

DOI:

UDC 621.971.2

B. Sereda, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automobiles and Automotive Industry, seredabp@ukr.net

V. Voloh, graduate student

D. Sereda, Candidat of Technical Sciences, Senior lecturer
Dniprovsky State Technical University, Kamianske

MATHEMATICAL MODELING OF DEFORMATION LOAD OF STRUCTURAL STEELS IN RELATION TO THE ESTIMATION OF THE STRUCTURE BY THE VALUE OF COERCIVE FORCE

In the robot, the mathematical model of the process of the stressed mill of steels with uniaxial stretching is discerned, the deposit of coercive forces is seen from the applied tension and the establishment of critical values of the stressed mill. Prior to the mechanism of forming the structural process for low-carbon steel, the method of thermodynamic analysis of possible reactions between the components of the system was used. For the physical process, an universal program for the development of rich-component heterogeneous systems TERRA on the basis of the ASTRA-4 programs is used.

According to the methods of mathematical modeling, there is a rational and permissible boundary of the values of the stressed steel mill for the purpose of determining the permissible values of the stress due to the magnitude of the coercive force.

Keywords: *deformation navantazhennya; steel; coercive force; deformation; structure; grain size.*

В роботі розглянуто математичне моделювання процесу напруженого стану сталей при одноосному розтягненні та розглянута залежність коерцитивної сили від прикладеного навантаження та встановлення критичних значень напруженого стану. Дослідження механізму формування структурного процесу для низьковуглецевої сталі використовували метод термодинамічного аналізу можливих реакцій між компонентами системи. Для фізичного процесу використовується універсальна програма розрахунку багатокомпонентних гетерогенних систем TERRA на базі програми АСТРА-4.

З застосуванням методів математичного моделювання визначено раціональний та допустимі границі величин напруженого стану сталей з ціллю визначення допустимих значень напруженості за величиною коерцитивної сили.

Ключові слова: *деформаційне навантаження; сталь; коерцитивна сила; деформація; структура; розмір зерна.*

Formulation of the problem

At present, 80 % of Ukraine's fixed assets have used their standard term. The problem of operation of metal structures of cranes that have exhausted their standard term is relevant and important. The available approaches and methods for determining the serviceability of metal structures do not allow to objectively assess the load-bearing capacity of metal structures and assess their durability and without emergency operation.

Intensive development of industry, new technologies and equipment requires the development of approaches and methods for determining the performance of responsible metal structures.

The development of a modeling process to determine the critical values of the performance characteristics of the use of low-carbon steel structures is currently one of the current problems.

Analysis of recent research and publications

When assessing the technical condition of the object under study, it is necessary to have information about the places of stress in which they may be prone to defects in the structure.

In [1,2], the stress state of objects is determined on the basis of the correlation between the readings of the device and the magnitude of tensile mechanical stresses, when measuring the coercive force H_c residual mechanical stresses are estimated.

Analysis of the literature showed that studies of the effect of mechanical loads on the final structure and the relationship with the magnetic properties in the formation were carried out but without mathematical modeling of the process of formation of the final results of mechanical loads. Some works [3,4] only confirm this fact.

Therefore, research aimed at developing the optimal physical load on metal structures operating in harsh industrial conditions and determining the ultimate strength limit by the value of the coercive force is relevant.

Also, the study of the influence of mechanical stresses on the structure of the magnetic characteristics of low-alloy and low-carbon steels were covered in [5—10].

Formulation of the purpose of research

The aim of the work is to model the process of stress state of low-carbon steel and determine the limit value for the value of coercive force and the determined value of grain size and control the structure using the value of coercive force.

Presenting main material

Samples measuring 6×20×300 mm made of low-carbon steel used in the construction of cranes and other metallurgical equipment were used for modeling.

The chemical composition is presented in tabl. 1.

Table 1.

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
0,17	0,44	0,1	0,027	0,019	0,3	0,2	0,4

The process of stretching the sample was performed at different degrees of deformation of 5 %, 10 %, 15 %, 20 %. Stretching of the samples was performed on a rupture machine IR-500-0. Coercive force was measured with a semi-automatic coercimeter KRM-C-K2M. According to [11], the level of measurement of coercive force for low-carbon steel is from 2,5 to 7,5 A/cm. Operating stress range from 225 MPa to 480 MPa.

To model the stress state of the physical and magnetic properties of low-carbon steel — the process of calculating the parameters using a system using TERRA programs [12].

When developing the optimal load regime for low-alloy steel and the process that provides a rational technological process, used the methods of mathematical planning of the experiment with the implementation of a complete factor analysis according to plan 23.

The choice of a rational mode of loading on samples is made on the basis of results of researches used in works [1,3].

Optimization options:

A_1 – applied load MPa.

The calculated levels of variation intervals, the nature of their changes and coding schemes are presented in tabl. 2.

Table 2.

Characteristic	Factors		
	Grain size, D, mm	Coercive force, A/cm	Degree of deformation, %
Code	X_3	X_2	X_1
Basic level	19,0	7,6	12,5
Interval of variation	3,0	0,3	7,5
Lower level	16,0	7,3	5,0
Upper level	22,0	7,9	20,0

The choice of the basic level and intervals of variation is based on the fact that the introduction of cholesterol less than 10 % wt., Leads to disruption of the combustion wave of thermal autoignition. Based on the study of changes in the characteristic temperatures of the SHS process, the amount of cholesterol is selected. Al_2O_3 is used as a ballast impurity to obtain one hundred percent composition of powder SHS charges. The numerical value of the regression coefficients and their significance, determined taking into account the differences of variances for each response function, as well as checking the significance by Student's criterion and assessing the adequacy of the model by Fisher's criterion are presented in tabl. 3.

Table 3. The results of regression analysis of experimental data

Parameter	Response functions
	A_1
b_0	62,956
b_1	0,6
b_2	1,4
b_3	-1,9
b_4	-6,4444
b_5	4,5556
b_6	4,0556
b_7	-2
b_8	1,25
b_9	0,25
Δb	2,027629
t- criterion	2,78
F- criterion	5,23 < 6,25

As a result of regression analysis, we obtain equation (1), which shows the dependence of the load on the grain size mm coercive force and deformation is (%):

$$A_1 = 62,956 - 0,6X_1 + 1,4X_2 - 1,9X_3 - 6,4444X_1^2 + 4,5556X_2^2 + 4,0556X_3^2 - 2X_1X_2 + 1,25X_1X_3 + 0,25X_2X_3. \quad (1)$$

Checking the adequacy of the model shows that it can be used to predict the response function at any values of the factors between the upper and lower levels. For this purpose it is expedient to pass to natural variables, using the translation formula presented in the following kind:

$$X_{ij}^k = \frac{X_{ij}^n - X_{ij}^o}{\Delta_i}, \quad (2)$$

where X_{ij}^k — the coded value of the i -th factor, which is investigated in the j -th equation; X_{ij}^n — natural value of the i -th factor, which is investigated in the j -th equation; X_{ij}^o — value of the i -th factor, which is investigated in the j -th equation at the basic level; Δ_i — value of the interval of variation of the i -th factor.

Coefficients whose absolute value is equal to the confidence interval Δb or more should be considered statistically significant. Statistically insignificant coefficients can be excluded from the models.

By substituting in equations 1 variables X_i for the right part of equation (2) and the subsequent reduction of similar we obtain natural equations that characterize the effects of applied load, the effect of coercive grain size and deformation (%):

$$\Delta A_1 = 5,71 + 10,31X_3 - 3,64X_2 - 3,24X_1 - 0,26X_3^2 + 0,18X_2^2 + 0,16X_3^2. \quad (3)$$

To assess the adequacy of the equation, the calculation of the obtained regression equations for the rational load regime. The results of the calculations are compared with experimental data.

With the help of mathematical planning of the experiment, the number of studies required to calculate the coefficients of the regression equation and obtain an adequate model that characterizes the influence of grain size and coercive force (A/cm) is significantly reduced.

The microstructure of armco iron to and the applied load are presented in Fig.2.

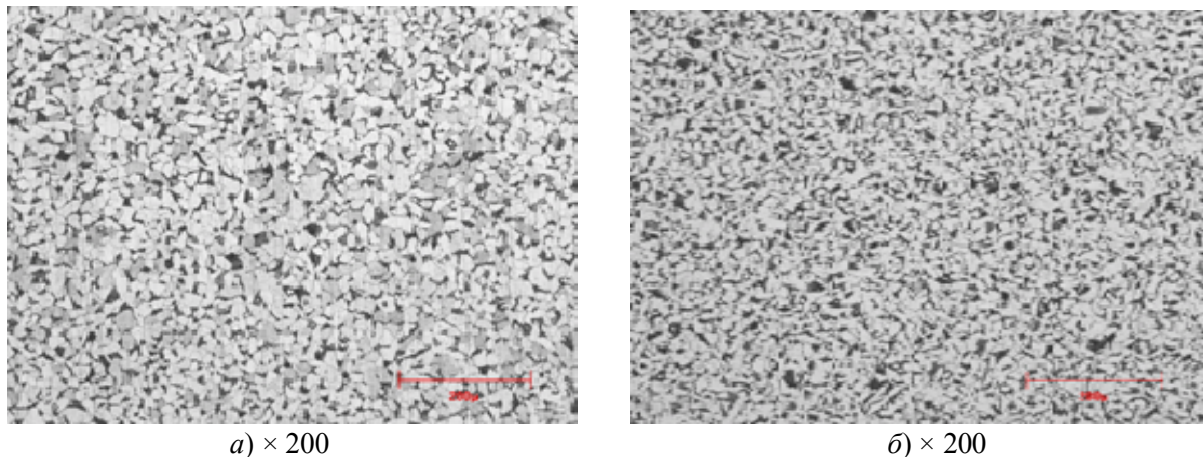


Fig.2. Microstructure of low-carbon steel before the applied load (a), after the load (b)

The rational mode for low-carbon steel is one cooling time in air and the relative number of special limits of 22 % wt., Thus, these values of X1 X2 allow to obtain maximum hardness for armco iron, which correlates with wear resistance.

Conclusions

Mathematical modeling is carried out and the maximum allowable load is determined. Using the methods of mathematical modeling, the optimal load regime and allowable maximum loads for armco iron were determined.

The rational mode for low-carbon steel is one cooling time in air and the relative number of special limits of 22 % wt., Thus, these values of X1 X2 allow to obtain maximum hardness. It is also established that the mode for steel is optimal metal structures of cargo catchment structures.

References

- [1] Gubsky S.A., Sukhomlin V.I., Volokh V.I. (2014) Control of the stress state of steels by coercive force. *Mechanical engineering. zb.nauk. wash. Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy*. Kharkiv, №. 13, P. 6–10.
- [2] Romanenko V.I., Motsny V.V., Volokh V.I., Mospan G.N. (2009) Control of metal fatigue by non-destructive magnetic (coecymetric method) / *Metallurgical and mining industry*. 2009. № 3 P. 56–58
- [3] Brekharya G.P., Sukhomlin V.I., Volokh V.I. (2011) Magnetic control of coercive force of steels 09G2S, 0, 3ps at deformation static loads. Construction, materials science, mechanical engineering. Collection of scientific works. Volume II. Issue 59. Dnipropetrovsk GVUZ "PGA-SA", P. 56–64.
- [4] Aginey R.V., Kuzbozhev A.S. (2011) Features of control of a technical condition of gas pipelines on coercive force of metal. *Control, Diagnostics* . № 1. P. 18–24.
- [5] Sereda B.P. (2019) Surface hardening of materials of workers in the conditions of complex influence of aggressive substances: *monograph* / Dniprov. state tech. University (DDTU). Kamyanske: DSTU. 172 p.

- [6] Sereda B.P., Kruglyak I.V., Zherebtsov O.A., Belokon Y.O. (2009) Processing of metals by pressure at non-stationary temperature conditions. Monograph. Zaporozhye: ZDIA. 252 p.
- [7] Sereda B.P., Sukhomlin V.I., Volokh V.I., Sereda D.B. Analysis of the causes of cracking of waste boiler pipes. Ukrainian Journal of Construction and Architecture. *Scientific and practical journal*. PDABA Dnipro, Issue №1 January-February, 2021. P. 95–101.
- [8] Sereda B.P., Voloh V.I. (2020) Formation of low-carbon wire rod structure under shs conditions using magnetic coercimetric control. *Metallurgy. Collection of scientific works.*, Zaporozhye: ZNU. Issue. 1. P. 50–54.
- [9] Sereda B.P., Voloh V.I. (2020) Formation of structure of hooks of loading lifts in conditions of SHS. *Advanced technologies and devices. Collection of scientific works*. Vip. 16, Lutsk. Lutsk NTU. P. 123–129.
- [10] Sereda B.P., Sereda D.B., Voloh V.I. (2020) Simulation of thermal process for ultra-low carbon steel in the conditions of self-propagating high-temperature synthesis. *Mathematical modeling. Scientific journal.*— Kamyanske: DSTU. Issue № 1(42). P. 72–77.
- [11] *Methodical instructions for magnetic control of the stress-strain state of metal structures of lifting structures and determination of their residual life: MV 0.00- 7.01-05.-X.*, 2005. 77 p.
- [12] The use of computers for thermodynamic calculations of metallurgical processes / [Sinyarev GB, Vatalin NA, Trusov BG, Moiseev RK. and others] M . Nauka, 1982. 263 s.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙНОГО НАВАНТАЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ ЩОДО ОЦІНКИ СТРУКТУРИ НА ВЕЛИЧИНУ КОЕРЦИТИВНОЇ СИЛИ

Середа Б.П., Волох В.І., Середа Д.Б.

Реферат

В роботі розглянуто математичне моделювання процесу напруженого стану сталей при одноосному розтягненні та розглянута залежність коерцитивної сили від прикладеного навантаження та встановлення критичних значень напруженого стану. Дослідження механізму формування структурного процесу для низьковуглецевої сталі використовували метод термодинамічного аналізу можливих реакцій між компонентами системи. Для фізичного процесу використовується універсальна програма розрахунку багатокомпонентних гетерогенних систем TERRA на базі програми АСТРА-4.

З застосуванням методів математичного моделювання визначено раціональний та допустимі границі величин напруженого стану сталей з ціллю визначення допустимих значень напруженості за величиною коерцитивної сили. Проведено математичне моделювання та визначено граничне допустиме навантаження. З використанням методів математичного моделювання визначено оптимальний режим навантаження та допустимі граничні навантаження для армо заліза раціональним режимом для низьковуглецевої сталі є один час охолодження на повітрі та відносна кількість спеціальних границь 22 % мас., тим самим, ці значення X_1 X_2 дозволяють отримувати максимальні показники твердості для армо заліза, що корелює з показниками зносостійкості. Також встановлено, що режим для сталі є оптимальним при цьому підвищується без аварійне експлуатування відповідальних металоконструкцій вантажопідіймальних споруд.

Література

1. Губский С.А., Сухомлин В.И., Волох В.И. Контроль напряженного состояния сталей по коерцитивной силе. *Машинобудування. зб.наук. праць. Ук-раїнська інженерно-педагогічна академія. Харків, 2014. №. 13, С.6–10.*

2. Романенко В.И., Мощный В.В., Волох В.И., Мосьпан Г.Н. Контроль усталости металла неразрушающим магнитным (коэрцитиметрическим методом) *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2009. № 3 С. 56–58.
3. Брехаря Г.П., Сухомлин В.И., Волох В.И. Магнитный контроль по коэрцитивной силе сталей 09Г2С, 0, 3пс при деформационных статических нагружениях. *Строительство, материаловедение, машиностроение. Сбор-к научн. трудов. Том II. Вып.59. м. Дніпропетровськ ГВУЗ»ПГАСА», 2011.С. 56–64.*
4. Агинея Р.В., Кузьбожев А.С. Особенности контроля технического состояния газопроводов по коэрцитивной силе металла. *Контроль, Диагностика* № 1. 2006. С. 18–24.
5. Середя Б. П. Поверхневе зміцнення матеріалів працюючих в умовах комплексного впливу агресивних речовин : монографія / Дніпров. держ. техн. ун-т (ДДТУ). Кам'янське : ДДТУ, 2019. 172 с.
6. Середя Б.П., Кругляк І.В., Жеребцов О.А., Белоконь Ю.О. Обробка металів тиском при нестационарних температурних умовах. *Монографія. Запоріжжя: ЗДІА, 2009. 252 с.*
7. Середя Б.П., Сухомлін В.І., Волох В.І., Середя Д.Б. Аналіз причин розтріскування труб котла утилизатора. *Український журнал будівництва та архітектури*. Науково практичний журнал. ПДАБА Дніпро, Вип. № 1 січень-лютий. 2021. С. 95–101.
8. Sereda V.P., Voloh V.I. Formation of low-carbon wire rod structure under shs conditions using magnetic coercimetric control. *Металургія*. Збірник наукових праць., Запоріжжя: ЗНУ, 2020. Вип. 1. С. 50–54.
9. Sereda V.P., Voloh V.I. Formation of structure of hooks of loading lifts in conditions of SHS. *Перспективні технології та прилади*. Збірник наукових праць. Вип. 16, м. Луцьк. Луцький НТУ, 2020. С. 123–129.
10. Sereda V.P., Sereda D.B., Voloh V.I. Simulation of thermal process for ultra-low carbon steel in the conditions of self-propagating high-temperature synthesis. *Математичне моделювання*. Науковий журнал. Кам'янське: ДДТУ, 2020. Выпуск № 1(42). С. 72–77.
11. Методичні вказівки з проведення магнітного контролю напружено-деформованого стану металоконструкцій підйомних споруд та визначення їх залишкового ресурсу: МВ 0.00-7.01-05.-Х., 2005. 77 с.
12. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов / [Синярев Г.Б., Ваталин Н.А., Трусов Б.Г., Моисеев Р.К. и др.]. М.: Наука, 1982. 263 с.