

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 3 (2021)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано
Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/EZKZ4794>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,344

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

SRSTI 53.49.19

<https://doi.org/10.48081/GDLO8047>

***A. Zhakupov¹, A. Bogomolov², A. Zhakupova³**

^{1,2,3}Toraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar

NON-DESTRUCTIVE METHOD FOR DETERMINING THE MECHANICAL PROPERTIES OF ROLLED STEEL

This article describes the developed methodology for the prompt and reliable determination the mechanical properties quantitative indicators of the heat-treated steel products by a non-destructive method. For these cases, the non-destructive method of testing steel products is the most optimal option, due to the fact that it does not require destruction of the controlled sample and provides for the possibility of the product further operation. The use of non-destructive testing methods also contributes to significant savings in material and time resources.

The essence of the method described in this work lies in the initial study of steel samples, measuring their coercive force, maximum magnetic permeability and residual magnetic induction for subsequent statistical analysis to determine the relationship between mechanical and electromagnetic properties. As a result of finding this correlation and checking its reliability, it becomes possible to determine the ultimate strength, yield strength and relative elongation on finished products, which are normalized indicators of the steel structural products strength properties.

The proposed non-destructive method for determining the mechanical properties will allow its use in the production flow, while having the reliability of determining the quality indicators above 96 %.

Keywords: non-destructive testing, mechanical properties, rolled steel, coercive force.

Introduction

At metallurgical and machine-building enterprises, serial and mass production of steel products is carried out, the given structure and mechanical properties of which are achieved by certain heat treatment modes. Possible inconsistencies in the chemical composition of the products material and the modes of their heat treatment lead to unacceptable deviations in the properties of the products and require control of each product unit. Direct methods for determining mechanical properties and structure are destructive and cannot be used to determine the quality of products intended for use.

In addition, quality control with destruction, as a rule, requires taking templates and making samples for subsequent testing, which is a laborious and expensive operation [1–8].

The feasibility of introducing a non-destructive magnetic control method into production is justified by numerous advantages, of which these are:

- saving control time, due to the absence of the need to select templates and prepare samples for testing;
- cost savings due to the rejection of low-quality metal, blanks before expensive machining;
- replacement of bulky test equipment used for destructive testing methods with small-sized instruments, which also saves production space;
- the possibility of further use of the controlled product.

Materials and research methods

The objects of research were samples of 09Mn2Si steel pipes.

Previously, the samples were heated to 900 °C, quenched in water and tempered at various temperatures from 500 to 700 °C. Then, coercive force H_c , maximum permeability μ_{max} and residual magnetic induction B_r were measured. After measuring the magnetic indicators, the tensile strength σ_{TS} , yield strength σ_{YS} and elongation ϵ were determined by the tensile method of a steel sample [9].

The laboratory equipment was used for the study: a tensile electromechanical machine for measuring mechanical properties in accordance with GOST 1497-84 – «Metals. Tensile test methods», coercimeter KRM-Ts-K2M for measuring the coercive force in accordance with GOST 30415-96 – «Steel». Teslameter EM4305 for measuring residual magnetic induction in accordance with GOST 12119.1-98 – «Electrical steel. Methods for determining magnetic and electrical properties».

Results and discussion

After heat treatment of the samples, using a coercimeter and a teslameter, the maximum values of magnetization and strength were measured, and, accordingly, the coercive force and residual magnetic induction, the values of which are indicated in the diagrams in Figure 1.

Having determined the maximum values of the tension and magnetization of the samples, the maximum magnetic permeability of each sample was calculated according to formula 1, the values of which are summarized in Table 1.

$$\mu_{max} = B_{max} / H_{max}, \quad (1)$$

where B_{max} – maximum magnetic field strength of the sample, T;

H_{max} – maximum value of sample magnetization, A/m.

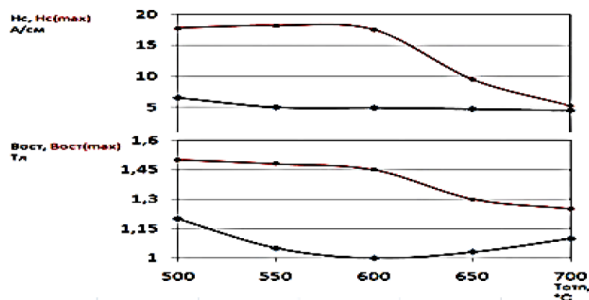


Figure 1 – Magnetic properties of a 09Mn2Si steel specimen

The values of the coercive force corresponded to the values of the magnetization at zero magnetic field strength, and the values of the magnetic induction, on the contrary, to the value of the intensity at zero magnetization.

Table 1 – Values of the maximum magnetic permeability of steel samples

Steel	Tempering temperature, °C				
	500	550	600	650	700
09Mn2Si	73,7	72,2	73,5	81,6	108,0

After the measurements of the magnetic characteristics were carried out measurements of the actual mechanical characteristics, the results of which are summarized in Table 2. In this case, the variable parameter of heat treatment was the tempering temperature in the range from 500 to 700 °C.

Table 2 – Values of mechanical properties of test specimens

Steel	Tempering temperature, °C	Tensile strength, MPa	Yield strength, MPa	Relative elongation, %
09Mn2Si	500	755	645	9
	550	684	583	10
	600	617	539	11
	650	602	518	13
	700	586	505	14

Applying regression analysis in Excel program, a mathematical model was derived for the control of mechanical properties by a non-destructive method for steel 09Mn2Si.

To determine the tensile strength:

$$\sigma_{TS} = 929,4 + 15,86H_c - 0,76\mu_{max} + 110,1B. \quad (2)$$

To determine the yield strength:

$$\sigma_{YS} = 3634 - 52,4H_c - 3,85\mu_{max} - 28,6B. \quad (3)$$

To determine the relative elongation:

$$\varepsilon = 46,99 - 3,15H_c + 0,0065\mu_{max} - 1,24B. \quad (4)$$

To confirm the reliability of the proposed method for determining the mechanical properties, tests were carried out with measurements according to the proposed method. For this, three items of steel 09Mn2Si were taken and thermally treated according to the selected mode, for example, a tempering temperature of 620 °C was taken [10]. Then, the magnetic parameters were measured on each tempering product. Substituting the average of three values for each of the parameters into the equations of dependencies available for a given steel, determined the calculated values σ_{TS} , σ_{YS} and ε . After that, standard samples for tensile testing were made from each product and the actual values of mechanical properties were obtained. Table 3 shows the calculated values determined by the equations of dependencies and the actual values of the mechanical properties determined by tension the standard samples, which confirm the reliability and accuracy of the proposed method for quality control of steel products heat treatment. The measurement error was less than 4 %.

Table 3 – Convergence of results

Mechanical properties of steel 09Mn2Si products at a tempering temperature of 620 °C			
Calculated (by regression equations)		The actual (by tensile tests)	
σ_{TS} , MPa	715	σ_{TS} , MPa	731
σ_{YS} , MPa	668	σ_{YS} , MPa	693
ε , %	16,2	ε , %	16,5

Conclusions

The use of three magnetic parameters in the complex during the inspection of steel products contributes to an increase in the reliability and accuracy of measurements, in comparison with one-parameter control, which is confirmed by an error of no more than 4 %.

In addition, improving the technology for determining the mechanical properties of steel products heat treatment will reduce the time for testing, due to the absence of the need to select templates and prepare samples for testing, eliminate the use of bulky test equipment used for destructive testing methods with small-sized devices, and will also enable further use controlled item.

REFERENCES

- 1 **Tomas, I., Kadlecova, J., Vertesy, G.** Measurement of flat samples with rough surfaces by magnetic adaptive testing. In IEEE Transactions on Magnetics. – 2012. – Vol. 48. – № 4. – P. 1441–1444.
- 2 **Kikuchi, H., Murakami, H., Ara, K.** Feasibility study for nondestructive evaluation of magnetic properties and hardness of two-layered specimens by magnetic single-yoke probe. In NDT&E International – 2012. – Vol. 46. – P. 1–6.

3 **Bakunov, A. S., Gorkunov, E. S., Scherbinin, V. E.** Magnitnyi control [Magnetic control]. – Moscow : «Spectr», 2011. – 192 p.

4 **Kostin, V. N., Osintsev, A. A., Stashkov, A. N., Nichipuruk, A. P., Kostin, K. V., Sazhina, E. Yu.** Mobil'nye sredstva mnogoparametrovoi magnitnoi strukturos [Mobile multiparameter magnetic structuroscopy]. In Flaw detection. – 2008. – № 4. – P. 66–77.

5 **Fiorillo, F.** Characterization and Measurement of Magnetic Materials. – USA : Academic Press, 2004. – 666 p.

6 **Skoblo, T. S., Sidashenko, A. I., Marchenko, M. V.** Koertsitivnaya sila kak indikator otsenki napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya profil'nyh izdeliyii [Coercive force as an indicator for assessing the stress-strain state of shaped products]. In Forging-stamping production. Material processing by pressure. – 2009. – № 11. – P. 43–46.

7 **Scherbinin, V. E., Gorkunov, E. S.** Magnitnye metody strukturnogo analiza i nerazrushayushego kontrolya [Magnetic methods of structural analysis and non-destructive testing]. – Ekaterinburg : Publishing house of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1996. – 266 p.

8 **Bogomolov, A. V., Zhakupov, A. N., Sapinov, R. V.** Organizatsiya kontrolya kachestva nasosno-kompressornyh i obsadnyh besshovnyh trub v Kazakhstane [Organization of tubing and casing seamless pipes quality control in Kazakhstan]. In International journal of non-destructive testing «Territory NTD». – 2013. – 76 p.

9 **Usak, E.** Influence of heat treatment on magnetic properties of steel sheet material for cable routing system. In Proceedings of 9th International Conference. – 2012. ELEKTRO. Rajec Teplice. – 2012, May 21–22. – P. 479–482.

10 **Zhakupov, A. N., Bogomolov, A. V., Zhakupova, A. T.** Method for electromagnetic quality control of product heat treatment / Patent of RK for invention. Bull. № 35. 17.09.2018.

Material received on 20.09.21.

***А. Жақупов¹, А. Богомоллов², А. Жақупова³**

^{1,2,3}Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 20.09.21 баспаға түсті.

БОЛАТ ИЛЕМНІҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН АНЫҚТАУДЫҢ БҰЗБАЙТЫН ТӘСІЛІ

Бұл мақалада болат өнімдерін бұзбайтын әдістермен термиялық өңдеудің механикалық қасиеттерінің сандық көрсеткіштерін жедел және сенімді анықтау үшін әзірленген әдістеменің сипаттамасы келтірілген. Бұл жағдайларда болат өнімдерін бақылаудың бұзбайтын әдісі бақылаудың ең жақсы нұсқасы болып табылады, өйткені ол бақыланып жатқан үлгіні бұзуды қажет етпейді және өнімді одан әрі пайдалану мүмкіндігін қарастырады. Бұзбайтын тестілеу әдістерін қолдану материалдық және уақытша ресурстарды едәуір үнемдеуге ықпал етеді.

Осы жұмыста сипатталған әдістің мәні механикалық және электромагниттік қасиеттер арасындағы байланысты анықтау үшін кейінгі статистикалық талдау үшін болатын әр маркасының үлгілерін бастапқы зерттеу, олардың коэрцитивті күшін, максималды магнит өткізгіштігін және қалдық магниттік индукцияны өлшеу болып табылады. Осы корреляцияны табу және оның сенімділігін тексеру нәтижесінде дайын өнімдерде болат құрылымдық бұйымдардың беріктік қасиеттерінің нормаланған көрсеткіштері болып табылатын уақытша қарсылықты, кірістілік шегін және салыстырмалы ұзаруды анықтауға мүмкіндік бар.

Механикалық қасиеттерді анықтаудың ұсынылатын бұзбайтын әдісі сапа көрсеткіштерін 96 %-ға дейін анықтаудың сенімділігіне ие бола отырып, оны өндіріс ағынында пайдалануға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: бұзбайтын бақылау, механикалық қасиеттер, илем, коэрцитивті күш.

***А. Жакупов¹, А. Богомолов², А. Жакупова³**

^{1,2,3}Торайгыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар.

Материал поступил в редакцию 20.09.21.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛЬНОГО ПРОКАТА

В данной статье приводится описание разработанной методики проведения оперативного и достоверного определения количественных показателей механических свойств термической обработки стальных изделий неразрушающими методами. Для этих случаев неразрушающий метод контроля стальных изделий является наиболее оптимальным вариантом контроля, в связи с тем, что не требует разрушения контролируемого образца и предусматривает возможность дальнейшей эксплуатации изделия. Применение методов неразрушающего контроля так же способствует значительной экономии материальных и временных ресурсов.

Суцность описанного в данной работе способа заключается в начальном исследовании образцов каждой марки стали, измерении их коэрцитивной силы, максимальной магнитной проницаемости и остаточной магнитной индукции для последующего статистического анализа с целью определения взаимосвязи между механическими и электромагнитными свойствами. В результате нахождения данной корреляции и проверки ее достоверности появляется возможность на готовых изделиях определять временное сопротивление, предел текучести и относительное удлинение, являющиеся нормируемыми показателями прочностных свойств стальных конструкционных изделий.

Предлагаемый неразрушающий метод определения механических свойств позволит использование его в потоке производства, имея при этом достоверность определения показателей качества до 96%.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, механические свойства, прокат, коэрцитивная сила.

Теруге 20.09.21 ж. жіберілді. Басуға 27.09.21 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

6,56 Mb RAM

Шартты баспа табағы 10,58. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген З. С. Искакова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3845

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz