

ПІДГОТОВКА ВИСОКОКВАЛІФІКОВАНИХ ФАХІВЦІВ АВТОМОБІЛЕБУДУВАННЯ НА БАЗІ ЗАСТОСУВАННЯ SOLIDWORKS

Розглядається застосування SolidWorks Simulation для міцнісного вал-шестерні заднього моста автомобіля УАЗ-31512: При аналізі результатів моделювання встановлено, що мінімальний коефіцієнт запасу міцності вал-шестерні, виготовленої зі сталі 18ХГТ, більше допустимого. Тому метою роботи ставилось можливість заміни даного матеріалу на доступніший у ремонтних майстернях – сталь 15. Повторними розрахунками встановлено, що заміна матеріалу є можливою. Для зміцнення місць вал-шестерні з концентрацією напружень використано їх зондування у критичних точках.

Ключові слова: SolidWorks Simulation, задній міст автомобіля, вал-шестерня, заміна матеріалу, зондування.

The application of SolidWorks Simulation is considered for the UAZ-31512 back bridge shaft-gear: In the analysis of the simulation results it is found that the minimum safety factor of the shaft-gear made of 18XGT steel is more permissible. Therefore, the purpose of the work was to replace this material with more available in repair shops - steel 15. Repeated calculations found that the replacement of the material is possible. For strengthening of places of cog-wheel of billow with the concentration of tensions their probing is used in critical points.

Key words: SolidWorks Simulation, durability, back bridge, shaft-gear, replacement of the material, tensions.

Підготовка кваліфікованих кадрів, які повною мірою володіють професійними компетенціями, є визначальною умовою соціально-культурного розвитку країни. Автомобілебудування є однією з основних галузей будь-якої країни, так як воно забезпечує виробництво автомобільної техніки, а населення – предметами вжитку. Сьогодні неможливо уявити собі сферу людського життя, в якій не використовувалася б продукція автомобілебудування.

На сучасному ринку праці в умовах безперервної модернізації виробництва найважливішими якостями спеціаліста стають ініціативність, здатність творчо мислити та знаходити правильні рішення у нестандартних ситуаціях. Роботодавці зацікавлені не тільки у професійній компетентності випускників, але і в їх комунікативності та рівні технічної культури. Крім того, сучасний кваліфікований спеціаліст повинен не тільки володіти певним набором знань і навичок, але й уміти орієнтуватися у нестандартних виробничих ситуаціях і знаходити нові, нетипові виробничі рішення [1].

Однією з найважливіших задач сучасного суспільства в області прикладної науки є створення умов для проведення досліджень, які мають практичну спрямованість і забезпечують умови для якнайшвидшої комерціалізації отриманих результатів, що призводить в остаточному підсумку до розширення й насиченню ринку новими та якісними продуктами й послугами. Цим пояснюється інтерес до комп'ютерних технологій, які розглядаються як інструмент, що сприяє підйому й розвитку промисловості й економіки, підвищенню конкурентоспроможності продукції.

Комп'ютерні технології (КТ – або їх ще називають «Cals-Технології» – Continuous Acquisition and Life cycle Support) – поняття, що розбудовується, яке визначає сучасну методологію, побудовану на основі новітніх інформаційних технологій і строгого проходження міжнародним стандартам в області спільного використання й обміну інформацією. Новизна підходу полягає в комплексному охопті задач інформаційної інтеграції процесів на всіх стадіях та етапах життєвого циклу продукції, включаючи наукові дослідження, проектування, логістику, поставку продукції споживачеві та її післяпродажне обслуговування.

Передумови розвитку КТ – розвиток програмного забезпечення й швидкодія засобів обчислювальної техніки. Подальший розвиток КТ характеризується децентралізацією обчислювальних потужностей. При цьому за центральним пристроєм зберігаються тільки певні функції, пов'язані з контролем роботи системи, з розмежуванням функцій, зі зберіганням даних.

Така архітектура систем вимагає швидкодіючих пристроїв для передачі даних. З погляду використання програмного забезпечення (ПО) зберігається тенденція до використання більш складних структур (системи твердотілого й поверхневого моделювання). Основні переваги використання комп'ютерного моделювання у виробництві: швидше виконання креслень і підвищення точності та якості їх виконання; можливість багаторазового використання креслення; використання

спеціальних креслярських засобів; прискорення розрахунків і високий рівень проектування. Потужні математичні засоби комп'ютерного моделювання (метод скінченних елементів – МСЕ) дозволяють з більшою точністю моделювати складні геометричні форми й хід технологічних процесів.

Вирішення проблем автоматизації проектування за допомогою електронно-обчислювальних машин ґрунтується на системному підході, тобто на створенні й впровадженні САПР — систем автоматизованого проектування технічних об'єктів, які вирішують увесь комплекс задач від аналізу завдання до розробки повного обсягу конструкторської й технологічної документації.

Терміном САПР ТП позначають проектування технологічних процесів, використовуючи засоби машинної графіки, з установленням спеціального ПО, необхідного для розв'язку аналітичних, кваліфікаційних, економічних, ергономічних, проектних задач.

Потужні засоби комп'ютерного моделювання (МСЕ) звільняє конструктора від використання традиційних формул і дозволяє проектувати нестандартні геометричні форми. Ці форми можна швидко модифікувати й оптимізувати, що дозволяє знизити загальні витрати на проектування.

В останні десятиліття в автомобілебудуванні визначальними вимогами стали висока якість та оперативне відновлення номенклатури виробів, виконання яких було б неможливо без впровадження CAD/CAM/CAE технологій (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing/Computer Aided Engineerin) – систем автоматизованого проектування виробів, технологій їх обробки та інженерного аналізу.

Один з оптимальних різновидів САПР – SolidWorks [2], що базується на параметричній об'єктно-орієнтованій методології й дозволяє отримати 3D-модель з 2D-ескізу. Одним з CAE-додатків цієї САПР є SolidWorks Simulation [3], який дозволяє проводити розрахунки на міцність деталей і складань, критичних сил і форм втрати стійкості, складань з використанням контактних елементів; лінійний статичний, частотний, тепловий, спільний термостатичний аналізи; визначення власних форм і частот; нелінійні розрахунки; оптимізацію конструкції тощо. Так, досвід використання САПР в автомобільній промисловості дозволив скоротити витрати часу на розробку нових моделей автомобілів на 50 % [4].

Як приклад, за допомогою SolidWorks Simulation в [5] проведений статичний аналіз вал-шестерні заднього моста автомобіля УАЗ-31512. З бібліотеки SolidWorks вибрано сталь DIN 1.7147 (20MnCr5 – аналог сталі 18ХГТ ГОСТ 4543-71, з якої виготовлена вал-шестерня). При аналізі результатів моделювання встановлено, що мінімальний коефіцієнт запасу міцності вал-шестерні знаходиться у вузлі 26085 і становить $n_{\min} = 3.02082$, що більше допустимого $[n] = 1.5$. Тому метою роботи ставилось можливість заміни даного матеріалу на доступніший у ремонтних майстернях – сталь 15 (DIN 1.0401 – рис. 1).

Свойства Таблицы и кривые Внешний вид Штриховка Настройка Данные программ

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

Тип модели: Сохранить тип в библиотеке
Линейный упругий изотр

Единицы измерения: Метрическая (MKS)

Категория: DIN Сталь (Легированная)

Имя: 1.7147 (20MnCr5)

Критерий разрушения по умолчанию: Максимальное напряжение

Описание: 20MnCr 5

Источник: Предел текучести и предел прочности для $t <= 1$

Sustainability: Определено

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	2141391.032	кгс/см ²
Коэффициент Пуассона	0.28	Не применимо
Модуль сдвига	805570.9	кгс/см ²
Массовая плотность	0.0078	кг/см ³
Предел прочности при растяжении	11225.23264	кгс/см ²
Предел прочности при сжатии		кгс/см ²
Предел текучести	7647.825	кгс/см ²
Коэффициент теплового расширения	1.1e-05	/°C
Теплопроводность	0.0334608	калория/(см·сек·°C)

а

Свойства Таблицы и кривые Внешний вид Штриховка Настройка Данные программ

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

Тип модели: Сохранить тип в библиотеке
Линейный упругий изотр

Единицы измерения: Метрическая (MKS)

Категория: DIN Сталь (Нелегированная)

Имя: 1.0401 (C15)

Критерий разрушения по умолчанию: Максимальное напряжение

Описание: C15

Источник: Предел текучести и предел прочности для $5 < t <= 10$

Sustainability: Определено

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	2141391	кгс/см ²
Коэффициент Пуассона	0.28	Не применимо
Модуль сдвига	805570.9	кгс/см ²
Массовая плотность	0.00785	кг/см ³
Предел прочности при растяжении	5098.55	кгс/см ²
Предел прочности при сжатии		кгс/см ²
Предел текучести	3874.898	кгс/см ²
Коэффициент теплового расширения	1.1e-05	/°C
Теплопроводность	0.0334608	калория/(см·сек·°C)

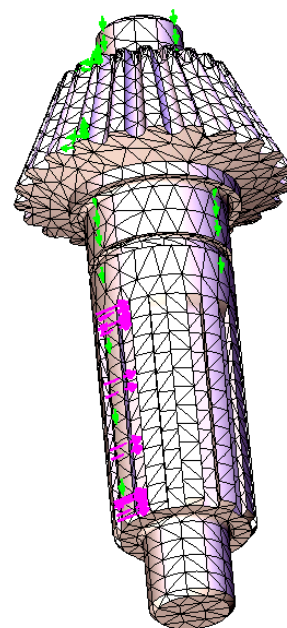
б

Рисунок 1 – Властивості сталей 18ХГТ (а) і 15 (б)

Повторними розрахунками у SolidWorks Simulation проведено розділення моделі вал-шестерні на скінченні елементи, побудовано матрицю жорсткості; здійснено синтез скінченно-елементної моделі

з урахуванням умов її закріплення у вузлових точках (рис. 2); розв'язано одержану систему алгебраїчних рівнянь; визначено компоненти напружено-деформованого стану (рис. 3).

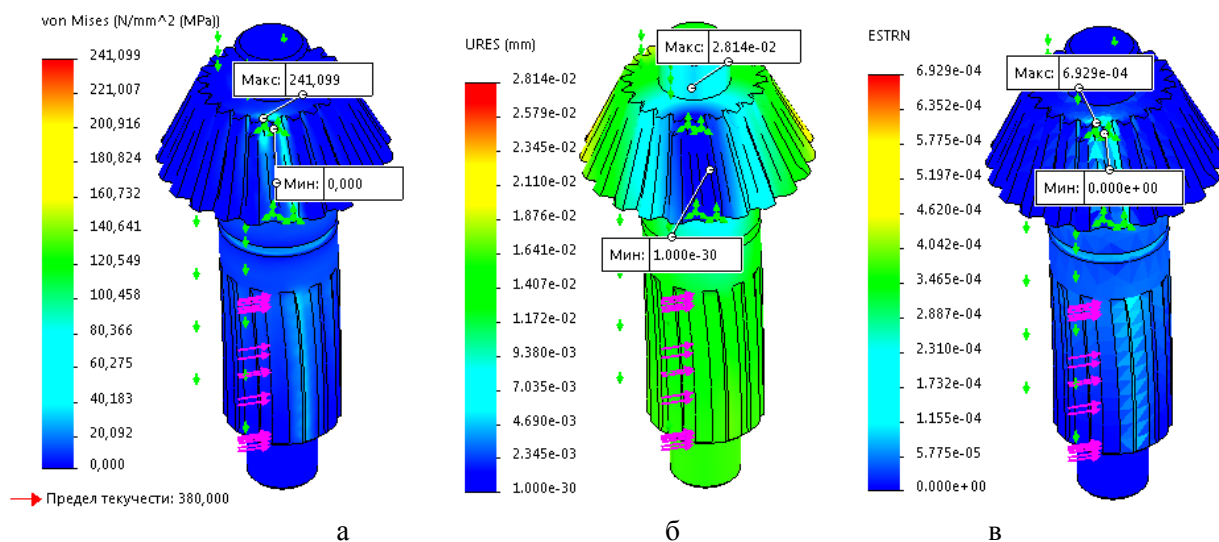
Сетка Детализация	
Имя исследования	Статический анализ 1 (
Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки	Выкл
Включить автоциклы сетки	Выкл
Точки Якобиана	4 точек
Размер элемента	7.83556 mm
Допуск	0.391778 mm
Качество сетки	Высокая
Всего узлов	26373
Всего элементов	16386
Максимальное соотношение сторон	191.39
Процент элементов с соотношением сторон < 3	82.8
Процент элементов с соотношением сторон > 10	0.507
% искаженных элементов (якобиан)	0
Время для завершения сетки (hh:mm:ss)	00:00:21



а

б

Рисунок 2 – Параметры сітки (а) та її відображення на твердому тілі (б)



а

б

в

Рисунок 3 – Контурні графіки сумарних напружень von Mises (а), сумарних переміщень URES (б), еквівалентних деформацій ESTRN (в) вал-шестерні

Таким чином, встановлене напруження, яке виникає у вал-шестерні, $\sigma_{\max} = 241,099$ МПа (вузол 26083– рис. 3, а); результуюче переміщення $h_{\max} = 2.814e-02$ mm (вузол 21921– рис. 3, б); еквівалентна деформація $\delta_{\max} = 6.929e-04$ (елемент 15488). При цьому мінімальний запас міцності $n_{\min} = 1.576$ (вузол 984), що більше допустимого $[n]$.

На епюрі Von Mises, видно місця з найменшою міцністю і концентрацією напружень. Для наступного їх зміцнення потрібно визначити точні величини напружень та їх розташування. Для цього використовуємо їх зондування у критичних точках: функція «Зонд» SolidWorks Simulation дозволяє запросити епюру й переглянути значення накреслених величин у певних вузлах або центрах елементів.

Коли зондується епюра сітки, програмне забезпечення відображає номер вузла й глобальні координати вузла. Коли зондується епюра результатів, програмне забезпечення відображає номер вузла або елемента, значення побудованого результату й глобальні координати вузла або центру

елемента (рис. 4). Залежність напружень від номера вузла у місці максимальних напружень вал-шестерні відображається на кривій відгуку (рис. 5).

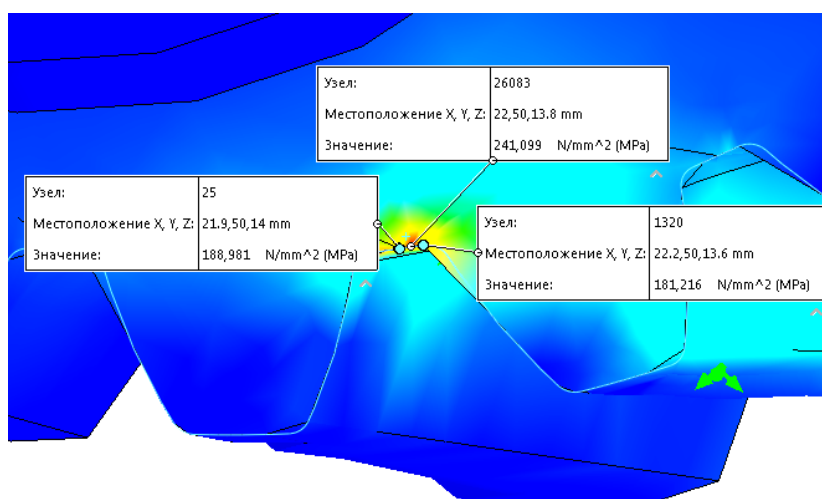


Рисунок 4 – Зондування напружень у небезпечному перерізі поблизу їх максимальних значень

Название исследования: Статический анализ 1 (-По умолчанию-)
 Тип эпоры: Статический узловое напряжение Напряжение 1

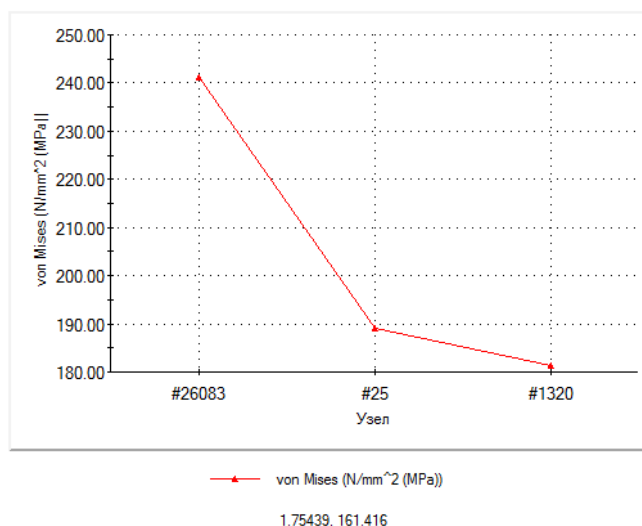


Рисунок 5 – Крива відгуку у місці максимальних напружень вал-шестерні

Отже, отримані результати підтверджують актуальність проведеного дослідження з використанням SolidWorks та її додатку SolidWorks Simulation: з точки зору забезпечення міцності для виготовлення вал-шестерні заміна її матеріалу є можливою. Але, враховуючи умови роботи цієї деталі, для підвищення її зносостійкості рекомендується хіміко-термічна обробка.

Таким чином, впровадження й широке застосування комп'ютерних технологій в автомобілебудуванні дозволяє створювати високоякісні вироби в найкоротший термін. Подальший розвиток галузі буде визначатися приходом у науку й виробництво кваліфікованих кадрів нового покоління, які володіють не тільки знаннями в області професійної спеціалізації, але й навичками науково-дослідної роботи.

Література

- 1 Рудик О. Ю. Професійна компетенція – основа якості підготовки кваліфікованих спеціалістів / О. Ю. Рудик, О. В. Коротков // Матеріали II Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. «Професійна підготовка фахівця в контексті потреб сучасного ринку праці», 28 лютого 2017 р. - м. Вінниця. – С. 202-205. – URL: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6441>
2. Рудик О. Ю. SolidWorks – CAD/CAE-система технічних вузів / О. Ю. Рудик, П. В. Каплун // Science, society, education: topical issues and development prospects. Abstracts of the 2nd International scientific and practical conference. SPC «Sci-conf.com.ua». – Kharkiv, Ukraine, 2020. – Pp. 249-253. URL:

<http://sci-conf.com.ua/i-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferenciya-science-society-education-topical-issues-and-development-prospects-20-21-yanvarya-2020-goda-harkov-ukraina-arhiv/>

3. Rudyk O. Yu. The impact of the SolidWorks Simulation network quality on the accuracy of the calculations / O. Yu. Rudyk, V. A. Gonchar // Eurasian scientific congress. Abstracts of the 1st International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. – Barcelona, Spain, 2020. – Pp. 185-188.

URL: <http://sci-conf.com.ua/i-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferenciya-eurasian-scientific-congress-27-28-yanvarya-2020-goda-barselona-ispaniya-arhiv/>

4. Калівода Я. Використання автоматизованих систем при проектуванні та випробуванні рухомого складу / Я. Калівода, Л. Недужа, О. Очкасов, Д. Черняєв // Матеріали 78 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» 17.05-18.05.2018 р., Днепр, 2018. – С. 17-19.

5. Рудик О. Ю. Застосування інформаційних технологій при дослідженні транспортних засобів / О. Ю. Рудик, Д. Л. Першко // Матеріали Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. «Ресурсно-орієнтоване навчання у вищій школі: проблеми, досвід, перспективи» / укл. Н. В. Кононец, В. О. Балюк. – Полтава: АКУП ПДАА, 2016. – С. 126-130. – URL: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8559>