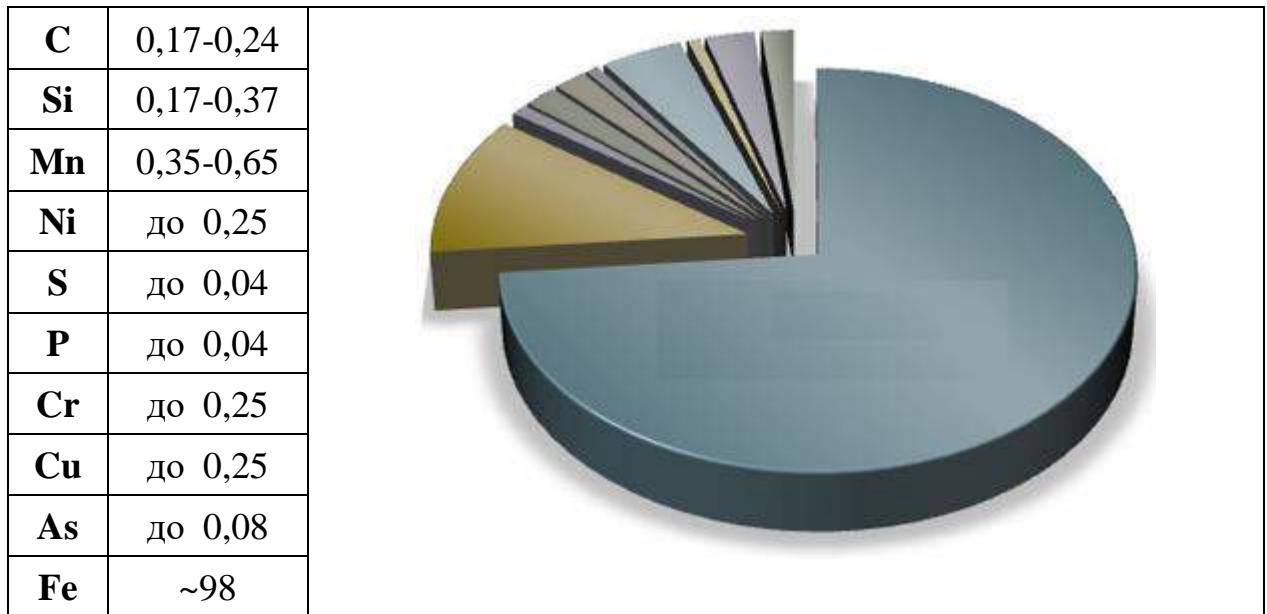


Рисунок 2.5 – Хімічний склад сталі 20 (у %)

Зарубіжні аналоги марки сталі 20 наведено у табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Зарубіжні аналоги марки сталі 20

США	1023, 1020, 1024, G10230, G10200, H10200, M1023, M1020
Германія	1.0405, 1.0402, C22, 1.1151, C22E, Ck22, C22R, Cm22, St35, Cq22
Японія	S20CK, S20C, S22C, STKM12A, STB410, STKM12A-S, STKM13B
Франція	2C22, 1C22, AF42, C20, AF42C20, C22, C25E, C22E, XC18, XC25, XC15
Англія	055M15, 050A20, 070M20, 1449-22HS, 1449-22CS, 1C22, 22HS, C22, 430
Євросоюз	2C22, 1.1151, C20E2C, C22E, C22
Італія	C20, C18, C21, C22, C22R, C22E, C25E, C25
Іспанія	C22, 1C22, F.112, C25k, F.1120
Китай	20G, 20, 20R, 20Z
Болгарія	C22, 20, C22E
Угорщина	C22E, A45.47
Польща	K18, 20
Румунія	OLC20X, OLC20
Чехія	12024, 12022
Австралія	M1020, 1020
Пд. Корея	SM20CK, SM20C, SM22C

2.4.2 Загальні властивості сталі 20

Твердість матеріалу: $HV_{10^{-1}} = 163$ МПа.

Температура критичних точок °С: $A_{c1} = 735$, $A_{c3}(A_{cm}) = 850$, $A_{r3}(A_{rcm}) = 835$, $A_{r1} = 680$.

Температура кування, °С: початку 1280, кінця 750, охолодження на повітрі.

Оброблюваність різанням: в гарячекатаному стані при $HV_{10^{-1}} = 126-131$ і $\sigma_B = 450-490$ МПа, $K_{v_{тв.спл}} = 1,7$ і $K_{v_{б.ст}} = 1,6$.

Зварюваність матеріалу: без обмежень, крім деталей після ХТО. Методи зварювання: РДЗ, АДЗ під флюсом і газовим захистом, КТЗ.

Флокеночуйність: не чутлива.

Схильність до відпускнуї крихкості: не схильна.

2.4.3 Опис сталі 20

Сталь 20 знаходить широке застосування в котлобудуванні, для труб і нагрівальних трубопроводів різного призначення; крім того промисловість випускає прутки, лист. Після цементації і ціанування з цієї сталі можна виготовляти деталі, від яких потрібно висока твердість поверхні і допускається невисока міцність серцевини: кулачкові вали, осі, кріпильні деталі, шпинделі, пальці, зірочки, шпильки, вилки тяги і валики перемикачів передач, штовхачі клапанів, валики масляних насосів, пальці ресор, малонавантажені шестерні та інші деталі автобудування.

Зі сталі 20 виготовляється багатий асортимент прокату, але при цьому враховуються її особливості. Так, поковки з цієї марки можуть бути виготовлені категорії міцності тільки 175, 195, 215, 245 при товщині поковок від 100 до 300 мм (для отримання поковок з більшою категорією міцністю необхідно використовувати іншу сталь). Для виготовлення поковок використовують зливки

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сталі, катані або ковані заготовки (або заготовки, відлиті на лінії безперервного розливання сталі та інші види прокату).

Труба прямошовна з марки сталі 20 створюється методом електрозварювання з листів або рулонів сталі. При позначенні такої труби пишеться її діаметр, товщина стінки, довжина, клас точності, ДСТУ, наприклад: труба прямошовна товщиною 89 мм, стінкою 4 мм, мірної довжини 6 метрів, II класу точності, яка була виготовлена по групі Б ДСТУ 10507-80 позначається наступним чином: 89x4x6000 II ДСТУ 10704-91 Б-20 ДСТУ 10507-80.

Методом гарячої деформації виготовляють безшовні труби; при цьому вони повинні володіти наступними властивостями: тимчасовий опір розриву 412 МПа, межа плинності 245 МПа, відносне подовження 21%, твердість за Брінеллем 4,8.

Для труби карданного валу приймаємо нормалізацію за наступним режимом:

- нагрівання садки до $t = (885-895) \text{ } ^\circ\text{C}$;
- витримка протягом 15 хв.;
- охолодження на повітрі.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 Розрахунок навантажень, діючих на деталі карданного валу

У лінійку агрегатів, які встановлюються в МАЗ-5336, увійшов 4-тактний двигун ЯМЗ-238Б з рідинним охолодженням, турбонадувом і безпосереднім уприскуванням палива [24]. Цей агрегат працює на дизельному паливі та має V-подібне розташування циліндрів.

Конструкцією мотора передбачений паливопідкачуючий насос низького тиску, регулятор частоти обертання і муфта випередження уприскування пального.

У моделі ЯМЗ-238Б застосовується сухий повітряний фільтр з індикатором засміченості та змінним фільтруючим елементом. Опціонально доступний підігрівач.

Характеристики мотора ЯМЗ-238Б [24]:

- робочий об'єм 14,86 л;
- номінальна потужність 300 к.с.;
- максимальний крутний момент 120 Нм;
- кількість циліндрів 8.

Коробка перемикання передач КПП ЯМЗ-236П – механічна 5-ступінчаста із синхронізаторами на 2-5 передачах. Передаточні числа: 1-а передача – 5,22; 2-а передача – 2,90; 3-а передача – 1,52; 4-а передача – 1,00; 5-а передача – 0,66; задній хід – 5,22 [25].

Роздавальна коробка автомобіля МАЗ виконує роль розподілу крутного моменту. Для збільшення прохідності автомобіля крутний момент збільшує обороти; при зниженні оборотів зменшується крутний момент. Цей принцип робить поїздку на автомобілі комфортною і зручною [26]. Число передач роздавальної коробки – 1, передавальне число 1,107 [27].

Крутний розрахунковий момент на карданному валу визначається на нижчій передачі коробки передач і роздавальної коробки:

$$M_{\text{КардВал}} = M_{e\text{max}} * U_{\text{КПП}} * U_{\text{РК}} \quad (3.1)$$

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{\text{КардВал}} = 120 \cdot * 5,22 * 1,107 = 963,4248 \text{ Нм}$$

Для подальших розрахунків заокруглюємо у більшу сторону:

$$M_{\text{КардВал}} = 965 \text{ Нм.}$$

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану деталей карданного валу

4.1 Визначення працездатності фланця кардана

Розрахунок проводили за допомогою прикладної програми комп'ютерного інженерного аналізу SW [28], призначеної для автоматизованого міцнісного аналізу конструкції проєкту.

4.1.1 Загальні відомості про SW

SolidWorks – система автоматизованого проєктування, інженерного аналізу та підготовки виробництва виробів будь-якої складності та призначення. Вона є інструментальним середовищем, призначеним для автоматизації проєктування складних виробів в машинобудуванні та в інших областях промисловості.

В основі системи знаходиться базовий модуль, який містить:

- функції для проєктування деталей і складань в 3-вимірному просторі;
- створення 2-мірних креслень деталей і складань по їх 3-вимірних прототипах;
- оформлення конструкторської документації відповідно до вимог різних систем стандартів;
- обміну документами з іншими конструкторськими системами;
- для вирішення ряду інших завдань.

Розглянемо основні можливості CAD-компоненти SW для підготовки твердотільної моделі до наступного аналізу в модулі SWS.

SW спочатку створювався як система твердотільного параметричного моделювання. Програма містить усю необхідну номенклатуру інструментів, причому деякі можливості украй ефективні для розробки об'єктів, орієнтованих на наступне використання програм розрахунку. Це проєктування виробів з листового

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалу, зварні деталі тощо. Вони дозволяють отримати моделі, дуже близькі до вимог цих інструментів.

SW дозволяє створювати конфігурації об'єктів. Інтегровані модулі в абсолютній більшості адекватно обробляють цю функціональність, дозволяючи розраховувати різноманітні виконання розрахункових моделей, а, наприклад SWS здатний одночасно відображати результати декількох розрахунків, виконаних у тому числі і в різних конфігураціях SW. Крім того, параметричне представлення геометрії в CAD-системі дозволило органічно включити в SWS модуль параметричної оптимізації, а також інструмент сценаріїв проектування. Останні призначені для вивчення того, як впливає зміна форми, граничних умов, типів матеріалів тощо на властивості конструкції.

У SWS загальним з SW є підмножина механічних характеристик, які описують пружні властивості, міцність, щільність, а також теплові та термопружні характеристики (коефіцієнт теплового розширення).

Балочні та стержневі моделі SWS функціонують на базі об'єктів, створених за допомогою команд групи «Зварні деталі» SW. Алгоритми геометричного моделювання та розрахунку тісно пов'язані, що пред'являє специфічні вимоги до якості підготовки геометрії.

Поверхневе представлення геометрії (а SW має найбільш розвинені можливості для створення і редагування поверхонь порівняно із системами аналогічного рівня), активно використовуються в SWS для створення на цій базі оболонкових розрахункових моделей.

SW має найрізноманітніші можливості для створення і модифікації складань. Розрахункові застосування, відповідно, цю функціональність враховують. Як і для моделей твердотільних і поверхневих деталей, відповідальність за коректну підготовку початкових даних для складань покладається на CAD -систему.

SWS побудований на базі MCE. Відмітимо рад особливостей його реалізації у цій програмі.

1. У SWS використовуються три базові типи CE: об'ємні ізопараметричні тетраедри, трикутні елементи оболонок та елементи балок. Два перші типи CE

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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/стержні – 2.

2. Програма допускає співіснування в одній моделі твердотільних та оболонкових СЕ, причому гібридні сітки працездатні як в лінійних, так і в нелінійних розрахункових моделях. Проте, елементи балок/стержнів не поєднуються з якими-небудь іншими типами СЕ.

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

4. Деякі інші типи кінематичних граничних умов реалізуються безпосередньою зміною матриці жорсткості системи (у ранніх версіях програми для цього використовувалися штрафні функції – фактично "дуже" жорсткі допоміжні елементи, що призводило до помилок програми).

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

6. Для розрахунку складань багатотільних деталей в програмі реалізовані граничні умови, об'єднані в групу «З'єднання» (Connectors). Реалізація цих умов (чи деяких їх різновидів) припускає такі зміни матриці жорсткості системи (для деяких з них невідомо, здійснюються вони через безпосередню її модифікацію, чи за допомогою введення допоміжних «жорстких» СЕ), які фактично призводять до появи в моделі абсолютно жорсткого віртуального об'єкту. Як наслідок, в місці, де цей об'єкт взаємодіє з «реальними» деталями складання (фактично, в зоні прикладання описаних граничних умов), можлива поява теоретично нескінченних деформацій (напружень). На практиці це виражається у відсутності збіжності рішення при ущільненні сітки і, швидше за все, некоректними результатами.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. У SWS є присутнім р-адаптивний метод побудови сітки СЕ. Це означає, що в зонах з високим градієнтом енергії деформації програма збільшує порядок полінома, апроксимуючого поле переміщень у скінченному елементі. При некоректній постановці кінематичних граничних умов можлива поява особливостей (теоретично нескінченних деформацій і напружень). Застосування цієї опції для таких розрахункових моделей призводить до абсурдних результатів.

8. У SWS є також присутнім h-адаптивний метод побудови СЕ. Він полягає в ущільненні сітки в зонах, де величина щільності енергії деформації відносно велика порівняно з середнім її значенням.

9. У рамках пружного аналізу можливе використання ортотропних матеріалів. Доступні ортогонально-ортотропні й, як окремий їх випадок (він не виділяється окремо), 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 SWS «Перевірка міцності (Design Check Wizard)» для усіх матеріалів використовується один і той самий тип критерію міцності. Таким чином, застосування цієї функції для аналізу складань, які містять деталі з крихких і в'язких матеріалів, проблематично, якщо вимагається відобразити результати відразу для усіх деталей.

SWS дозволяє виконувати наступні види моделювання:

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

– розрахунок власних частот і відповідних ним форм для деталей у твердотільному або оболонковому представленні, а також складань з нерухомими деталями;

– розрахунок величин критичних навантажень втрати стійкості й відповідних форм для деталей у твердотільному або оболонковому представленні, а також складань з нерухомими деталями;

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- тепловий розрахунок з урахуванням явищ теплопровідності, конвекції, але без урахування руху середовищ;
- термопружний аналіз на базі результатів теплового розрахунку;
- параметрична оптимізація за критерієм мінімізації/максимізації маси, об'єму, власних частот і критичної сили;
- імітація деформації конструкції з урахуванням фізичної та геометричної нелінійності, а також зважаючи на зміну навантажень і температури в часі;
- моделювання ефекту падіння конструкції на жорстку або пружну поверхню;
- втомний розрахунок з урахуванням кривих втоми, форми кривого навантаження, а також лінійної гіпотези підсумовування ушкоджень.

Усі ці типи аналізу можуть бути пов'язані з одним і тим самим об'єктом SW.

SWS вимагає дотримання базової канви алгоритму MCE, надаючи усередині кожного етапу певну свободу в послідовності кроків підготовки моделі і розгляду результатів. Для розрахунку в пружній постановці для моделей у твердотільному представленні передбачуваний ланцюжок подій описаний нижче.

1. Створення аналізу певного типу і визначення його налаштувань. Останні можуть бути змінені у будь-який момент перед виконанням розрахунку.

2. Заповнення, якщо необхідно, таблиці параметрів, яка визначає набір величин, що можуть змінюватися (конкретно – для яких можуть назначатися списки значень) в ході розрахунку.

3. Підготовка початкових даних усередині заданого аналізу:

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

4. Зв'язування, у разі потреби, параметрів з таблиці параметрів з відповідними аналізами.

5. Виконання розрахунку.

6. Обробка результатів:

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– створення та аналіз діаграм, експорт результатів.

Процедура оптимізації базується на результатах розрахунків в лінійній постановці (статичного аналізу, розрахунку на власні частоти тощо). Втомний аналіз вимагає також виконання як мінімум одного статичного розрахунку.

4.1.2 Створення геометричної моделі фланця кардана

Загальна методологія побудови твердотільної моделі фланця кардана у SW наведена на рис. 4.1.

4.1.3 Початок розрахунку фланця кардана у середовищі SWS

Твердотільна модель фланця кардана готова для міцнісного аналізу. Визначимо основні параметри моделі. У цьому ж файлі створимо проєкт аналізу – «Нове дослідження». Призначимо тип аналізу – «Статичний» (рис. 4.2).

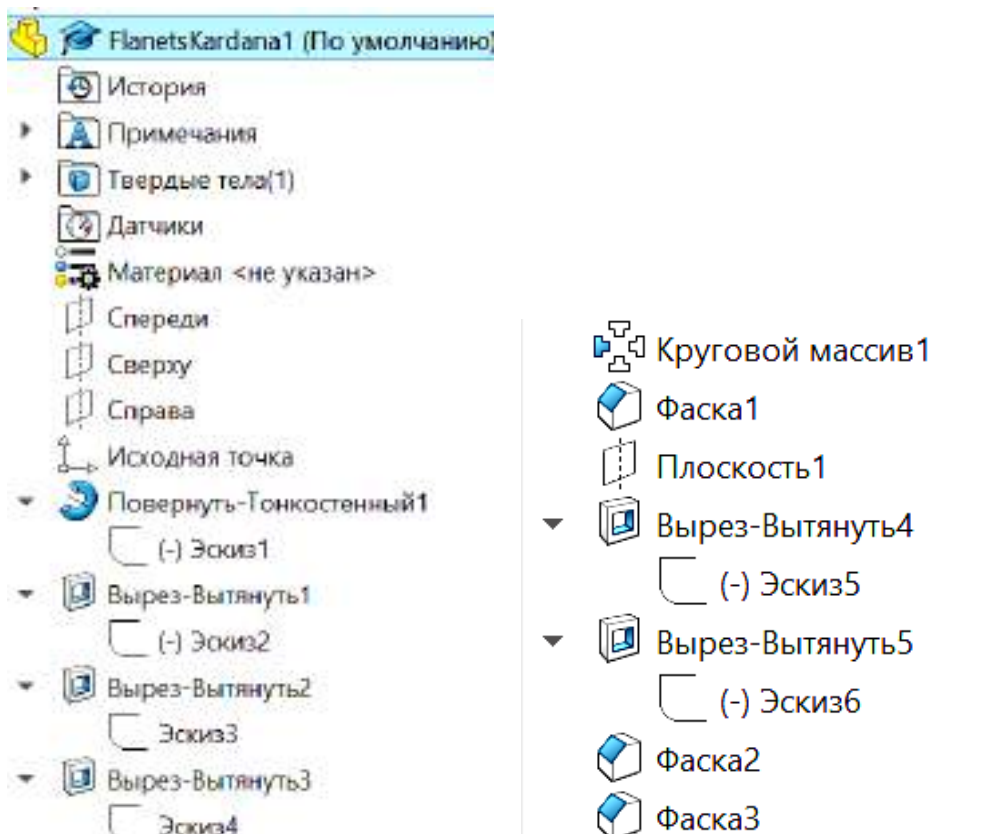




Рисунок 4.1 – Загальна методологія побудови твердотільної моделі фланця кардана

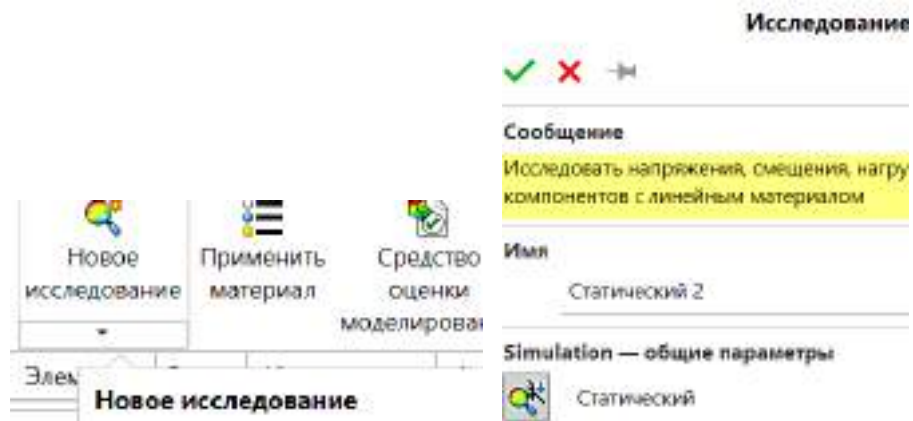
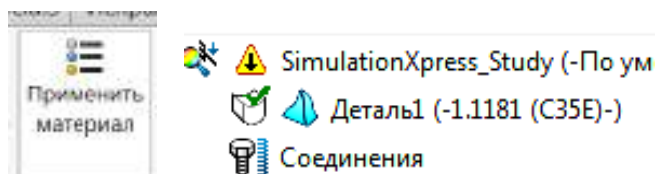


Рисунок 4.2 – Створення проєкту аналізу

4.1.4 Призначення матеріалу фланця кардана в SW

Визначимо матеріал деталі, для чого виберемо з бібліотеки «SolidWorksMaterials» сталь C35E – аналог матеріалу фланця кардана (табл. 2.1) – сталь 40 (рис. 4.3).



Свойства Таблицы и кривые Внешний вид Штриховка Настройка Данные программно

Свойства материала
 Материалы в библиотеке по умолчанию не могут редактироваться.
 Необходимо скопировать материал в настроенную пользователем библиотеку и затем его отредактировать.

Тип модели: **Линейный упругий изотр** Сохранить тип в библиотеке

Единицы измерения: **СИ - Н/м² (Па)**

Категория: **DIN Сталь (Нелегированная)**

Имя: **1.1181 (C35E)**

Критерий разрушения по умолчанию: **Максимальное напряжение**

Описание: **Ск 35**

Источник: **Предел текучести и предел прочности для t <= t**

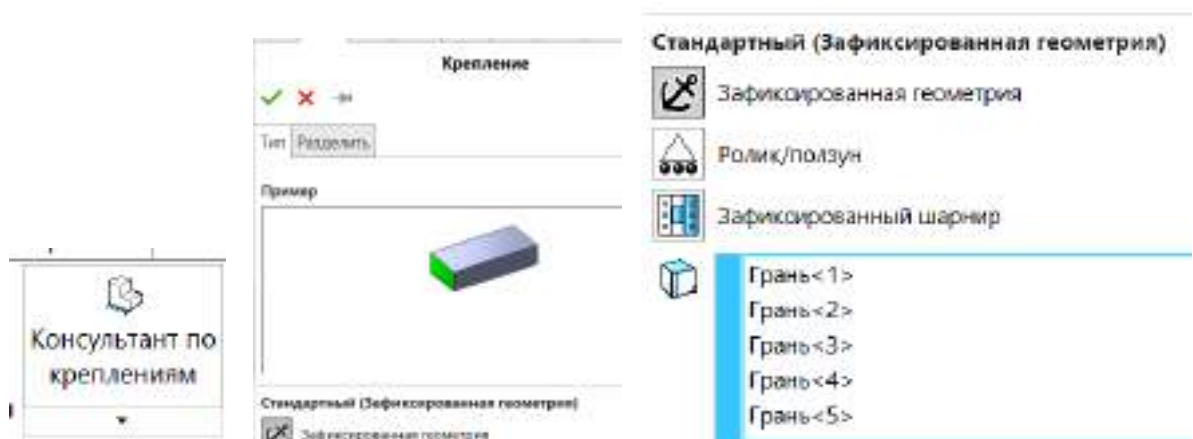
Sustainability: **Определено**

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	2.110000031e+11	Н/м ²
Коэффициент Пуассона	0.28	Не применимо
Модуль сдвига	7.9e+10	Н/м ²
Массовая плотность	7850	кг/м ³
Предел прочности при растяжении	700000000	Н/м ²
Предел прочности при сжатии		Н/м ²
Предел текучести	580000000	Н/м ²
Коэффициент теплового расширения	1.1e-05	/К

Рисунок 4.3 – Назначения материалу фланца кардана

4.1.5 Додання граничних умов

Згідно з розрахунковою схемою додаємо в модель обмеження (згідно термінології SWS – кріплення). Обмеження від переміщень прикладемо на усіх напрямках. Для цього виберемо тип кріплення «Зафіксована геометрія» (рис. 4.4).



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

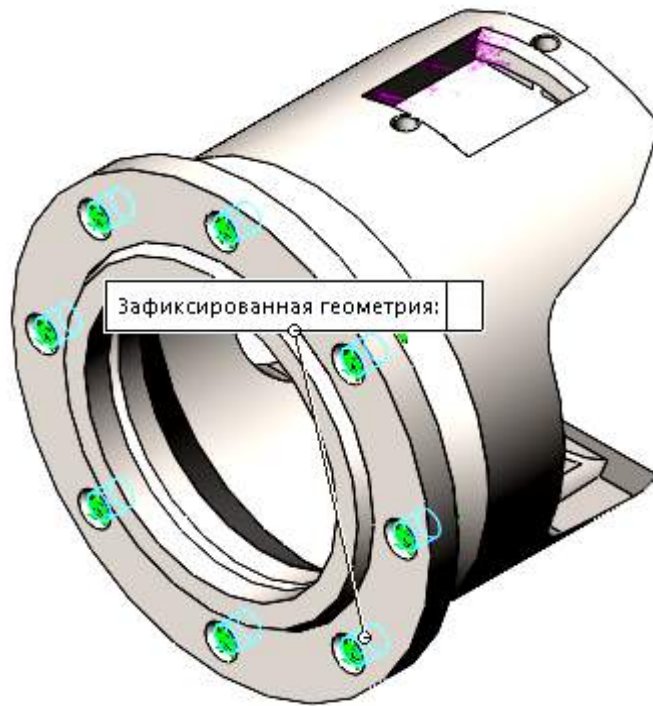
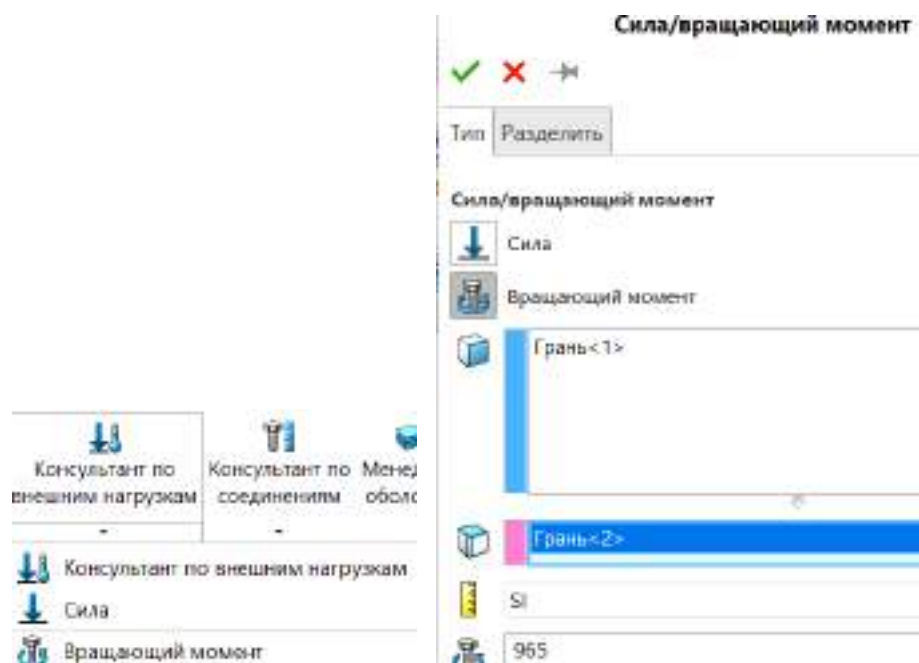


Рисунок 4.4 – Обмеження від переміщень фланця

4.1.6 Прикладення навантажень до фланця кардана

Прикладемо навантаження – крутний момент у 965 Нм (формула 3.1). Для цього виберемо команду «Крутний момент», приклавши його до вирізу у фланці, визначивши тим самим напрям (рис. 4.5).



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

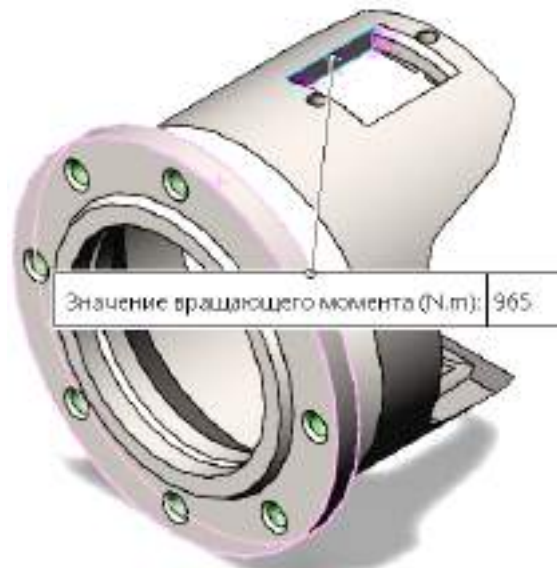


Рисунок 4.5 – Прикладення крутного моменту до фланця кардана

Модель з прикладеним навантаженням представлена на рис. 4.6.

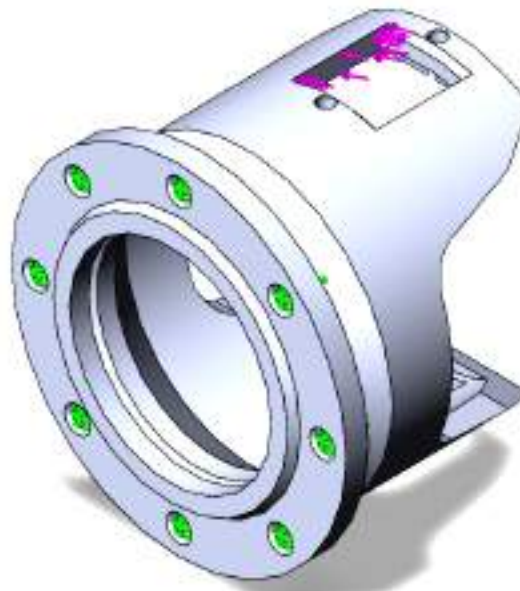
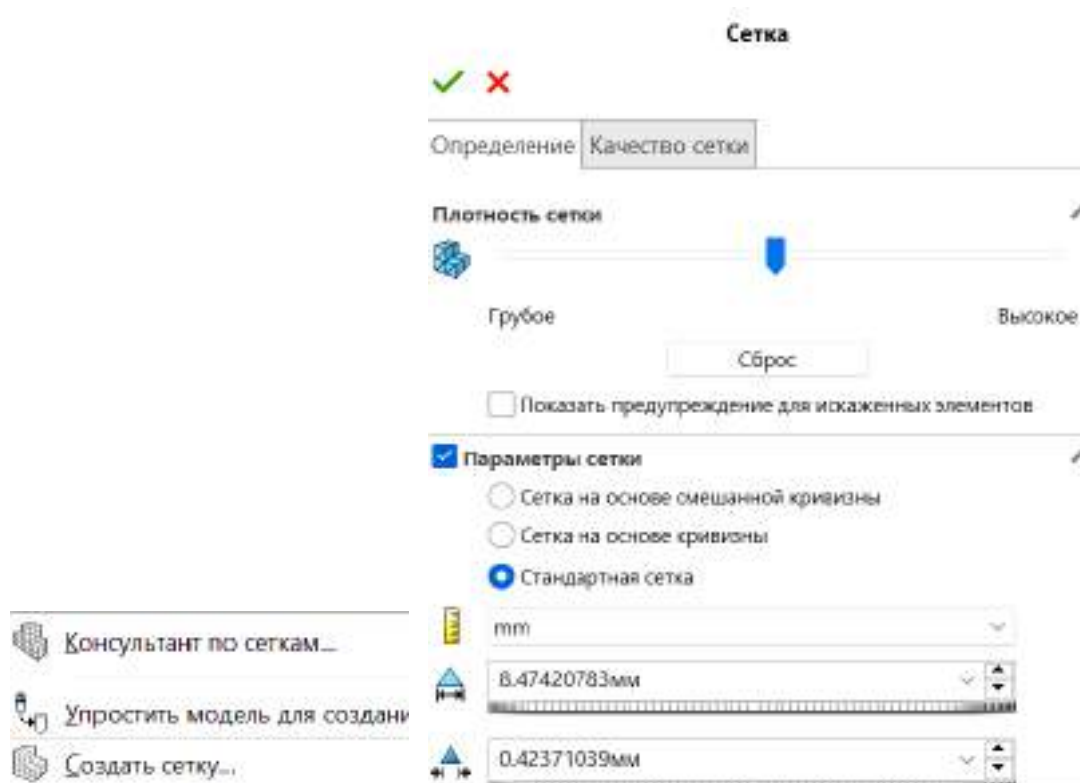


Рисунок 4.6 – Модель фланця кардана з прикладеним навантаженням

4.1.7 Створення сітки й виконання розрахунку

Формування звичайно-елементної сітки активується командою «Створити сітку». Усі параметри цієї команди залишаємо за умовчанням (рис. 4.7).



Сетка Детализация

Имя исследования	SimulationXpress_Study*
ДетализацияТип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки	Выкл
Включить автоциклы сетки	Выкл
Точки Якобиана для сетки высокого качества	4 точек
Размер элемента	8,47421 mm
Допуск	0,42371 mm
Качество сетки	Высокая
Всего узлов	20946
Всего элементов	11718
Максимальное соотношение сторон	10,328
Процент элементов с соотношением сторон < 3	90,2
Процент элементов с соотношением сторон > 10	0,00853
Процент искаженных элементов	0
Число искаженных элементов	0
Время для завершения сетки (hh:mm:ss)	00:00:01

Рисунок 4.7 – Параметры сітки моделі фланця кардана

Скінченно-елементна сітка представлена на рис. 4.8.

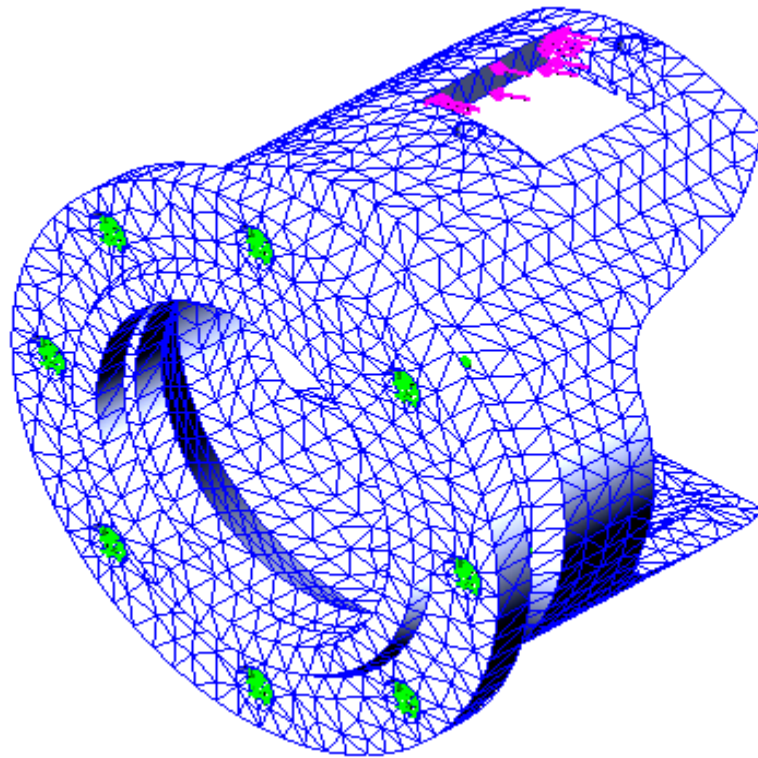


Рисунок 4.8 – Скінченно-елементна сітка моделі фланця кардана

Запускаємо програму на розрахунок. Для цього вибираємо команду «Запустити це дослідження» (рис. 4.9).

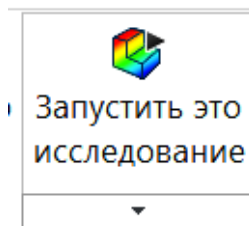


Рисунок 4.9 – Запуск програми на розрахунок

4.1.8 Виведення результатів розрахунку

У папці «Результати» дерева дослідження за умовчанням доступні 4 види результатів аналізу (рис. 4.10):

- напруження по Мізесу;
- результуюче переміщення;
- еквівалентні деформації;
- запас міцності.

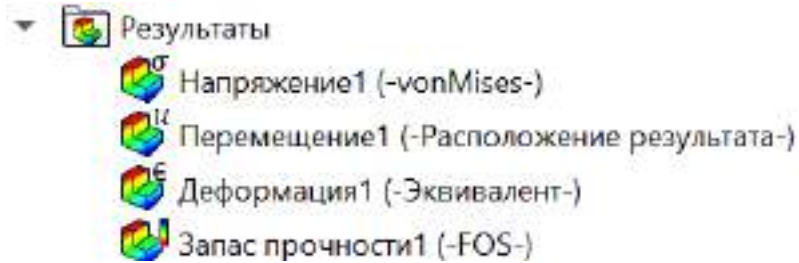


Рисунок 4.10 – Папка «Результаты» дерева дослідження

Для більшої інформативності та зручності аналізу результатів, необхідно настроїти діаграми, що відображаються, використовуючи команду «Параметри графіка». У налаштуваннях «Епюра напружень» виберемо згідно з вимогами в якості одиниць виміру МПа. У налаштуваннях команди «Параметри відображення» активуємо опції: «Автоматичне визначення максимального значення», «Автоматичне визначення мінімального значення», «Відобразити мінімальну примітку», «Відобразити максимальне примітку» (рис. 4.11).

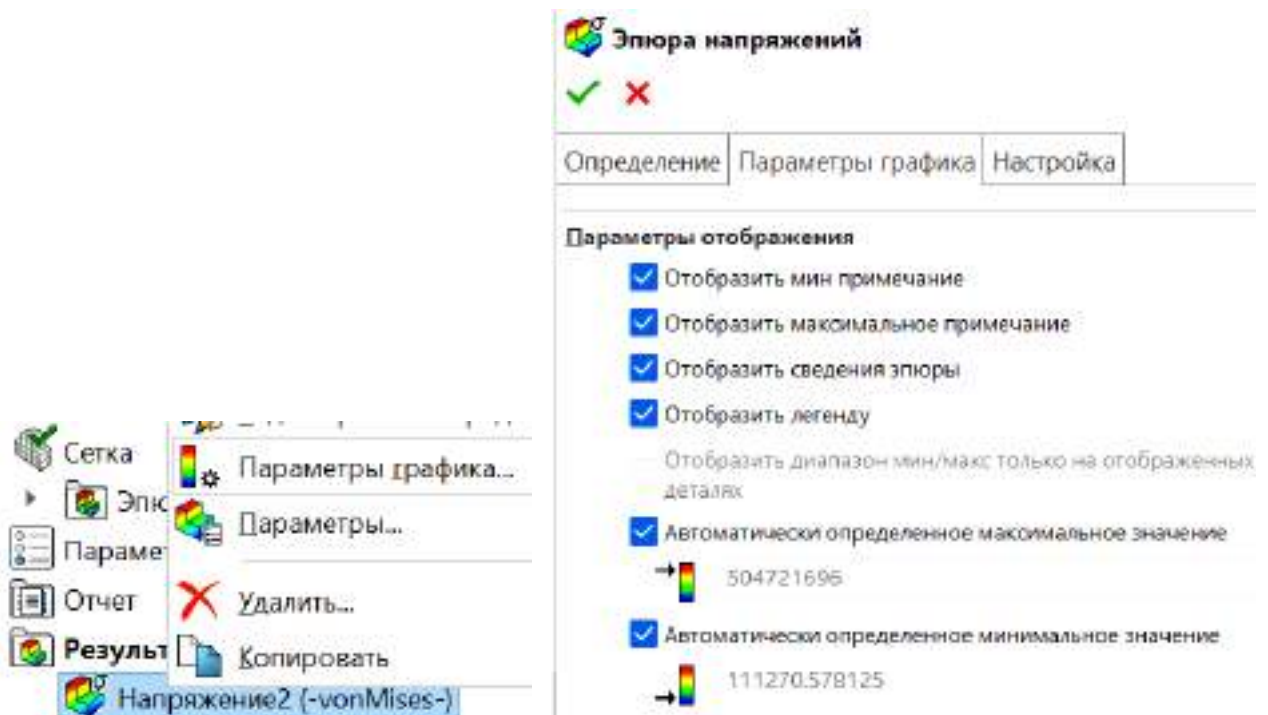


Рисунок 4.11 – Налаштування команди «Параметри відображення»

Діаграма напружень по Мізесу представлена на рис. 4.12.

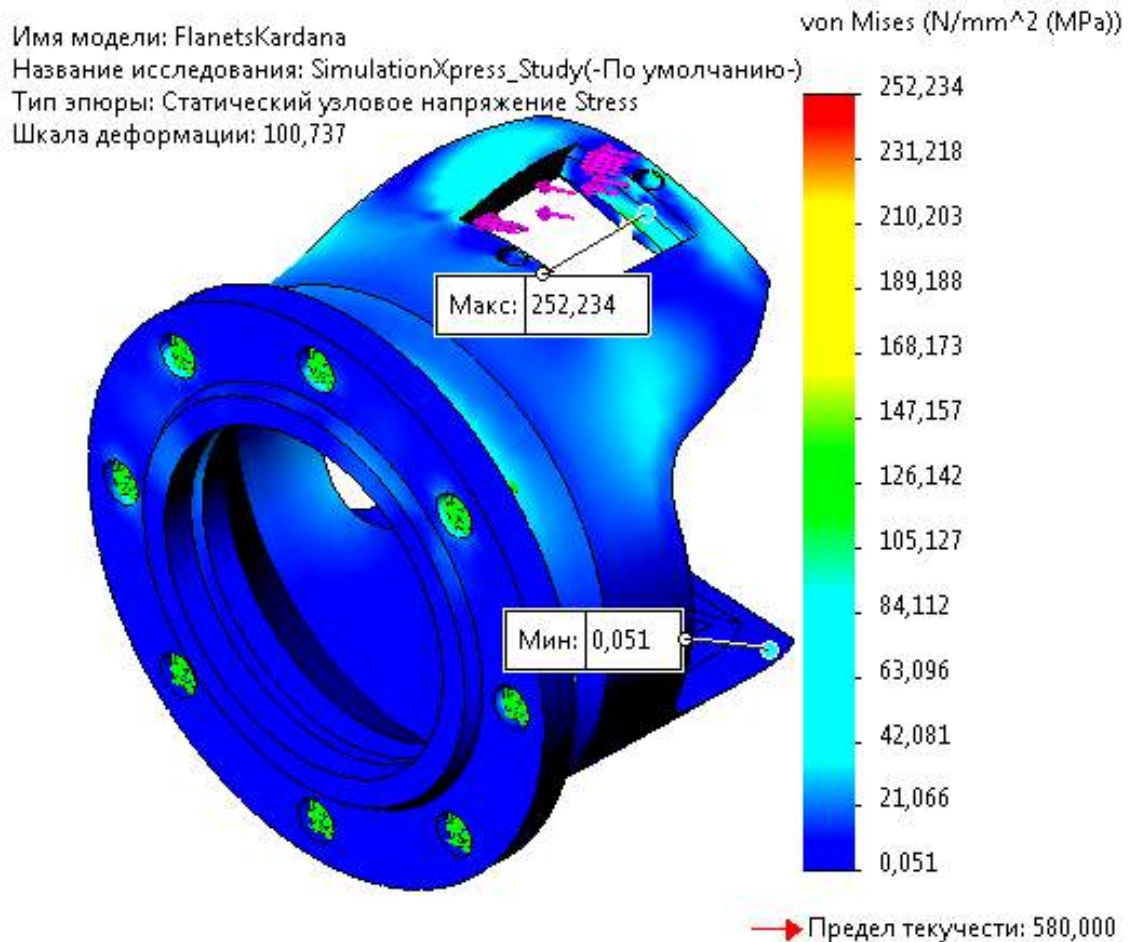


Рисунок 4.12 – Діаграма напружень по Мізесу (von Mises) моделі фланця кардана

Аналізуючи діаграму, помітимо, що максимальне значення напруження складає 252,234 МПа, що не перевищує межу плинності матеріалу.

Аналогічним чином виведемо діаграму сумарних переміщень. У налаштуваннях діаграми переміщень виберемо згідно вимог в якості одиниць вимірювання мм; відобразимо деформовану форму в режимі авто і зробивши налаштування параметрів графіку, аналогічно напруженню.

Діаграма сумарних переміщень представлена на рис. 4.13.

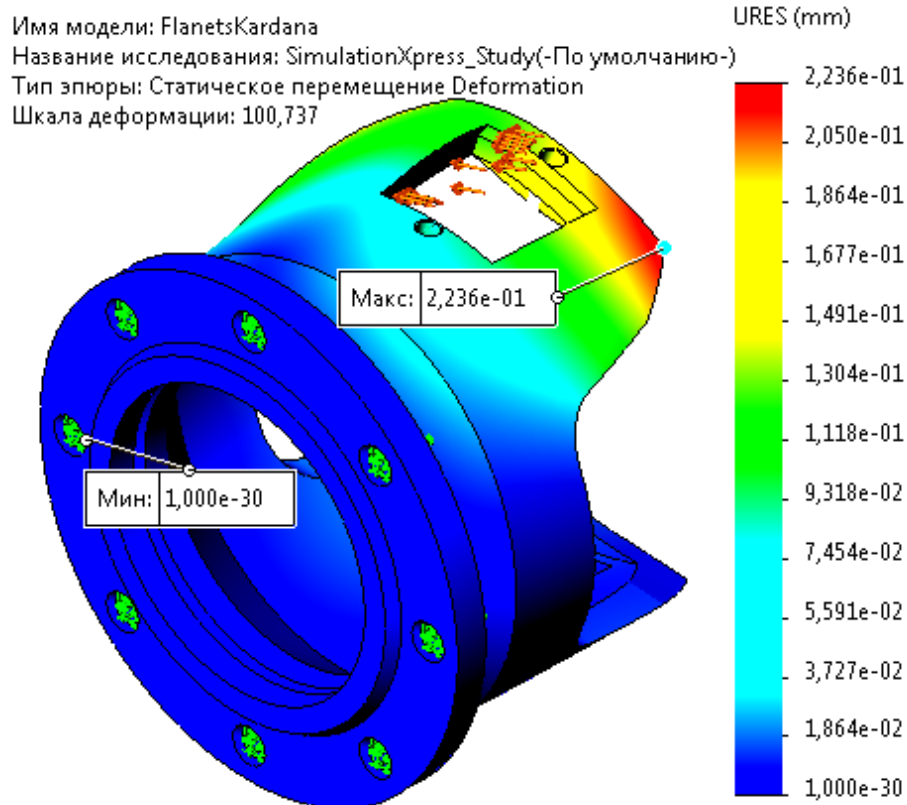


Рисунок 4.13 – Діаграма сумарних переміщень URES моделі фланця кардана

Максимальне результуюче переміщення складає 0,2236 мм.

Аналогічним чином виведемо діаграму еквівалентних деформацій. У її налаштуваннях у додаткових параметрах виберемо опцію «Значення у вузлах» і відобразимо деформовану форму в режимі авто, а в налаштуваннях параметрів графіку виберемо відображення мінімального і максимального значень (рис. 4.14).

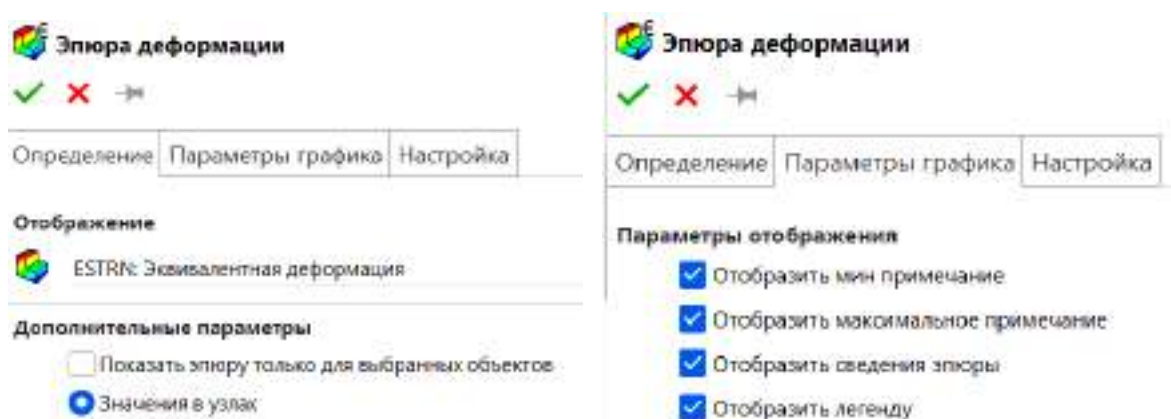


Рисунок 4.14 – Налаштування діаграми еквівалентних деформацій

Діаграма еквівалентних деформацій представлена на рис. 4.15.

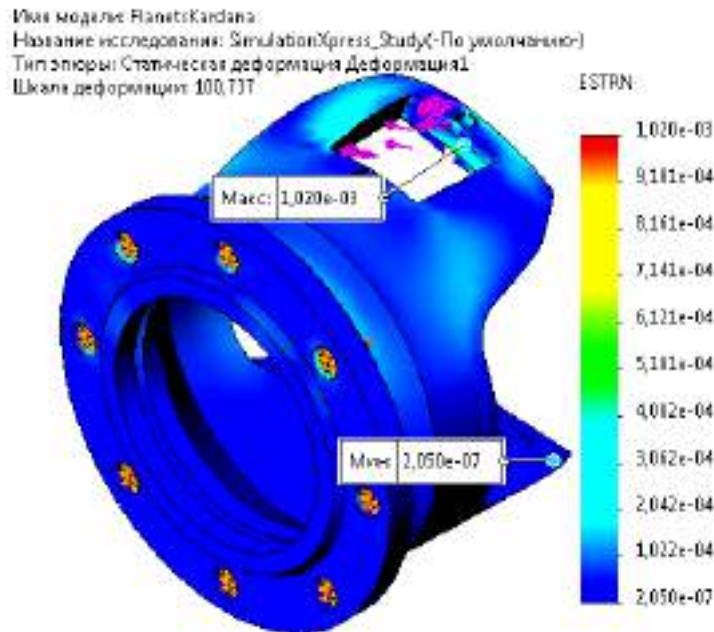


Рисунок 4.15 – Діаграма еквівалентних деформацій ESTRN моделі фланця кардана

Максимальна величина деформацій складає 0,001020.

Тепер побудуємо діаграму коефіцієнта запасу міцності. Для цього виберемо команду «Визначити епюру перевірки запасу міцності» (рис. 4.16).

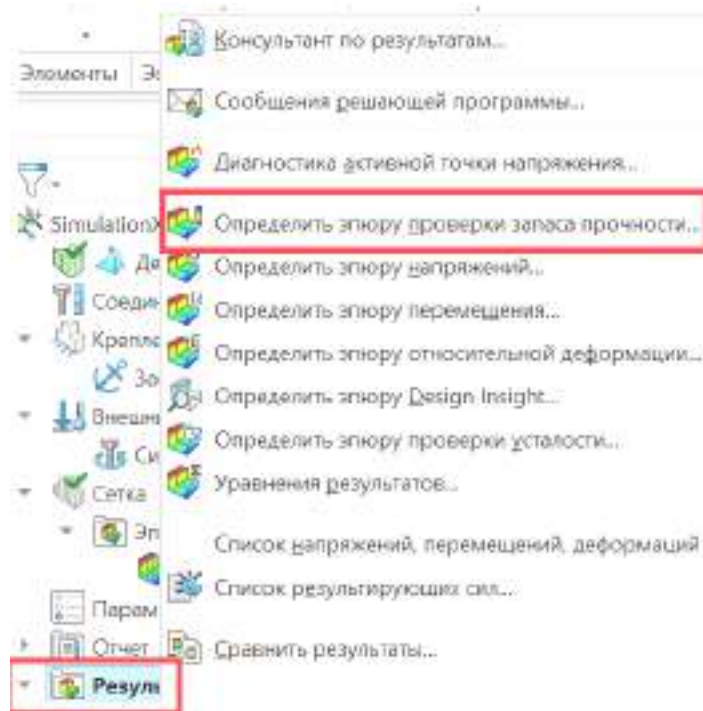


Рисунок 4.16 – Задання команди «Визначити епюру перевірки запасу міцності»

Виберемо «Запас міцності (FOS)», а у параметрах відображення настроїмо відображення мінімального і максимального значень (рис. 4.17).

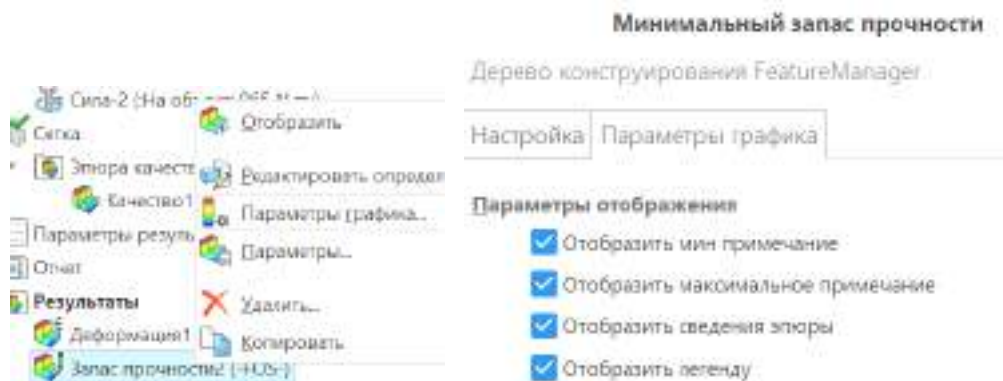


Рисунок 4.17 – Настроювання параметрів відображення

Діаграма розподілу коефіцієнта запасу міцності представлена на рис. 4.18.

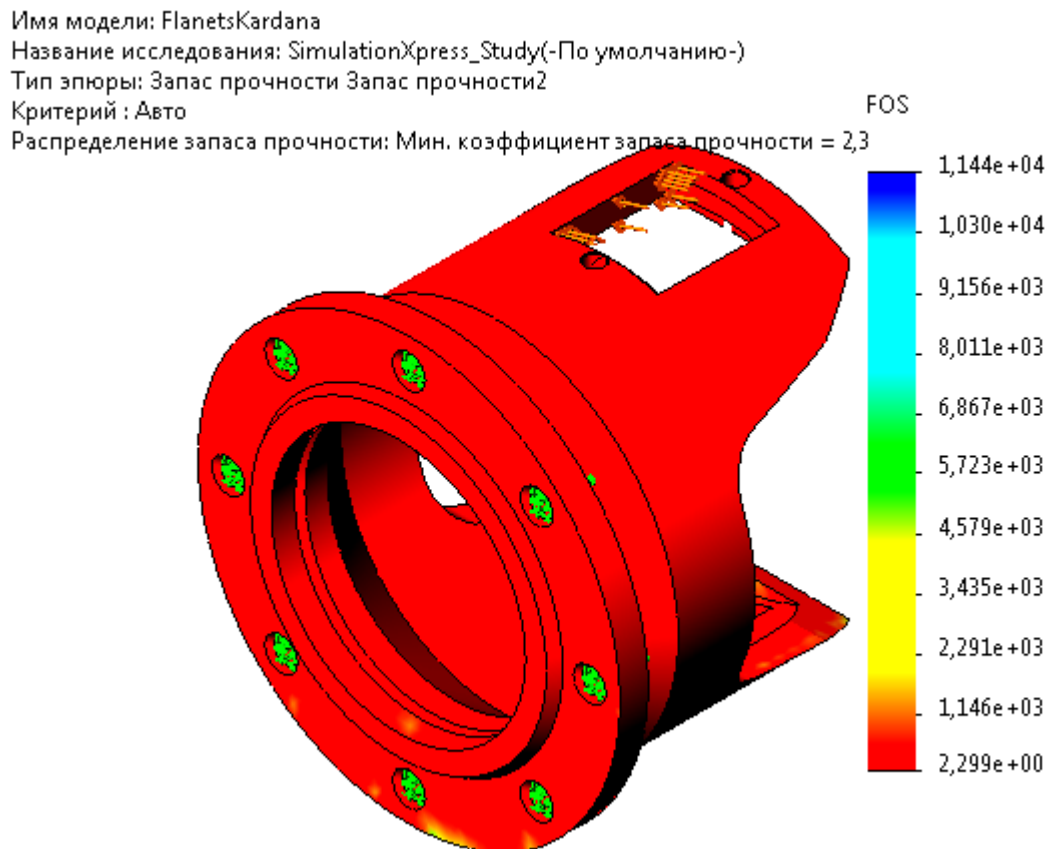


Рисунок 4.18 – Діаграма розподілу коефіцієнта запасу міцності моделі фланця кардана

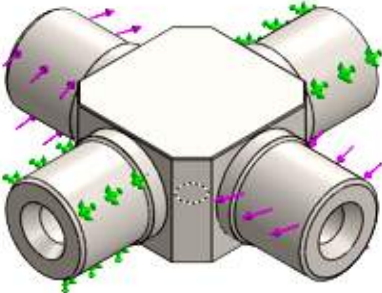
Таким чином, вузлові максимальні напруження Von Mises, переміщення URES, деформація ESTRN, а також запас міцності FOS моделі фланця кардана не

перевищують допустимих значень (рис. 4.15-4.18): мінімальний коефіцієнт запасу міцності $n = 2,3$, що більше допустимого $[n] = 1,5$.

4.2 Розрахунок хрестовини карданного валу

Розглянемо наступну деталь карданного валу – хрестовину (рис. Б2). Аналіз скінченних елементів забезпечує надійний чисельний метод. Розрахунок починається зі створення геометричної моделі хрестовини (рис. 4.19).

Информация о модели



Имя модели: HrestovynaKardan
Активная конфигурация: Default


Твердые тела			
Имя и ссылки документа	Рассматривается как	Объемные свойства	Путь документа/Дата изменения
Фаска45 	Твердое тело	Масса: 1,69799 кг Объем: 0,000216305 м ³ Плотность: 7 850 кг/м ³ Масса: 16,6403 N	D:\++HrestovynaSW\HrestovynaKardan.SLDPRT

Рисунок 4.19 – Інформація про модель хрестовини

Наступний етап: вибір матеріалу хрестовини – сталі 12ХНЗА з бібліотеки SW (рис. 4.20).

Свойства материала


Ссылка на модель	Свойства	Компоненты	
	Имя:	12ХНЗА ДСТУ 4543-71	Твердое тело 1 (Фаска45) (HrestovynaKardan)
	Тип модели:	Линейный Упругий Изотропный	
	Критерий прочности по умолчанию:	Максимальное напряжение von Mises	
	Предел текучести:	5,4e+08 N/m ²	
	Предел прочности при растяжении:	6,7e+08 N/m ²	
	Модуль упругости:	2e+11 N/m ²	
	Коэффициент Пуассона:	0,29	
	Массовая плотность:	7 850 kg/m ³	
Коэффициент теплового расширения:	1,18e-05 / Kelvin		
Данные краевой: N/A			

Рисунок 4.20 – Вибір матеріалу хрестовини

Для проведения статического анализа:

– проведено закріплення моделі й прикладене навантаження (рис. 4.21);

Нагрузки и крепления				
Имя крепления	Изображение крепления	Данные крепления		
Закрепленный-2		Объекты:	2 грани	
		Тип:	Закрепленная геометрия	
Результирующие силы				
Компоненты	X	Y	Z	Результирующая
Сила реакции(N)	0,00256348	0,0259781	-161,685	161,685
Реактивный момент(N.m)	0	0	0	0
Имя нагрузки	Загрузить изображение	Загрузить данные		
Вращающий момент-1		Объекты:	2 грани	
		Справочный:	Грань < 1 >	
		Тип:	Приложить вращающий момент	
		Значение:	965 N.m	

Рисунок 4.21 – Закріплення моделі хрестовини й прикладення навантаження

– створення сітки (рис. 4.22).

Информация о сетке

Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение:	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки:	Выкл
Включить автоциклы сетки:	Выкл
Точки Якобиана для сетки высокого качества	4 Точки
Размер элемента	6,00451 mm
Допуск	0,300225 mm
Качество сетки	Высокая

Информация о сетке - Детализация

Всего узлов	18957
Всего элементов	12043
Максимальное соотношение сторон	12,97
% элементов с соотношением сторон < 3	93,9
Процент элементов с соотношением <u>сторон > 10</u>	0,249
Процент искаженных элементов	0
Время для завершения сетки (<u>hh:mm:ss</u>):	00:00:10
Имя компьютера:	

Имя модели: Нестроительная
Название и путь к модели: Статический анализ (1) (Default)
Тип сетки: Сетка на твердом теле

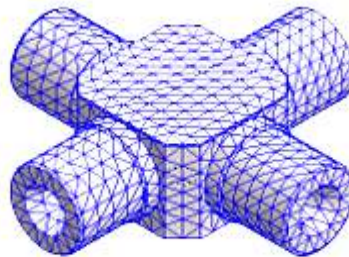


Рисунок 4.22 – Параметры й скінченно-елементна сітка хрестовини типу „на твердому тілі”

Розрахунками визначені результуючі сили, які представлені на рис. 4.23.

Результатом статичного аналізу є епюри напружень, переміщень, деформації, запасу міцності. Встановлено, що вузлові максимальні напруження Von Mises, переміщення URES і деформація ESTRN, а також запас міцності хрестовини FOS не перевищують допустимих значень (рис. 4.23-4.26): коефіцієнт запасу міцності $n = 4,973$, що більше допустимого $[n] = 1,5$.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ

Арк.

70

Результирующие силы

Силы реакции

Выбранный набор	Единицы	Сумма X	Сумма Y	Сумма Z	Результирующая
всей модели	N	0,00256348	0,0259781	-161,685	161,685

Моменты реакции

Выбранный набор	Единицы	Сумма X	Сумма Y	Сумма Z	Результирующая
всей модели	N.m	0	0	0	0

Силы свободных тел

Выбранный набор	Единицы	Сумма X	Сумма Y	Сумма Z	Результирующая
всей модели	N	0	0	0	0

Моменты свободных тел

Выбранный набор	Единицы	Сумма X	Сумма Y	Сумма Z	Результирующая
всей модели	N.m	0	0	0	0

Рисунок 4.23 – Результирующі сили, діючі на хрестовину

Имя модели: HrestovynaKardan

Название исследования: Статический анализ 1(-Default-)

Тип элюры: Статический узловое напряжение Напряжение1

Шкала деформации: 625,363

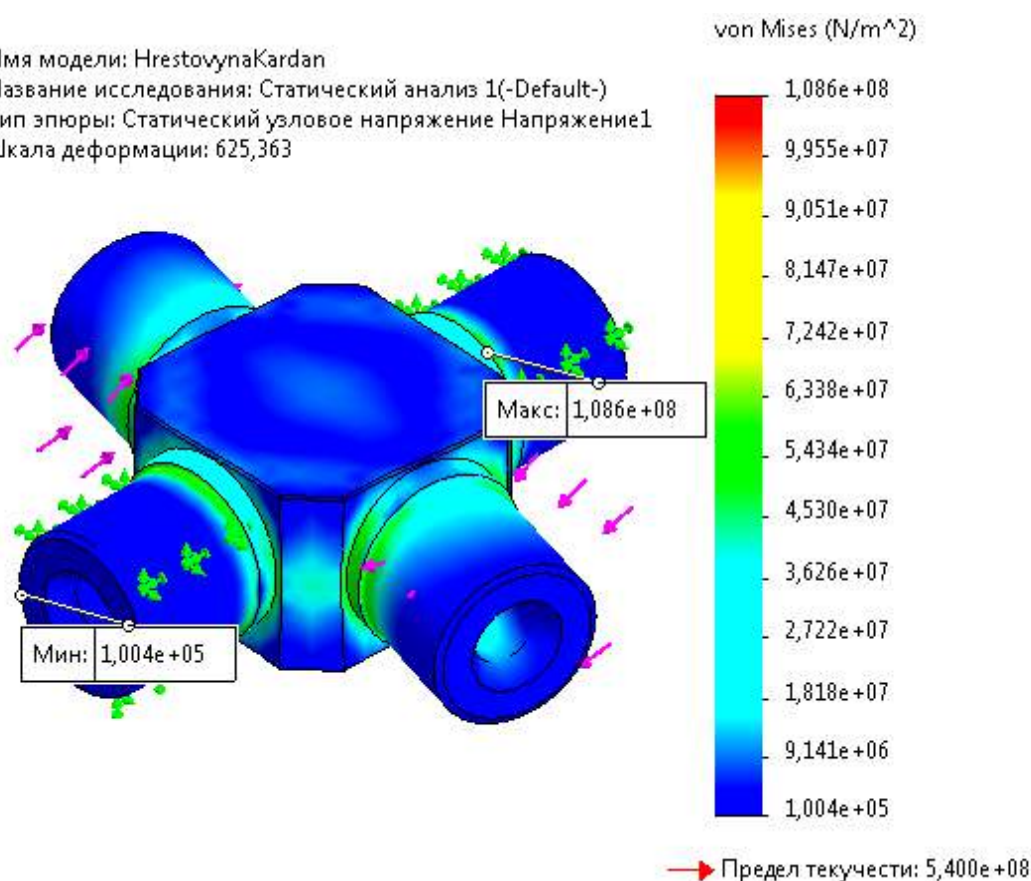


Рисунок 4.24 – Контурний графік сумарних напружень von Mises хрестовини

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

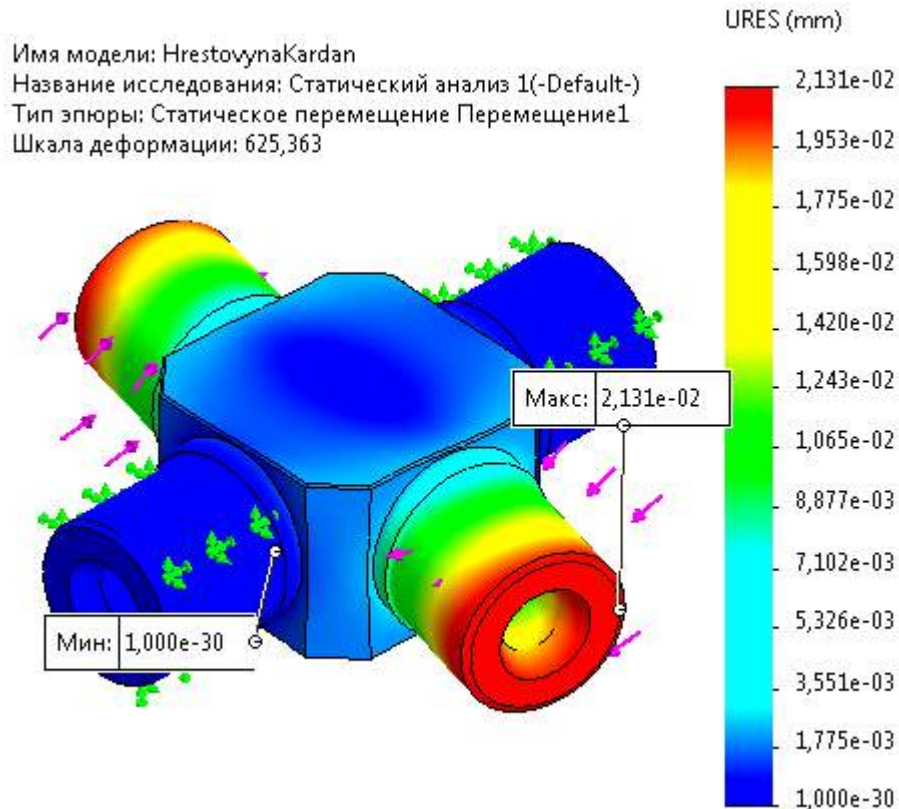


Рисунок 4.25 – Контурний графік сумарних переміщень URES хрестовини

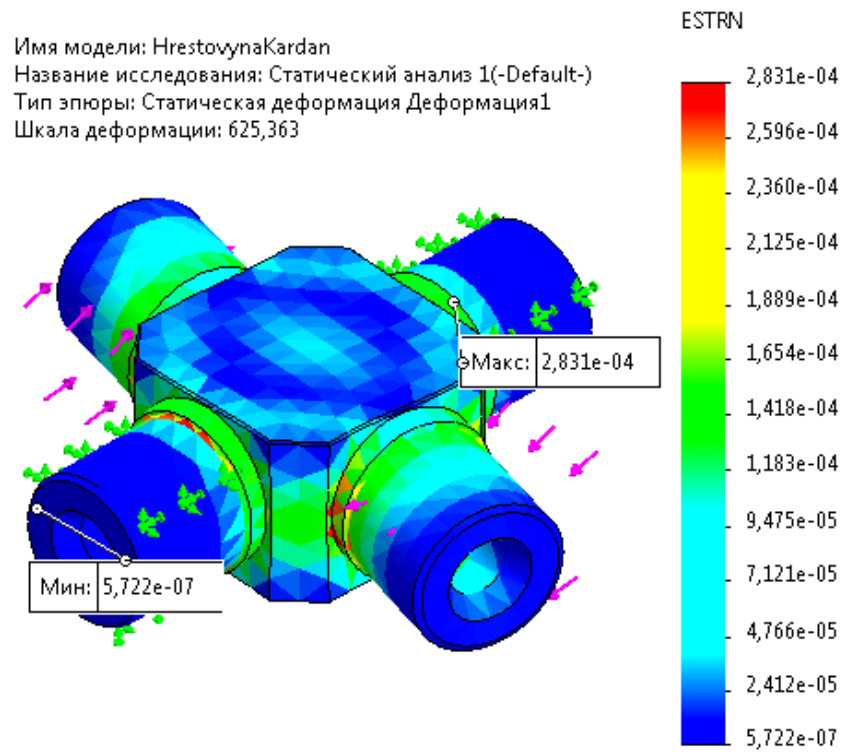


Рисунок 4.26 – Контурний графік сумарних деформацій ESTRN хрестовини

Имя модели: HrestovynaKardan
 Название исследования: Статический анализ 1(-Default-)
 Тип эпюры: Запас прочности Запас прочности1
 Критерий : Авто
 Распределение запаса прочности: Мин. коэффициент запаса прочности = 5

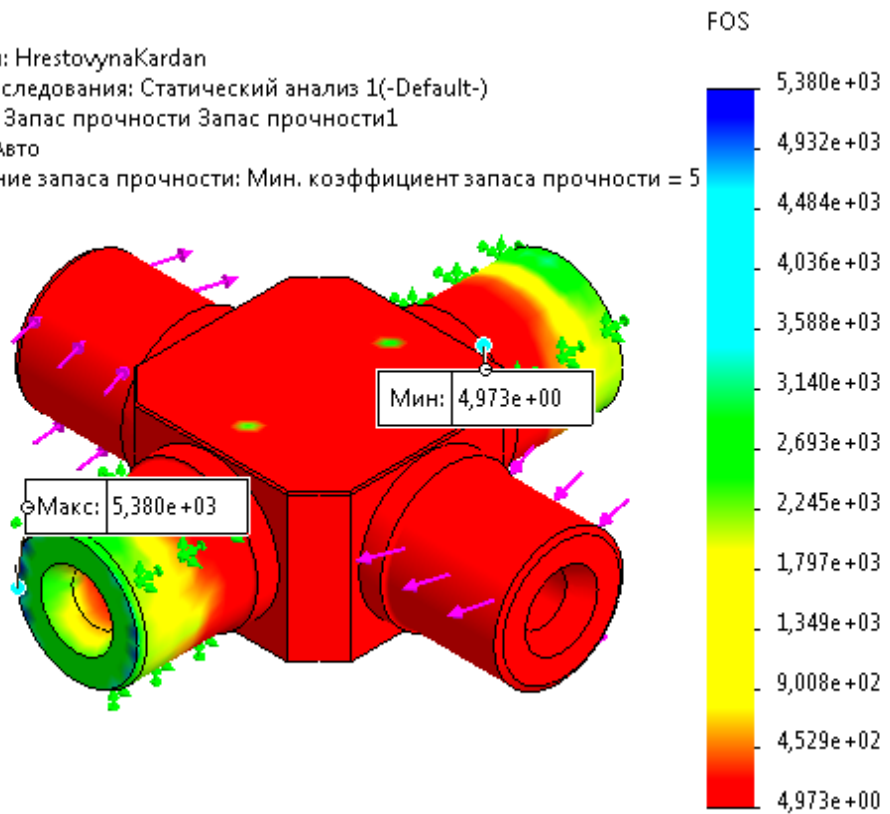


Рисунок 4.27 – Контурний графік запasu міцності FOS хрестовини

4.3 Дослідження шліцевого валу

Для даного дослідження у CAD-системі SW створили геометричну модель шліцевого валу (рис. 4.28), яку потім використали для розрахунків у SWS.



Имя модели: ShlitsValKardana Активная конфигурация: По умолчанию			
Твердые тела			
Имя и ссылки документа	Рассматривается как	Объемные свойства	Путь документа/Дата наименования
Круговой массив1 	Твердое тело	Масса: 7,30277 kg Объем: 0,000936253 m ³ Плотность: 7 800 kg/m ³ Масса: 71,5672 N	D:\ShlitsValKardana.SLDP RT

Рисунок 4.28 – Інформація про модель шліцевого валу

Наступний етап: вибрали з бібліотеки SW аналог матеріалу, з якого виготовлений шліцевий вал – сталь 40X (табл. 2.9, рис. 4.29).

Свойства Таблицы и кривые Внешний вид Штриховка Настройка Данные программного обеспечения

Свойства материала

Материалы в библиотеке по умолчанию не могут редактироваться. Необходимо скопировать материал в настроенную пользователем библиотеку и затем его отредактировать.

Тип модели: **Линейный упругий изотроп** Сохранить тип в библиотеке

Единицы измерения: **СИ - Н/мм² (МПа)**

Категория: **DIN Сталь (Легированная)**

Имя: **1.7036 (28CrS4)**

Критерий разрушения по умолчанию: **Максимальное напряжение**

Ссылка: **28CrS 4**

Источник: **Предел текучести и предел прочности для t <= 16 мм**

Состоятельность: **Определено**

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	210000.0031	Н/мм ²
Коэффициент Пуассона	0,28	Не применимо
Модуль сдвига	79000	Н/мм ²
Массовая плотность	7800	кг/м ³
Предел прочности при растяжении	850	Н/мм ²
Предел прочности при сжатии		Н/мм ²
Предел текучести	650	Н/мм ²
Коэффициент теплового расширения	1,1e-05	/K
Теплопроводность	14	W/(m·K)
Удельная теплоемкость	440	J/(kg·K)

Применить Закрыть Сохранить Конфигурация... Справка

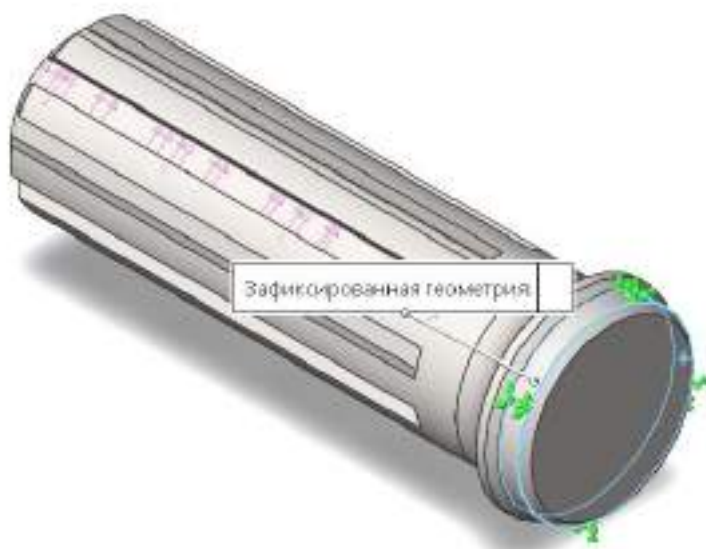
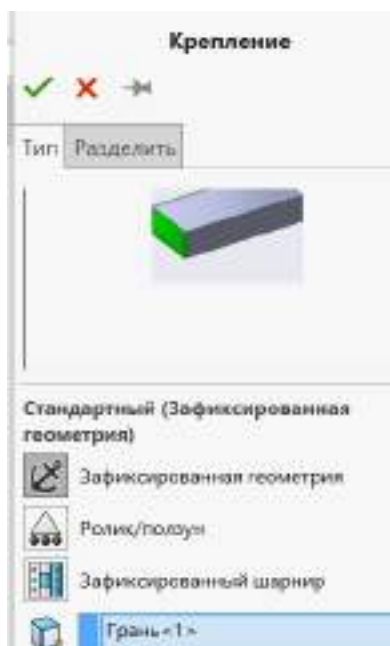
Рисунок 4.29 – Матеріал шліцевого валу

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		


Для проведения статического анализа проведено закрепления модели та прикладені навантаження (рис. 4.30).

Нагрузки и крепления

Имя крепления	Изображение крепления	Данные крепления				
Зафиксированный-1		<table border="1"> <tr> <td>Объекты:</td> <td>1 грани</td> </tr> <tr> <td>Тип:</td> <td>Зафиксированная геометрия</td> </tr> </table>	Объекты:	1 грани	Тип:	Зафиксированная геометрия
Объекты:	1 грани					
Тип:	Зафиксированная геометрия					
Результирующие силы						
Компоненты	X	Y	Z	Результирующая		
Сила реакции(N)	-0,217209	-12 941,1	25 995,4	29 038,5		
Реактивный момент(N.m)	0	0	0	0		



а

Имя нагрузки	Загрузить изображение	Загрузить данные								
Вращающий момент-1		<table border="1"> <tr> <td>Объекты:</td> <td>1 грани</td> </tr> <tr> <td>Справочный:</td> <td>Грань < 1 ></td> </tr> <tr> <td>Тип:</td> <td>Приложить вращающий момент</td> </tr> <tr> <td>Значение:</td> <td>965 N.m</td> </tr> </table>	Объекты:	1 грани	Справочный:	Грань < 1 >	Тип:	Приложить вращающий момент	Значение:	965 N.m
Объекты:	1 грани									
Справочный:	Грань < 1 >									
Тип:	Приложить вращающий момент									
Значение:	965 N.m									

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



б

Рисунок 4.30 – Дефініція опор шліцевого валу (а) та прикладення до нього навантаження (б)

Створення сітки: у нашому дослідженні параметри сітки наведені на рис. 4.31.

Информация о сетке

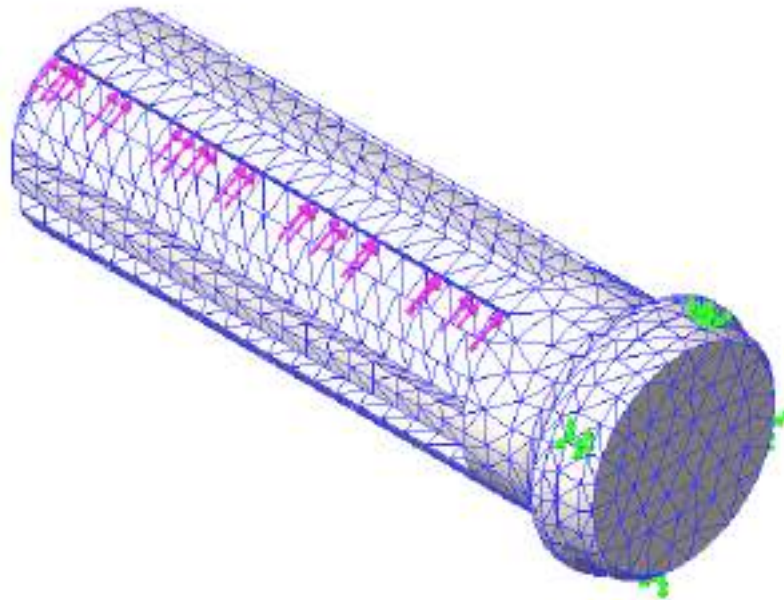
Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение:	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки:	Выкл
Включить автоциклы сетки:	Выкл
Точки Якобиана для сетки высокого качества	4 Точки
Размер элемента	9,7851 mm
Допуск	0,489255 mm
Качество сетки	Высокая

Информация о сетке - Детализация

Всего узлов	14093
Всего элементов	8731
Максимальное соотношение сторон	17,905
% элементов с соотношением сторон < 3	97,6
Процент элементов с соотношением <u>сторон</u> > 10	0,435
Процент искаженных элементов	0
Время для завершения сетки (<u>hh:mm:ss</u>):	00:00:02

а

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



б

Рисунок 4.31 – Параметри сітки (а) та її відображення (б) на моделі шліцевого валу

Розрахунками визначені результуючі сили, які представлені на рис. 4.32.

Результирующие силы

Силы реакции

Выбранный набор	Единицы	Сумма X	Сумма Y	Сумма Z	Результирующая
всей модели	N	-0,217209	-12 941,1	25 995,4	29 038,5

Моменты реакции

Выбранный набор	Единицы	Сумма X	Сумма Y	Сумма Z	Результирующая
всей модели	N,m	0	0	0	0

Силы свободных тел

Выбранный набор	Единицы	Сумма X	Сумма Y	Сумма Z	Результирующая
всей модели	N	0	0	0	0

Моменты свободных тел

Выбранный набор	Единицы	Сумма X	Сумма Y	Сумма Z	Результирующая
всей модели	N,m	0	0	0	0

Рисунок 4.32 – Результирующие силы

Результатом статичного аналізу є епюри напруження, переміщення, деформації, запасу міцності. Встановлено, що вузлові максимальні напруження

Von Mises, переміщення URES і деформація ESTRN для шліцевого валу складають:

- Von Mises: $\sigma = 2,209e+08$ МПа (вузол 13860) – рис. 4.33;
 - URES: $h = 0,2814$ мм (вузол 305) – рис. 4.34;
 - ESTRN: $\delta = 0,0008976$ (вузол 13860) – рис. 4.35,
- тобто не перевищують допустимих значень.

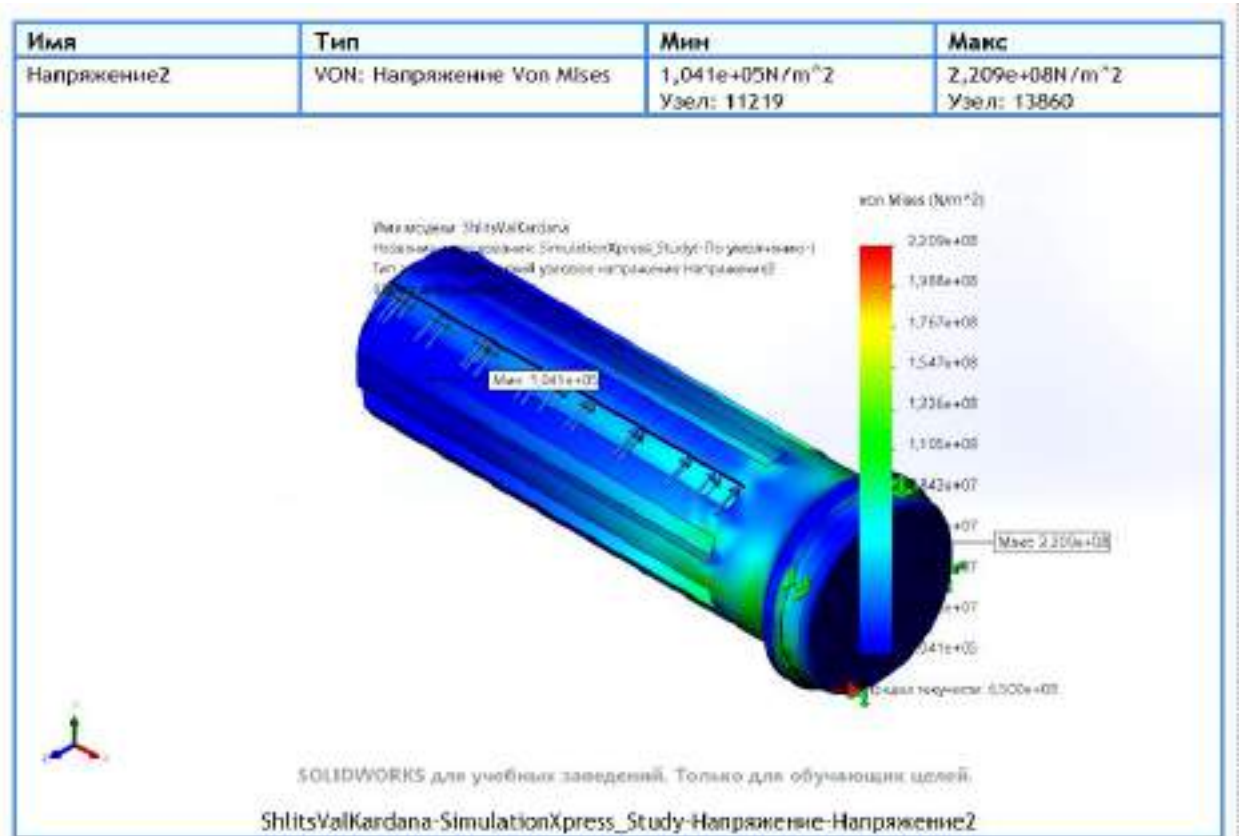


Рисунок 4.33 – Контурний графік сумарних напружень von Mises для шліцевого валу

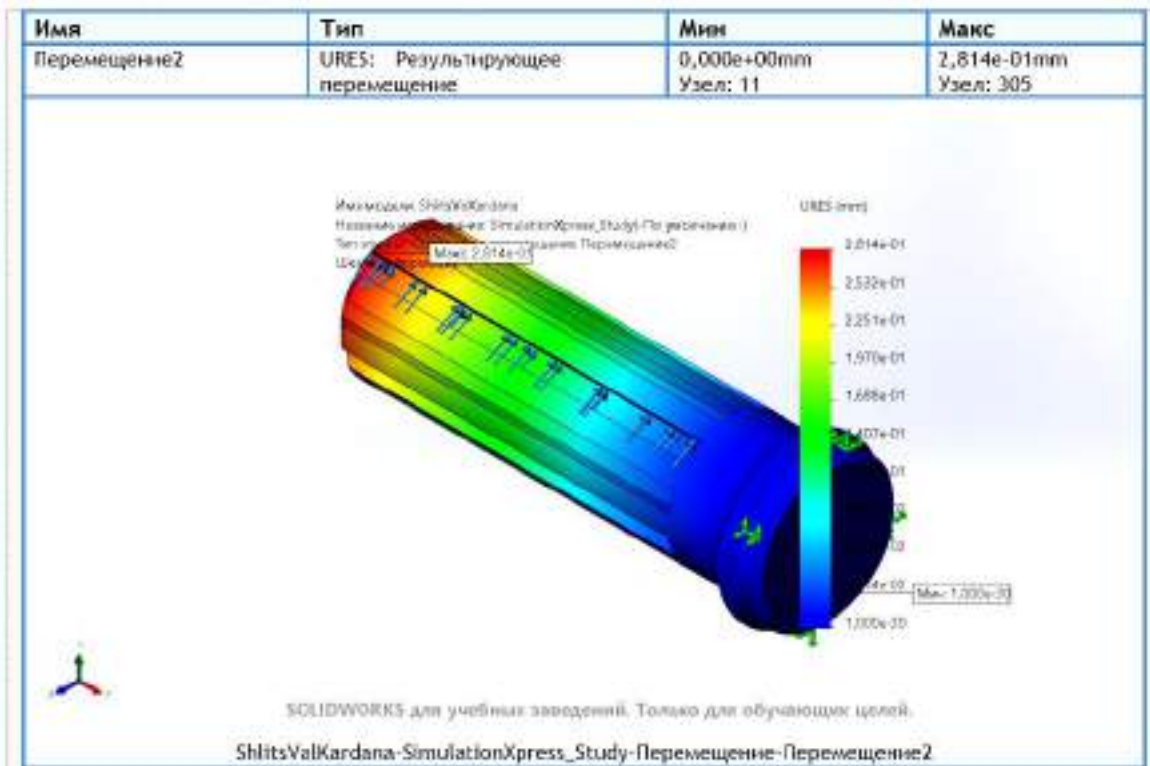


Рисунок 4.34 – Контурний графік сумарних переміщень URES для шліцевого валу

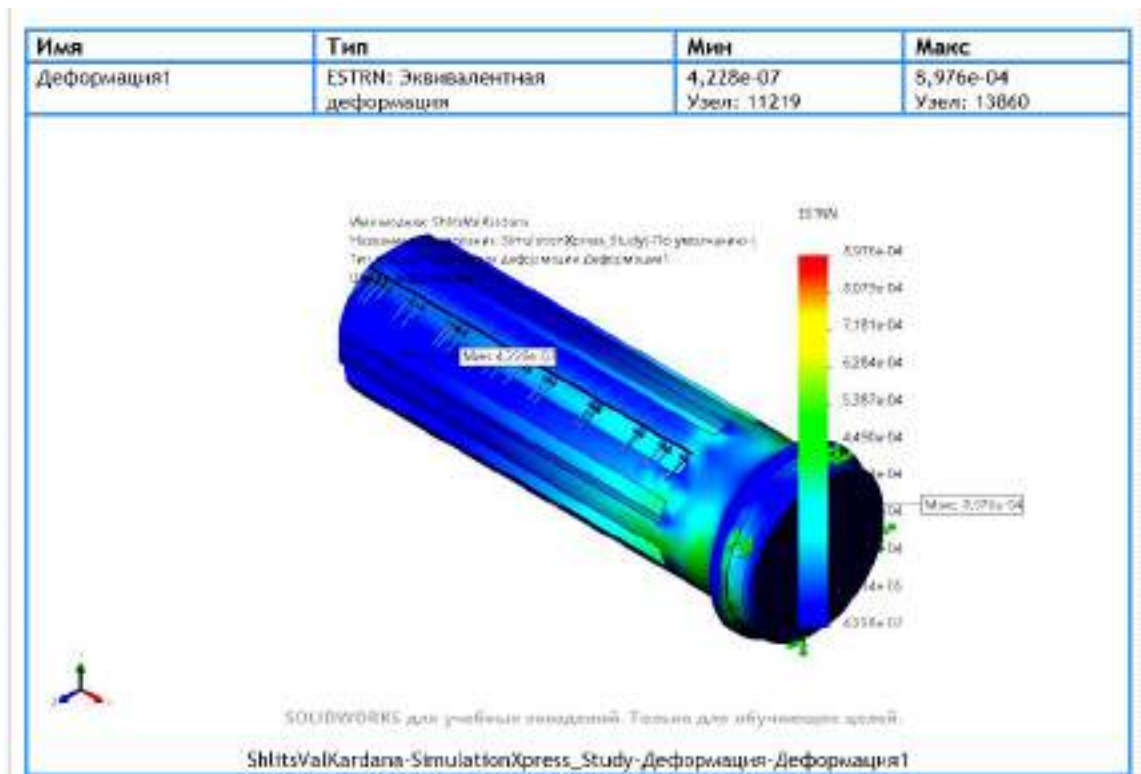


Рисунок 4.35 – Контурний графік еквівалентних деформацій ESTRN шліцевого валу

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Розрахунками встановлений мінімальний запас міцності $n = 2,943$ (вузол 13860) – рис. 4.36. Так як запас міцності перевищує допустимий ($n > [n] = 1,5$), то шліцевий вал працездатний.

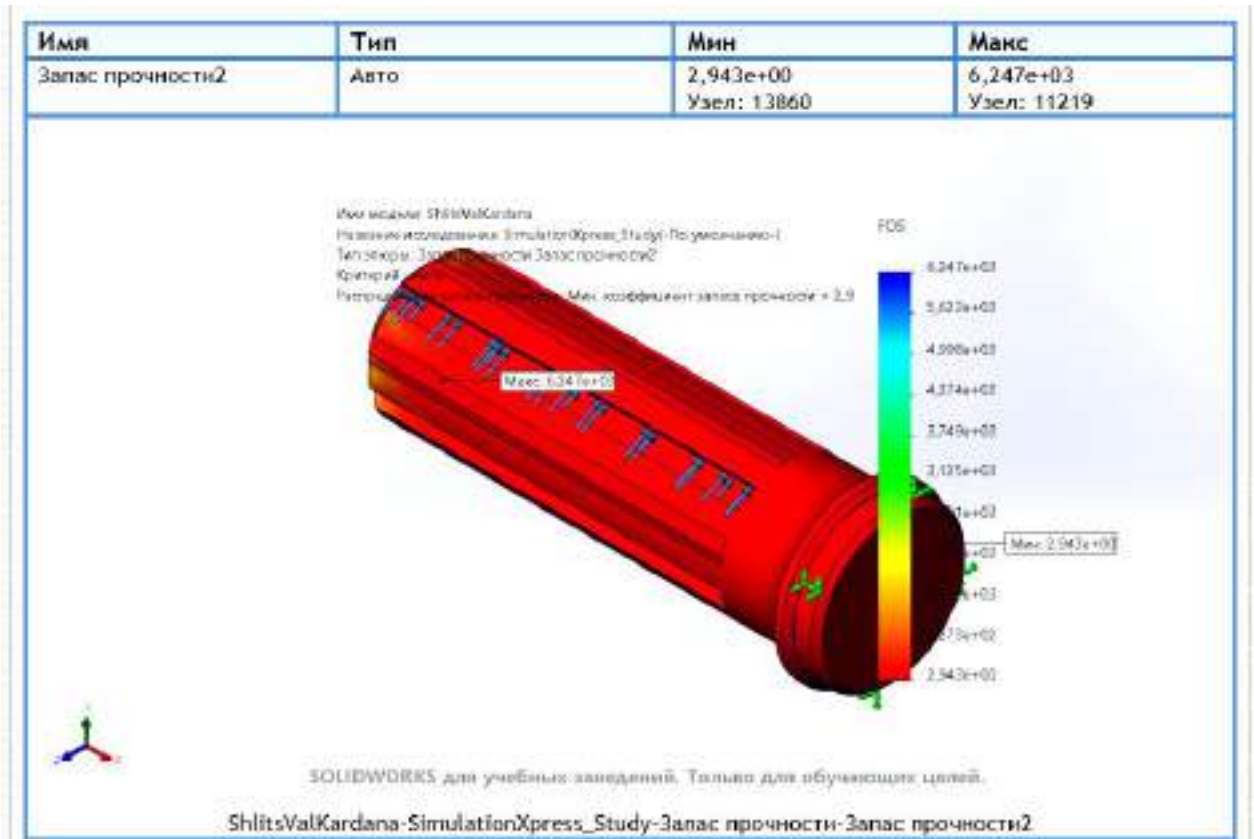


Рисунок 4.36 – Контурный график запаса міцності FOS для шліцевого валу

4.4 Моделирование напряжено-деформованного стану труби карданного валу

Для данного дослідження у CAD-системі SW створили геометричну модель шліцевого валу, яку потім використали для розрахунків у SWS.

У наступному етапі вибрали з бібліотеки SW аналог матеріалу, з якого виготовлена труба карданного валу – сталь 20 (табл. 2.11, рис. 4.37).

Свойства материала

Материалы в библиотеке по умолчанию не могут редактироваться. Необходимо скопировать материал в настроенную пользователем библиотеку и затем его отредактировать.

Тип материала:

Единицы измерения:

Категория:

Имя:

Критерий разрушения по растяжению:

Степень:

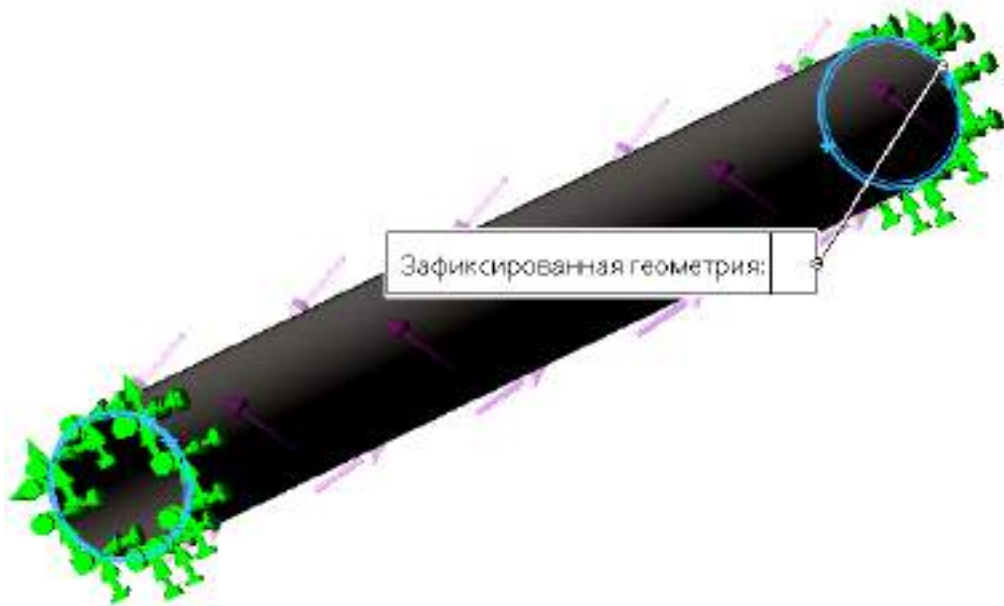
Источники:

Вычислено:

Свойство	Значение	Единица измерения
Модуль упругости	200000	Н/мм ²
Коэффициент Пуассона	0,29	Не применимо
Модуль сдвига	77000	Н/мм ²
Массовая плотность	7900	кг/м ³
Предел прочности при растяжении	420,507	Н/мм ²
Предел прочности при сжатии		Н/мм ²
Предел текучести	351,571	Н/мм ²
Коэффициент теплового расширения	1,5e-05	1/К
Теплопроводность	47	Вт/м К
Удельная теплоемкость	420	Дж/кг К

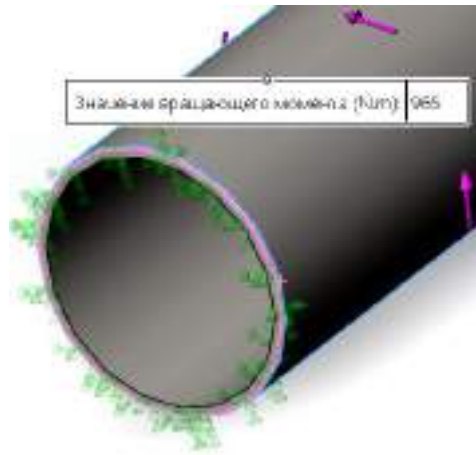
Рисунок 4.37 – Материал трубы карданного вала

Для проведения статического анализа проведено закрѣплення моделі та прикладені навантаження (рис. 4.38).



а

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



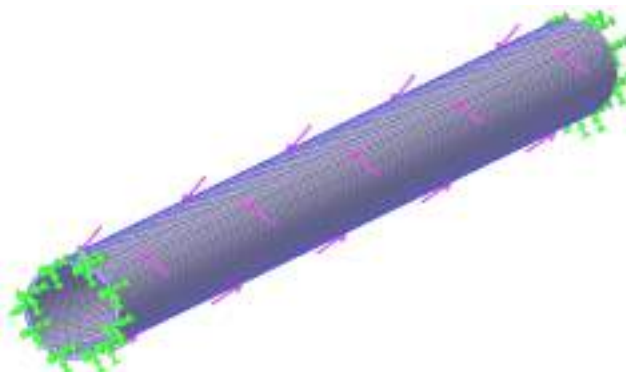
б

Рисунок 4.38 – Закріплення опор труби карданного валу (а) та прикладення до неї навантаження (б)

Створення сітки (рис. 4.39).

Сетка Детализация	
Имя исследования	Статическая 1" [-По умолчанию-]
Детализация Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение	Сетка на основе смешанной кризисной
Точки Якобиана для сетки высокого качества	4 точки
Макс. размер элемента	16.2972 mm
Мин. размер элемента	16.2972 mm
Качество сетки	Высокая
Всего узлов	17955
Всего элементов	8802
Максимальное соотношение сторон	37.667
Процент элементов с соотношением сторон < 3	11.2
Процент элементов с соотношением сторон > 10	1.17
Процент искаженных элементов	0.182
Число искаженных элементов	16
Время для завершения сетки (hh:mm:ss)	00:00:13

а



б

Рисунок 4.39 – Параметры сетки (а) та її відображення (б) на моделі труби карданного валу

Результатом статичного аналізу є епюри напруження, переміщення, деформації, запасу міцності (рис. 4.40 – 4.43), які не перевищують допустимих значень.

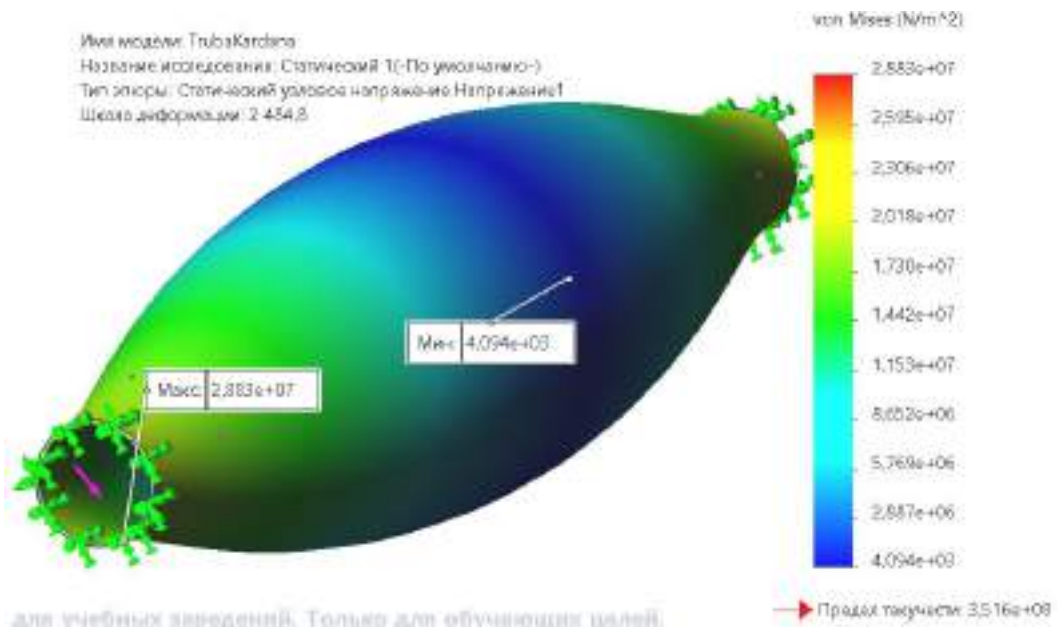


Рисунок 4.40 – Контурний графік сумарних напружень von Mises для труби карданного валу

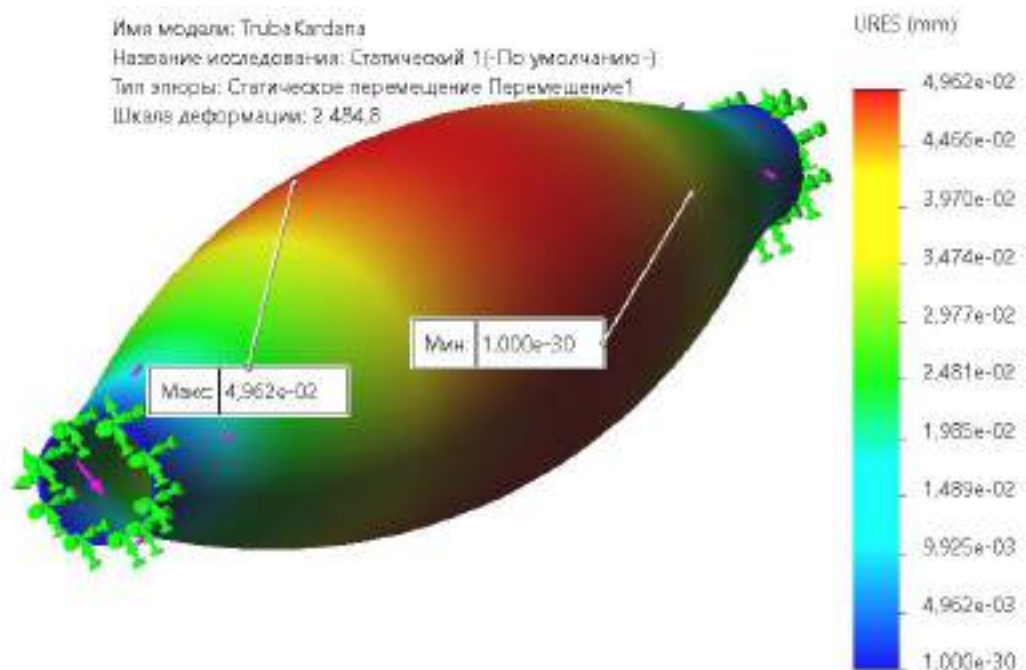


Рисунок 4.41 – Контурний графік сумарних переміщень URES для труби карданного валу

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

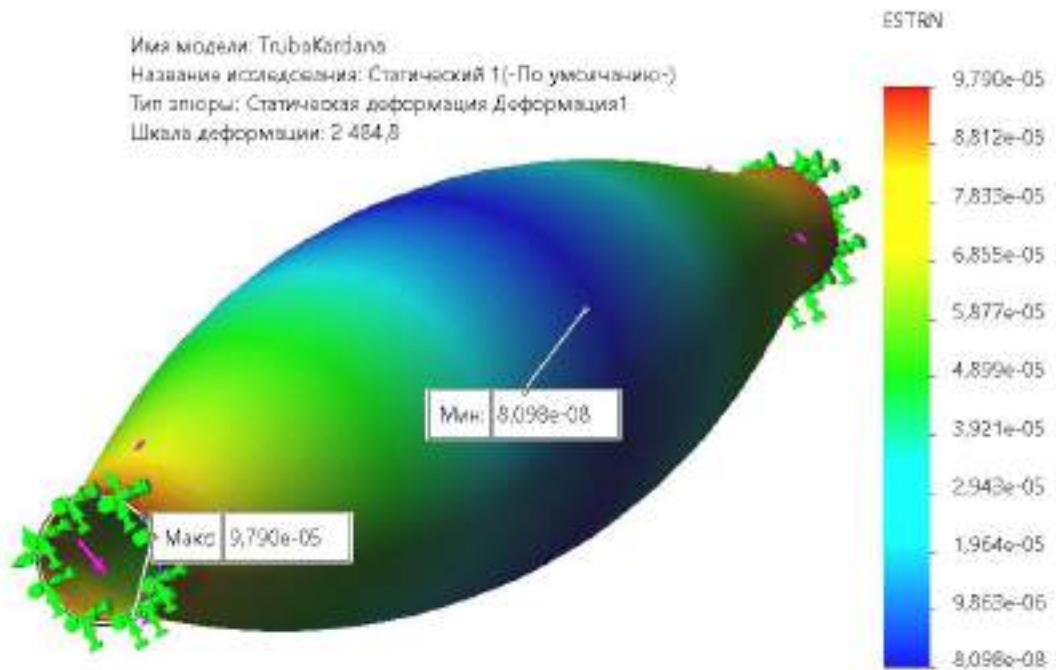


Рисунок 4.42 – Контурний графік еквівалентних деформацій ESTRN труби карданного валу

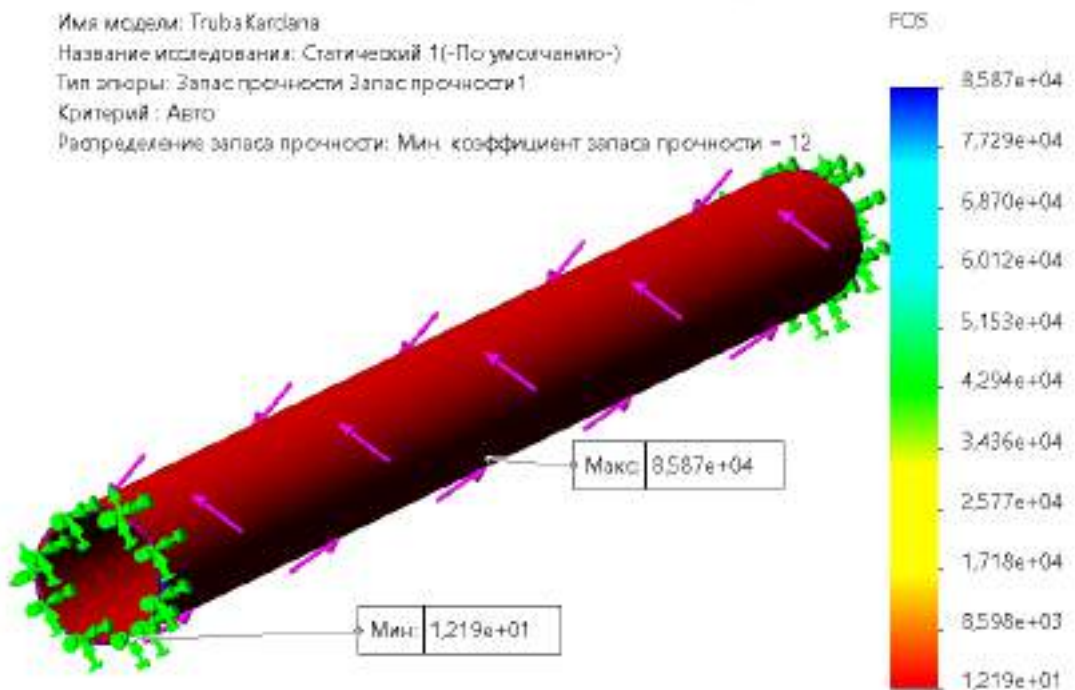


Рисунок 4.43 – Контурний графік запасу міцності FOS для шліцевого валу

Так як запас міцності ($n = 12,19$) перевищує допустимий ($[n] = 1,5$), то труба карданного валу працездатна.

Встановлені розрахунками мінімальні запаси міцності досліджених деталей наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Встановлені розрахунками мінімальні запаси міцності досліджуваних деталей

Фланець	Хрестовина	Шліцевий вал	Труба
2,3	4,973	2,943	12,19

Так як запаси міцності усіх досліджених деталей перевищує допустимий ($[n] = 1,5$), то вони працездатні.

Таким чином, за допомогою CAD-системи SW та її додатку – CAE-системи SWS доведена працездатність розглянутих деталей карданного валу.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Наведені загальні відомості, технічні особливості та ремонт карданної передачі, технічне обслуговування автомобіля МАЗ-5336.

Здійснений вибір матеріалів деталей карданного валу з призначенням режимів їх термічної обробки:

– для фланця кардана (сталь 40) – гартування 850 °С, вода; відпуск 400 °С, повітря;

– для шліцевого валу (сталь 40Х) – гартування 860 °С, масло; відпуск 580 °С, вода;

– для труби карданного валу (сталь 20) – нормалізація 890 °С; витримка 15 хв.; охолодження на повітрі.

Наведена методика цементації хрестовини карданного валу, виготовленої зі сталі 12ХНЗА, у кип'ячому шарі. Визначили:

– розподіл вмісту вуглецю в цементованому шарі;
– кількість залишкового аустеніту;
– структуру після гартування (цементований шар складається з мілкоголчастого мартенситу, карбідів і залишкового аустеніту, а серцевина – з перліту і фериту).

Проведено порівняння результатів випробувань цементованої сталі 12ХНЗА на зносостійкість, статичну міцність при розтягуванні та втомі після цементації і наступної термообробки в киплячому шарі. За результатами вказаних випробувань рекомендований оптимальний режим цементації та наступної термообробки хрестовини. При цьому глибина цементованого шару складає $h = (1,1-1,4)$ мм; поверхнева концентрація вуглецю (з урахуванням його перерозподілу при охолодженні та високому відпуску) складає $(0,9-1,0) \%C$; твердість поверхні 60-62 HRC.

Представлений розрахунок навантажень, діючих на деталі карданного валу. На базі їх твердотільних моделей, побудованих у САD-модулі SolidWorks, проведені розрахунки напружено-деформованих станів з використанням

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						86
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

SolidWorks Simulation. Отримані результати дозволили дати оцінку відповідним міцнісним характеристикам.

Так як запаси міцності усіх досліджених деталей перевищує допустимий, то вони працездатні: працездатність розглянутих деталей карданного валу доведена.

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						87
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Карданна передача [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Карданная_передача
2. Карданна передача МАЗ — призначення й особливості [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.mazik.by/news/kardannaya_peredacha_maz_-_naznachenie_i_osobennosti.html
3. Карданна передача МАЗ — призначення та будова [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mazprice.ru/blog/kardannaja-peredacha-naznachenie-i-ustrojstvo/>
4. Карданна передача МАЗ – поради з обслуговування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mazprice.ru/blog/kardannaya-peredacha-maz-remont-i-obslyzhivanie/>
5. Автомобілі МАЗ-631705, 631708, 642505, 642508, 531605. Керівництво з експлуатації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://maz.by/global/Сервисный%20центр/Информация%20для%20потребителя/Руководства%20по%20эксплуатации%20автомобилей%20МАЗ/631705-3902002%20РЭ-2020.pdf>
6. Фланець МАЗ для карданного валу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mazprice.ru/blog/flanets-maz-dlya-kardannogo-vala/>
7. Карданний вал МАЗ – як вибрати? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mazprice.ru/blog/kardannyj-val-maz/>
8. Хрестовина карданного валу МАЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mazprice.ru/blog/krestovina-kardannogo-vala-maz/>
9. Технічне обслуговування МАЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mazprice.ru/blog/tehicheskoe-obslyzhivanie-maz/>
10. Щоденне обслуговування МАЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mazprice.ru/blog/ezhednevnoe-obslyzhivanie-maz/>
11. Перше технічне обслуговування МАЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mazprice.ru/blog/tehicheskoe-obslyzhivanie-maz-to-1/>

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						88
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Друге технічне обслуговування МАЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mazprice.ru/blog/vtoroe-tehnicheskoe-obsluzhivanie-maz/>

13. Карданна передача автомобілів МАЗ-5551, 5549, МАЗ-5335, 5336, 5337 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://atxp.org/index.php?option=com_content&view=article&id=770:----5551-5549--5335-5336-5337-sp-2008457502&catid=100&Itemid=101

14. Заміна вилки на карданному валу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016018598>

15. Матеріалознавство: лабораторний практикум для студентів матеріалознавчих, машинобудівних та металургійних спеціальностей усіх рівнів освіти / за ред. проф. Соболя О.В. та доц. Павлюченка О.О. – Х. : НТУ «ХП», 2015. – 544 с.

16. Сталь марки 40 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://metallichekiy-portal.ru/marki_metallov/stk/40

17. Сталь 40 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/40>

18. Сталь марки 12ХН3А [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://metallichekiy-portal.ru/marki_metallov/stk/12ХН3А

19. Сталь 12ХН3А конструкційна легована хромо-нікелева [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://enginiger.ru/materials/legirovannaya/stal-12hn3a-konstruktsionnaya-legirovannaya-hromo-nikelevaya/>

20. Сталь марки 40Х [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://metallichekiy-portal.ru/marki_metallov/stk/40X

21. Сталь 40Х [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/40X>

22. Марка сталі 20 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://metallichekiy-portal.ru/marki_metallov/stk/20

23. Сталь 20 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/20>

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						89
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

24. МАЗ 5336 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://traktorbook.com/maz-5336/>

25. Коробка передач КПП МАЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://specagro.com.ua/ua/p46101104-korobka-peredach-kpp.html>

26. Роздавальна коробка МАЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://bmd.by/category/18-korobka-razdatochnaya.html>

27. МАЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://shassi.maz.ru.com/katalog/maz-6317f9-584-001/>

28. Ворощук В.Я. SolidWorks у завданнях 3D моделювання та інжинірингу технічних систем. Навч. посібник / В.Я. Ворощук, Т.М. Вітенько. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. – 164 с.

29. Матеріали й типові режими термообробки для основних деталей трансмісії [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://www.prk.kuzstu.ru/sveden/education/vo/mu/MU%2023.03.03%20OO/Materiali%20v%20avtomobilestroenii/1670.pdf>

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						90
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатки

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						91
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наукові праці

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						92
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Rudyk O. Yu. The use of innovative technologies as a means of enhancing student learning / O. Yu. Rudyk, V. V. Korzun, A. A. Antonov // Ресурсно-орієнтоване навчання в «3D»: доступність, діалог, динаміка: збірник тез доповідей III Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Полтава, 22–23 лютого 2023 року). – Полтава: ПУЕТ, 2023. – С. 1068-1073. – URL: <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1Gk3VNSHVXbcOSChIO00Ln4ujg1VUt-HQ>



Figure 4 – The results of the calculation of the bearing support for strength: a – Von Mises stress; b – the resulting displacement of URES

Competency-oriented problems were considered as a separate type of training problems (their results of solving are associated with subject activity) on the example of designing a bearing puller from a shaft-bear (fig. 5, a) followed by a static calculation of the power screw (fig. 5, b).



Figure 5 – Geometric a model of the bearing puller (a) and resulting amplitude and safety margin with loss of stability (b)

The authors [2] designed a screw puller of ball radial single-row bearings of the crankshaft (fig. 6, a) followed by the use of SW Simulation for calculations on the static strength of the collar (fig. 6, b).



Figure 6 – Screw puller of bearings from crankshaft (a) and equal distribution of total stresses von Mises tau_mga (b)

- © ПУЕТ -

1071

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

Rudyk O. Yu. Project development and performance study of the repair stand for reducers of rear axles of cars using SolidWorks / O. Yu. Rudyk, V. V. Korzun, A. A. Antonov, V. V. Nechyporov // Scientific research in the modern world. Proceedings of XI International Scientific and Practical Conference. – Toronto, Canada. 24-26 August 2023. – Pp. 126-134. – URL: <https://sci-conf.com.ua/xi-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-scientific-research-in-the-modern-world-24-26-08-2023-toronto-kanada-arhiv/>

SCIENTIFIC RESEARCH IN THE MODERN WORLD

Proceedings of XI International Scientific and Practical Conference
Toronto, Canada
24-26 August 2023

Toronto, Canada
2023

1

This construction, a stand for repairing reducers of rear axles of cars was developed (fig. 1).

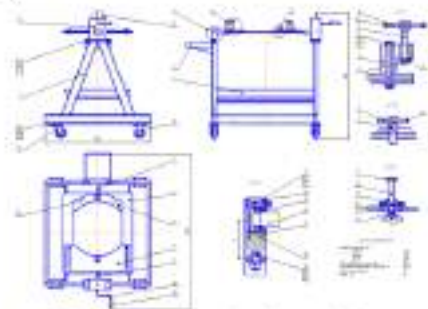


Fig. 1. Stand for repairing reducers of rear axles of cars

This stand is intended for more and more convenient disassembly and assembly of reducers of rear axles of cars into assemblies and parts. Compared with a rack for disassembly and assembly, the mechanization and automation of the process increases, the work becomes easier, and the convenience and quality of such repairs increases.

The need to introduce complex equipment into production in a short period of time leads to the creation of automated design systems. Through calculation plays an important role in these systems.

Nowadays, CAD/CAM systems are increasingly used in the educational process of engineering universities. They provide a quick and accurate solution of technical problems in three-dimensional space on a computer. The fact is that the methods of three-dimensional modeling (solid, surface, hybrid) implemented by modern CAD/CAM systems fundamentally change the methodology of design and production.

121



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ

Арк.

94

Графічне забезпечення дипломної роботи

					ДРМТВАТАМ 2219066.000 ПЗ	Арк.
						95
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

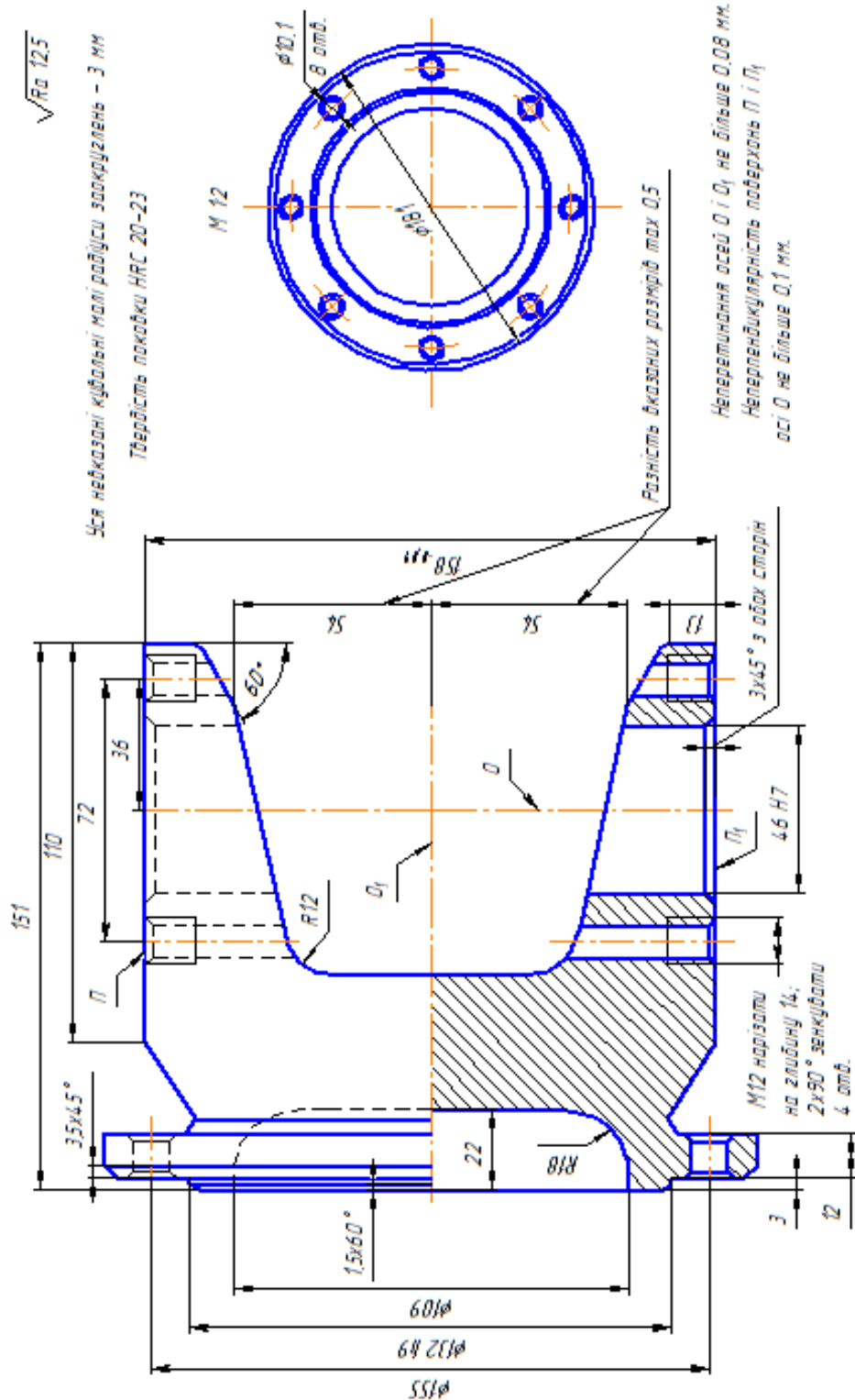


Рисунок Б1 – Фланець кардана (Compas-3D)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

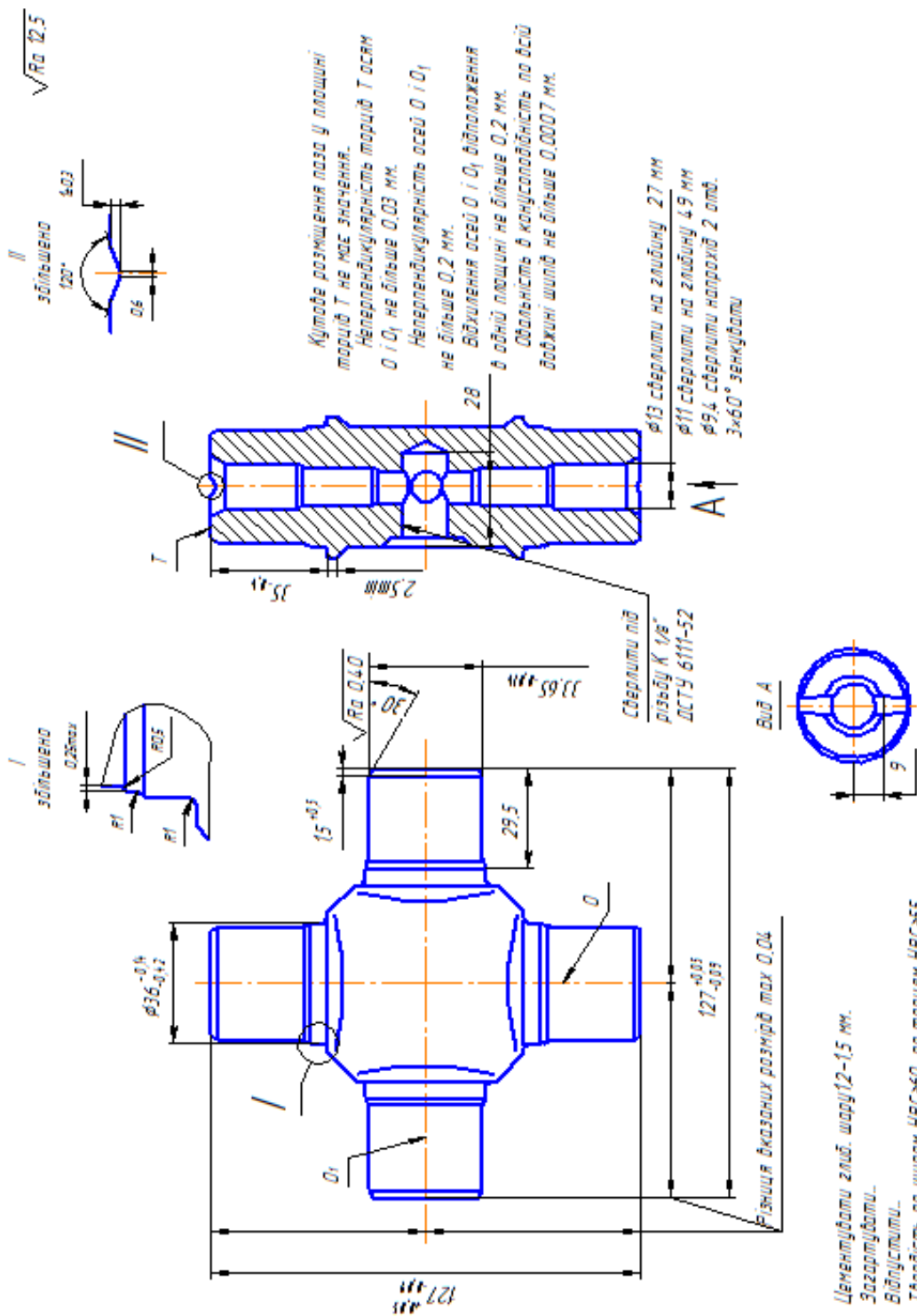
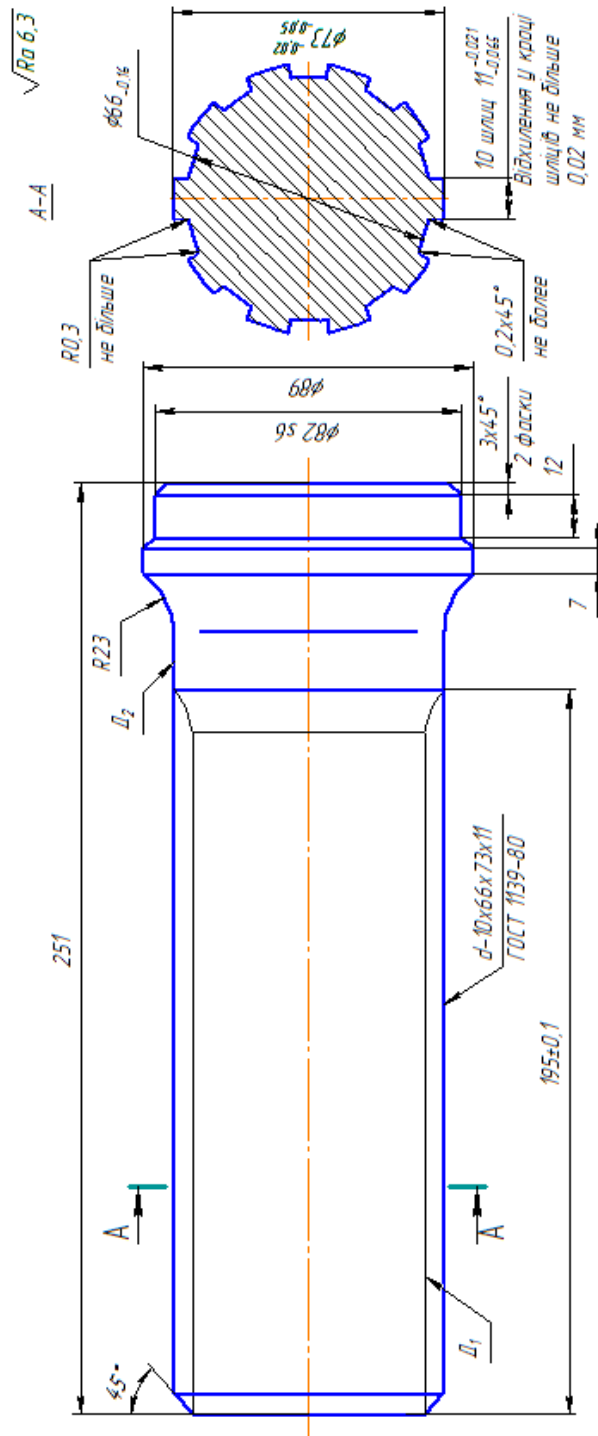


Рисунок Б2 – Хрестовина карданного валу (Compas-3D)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

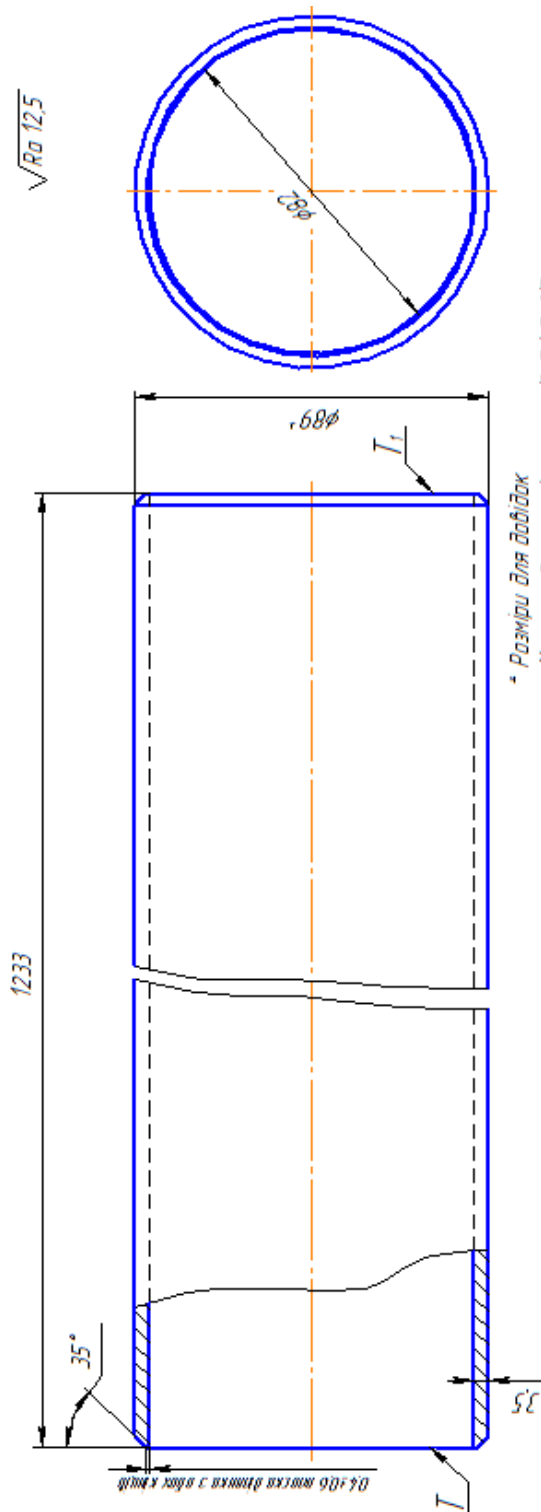


Поверхнєвє гартування С. в. ч. на усїй довжинї.
Глибина загартованого шару по стержню 2-4 мм, по шлицям 5-8 мм.
Твердїсть HRC 42-56.

Взаємне дїття поверхнь D_1 і D_2 0,03 мм, не дїльше.
На поверхнї D_2 слїди вїд виходу інструменту недопустимї.

Рисунок Б3 – Вал шлицевий карданного валу (Compas-3D)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



* Розміри для довідок
 Неперпендикулярність торців T_1 і T_2 відносно осі труби не більше 0,15 мм.
 Білота труби не повинно перевищувати величини 0,12 мм при встановці по кінцям труби; білота повинна бути однаковою по усій довжині труби.

Рисунок Б4 – Труба карданного валу (Comras-3D)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата