

УДК 620:178.3

DOI 10.47049/2226-1893-2023-2-93-104

**ПІДВИЩЕННЯ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ ЗВАРНОЇ КОНСТРУКЦІЇ АВТОПРИЧЕПА
ЗА РАХУНОК ЗБІЛЬШЕННЯ ДЕМПФУЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЇЇ ДЕТАЛЕЙ**

А.В. Конопльов

д.т.н., професор, завідувач кафедри «Машинознавство»

О.М. Шумило

к.т.н., доцент кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація»

О.М. Кононова

к.т.н., доцент кафедри «Машинознавство»

Н.І. Чередарчук

к.т.н., доцент кафедри «Математика, фізика та астрономія»

В.В. Галевський

старший викладач кафедри «Машинознавство»

Одеський національний морський університет, Одеса, Україна

В.В. Вовк

старший викладач кафедри «Динаміка машин і механічна інженерія»

Одеський національний університет «Одеська політехніка»

Анотація. У статті розглянуто проблему, пов'язану з підвищенням міцності втомно зварного з'єднання лонжерон - поперечина рамної металоконструкції автопричепа. Для її вирішення було запропоновано замість жорсткої конструкції вузла застосувати демпфуючу зі змінною жорсткістю одного з елементів (косинки).

Всього було розроблено три конструктивні варіанти з'єднання, кожен з яких відрізнявся різною жорсткістю косинки (ступенем демпфування). Для порівняльної експериментальної оцінки міцності втомно цього вузла були спроектовані і виготовлені відповідні моделі, а також пристосування до випробувальної машини.

Втомну міцність моделей визначали за двома експериментально-розрахунковими прискореними методами.

В якості визначених характеристик опору втомі приймали границі витривалості. Обидва методи показали близькі результати.

На основі аналізу отриманих експериментальних даних був обраний найбільш раціональний варіант конструкції з'єднання з точки зору втомно міцності, так і матеріаломісткості.

Ключові слова: металоконструкція автопричепа, демпфуюча здатність, прискорені випробування на опір втомі.

UDC 620:178.3

DOI 10.47049/2226-1893-2023-2-93-104

**INCREASING THE FATIGUE STRENGTH OF THE WELDED
STRUCTURE OF THE TRAILER DUE TO THE INCREASE
IN THE DAMPING CAPACITY OF ITS PARTS**

A.V. Konoplev

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Machine Science»

A.N. Shumilo

PhD, Associate Professor of the Department of «Machine Science»

O.N. Kononova

PhD, Associate Professor of the Department of «Machine Science»

N.I. Cheredarchuk

PhD Associate Professor of the Department «Mathematics, physics and astronomy»

V.V. Halevskiy

Senior Lecturer of the Department «Machine Science»

Odesa national maritime university, Odesa, Ukraine

V. Vovk

Senior lecturer of dynamics, machines strength and material resistance

National university «Odesa Polytechnic»

Abstract. *The article deals with the problem related to increasing the fatigue strength of the welded connection of spars – cross member of the frame metal structure of the trailer. To solve it, instead of a rigid structure of the node, it was proposed to use a damping one with variable stiffness of one of the elements (handkerchief).*

A total of three design versions of the connection were developed, each of which differed in different stiffness of the scarf (degree of damping). For a comparative experimental assessment of the fatigue strength of this unit, appropriate models were designed and manufactured, as well as adaptations to the testing machine.

The fatigue strength of the models was determined by two experimental and computational accelerated methods. Their endurance limits were taken as defined characteristics of fatigue resistance. Both methods showed close results.

Based on the analysis of the obtained experimental data, the most rational version of the connection design was chosen from the point of view of fatigue strength and material consumption.

Keywords: *trailer metal structure, damping capacity, accelerated fatigue resistance tests.*

Вступ. Більшість деталей машин та елементів конструкцій працює при великих навантаженнях, тому проблема забезпечення їхньої конструкційної міцності завжди залишається актуальною. Вона охоплює широке коло питань, серед яких важливими є ті з них, які пов'язані із застосуванням у конструкціях деталей з підвищеними властивостями, що демпфують.

Демпфуючі деталі, передачі та з'єднання створюють на базі звичайних жорстких конструкцій за рахунок резерву їх статичної міцності [1; 2]. Цей резерв використовується для збільшення їх пружної податливості (демпфуючої здібності). При цьому ці деталі відрізняються не лише геометричною формою та зменшеною масою, а й підвищеною довговічністю. Ефект підвищення довговічності деталей обумовлений тим, що на пружне деформування деталей при їх навантаженні витрачається кінетична енергія. Частина цієї енергії безповоротно розсіюється, тобто, йде на механічний гістерезис, а частина переходить у потенційну енергію – акумулюється. При розвантаженні потенційна енергія зі зміщенням у часі повертається до системи передачі механічної енергії, тобто знову перетворюється на кінетичну. Таким чином, внаслідок відбору енергії знижується її максимум за рахунок підвищення мінімуму, тобто відбувається вирівнювання величини механічної енергії, що передається в часі. Наприклад, у пресових з'єднаннях з демпфуючими властивостями перерозподіляється контактне навантаження і за рахунок цього зменшується або повністю усуваються концентрації напружень, кромкові тиски, а також явище фреттинг-корозії.

На довговічність з'єднань і деталей з властивостями, що демпфують, впливає значна кількість факторів, врахувати які при аналітичному розрахунку складно, а найчастіше неможливо. Традиційні експериментальні методи оцінки їхньої втомної міцності малоефективні, оскільки вимагають значних витрат часу та матеріальних ресурсів. Розрахункові ж методики мають наближений характер, або взагалі відсутні. Прийнято вважати, що найбільш доцільним засобом для вирішення таких завдань можуть бути розрахунково-експериментальні прискорені методи, засновані на скороченому експерименті [3].

Метою статті є розробка конструкції вузла з'єднання лонжерон-поперечина з демпфуючим елементом, яка б змогла забезпечити його високу довговічність.

Виклад основного матеріалу. Автомобільні напівпричепи належать до класу складних транспортних виробів, до яких пред'являються підвищені вимоги до надійності, безпеки та питомої матеріаломісткості. У зв'язку з цим на стадії проектування, виготовлення експериментального зразка та його доведення, важливим завданням є виявлення вузлів та деталей, що лімітують ресурс напівпричепи, встановлення причин їх переходу в граничний стан та розроблення рекомендацій для підвищення їх ресурсу конструктивними та технологічними методами.

У напівпричепях ОДАЗ, що серійно випускаються, кріплення задньої поперечки до лонжеронів несучої рами здійснюється зварюванням за допомогою косинок прямокутної форми (рис. 1).

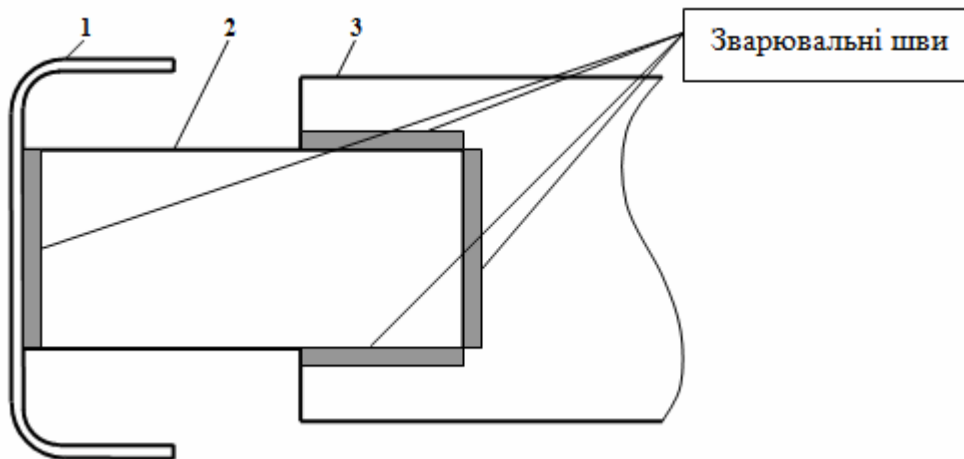


Рис. 1 Схема кріплення поперечки до лонжерону
за допомогою жорсткої косинки
1 – поперечка; 2 – косинка; 3 – лонжерон

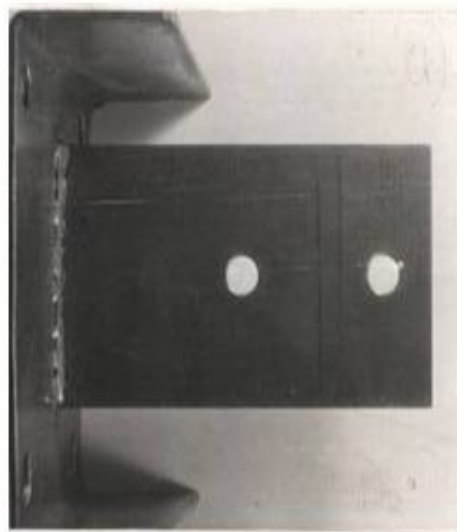
У результаті ходових ресурсних випробувань однієї з моделей автопричепа з баластовим вантажем була візуально встановлена недостатня міцність даного з'єднання: на поперечці, у двох місцях її кріплення до лонжеронів були виявлені макротріщини втомного характеру.

При русі напівпричепа навантаження на даний вузол мало випадковий характер, викликаючи у ньому складний напружений стан. Деформації лонжеронів при русі напівпричепа мали велику вертикальну складову, викликаючи у верхній та нижній частинах косинки значне напруження згину. Виходячи з цього, був зроблений висновок про те, що руйнування обумовлено змінною напруження згину косинки, жорстко (шляхом ручного електродугового зварювання) пов'язаної з лонжероном.

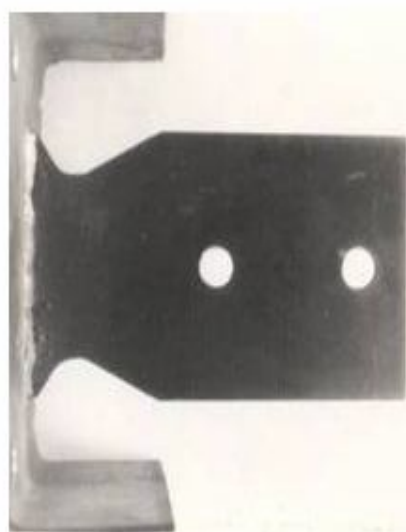
Для підвищення довговічності розглянутого вузла було прийнято рішення про заміну жорсткої конструкції на демпфуюче з'єднання. Зокрема, були розроблені три конструктивні варіанти, кожен з яких відрізнявся ступенем демпфування. При їх проектуванні вирішувалося завдання забезпечення необхідної міцності втомі з'єднання з одночасним зниженням маси і збереженням приєднувальних розмірів. Такі властивості були забезпечені геометричною формою косинки із змінною жорсткістю у вертикальній площині.

Для порівняльної експериментальної оцінки міцності втомі розроблених варіантів конструкції з'єднання були спроектовані і виготовлені їх моделі в натуральну величину (рис. 2) з урахуванням можливості їх закріплення на випробувальній установці резонансного типу (рис. 3).

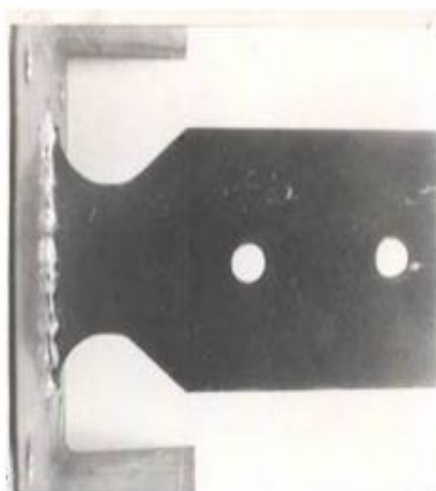
Матеріал моделей та технологія їх виготовлення відповідали реальній конструкції. З метою отримання демпфуючих властивостей у косинках були зроблені викружки діаметром 1020 мм, причому в одному з варіантів (варіант г) було зменшено ширину косинки.



a



б



в



г

*Рис. 2. Варіанти конструктивного виконання косинки:
а – жорстка; б – з викружками 10 мм; в – з викружками 20 мм;
г – з викружками 20 мм та зменшеною шириною*

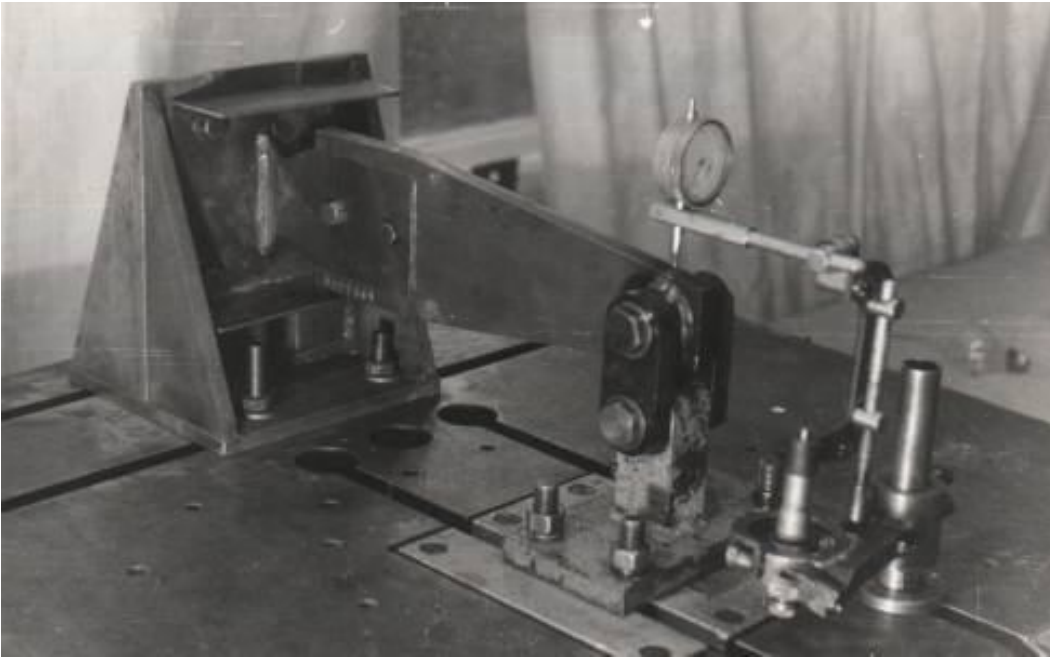


Рис. 3. Пристосування для випробування моделей з'єднання лонжерон-поперечина на знакозмінний симетричний згин

Для аналізу напруженого стану у виготовлених моделях за допомогою програмного комплексу ANSYS були складені їх тривимірні моделі. Методом кінцевих елементів були визначені еквівалентні напруження, що виникають при вертикальному згині моделей навантаженням, прикладеним до робочого столу машини (800 Н), яка викликала номінальне напруження в мінімальному перерізі косинки 81,5 МПа. Еквівалентні поля напружень визначали в припущенні пружнопластичної деформації конструкції (рис. 4-7).

При розрахунку полів напруження була використана білінійна ізотропна модель пластичності Хубера-Мізеса. При цьому границя міцності сталі 20 була прийнята рівною 550 МПа, а напруження $\sigma_{02} = 230$ МПа.

На рисунках 4-7 видно, що максимальне еквівалентне напруження для жорсткої конструкції сконцентроване в невеликій зоні біля країв косинки. У варіанті з косинкою, що демпфує (*тип б*), ця зона за розміром дещо більша, проте величина діючих напружень на 5 % менше. У з'єднаннях (*тип в*) та (*тип з*) максимальні напруження приблизно однакові і порівняно з варіантом (*тип а*) менші на 22 %. (рис. 8).

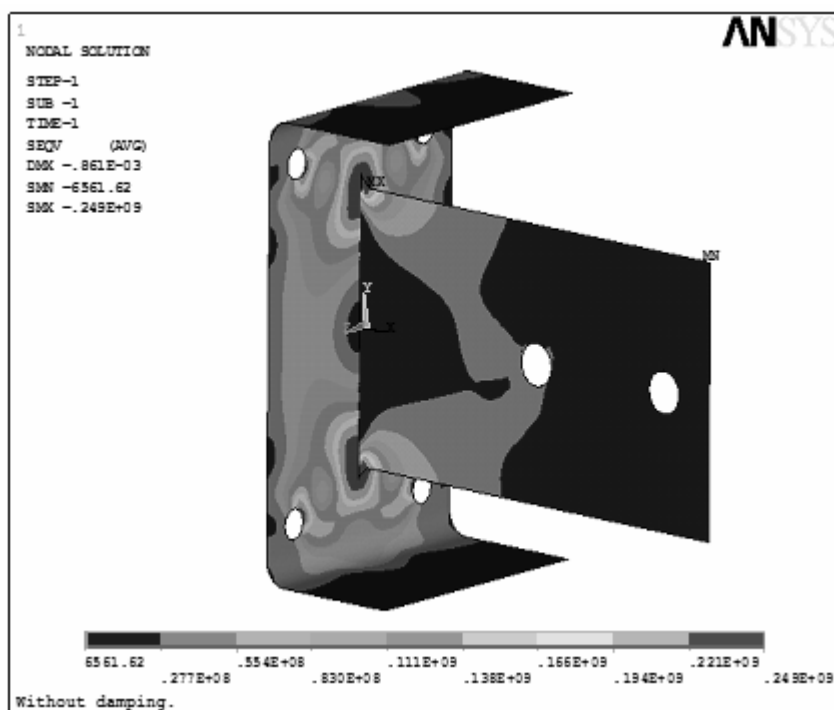


Рис. 4. Поля напружень у поперечці та косинці (тип а)

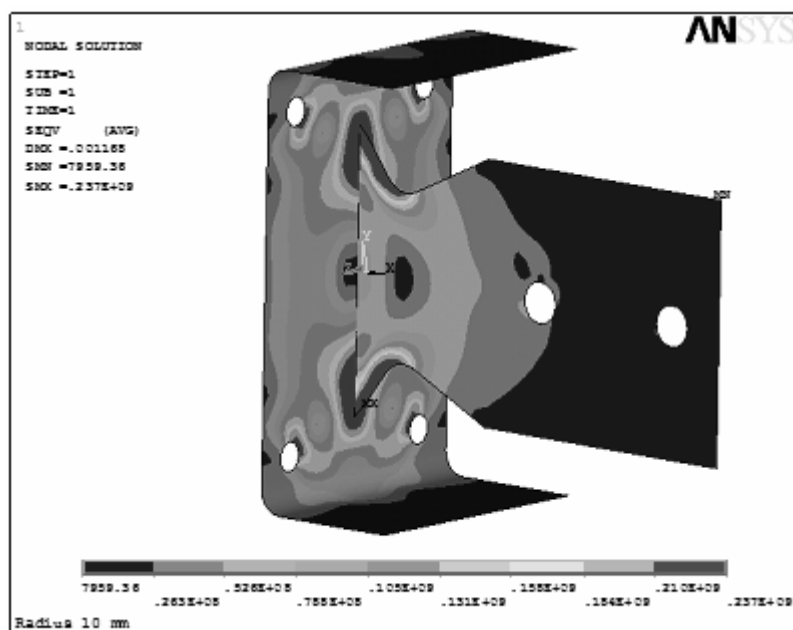


Рис. 5. Поля напружень з'єднання косинка-поперечка (тип б)

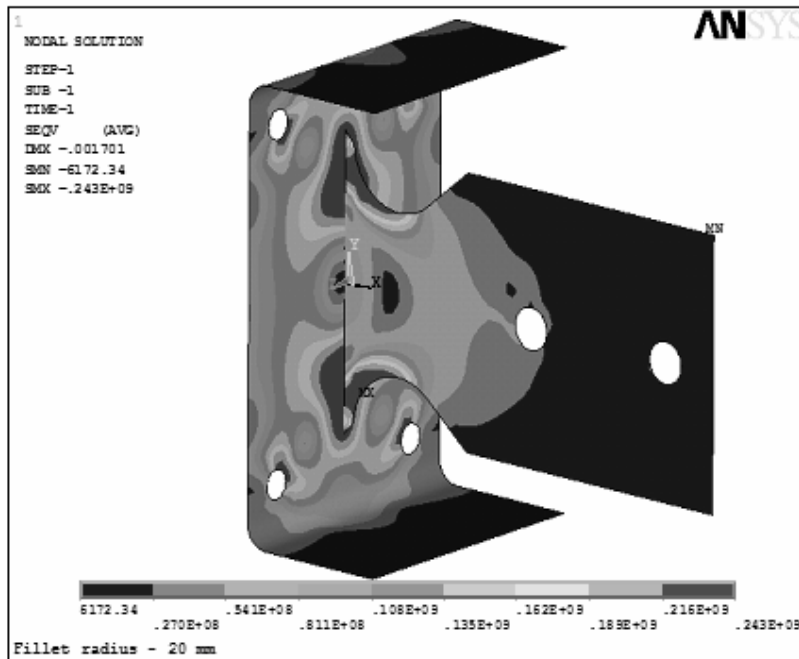


Рис. 6. Поля напружень з'єднання косинка – поперечка (тип в)

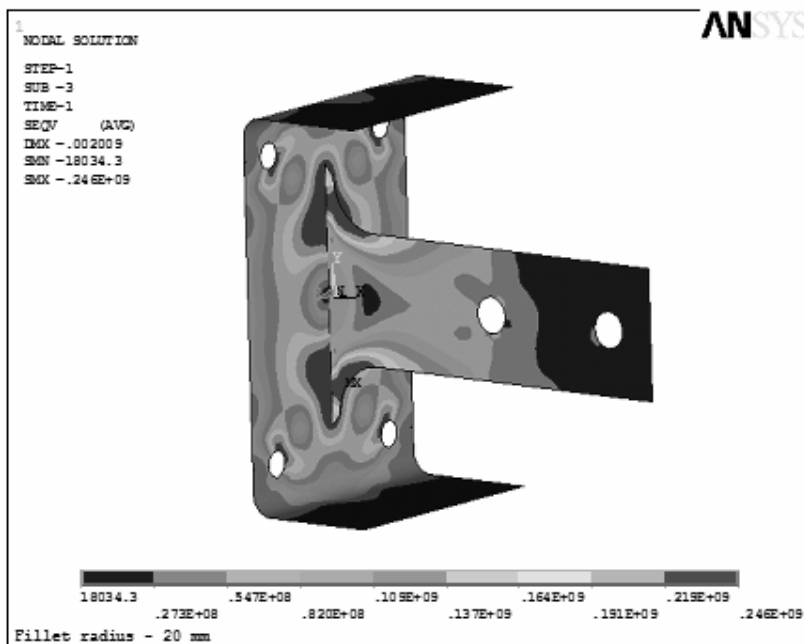


Рис. 7. Поля напружень з'єднання косинка – поперечка (тип з)

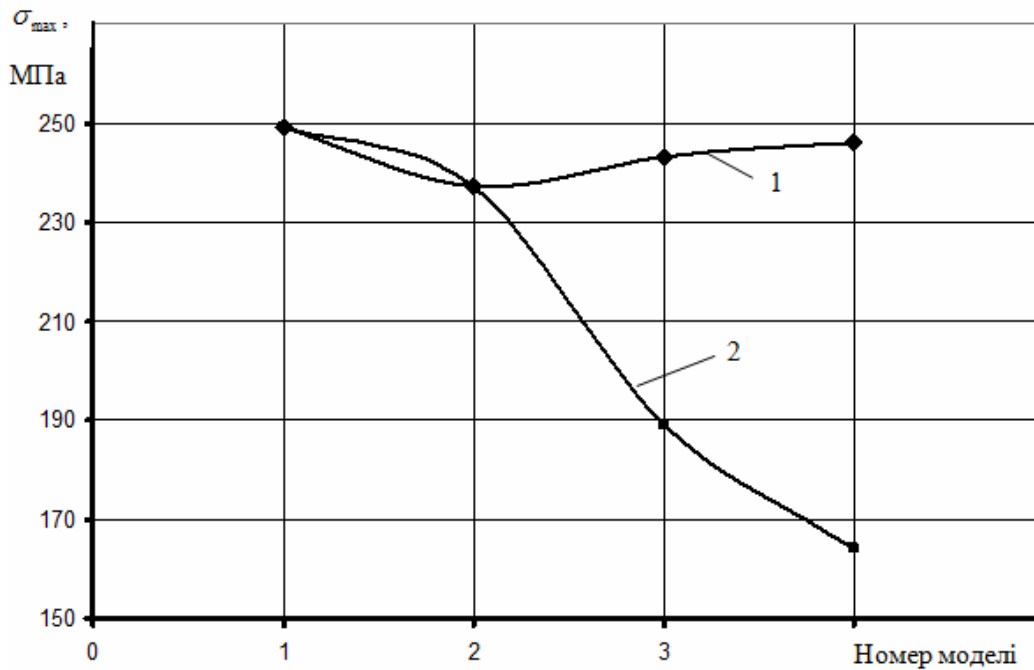


Рис. 8. Розподіл еквівалентних напружень у поєднанні косинка-поперечка:
1 – максимальне напруження в деталях з'єднання;
2 – напруження у верхній та нижній частинах косинки, що прилягають до поперечки

Проведений розрахунок дає уявлення про те, як перерозподіляються поля напружень залежно від зміни геометрії косинки, однак він не дає відповіді на питання про втомну міцність запропонованих варіантів з'єднання.

Для оцінки втомної міцності запропонованих конструкцій з'єднання використано експериментальні методи визначення характеристик опору втомі, а саме прискорені методи визначення границі витривалості. Отримані результати можна порівняти з результатами тривалих випробувань моделей жорсткої конструкції (типу а), які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати випробувань моделей зварної конструкції жорсткого типу (типу а)
за стандартним методом

σ, МПа	160	140	120	100	80	60
N, Цикл.	39800	63100	102300	182000	478600	2089300

У результаті як тривалих, так і прискорених випробувань характер руйнування моделей відповідав характеру руйнування реального з'єднання лонжерон-поперечина, що спостерігається при ходових випробуваннях з баластним вантажем. Характер руйнування показано на рисунку 9.



Рис. 9. Характер руйнування з'єднання лонжерон-поперечина

Для порівняльної оцінки границі витривалості аналізованих конструкцій з'єднання було визначено індивідуальні значення границі витривалості кожної випробуваної моделі за допомогою двох методів (для порівняння результатів).

Перший із них заснований на використанні параметрів середньомірної кривої втоми, вираженої модернізованим рівнянням Вейбулла, що має вигляд

$$(\sigma - A)^{m_w} \cdot N = 10^{C_w}, \quad (1)$$

де σ і N – поточні значення напруження та числа циклів до руйнування відповідно;

m_w і C_w – параметри, що характеризують кут нахилу та початкову абсцису кривої втоми відповідно;

A – параметр, що має розмірність напруження та визначається з умови отримання максимального значення коефіцієнта кореляції при поданні кривої втоми в координатах $\lg N - \lg(\sigma - A)$.

Відповідно до цього методу границю витривалості визначають з рівності

$$\sigma_{R1} = A + \left[\frac{(\sigma_i - A)^{m_w} \cdot N_i}{N_{GW}} \right]^{1/m_w}. \quad (2)$$

де N_{GW} – довговічність, що відповідає значенню $A = 40$ МПа.

Другий метод базується на рівності функцій розподілу границі витривалості та довговічності до руйнування. Відповідно до цього методу величину границі витривалості знаходять за формулою

$$\sigma_{R1} = \bar{\sigma}_R + \frac{S_{\sigma_R} \cdot (N - \bar{N})}{S_N}, \quad (3)$$

де N_{GW} – довговічність, що відповідає середньомовірній кривій втоми.

В результаті обробки експериментальних даних було отримано такі значення параметрів модернізованого рівняння Вейбулла: $m_W = 2,203$; $C_W = 9,193$; $A = 40$ МПа; $N_{GW} = 2122418$ циклів. Значення середньої границі витривалості $\bar{\sigma}_R$ та її середньоквадратичного відхилення S_{σ_R} визначали за допомогою методу «вгору-вниз» за результатами випробувань 20 моделей жорсткої конструкції. Результати розрахунку індивідуальних значень границі витривалості представлені у графічній формі на рисунку 10.

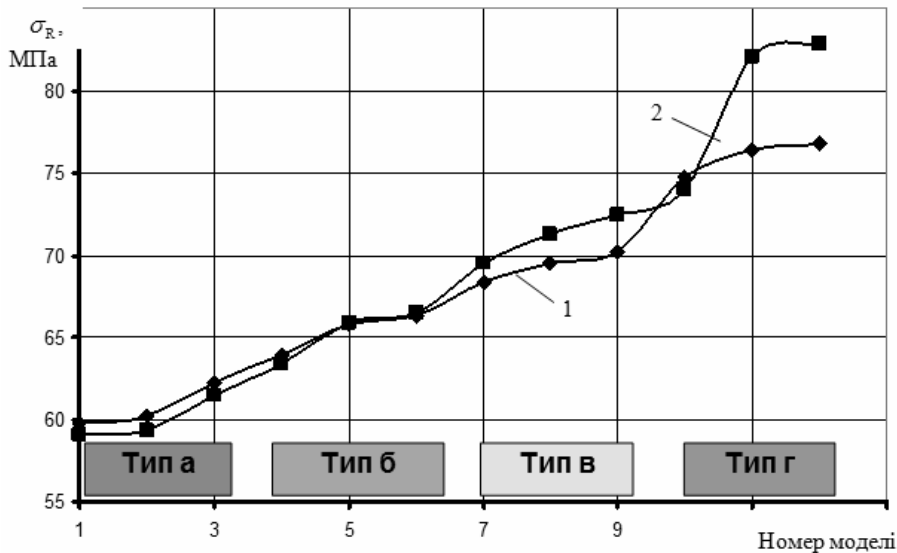


Рис. 10. Значення індивідуальних границь витривалості з'єднань типів а, б, в, г:
1 – згідно з 1 методом; 2 – згідно з 2 методом

Таким чином, завдання вибору найбільш раціональної конструкції кріплення лонжерон-поперечина за допомогою косинки вирішена на основі двох прискорених методів, що призвели до практично однакового результату. Це дозволяє вважати отримані результати надійними. Застосування косинки з демпфуючими елементами в даному випадку дозволило підвищити границю витривалості вузла більш ніж на 30 % з одночасним зниженням маси.

Висновки

1. Для оцінки втомної міцності деталей та елементів конструкцій з демпфуючими властивостями доцільно використовувати експериментально-розрахункові методи.

2. З метою скорочення тривалості експерименту та кількості об'єктів випробувань необхідна заміна тривалих випробувань прискореними.

3. Для контролю точності оцінки границі витривалості бажано використовувати два або кілька прискорених методів, що базуються на одних і тих же експериментальних даних.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент № 2041408 // Поршень / А.М. Красильников, В.М. Сидорін, В.С. Михальченко, Г.В. Кострова, А.В. Конопльов, Н.А. Гернер. № 5023474. – Заявл. 03.08.91; опубл. 09.08.1995, бюл. № 22.
2. Красильников А.М., Конопльов А.В., Гайошко Л.А. Ефект витривалості або демпфуючі сполуки, передачі, деталі. – Одеса: Астропринт, 2006. – 424 с.
3. Сур'янінов Н.Г., Старіков М.А. Застосування програмного комплексу ANSYS у розрахунках механіки руйнування // Вісник ОНМУ. – 2005. – № 15. – С. 172-180.

REFERENCES

1. Patent № 2041408 // Piston / A.M. Krasilnikov, V.M. Sidorin, V.S. Mihalchenko, G.V. Kostrova, A.V. Konoplev, N.A. Gerner. № 5023474. – Declared 03.08.91; Published 09.08.1995, bull. № 22.
2. Krasilnikov A.M., Konoplev A.V., Gaioshko L.A., Effect vitrivalosti abo demp-fuuchi spoluki, peredachi, detali. [Endurance effect or damping compounds, gears, parts]. – Odesa: Astroprint, 2006. – 424 l.
3. Suryaniniv N.G., Starikov M.A. Zastosuvannya programnogo kompleksu ANSYS u rozrahunkah mehaniki ruinuvannya [Application of the ANSYS software complex in fracture mechanics calculations] // (Bulletin of ONMU: Collection of scientific works. Issue 15 [Professional publication of Ukraine]). – Odesa, ONMU, 2005. – l. 172-180.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2023

Посилання на статтю: Конопльов А.В., Шумило О.М., Кононова О.М., Чередарчук Н.І., Галевський В.В., Вовк В.В. Підвищення втомної міцності зварної конструкції автопричепа за рахунок збільшення демпфуючої здатності її деталей // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць, 2023. № 2 (69). С. 93-104. DOI 10.47049/ 2226-1893-2023-2-93-104 .

Article received 10.04.2023

Reference a journalartic: Konoplev A.V., Shumilo A.N., Kononova O.N., Cheredarchuk N.I., Halevskiy V.V., Vovk V.V. Increasing the fatigue strength of the welded structure of the trailer due to the increase in the damping capacity of its parts // Herald of the Odesa National Maritime University. Coll. scient. works, 2023. № 2 (69). P. 93-104. DOI 10.47049/ 2226-1893-2023-2-93-104.