

shielding gases — CO_2 , Ar and a mixture of 80 % Ar + 20 % CO_2 . The calculations were carried out with the introduction of a circuit of a turned turned heat source on the surface of a semi-infinite body. Also, calculations are presented with the introduction of a fast-moving point source circuit on the surface of a semi-infinite body. The calculated penetration contours were determined for the process of electric arc welding with Sv-08A wire with a diameter of $d_e = 5$ mm under the AN-60 flux to the surface of St3 mild steel plates with a thickness of $25 \div 30$ mm (semi-infinite body scheme). The calculations were performed for the parameters of the mode: $I_n = 800$ A; $U_d = 31 \div 32$ V; surfacing speed was varied within $1.4 \div 11.1 \cdot 10^{-3}$ m / s. Used the following values of thermophysical quantities: $\lambda = 40$ W / m · K, $a = 8 \cdot 10^{-2}$ m² / s; for a value of 0.9 was taken. The calculated data of the melting paths during electric arc surfacing for the case of surfacing in a shielding gas medium were compared with the experimental data for surfacing with Sv-12Cr18Ni10T wire with a diameter of 1.2 mm in CO_2 on plates of the same steel 10–12 mm thick in the mode: $I_n = 200$ A; $U_d = 30$ V; $v = 5 \cdot 10^{-3}$ m / s. Surfacing in an Ar medium was performed with the same wire $d_e = 1.0$ mm in the mode: $I_n = 255$ A; $U_d = 35$ V; $v_n = 18$ m / h. Such parameters of the deposition mode provided jet transport of electrode metal. In the calculation, the following values were taken for the coefficients: $T_m = 1836$ K; $\lambda = 25$ W / m · K, $\sigma = 0.8$; $a = 5.3 \cdot 10^{-2}$ m² / s.

The shapes of the weld pool contours obtained by calculation are significantly different from the experimental ones. The calculated values of z_{max} are observed at a distance of $x = 20 \div 30$ mm from the arc axis, while according to experimental data, the maximum penetration $h_{pr} = z_{max}$ is observed at a distance of $x = 0 \div 5$ mm. The calculated z_{max} values are significantly (1.5 - 2.0 times) greater than the experimental values.

It is shown that by calculation it is possible to obtain reliable data only in the width of the deposited rollers and the length of the bath. That is, the calculated data in the size of the penetration zone coincide with the experimental ones only at the surface level of the base metal ($z = 0$), and the calculated data in the depth of this zone differ significantly from the experimental data. To calculate the depth of the penetration zone during arc surfacing, it is necessary to use methods that take into account the transfer of electrode metal into the bath.

Keywords: electric arc surfacing, geometrical parameters of the penetration zone, point heat source, mode parameters, electrode metal transfer.

Стаття постуила

Рецензент: д-р техн. наук Шетинин С. В.

УДК 621.875

Сагіров Ю. Г.¹, Суглобов В. В.²

ЗАСТОСУВАННЯ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ НА ПРИКЛАДІ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДВІСКИ ЛИВАРНОГО КРАНУ

Метою цієї роботи є моделювання, аналіз фактичного напружено-деформованого стану елементів траверси ливарного крану з урахуванням маси вантажу, що піднімається, теплової дії і додаткових інерційних навантажень та отримання нової конструкції елементів траверси із застосуванням топологічної оптимізації. Об'єктом дослідження в даній роботі є закономірність розподілу напружень у траверсі. У статті запропонована методологія моделювання і аналізу напружено-деформованого стану траверси ливарного крану з урахуванням додаткових навантажень, заснована на методах розрахунків на

¹ канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

² д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

Машинобудування і зварювальне виробництво

міцність по допустимим напруженням і методі скінченних елементів. Розроблена розрахункова схема, тверdotільно-деформована модель і виконаний розрахунок методом скінченних елементів в CAD / CAE системі.

У статті приведені результати моделювання навантаженого стану з урахуванням додаткових навантажень і розрахунку траверси ливарного крану на міцність методом скінченних елементів в CAD / CAE системі; аналіз напружено-деформованого стану траверси, заснований на методах розрахунків на міцність по допустимим напруженням і методі скінченних елементів. Із використанням топологічної оптимізації отримана нова конструкція елементів траверси. Визначені можливі шляхи подальших досліджень.

Ключові слова: моделювання, метод скінченних елементів, концентрація напружень, межа плинності, дефекти, напружено-деформований стан, топологічна оптимізація.

Постановка проблеми.

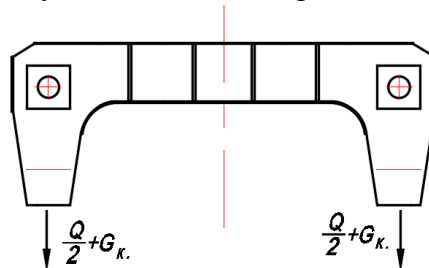
Раніше [1] була обґрунтована необхідність розробки методології міцнісних розрахунків елементів підвісок ливарних кранів, яка дозволить: враховувати їх фактичні умови роботи, збільшити точність розрахунків, підвищити надійність і безпеку експлуатації. Було показано [2], що фактичні значення інерційних навантажень при пересуванні крану можуть перевищувати значення, що приймаються при проектуванні. Крім того, були розроблені рекомендації по вибору значень кутів відхилення вантажопідйомних канатів від вертикалі при виконанні розрахунків на статичну міцність і втому елементів ливарних кранів.

При розрахунку на міцність, оптимізації елементів підйомно-транспортних машин широко використовують [3, 4] метод скінченних елементів, який реалізується в CAD/CAE середовищу, дозволяє підвищити точність виконуваних розрахунків, отримати наочну картину напружено-деформованого стану виробу в цілому, багаторазово проводити дослідження з використанням розробленої моделі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Відомі факти руйнування елементів підвісок ливарних кранів, металоконструкції мостів, і іншого устаткування. Кран виводиться з експлуатації на тривалий період часу для проведення ремонту, який лише на якийсь час дозволяє позбавитися від виниклих ушкоджень. Також зазначено [2], що фактичні значення кутів відхилення канатів під час прискорення / гальмування можуть перевищувати прийняті при проектуванні, що також впливає на надійність. Підвищення надійності елементів ливарного крану можливо, зокрема, шляхом уточнення методики і розробки нових методологій їх проектування, визначенні і дослідженні їх напружено-деформованого стану.

Аналіз проектних розрахунків показав, що частіше в розрахунковій схемі траверси ливарного крану (рис. 1 а) враховують дію тільки вертикальних зусиль (рис. 1).



Q - вантажопідйомність, G_k - вага гака

Рисунок 1 – Траверса ливарного крану: а – загальний вигляд; б - розрахункова схема

Машинобудування і зварювальне виробництво

Вважається, що великий запас міцності (наприклад, коефіцієнт запасу міцності у вертикальному листі дорівнює 5.75 при допустимому 2.3) забезпечить надійність і безпеку при експлуатації. Проте, відомі [1] випадки руйнування цього елемента. Також відомо [5], що за час (3-5 хвилин) заливки чавуну в конвертер «температура на поверхні металокопункції крану може досягати 500-700°C».

Усе це підтверджує необхідність враховувати динамічні навантаження, горизонтальну силу, виникає при прискоренні / гальмування крану і теплові навантаження на траверсу.

Мета дослідження.

Метою цієї роботи є отримання нової конструкції елементів траверси ливарного крану на основі моделювання навантаженості з урахуванням додаткових навантажень під час розгону, теплової дії та аналізу фактичного напружено-деформованого стану.

Основний матеріал дослідження.

Традиційні розрахунки на міцність металокопункцій кранів і їх елементів засновані на припущенні плоскої схеми їх роботи, хоча їх елементи є просторовими системами. Наприклад, розрахунок моста крану з двома пролітними балками листової конструкції зазвичай полягає в розрахунку окремих балок з прикладеними розрахунковими навантаженнями. Цей підхід традиційно обумовлений тим, що методи розрахунку розвивалися, спираючись на ручний спосіб обчислення із застосуванням простих рахункових пристроїв і установок. Точність таких розрахунків важко без експериментальної перевірки на моделях і виробках.

З розвитком обчислювальної техніки, у тому числі у зв'язку з розробкою спеціальних програм для реалізації топологічної оптимізації, поступово зникає необхідність в розбитті металокопункцій на плоскі елементи. Практично усі сучасні розрахунки на міцність проводять, використовуючи метод скінченних елементів. У останні десятиліття він зайняв провідне положення і отримав широке застосування. Тому, для визначення фактичного напружено-деформованого стану траверси пропонується методологія розрахунку з використанням традиційних інженерних методів і методу скінченних елементів. Як приклад розглянутий ливарний кран вантажопідйомністю 450 тонн.

Запропонована розрахункова схема (рис. 2) [1], з урахуванням діючих навантажень.

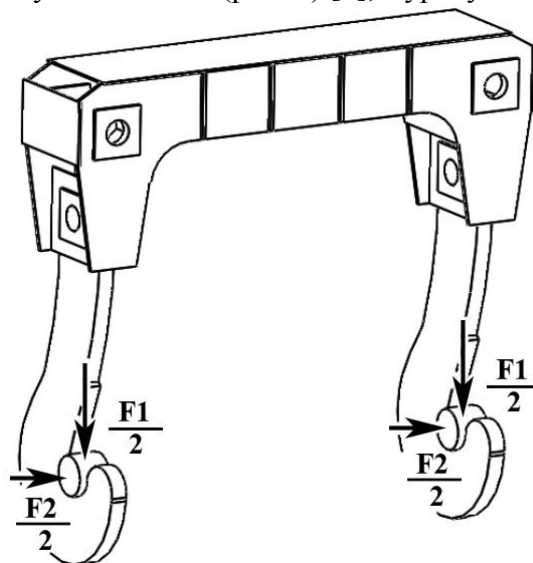


Рисунок 2 [1] – Розрахункова схема

Зовнішні сили, діючі на траверсу, прикладаються до зіву гака і вже були розглянуті раніше [1]. Також була розроблена модель і прийняті позначення представлені на рисунку 3.

Машинобудування і зварювальне виробництво

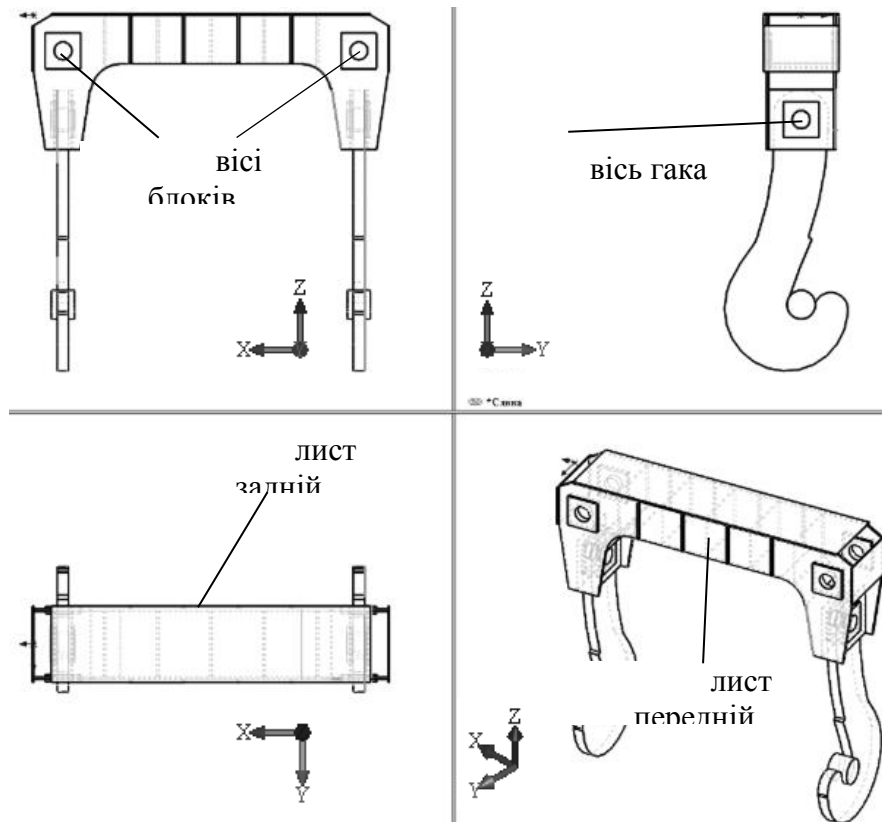


Рисунок 3 [1] – Прийняті позначення в моделі

На траверсі були розміщені гаки, в зіві яких закріплені вісі ківша. До цих осей, у свою чергу, прикладалися сили F_1 і F_2 . Закріплення моделі було прийняте шарнірним в місцях розташування осей блоків (рис. 4).

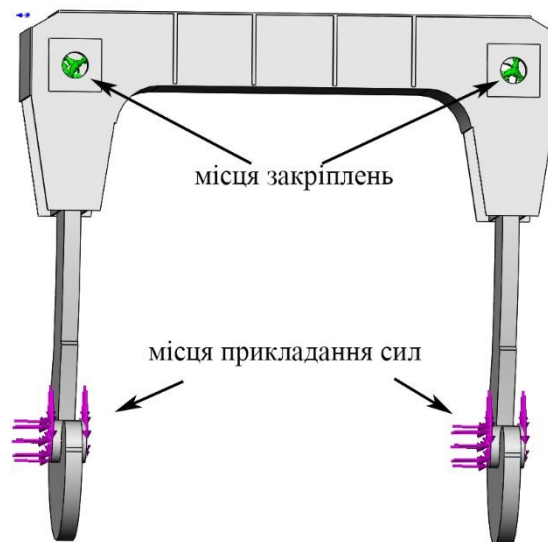


Рисунок 4 – Місця закріплення і додатка сил в моделі [1]

Потім, в середовищі CAD/CAE була згенерована сітка скінченних елементів (рис. 5).

В результаті моделювання напружено-деформованого стану були отримані епюри розподілу еквівалентних напружень в моделі, епюри нормальних напружень в трьох площинах, епюра розподілу коефіцієнта запасу міцності, епюра спрямованості силових

Машинобудування і зварювальне виробництво

потоків, епюра розподілу еквівалентних напружень (von Mises) із застосуванням обмеження ISO для трьох варіантів навантажень :

1. Дія тільки сили $F1$;
2. Дія тільки сил $F1$ і $F2$;
3. Дія тільки сил $F1$ і $F2$ з урахуванням теплового навантаження $F3$ зовнішніх поверхонь траверси.

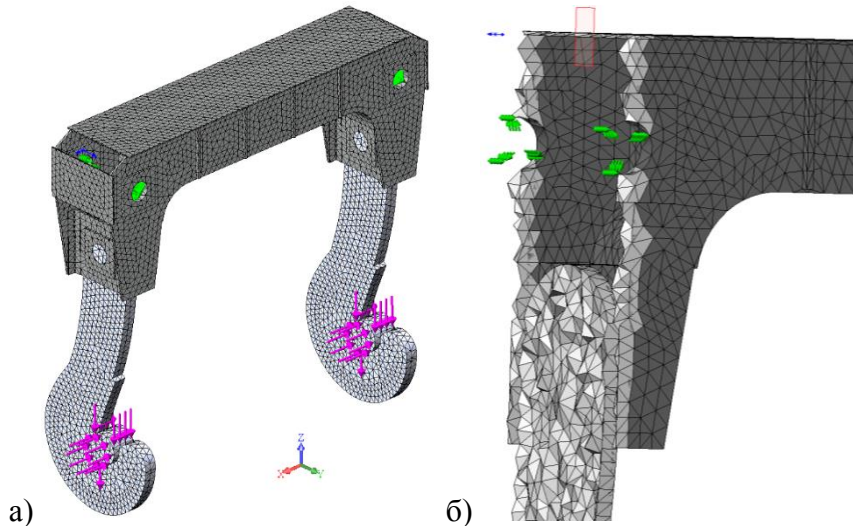


Рисунок 5 [1] – Сітка скінченних елементів (а) і збільшений вид перерізу (б)

Якщо проаналізувати загальний вигляд епюри розподілу еквівалентних напружень (зміна кольору від синього до червоного) і зіставити їх для трьох варіантів навантажень, то більше напруженим є третій варіант (таблиця. 1), потім йде другий і перший.

Значні теплові навантаження діють досить невеликий час (3-5 хв.) в порівнянні з силами від ваги вантажу і гаків. Проте відомо [5], що «ефективні методи захисту елементів ливарного крану від дії викидів гарячих газів, полум'я, бризок розплавленого металу з конвертера під час заливки в нього рідкого чавуну відсутні. Існуючі теплові екрани не здатні захистити металоконструкції моста від температурних дій». При цьому, елементи металоконструкції піддаються тепловим діям і значним статичним, динамічним навантаженням, що призводить до скорочення терміну служби.

Теплові навантаження доцільно розглядати, як спектр додаткових навантажень, які накладаються на спектр основних навантажень і враховувати в розрахунках на втомну міцність. Їх вплив на загальну напруженість, розподіл в елементах траверси, вимагає додаткових досліджень і уточнень, що виходить за рамки цієї роботи. Але, безумовно, заслуговують на увагу.

Детально проаналізуємо напружено-деформований стан по другому варіанту навантаження. Поверхневий аналіз розподілу значень еквівалентного напруження в моделі показав (рис. 6), що максимальні значення сконцентровані в місцях кріплення гаків - листи передній і задній (близько 85 МПа); листи, в яких закріплені осі гаків (близько 125 МПа).

Таблиця 1 – Епюри розподілу еквівалентних напружень

№ варіанту навантаження	Зовнішній вигляд епюри
I варіант	
II варіант	
III варіант	

Раніше [1], був описаний випадок розриву бічної стінки траверси розливного крану. Якщо аналізувати отриману епюру розподілу нормальних (по осі z) напружень (рис. 7 а, б) і фотографію зруйнованою траверси (рис. 7 в), то можна відмітити відповідність траєкторії і розташування тріщини концентрації максимальних напружень у бічній стінці.

Якщо розглядати навантаження траверси за повний робочий цикл крану (рух в двох напрямках - транспортування завантаженого ківша і повернення в місце завантаження), то кожна із сторін навантажується поперемінно, і загальний вигляд фактичного навантаження відповідатиме виду, представленою на рисунку 8.

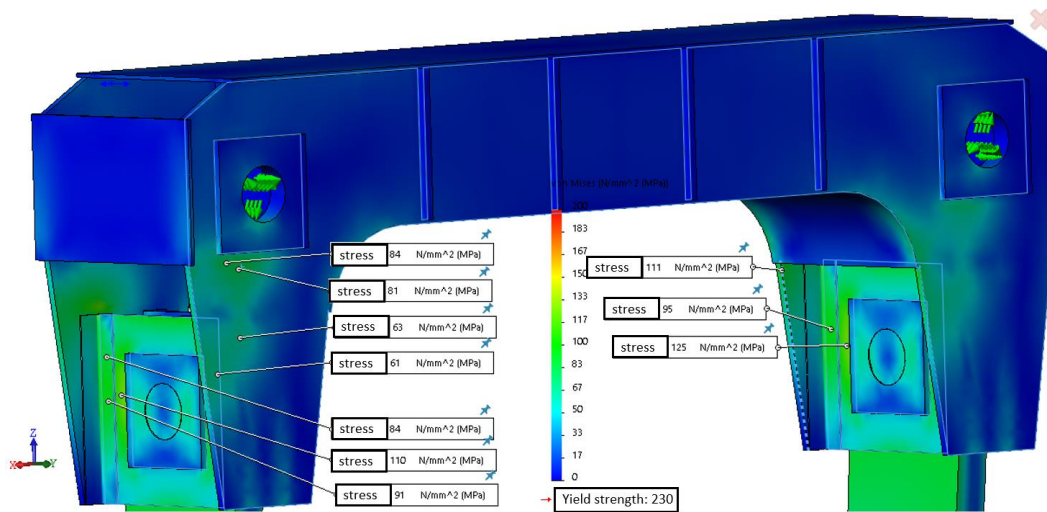


Рисунок 6 – Значення еквівалентного напруження по другому варіанту навантаження

Напруження в цьому елементі не є максимальним, по відношенню до інших. Проаналізуємо роботу і навантажений стан пластин, в яких закріплені осі гаків. У зовнішній пластині лівої сторони (рис. 7) виникає напруження близько 110 МПа. Тоді як у внутрішній пластині з цього ж боку (рис. 8) максимальне напруження близько 35 МПа.

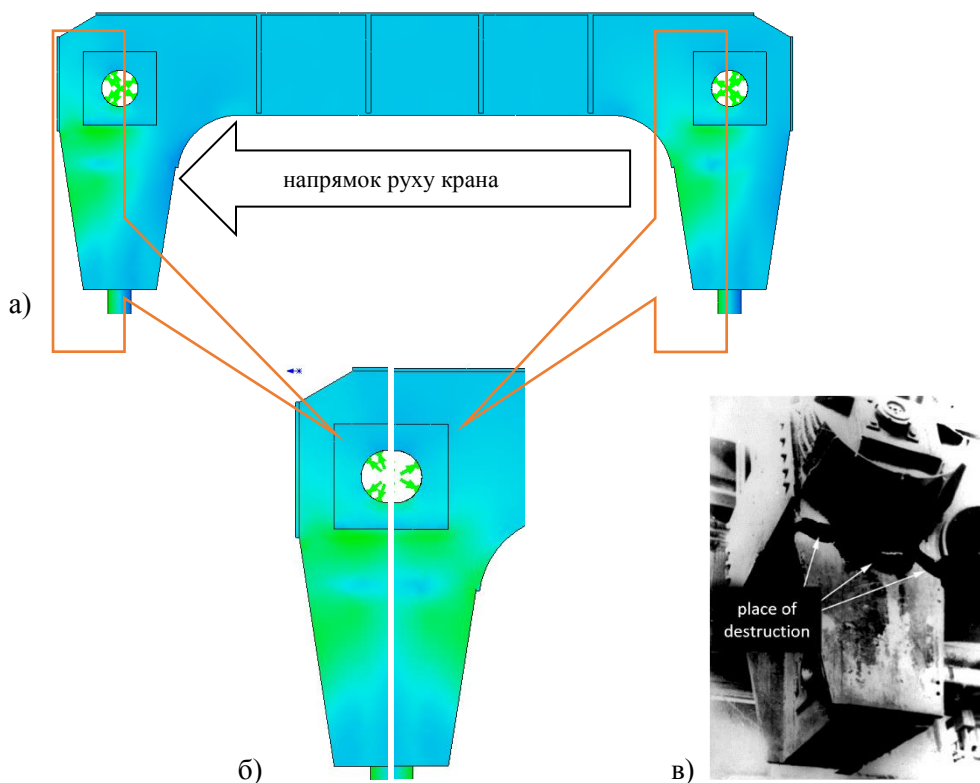


Рисунок 7 – Епюра розподілу нормального (по осі z) напруження з фотографією зруйнованої траверси: а - зовнішній вигляд епюри; б - поєднання фрагментів лівої і правої (відбито відносно вертикальній осі) стінок; в - фотографія зруйнованої траверси

Машинобудування і зварювальне виробництво

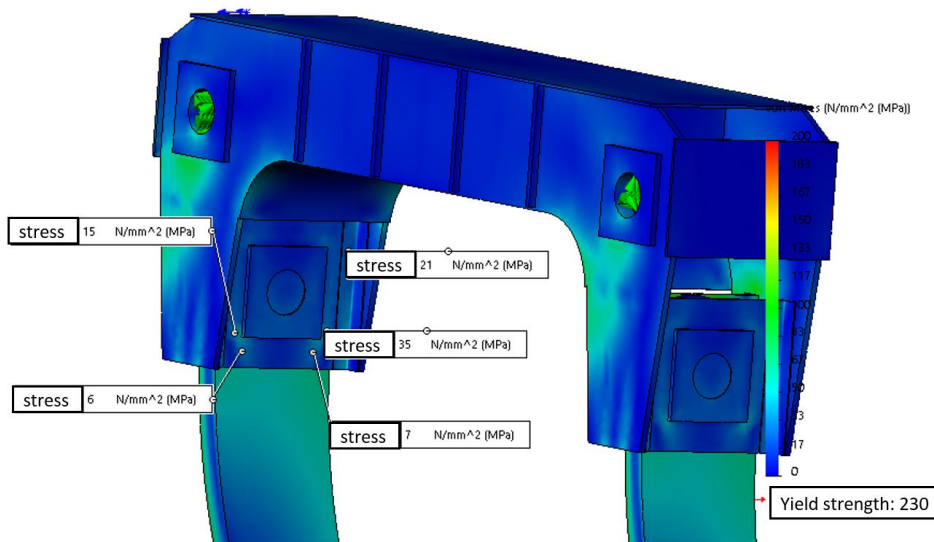


Рисунок 8 – Значення еквівалентного напруження по другому варіанту навантаження на внутрішній пластині лівої сторони траверси

Такий нерівномірний розподіл між двома аналогічними елементами можна пояснити недосконалістю конструкції, яка не дозволяє забезпечити їх рівномірне навантаження. Чому ж руйнування сталося в елементі з меншими значеннями напружень і однаковим циклом навантажень? Припустимо, що в тому, що розглядається елементу виникла тріщина. Змодельуємо її в зовнішній пластині лівої сторони (рис. 9 а) і проаналізуємо напружений стан (рис. 9 б).

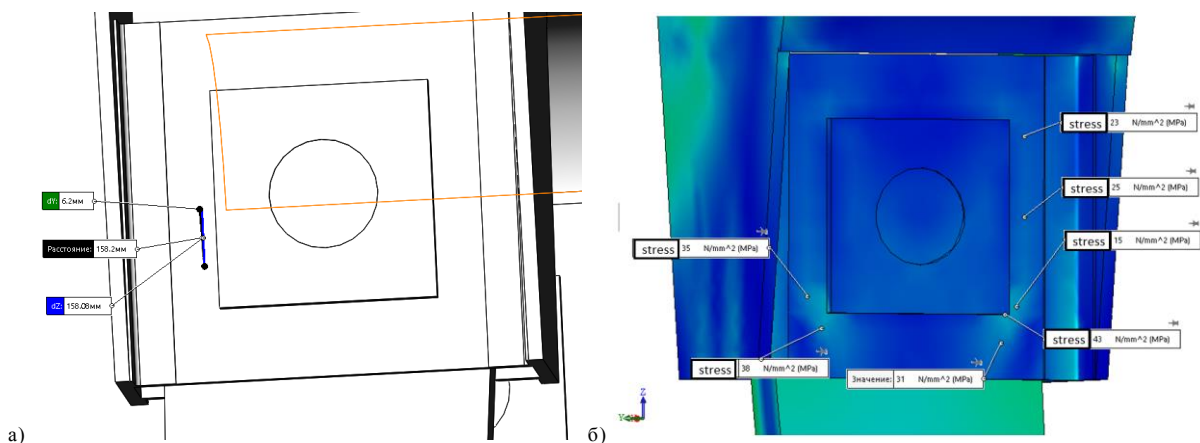


Рисунок 9 – Траверса: а – ділянка зі змодельованою тріщиною; б – значення еквівалентного напруження у внутрішній пластині лівої сторони траверси по другому варіанту навантаження

Аналіз показав, що напруження у внутрішній пластині збільшилися, тобто вона ефективніше включилася в роботу. Так само напруження дещо збільшилася і в передньому листі, якій надалі і зруйнувався. Можна припустити, що руйнування у бічному листі не сталися зважаючи на принцип (ефект) живучості конструкції, коли при появі дефекту або руйнуванні одного з елементів, конструкція в цілому зберігає свою працездатність. Вважаємо, що подальші дослідження в цьому напрямі з використанням принципів оптимального проектування [3], дозволять визначити і запропонувати оптимальну (по

Машинобудування і зварювальне виробництво

рівномірності розподілу напружень в елементах, спрямованості силових потоків) конструкцію траверси.

Вибір параметрів і ефективного методу рішення завдань оптимізації металоконструкції є важливим етапом проектування. Багато авторів приділяють увагу рішення цього завдання [6-8 та ін.]. Значне число праць описує проектування конкретних об'єктів і містить відомості тільки про алгоритми і результати їх проектування. Досить часто, розрахункові схеми гранично спрощені - для них характерне мале число проектних змінних. При цьому найчастіше розглядаються не реальні конструкції з характерною для практичних завдань проектування складністю моделей, а модельні об'єкти (балки, пластинки, оболонки). Досить детально розглянуті існуючі методи, наведені приклади і запропонована технологія вирішення питань оптимізації навантажених багатокомпонентних конструкцій і технологічних систем. Інша робота [9] присвячена розгляду основних методів топологічної оптимізації, які застосовуються для збільшення питомої міцності вузлів аерокосмічної техніки шляхом оптимізації їх геометричних параметрів. Відмічено, що зменшення маси і збільшення питомої міцності конструкцій, які використовуються в аерокосмічній галузі, є найважливішим завданням, яке стоїть перед конструкторами всього світу. Рішення цих проблем безпосередньо зв'язують із завданням пошуку оптимальних геометричних параметрів проектованого виробу. Нині для вирішення цього завдання використовуються методи топологічної оптимізації і відповідне програмне забезпечення. Застосування методик оптимального проектування дозволяє знайти найкращі параметри конструкції, які забезпечують мінімум цільової функції. Хоча методи топологічної оптимізації є відносно новим компонентом процедури проектування, але все частіше застосовуються, наприклад, в аерокосмічній промисловості.

Методом топологічної оптимізації, з використанням відповідного програмного забезпечення, пропрацюємо існуючу конструкцію траверси. Зберігши розрахункову схему, величину і спрямованість сил в першому наближенні отриманий результат (рисунок 10).



Рисунок 10 – Загальний вигляд траверси після опрацювання конструкції по методу топологічної оптимізації

Зовнішній вигляд траверси (рис. 10) дає наочне уявлення про ефективність використання металу в елементах траверси, про можливість його перерозподілу з метою оптимізувати конструкцію - змінити форму переднього і заднього листів, зменшити їх товщину і форму (на рисунку ці елементи взагалі відсутні в середній частині, хоча конструктивно зв'язок між лівим і правим гаками має бути). Для отримання більшого ефекту

Машинобудування і зварювальне виробництво

необхідно змінити область оптимізації і не обмежуватися тільки існуючими елементами. Рішення цієї задачі планується найближчим часом.

ВИСНОВКИ

1. Методи проектування металоконструкцій (зокрема ливарних кранів) які існують на сьогодні, вимагають розвитку і уточнення, оскільки не дозволяють отримати чітку картину напружено-деформованого стану конструкції в цілому.

2. Рівень програмного забезпечення і рівень сучасних комп'ютерів дозволяють значно прискорити процес проектування і підвищити міру точності моделей для застосування МСЕ.

3. Запропонований уточнений метод і виконаний міцністний розрахунок траверси ливарного крану, який дозволив отримати закономірності розподілу напружень в конструкції, спрямованості силових потоків.

4. Виконаний аналіз напружено - деформованого стану металоконструкції траверси показав, що значення еквівалентного напруження розподілені між елементами нерівномірно і їх значення змінюються від 6 до 125 МПа.

5. Істотний вплив на рівень напружень роблять теплові навантаження, для оцінки чого потрібно додаткові дослідження.

6. Залишається ще низка запитань оптимізації конструкції траверс ливарних кранів, які включають: вибір основних параметрів конструкції, обґрунтування оптимальних форм елементів і геометричних характеристик їх перерізів з метою мінімізації маси, забезпечення рівномірного розподілу напружень і плавності силового потоку.

Список використаних джерел:

1. Моделювання навантаженості та аналіз напружено-деформованого стану елементів траверси ливарного крана / Ю. Г. Сагіров, В. В. Суглобов, В. В. Кухар, О. О. Резніков // Вісник Харківського нац. автомобільно-дорожнього ун-ту: зб. наук. праць. – Харків, 2019. – Вип. 84. – С. 5–12. – Режим доступу: <http://bulletin.khadi.kharkov.ua/article/view/165436/164700>

2. Щеглов, О. М. К вопросу о надёжности работы подвесок литейных кранов / О. М. Щеглов, Р. В. Суглобов, Ю. Г. Сагіров // Захист металургійних машин від поломок : міжвуз. тематич. зб. наук. праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2010. – Вип. 12. – С. 193–200.

3. Сагіров, Ю. Г. Ускорения при движении литейных мостовых кранов. / Ю. Г. Сагіров // Захист металургійних машин від поломок : міжвуз. темат. зб. наук. праць / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2012. – Вип. 14. – С. 147–154.

4. Сагіров, Ю. Г. Сучасний стан та перспективи оптимізації проектування металоконструкцій порталних кранів / Ю. Г. Сагіров, В. В. Суглобов, В. В. Кухарь // Наука та виробництво : міжвуз. темат. зб. наук. праць / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2018. – Вип. 19. – С. 59–68.

5. Габтыкаев, Д. Ф. Совершенствование и защита элементов литейного крана от температурных воздействий: автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / Габтыкаев Дмитрий Фуатович. – Череповец, 2009. – 21 с.

6. Bahmani, S. Greedy sparsity-constrained optimization / S. Bahmani, B. Raj, P. T. Boufounos // Journal of Machine Learning Research. – 2013. – № 14. – P. 807–841.

7. Choi, W. Comparison study of some commercial structural optimization software systems / W. Choi, J. Kim, G. J. Park // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2016. – P. 1–15.

8. Deng, S. Multi-constrained topology optimization via the topological sensitivity / S. Deng, K. Suresh // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2015. – Vol. 51, N 5. – P. 987–1001.

9. Боровиков, А. А. Топологическая оптимизация переходного отсека / А. А. Боровиков, С. М. Тененбаум // Аэрокосмический научный журнал. МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2016. – № 05. – С. 16–30. – Режим доступа: <https://doi.org/10.7463/aersp.0516.0847780>

Sahirov Y., Suhlovov V.

APPLICATION OF TOPOLOGICAL OPTIMIZATION ON THE EXAMPLE OF ELEMENTS OF CASTING CRANE TRAVERSE

Their elements are exposed to significant dynamic loads and high temperatures. Need to develop a methodology for strength calculations of traverse elements of casting cranes was justified earlier that would allow to: consider their actual working conditions, increase accuracy of calculations, increase their reliability and safety of operation. It was shown that actual values of inertial loads during crane moving may exceed values considering during its design. In addition, recommendations were developed on choice of values of deviation angles of hoisting ropes from vertical when performing calculations of casting cranes elements on static strength and fatigue.

FEM implemented in the CAD/CAE systems is widely used during strength calculations and optimization of elements of hoisting-and-transport machines that allows to: increase accuracy of performed calculations, obtain picture/chart with stress-strain states of the whole assembly, repeatedly conduct research using developed model.

Traditional strength calculations of crane metal structures and their elements are based on assumption of flat scheme of their work, while their elements operate as spatial systems. For example, calculation of crane bridge with two span beams of sheet construction usually consists of calculation of individual beams with applied design loads. This approach is traditional due to the fact that calculation methods have evolved being based on manual method of calculation using simple counting devices. In complex cases it is difficult to estimate accuracy of such calculations without experimental verification on models and products.

At present, due to development of special software for calculating spatial structures a need to break down metal structures into flat elements gradually disappears. Practically all modern strength calculations are carried out using FEM. Therefore, to determine the actual stress-strain states of the traverse usage of calculation methodology with traditional engineering methods and FEM are proposed. As an example, a casting crane with lifting capacity of 450 tons is considered.

Selection of parameters and effective method for solving problems of metal frames optimization is important design stage. Many authors pay attention to resolve this task. That significant number of works describe design of specific objects and contain information only about algorithms and their design results. Often design schemes of optimization objects are extremely simplified because they have small number of design variables. In this case model objects (beams, plates, shells) are most often considered rather than real structures with complexity of practical design models. It is noted that reducing mass and increasing specific strength of structures are the most important tasks for designers around the world. Solution of these problems is directly connected with task of finding optimal geometric parameters of designed product. Currently, topological optimization methods and corresponding software are used to solve this task. Usage of methods of optimal design allows finding the best design parameters that satisfy technological limitations and strength limitations, thus providing a minimum of the objective function. Today topological optimization methods are

Машинобудування і зварювальне виробництво

relatively new component of design procedure but are increasingly used, for example, in the aerospace industry.

Using topological optimization method and appropriate software it is possible to work with existing construction of the traverse.

Keywords: *casting crane, traverse, metal construction, spatial model, design scheme, finite element method, synthesis, topological optimization method, thermal loads.*

Сагиров Ю. Г., Суглобов В. В.

ПРИМЕНЕНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВЕСКИ ЛИТЕЙНОГО КРАНА

Целью этой работы является моделирование, анализ фактического напряженно-деформированного состояния элементов траверсы литейного крана с учетом массы поднимаемого груза, теплового воздействия и дополнительных инерционных нагрузок, и получения новой конструкции элементов траверсы с применением топологической оптимизации. Объектом исследования является закономерность распределения напряжений в элементах траверсы. В статье предложена методология моделирования и анализа напряженно-деформированного состояния траверсы литейного крана с учетом дополнительных нагрузок, основанная на методах расчетов на прочность по допускаемым напряжениям и методе конечных элементов. Разработана расчетная схема, твердотельные-деформирована модель и выполнен расчет методом конечных элементов в CAD / CAE системе.

В статье приведены результаты моделирования нагруженного состояния с учетом дополнительных нагрузок и расчета траверсы литейного крана на прочность методом конечных элементов в CAD / CAE системе; анализ напряженно-деформированного состояния траверсы, основанный на методах расчетов на прочность по допускаемым напряжениям и методе конечных элементов. С использованием топологической оптимизации получена новая конструкция элементов траверсы. Определены возможные пути дальнейших исследований.

Ключевые слова: *литейный кран, металлоконструкция, пространственная модель, расчетная схема, метод конечных элементов, синтез, топологическая оптимизация, тепловые нагружения.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Іщенко А. О.

Стаття надійшла .11.2019 р.

УДК 621.791.672.052

Серенко А. Н., Серенко В. А., Варванский Д. К.

ОПТИМИЗАЦИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Развитие методов проектирования сварных соединений и конструкций чаще всего свя-зывают с поиском оптимальной геометрической формы и размеров конструкции с целью достижения минимальной массы, трудоемкости изготовления и других показателей.

Оптимизационное проектирование сварных конструкций связано с необходимостью учета многочисленных условий и параметров конструктивного, технологического, эксплуатационного, стоимостного и др. факторов, включающие в себя противоречивые