

**Фомін Олексій Вікторович<sup>1\*</sup>, Кара Сергій Віталійович<sup>2</sup>, Прокопенко Павло Миколайович<sup>3</sup>, Туровець Дмитро Андрійович<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Професор кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури та технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2387-9946>

<sup>2</sup>Начальник управління інжинірингу, філія «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Українська залізниця», вул. І. Федорова 39, м. Київ, 03038, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0401-6547>

<sup>3</sup>Аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури та технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1631-6590>

<sup>4</sup>Інженер 1 категорії науково-дослідного відділу динаміки і міцності, філія «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Українська залізниця», вул. І. Федорова, 39, м. Київ, 03038, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2405-4065>

\* Автор, відповідальний за листування: [fominaleksejviktorovic@gmail.com](mailto:fominaleksejviktorovic@gmail.com)

## ВИПРОБУВАННЯ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ СПЕЦІАЛЬНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ПІСЛЯ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

*Безпека руху є найважливішою вимогою до роботи залізниць. З метою забезпечення безперебійних перевезень пасажирів і вантажів залізницями підприємством АТ «Українська залізниця», актуальною залишається завдання щодо забезпечення експлуатації рухомого складу поза призначеного строку служби. Виходячи з цього, впливає необхідність проведення випробувань, спрямованих на створення умов по експлуатації рухомого складу зі збереженням динамічних і міцнісних характеристик. В даній статті наведені порядок, обсяг і отримані результати випробувань на міцність та опір втомі рухомого складу після тривалої експлуатації на прикладі спеціального рухомого складу, а саме автодрезини типу АС1а. Отримано результати максимальних рівнів напруг, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнти запасу опору втомі, залежність рівня напружень від швидкості руху. За результатами досліджень розроблено технічне рішення, що дозволяє методами технічного діагностування проводити продовження терміну служби автодрезин типу АС1а після завершення призначеного терміну служби.*

**Ключові слова:** рухомий склад, несучі конструкції, автодрезини, випробування, міцність, опір втомі, термін служби.

**Вступ.** З метою забезпечення виконання підприємствами АТ «Українська залізниця» вантажних і пасажирських перевезень, актуальним завданням є продовження строку служби та забезпечення безпечної експлуатації рухомого складу, в тому числі спеціального рухомого складу.

Об'єктом досліджень обрана автодрезина типу АС1а, яка використовується Ніжинською дистанцією сигналізації і зв'язку (ШЧ-11) регіональної філії «Південно-Західна залізниця» АТ «Українська залізниця» (рис. 1), з вичерпаним призначеним строком служби.



Рис. 1. Об'єкт випробувань – автодрезина АС1а

**Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми.** На сьогоднішній день проблеми безпеки руху та визначення ресурсу несучих конструкцій рухомого складу, в тому числі спеціального рухомого складу, присвячена значна кількість наукових робіт.

Дослідження, викладені в матеріалі [1] описують сучасний стан, проблеми та їх вирішення, а також способи та методи продовження терміну служби рухомого складу. В роботі [2] проведено дослідження несучих конструкцій від роботи з вантажами, як основного чинника навантажень для кранів на залізничному ході. В роботі [3] дослідження спеціальних вагонів розширені ударними випробуваннями для обліку навантажень при роботі в складі поїздів. У роботах [4, 5] проведено дослідження найбільш близьких по особливостям експлуатації до АС1а автомотрис, але недостатньо уваги приділено статичним напруженням від власної ваги.

З урахуванням вищезазначеного можна зробити висновок, що результати аналізу інформаційних джерел з досліджуваного питання свідчать про недостатню кількість методичних та практичних матеріалів для визначення всіх необхідних показників для подальшого продовження терміну служби несучих металевих конструкцій автомотрис типу АС1а.

В даній статті проведено теоретичні та практичні дослідження з оцінки та аналізу міцності автомотрис АС1а, визначення коефіцієнта запасу опору втомі, що в свою чергу дасть можливість подальшого продовження терміну служби несучих металевих конструкцій автомотрис АС1а, визначити безпечні швидкості руху.

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи – опис практичних методів проведення випробувань на міцність і дослідження напружено-деформованого стану. В рамках даного дослідження встановлюються показники міцності і опору втомі. При цьому основними факторами, які впливають на коефіцієнт запасу опору втомі, є:

вертикальні і поздовжні зусилля, які залежать від власної ваги і корисного вантажу рухомого складу, динамічних якостей, особливостей конструкції, інтенсивності експлуатації;

матеріал, з якого виготовлена рама, з урахуванням його деградації після тривалої експлуатації;

технічний стан рухомого складу.

Для досягнення поставленої мети були визначені і вирішені наступні завдання:

аналіз раніше проведених досліджень в області випробувань рухомого складу, в т.ч. спеціального;

аналіз нормативної бази з випробувань рухомого складу;  
розробка, узгодження програми та методики проведення випробувань;  
проведення випробувань і оцінка результатів;  
розробка технічного рішення для подальшого технічного діагностування і продовження терміну служби випробуваного типу рухомого складу.

**Матеріали і методи дослідження.** Ходові міцнісні випробування проводять шляхом реєстрації процесів в контрольних точках деталей рами кузова під час дослідницьких поїздок в діапазоні експлуатаційних швидкостей, якщо це не загрожує безпеці руху. За результатами вимірювань виконують розрахунки, оцінюють коефіцієнт запасу опору втомі.

Реєстрація вимірюваних процесів ходових випробувань на міцність проводиться на прямих і кривих ділянках колії, стрілочних переводах у всьому діапазоні допустимих експлуатаційних швидкостей.

Ходові міцнісні випробування проводять під час поїздок в реальних умовах експлуатації з реєстрацією динамічних процесів і деформацій в контрольних точках.

В процесі ходових випробувань на міцність автотрис АС1а вимірюються, аналізуються та оцінюються такі величини і показники:

напруги в поздовжньому напрямку на нижній полиці балки рами кузова між кронштейном кріплення ресорного підвішування і щелепою буксового вузла;

напруги в поздовжньому напрямку на нижній полиці балки по центру рами кузова;

напруги в поздовжньому напрямку на нижній полиці балки рами кузова біля кронштейна кріплення ресорного підвішування;

швидкість руху.

Місця установки тензодатчиків при ходових випробуваннях наведені на рис. 2.

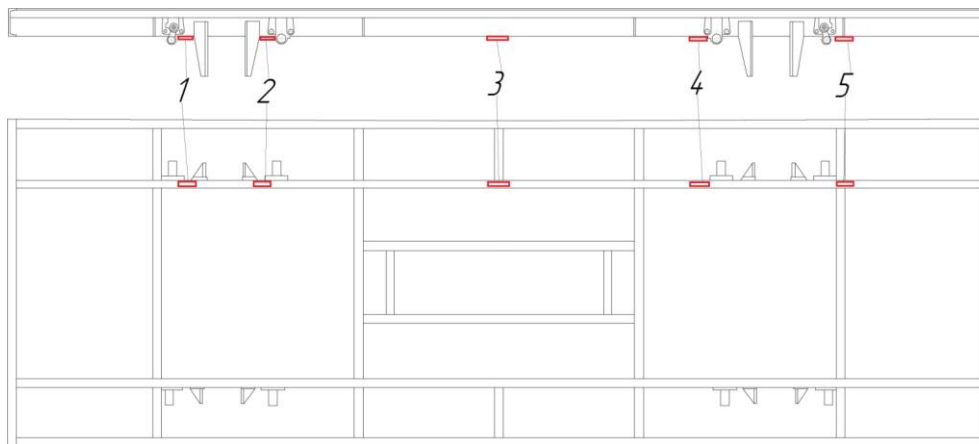


Рис. 2. Схематичне позначення місць установки тензорезисторів на несучих конструкціях рами кузова автодрезини АС1а

**Результати досліджень.** Обробка даних ходових випробувань на міцність автотриси передбачає розшифровку, ідентифікацію та систематизацію параметрів зареєстрованих процесів що викликають динамічні напруги. Частота опитування тензорезисторів при знятті показань становить 400 Гц.

Дослідні дані групуються за діапазонами швидкостей руху (10-20 км/год.) і по ділянках шляху (пряма, крива, стрілки й ін.). Результати визначення напружень в несучих конструкціях під час проведення ходових міцнісних випробувань, наведені в таблиці 1, де СКО – середньоквадратичне відхилення.

Допустимі напруження матеріалу несучих конструкцій автотрис АС1а прийнято  $0,9\sigma_T = 221$  МПа.

Приймаючи максимальний коефіцієнт динаміки для дослідних місць  $K_D = 0,4$ , статичні навантаження оцінені і приведені в таблиці 2. Максимальні експлуатаційні навантаження в місцях установки тензорезисторів оцінено як суму статичних і динамічних напружень.

**Таблиця 1. Результати визначення рівнів напруг за результатами ходових міцнісних випробувань**

Ка-нал	Діапазон швидкостей, км/год													
	10-20		20-30		30-40		40-50		50-60		60-70		70-80	
	Макс	СКО	Макс	СКО	Макс	СКО	Макс	СКО	Макс	СКО	Макс	СКО	Макс	СКО
	Напруження, МПа													
1	12,05	2,54	13,28	3,20	12,84	3,73	12,13	3,96	10,61	3,77	12,32	4,35	16,79	5,31
2	22,69	3,66	18,87	4,25	17,21	4,83	17,67	5,08	16,01	4,99	19,20	5,78	26,79	7,39
3	8,40	1,05	7,26	1,05	6,82	1,10	7,74	1,19	7,96	1,19	6,82	1,28	6,06	1,66
4	5,86	1,17	5,80	1,26	6,04	1,35	5,62	1,47	5,23	1,44	6,65	1,85	8,57	2,61
5	5,45	1,31	7,95	1,68	7,80	1,75	7,93	1,84	7,38	1,89	8,33	2,16	10,82	2,91

**Таблиця 2. Результати визначення напружень несучих конструкцій автотрис АС1а**

№ каналу	Максимальні динамічні напруження, МПа	Максимальні статичні напруження, МПа	Максимальні сумарні напруження, МПа
1	16,79	41,975	58,765
2	26,79	66,975	<b>93,765</b>
3	8,4	21	29,4
4	8,57	21,425	29,995
5	10,82	27,05	37,87

За результатами досліджень напружено-деформованого стану встановлено, що напруження в несучих металевих конструкціях автодрезин типу АС1А не перевищують допустимих. При цьому встановлено значне підвищення рівня напружень в рамі автодрезини АС1а на швидкостях 70-80 км/год в порівнянні з рівнем напружень на швидкостях до 70 км/год.

На основі отриманих значень напружень (таблиця 2), проведено розрахунок опору втомі несучих конструкцій автотрис.

Оцінку опору втомі розраховано за формулою:

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma \sigma_V + \psi \sigma_m} > [n] \quad (1)$$

де  $\sigma_{-1}$  – середнє значення границі витривалості стандартного зразка при симетричному циклі навантажені, приймаємо  $\sigma_{-1} = 190$  МПа;

$K_\sigma$  – коефіцієнт, що характеризує пониження границі витривалості конструкції по відношенню до границі витривалості стандартного зразка;

$\sigma_V$  – амплітуда напружень циклу;

$\sigma_m$  – середнє напруження циклу;

$\psi$  – коефіцієнт, що характеризує вплив асиметрії циклу,  $\psi = 0,3$ ;

$[n]$  – допустимий коефіцієнт запасу опору втомі.

Значення коефіцієнта, що характеризує пониження границі витривалості визначається за формулою:

$$K_{\sigma} = \frac{K_1 \cdot K_2}{\gamma \cdot m} \cdot \beta_K \quad (2)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт, що враховує вплив неоднорідності матеріалу деталі, для прокату  $K_1 = 1,1$ ;

$K_2$  – коефіцієнт, що враховує вплив внутрішніх напружень в деталі,  $K_2 = 1$ ;

$m$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхні деталі,  $m = 0,9$ ;

$\gamma$  – коефіцієнт, що враховує вплив розмірного фактору,  $\gamma = 0,5$ ;

$\beta_K$  – ефективний коефіцієнт концентрації напружень у вузлах складної форми.

Значення коефіцієнтів опору втомі для зон 1 – 5 автомотриси АС1а, приведено в таблиці 3.

Допустиме значення коефіцієнта запасу опору втомі  $[n] = 1,4$ .

По результатам роботи, враховуючи [7-10] розроблено Технічне рішення [11].

**Таблиця 3. Значення коефіцієнтів запасу опору втомі досліджуваних зон автодрезини АС1а**

№ каналу	Параметри оцінки опору втомі					[n]
	$K_{\sigma}$	$\sigma_v$	$\psi$	$\sigma_m$	n	
1	5,62	15,93	0,3	41,975	1,66	1,4
2	5,62	22,17	0,3	66,975	<b>1,2</b>	
2*	5,62	17,34	0,3	66,975	1,44*	
3	5,62	4,98	0,3	21	>2	
4	5,62	7,83	0,3	21,425	>2	
5	5,62	8,73	0,3	27,05	>2	

\*при обмеженні швидкості на рівні 70 км/год.

Дана публікація зроблена в рамках проекту: "Розробка концептуальних основ для відновлення ефективного функціонування застарілих вантажних вагонів (Development of conceptual frameworks for restoring the efficient operation of obsolete freight cars)" (реєстраційний номер проекту: 2020.02 / 0122), фінансування якого здійснюється Національним фондом досліджень Україна за кошти державного бюджету.

**Висновки.** На основі аналізу досліджень в області випробувань рухомого складу, нормативної бази з випробувань рухомого складу розроблений підхід до проведення випробувань спеціального рухомого складу на прикладі автодрезини АС1а. В рамках даного підходу розроблено та погоджено програму випробувань.

За результатами ходових міцнісних випробувань і досліджень напружено-деформованого стану встановлено, що напруження в несучих конструкціях автомотрис типу АС1а не перевищують допустимих. Додатково встановлено підвищення на 40% рівня напружень в межах допустимих значень в рамі автомотриси АС1а на швидкостях 70-80 км/год, в порівнянні з рівнем напружень на швидкостях до 70 км/год.

Відповідність допустимого значення коефіцієнта запасу опору втомі виконується на швидкостях до 70 км/год включно.

За результатами проведеної роботи встановлено можливість подальшого продовження терміну служби несучих металевих конструкцій автомотрис АС1а під час проведення контролю технічного стану на термін до 60 років з дати побудови.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Третьяков А.В. Продления срока службы подвижного состава. Санкт-Петербург, 2011-301 с.
2. Технічне рішення щодо продовження терміну служби кранів на за лізничному ходу до 60 років. ТРНДКТИ/НВЦ.КР.01-2018. Київ НДКТИ, 2018. 16 с.

3. Дослідження залишкового ресурсу з метою продовження терміну служби спеціальних вагонів для перевезень спецконтингенту. Київ НДКТИ, 2019 - 52 с.
4. Технічне рішення щодо забезпечення експлуатації автоматрис типу АДМ поза продовженим терміном служби. ТР.НДКТИ/ІІ.АДМ.01–2019. Київ НДКТИ, 2019. 14с.
5. Технічне рішення щодо забезпечення експлуатації автоматрис типа АГВ поза продовженим терміном служби. ТР.НДКТИ/ІІ.АГВ.01–2019. Київ НДКТИ, 2019. 14с.
6. Контрольні випробування несучих конструкцій спеціалізованого рухомого складу типів АГМу, АС-1А з метою продовження терміну служби. Програма випробувань НДКТИ/НВЦ УІ 006-20. Київ НДКТИ, 2020. 18с.
7. S.M. Turpak, I.O. Taran, O.V. Fomin, O.O. Tretiak Logistic technology to deliver raw material for metallurgical production. Scientific Bulletin of National Mining University, Issue 1, 2018. P. 162-169.
8. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів. Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського». Кременчук. 2013. Вип. 6(83). С. 87-91.
9. Fomin O.V. Theoretical foundations of the software complex for the determination and use of mathematical models of freight wagons. Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'kohonatsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho». 6(83). P. 87-91.
10. Fomin, Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina, and Vladimir Hauser. "Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry." Communications-Scientific letters of the University of Zilina 21, no. 1. 2019. p. 28-34.
11. Технічне рішення щодо забезпечення експлуатації автодрезин типа АС-1А поза продовженим терміном служби. ТР.НДКТИ/ІІ.АС-1А.01–2020. Київ НДКТИ, 2020 – 13с.
12. O. Fomin, A. Lovska, V. Masliyev, A. Tsymbaliuk, O. Burlutski. Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 7, Issue 1 (97)., 2019. P. 33–40..
13. Fomin Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina, Vladimir Hauser. Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry. Communications-Scientific letters of the University of Zilina 21, no. 1, 2019. P. 28-34.
14. Gorbunov M., Kara S., Nozhenko O., Fomin O., Vaiciunas G., Petrenko V. Creation of the image of the new generation freight car bogie. Transport Means - Proceedings of the International Conference 2018-October, p. 1277-1283.
15. M. Gorbunov, J. Gerlici, S. Kara, O. Nozhenko, G. Chernyak, K. Kravchenko, T. Lack. New principle schemes of freight cars bogies. «Manufacturing Technology». Volume 18, Issue 2, 1 April 2018, P. 233-238.

## REFERENCES

1. Tretiyakov A.V. (2011) Extending the service life of rolling stock. St. Petersburg. P. 301
2. NDKTI (2018) A technical solution for extending the service life of railway cranes up to 60 years. TR.NDKTI/NVC.KR.01-2018. Kiev. P. 16
3. NDKTI (2019) Study of the residual life in order to extend the service life of special cars for the transportation of special contingents. Kiev. P. 52
4. NDKTI (2019) Technical solution to ensure the operation of railcars of type ADM outside the extended service life. TR.NDKTI/UI.ADM. 01–2019. Kiev. P. 14p
5. NDKTI (2019) Technical solution to ensure the operation of AGV railcars outside the extended service life. TR.NDKTI / UI.AGV. 01–2019. Kiev. P. 14
6. NDKTI (2020) Control tests of supporting structures of specialized rolling stock of AGMu, AS-1A types in order to extend the service life. Test program NDKTI/NVC UI 006-20. Kiev. P. 18
7. S.M. Turpak, I.O. Taran, O.V. Fomin, O.O. (2018). Tretiak Logistic technology to deliver raw material for metallurgical production. Scientific Bulletin of National Mining University, Issue 1. 162-169 DOI: 10.29202/nvngu/2018-1/3.
8. Fomin O. (2013). Theoretical bases of the software complex of definition and use of mathematical models of components of freight cars. Scientific journal "Bulletin of Kremenchug National University named after Mikhail Ostrogradsky". Kremenchuk. №. 6 (83). 87-91.
9. Fomin O.V. (2013). Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv. Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'kohonatsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho». 6(83). 87-91.
10. Fomin, Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina, and Vladimir Hauser. (2019). Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry. Communications-Scientific letters of the University of Zilina 21, no. 1. 28-34.
11. NDKTI (2020) Technical solution to ensure the operation of auto-rail cars of the AS-1A type outside the extended service life. TR.NDKTI / UI.AS-1A.01–2020. Kiev. P. 13
12. O. Fomin, A. Lovska, V. Masliyev, A. Tsymbaliuk, O. Burlutski. (2019). Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 7, Issue 1 (97). P. 33–40. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.154282.
13. Fomin Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina, Vladimir Hauser. (2020). Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its

Transportation on the Railway Ferry. Communications-Scientific letters of the University of Zilina 21, № 1. P. 28-34.

14. Gorbunov M., Kara S., Nozhenko O., Fomin O., Vaiciūnas G., Petrenko V. (2018). Creation of the image of the new generation freight car bogie. Transport Means - Proceedings of the International Conference 2018-October, p. 1277-1283.

15. M. Gorbunov, J. Gerlici, S. Kara, O. Nozhenko, G. Chernyak, K. Kravchenko, T. Lack. (2018). New principle schemes of freight cars bogies. «Manufacturing Technology». Volume 18, Issue 2, 1. P. 233-238.

**Fomin Oleksij<sup>1</sup>, Kara Serhii<sup>2</sup>, Prokopenko Pavlo<sup>3</sup>, Turovets Dmytro<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Professor of the Department of Cars and Carriage Facilities, State University of Infrastructure and Technology, 9, Kyrylivska str., Kyiv, 04071, Ukraine

<sup>2</sup>Head of the Engineering Department, Branch "Scientific Research and Design Technological Institute of Railway Transport" JSC "Ukrainian Railway", 39, I. Fedorova str., Kyiv 03038, Ukraine

<sup>3</sup>Post-graduate student of the department "Cars and carriage facilities", State University of Infrastructure and Technologies, State University of Infrastructure and Technologies, 9, Kyrylivska str., Kyiv, 04071, Ukraine

<sup>4</sup>Engineer of the 1st category of the research department of dynamics and strength, the branch "Research and design-technological institute of railway transport" JSC "Ukrainian Railway", 39, I. Fedorova str., Kyiv 03038, Ukraine

## TESTS OF LOADING STRUCTURES OF A SPECIAL ROLLING STOCK AFTER LONG OPERATION

*Traffic safety is an essential requirement for railways. In order to ensure uninterrupted transportation of passengers and goods by rail by the enterprise of JSC "Ukrainian Railways", the task of ensuring the operation of rolling stock outside the assigned line of service remains urgent. Proceeding from this, it follows that it is necessary to carry out tests aimed at creating conditions for the operation of rolling stock while maintaining dynamic and strength characteristics. This article presents the order, scope and results of strength tests of rolling stock after long-term operation on the example of an AS1a-type railroad car. The results of the maximum stress levels, standard deviation, fatigue safety factors, the dependence of the stress level on the speed of movement are obtained. Based on the research results, a technical solution has been developed that allows using technical diagnostics methods to extend the service life of the AS1a type railroad cars after the end of the assigned service life.*

**Keywords:** rolling stock, supporting structures, auto-rail, tests, strength, fatigue resistance, service life.