

**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

№ 1 (2022)

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/TFZY8989>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,342

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

A. A. Zinger¹, A. N. Zhakupov², *A. V. Bogomolov³

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

PREDICTING STEEL MECHANICAL PROPERTIES USING COMPUTER MODELING IN DEFORM 3D

This article presents the results of heat-treated low-alloy steel microstructure research using the Deform 3D program, which allows determining the optimal technological parameters of steel hardening. The object of research is pipe steel grade 12CrMoV. To determine and evaluate the heat treatment parameters affecting the increase in mechanical properties, the results of modeling in the specified program were used. To compare the results, we used the method for determining the mechanical properties during tensile testing (GOST 1497-84).

In order to determine the technological parameters of heat treatment for obtaining pipes of a high strength group, the mode of thermal cyclic hardening of steel was simulated, followed by low-temperature tempering, which allows obtaining properties at the level of: tensile strength – not less than 931 MPa, yield strength – in the range 862–1034 MPa, elongation – not less than 9.0 %.

The values of the mode parameters were selected according to the recommendations: heating temperature – 860 °C; tempering temperature – 150 °C. The results of modeling the heat treatment process were confirmed by tensile tests, as a result of which mechanical properties were obtained: tensile strength – 1093 MPa, yield point – 937 MPa and relative elongation – 11.4 %, corresponding to the property values of the Q125 strength group.

Keywords: Thermal cyclic treatment, modeling, hardening, microstructure, mechanical properties.

Introduction

Heat treatment of steels is a complex process that requires the determination of the following technological parameters: heating temperature, holding time, tempering temperature, cooling rate. The optimal mode of heat treatment makes it possible to save energy and time resources of the plant. To increase the efficiency and confirm the reliability of the proposed technological parameters, simulation is used in computer simulation systems such as Deform, Simufact Forming, Q-Form.

In this research, the Deform program was used for modeling, as the most reliable one [1–2]. The specified program uses the Heat Treatment module, which outputs the results of mechanical properties, phase composition, grain size, and structure inhomogeneity in the postprocessor.

The aim of this work is to determine the dependence of the structure formation and mechanical properties on temperature parameters, as well as to determine the optimal

heat treatment mode for the production of the Q125 strength group according to the API standard for steel grade 12CrMoV.

Materials and methods

The object of research is pipe steel grade 12CrMoV with indicators according to [3]. To determine and evaluate the heat treatment parameters affecting the increase in mechanical properties, the results of modeling in the specified program were used. To compare the results, we used the method for determining the mechanical properties during tensile testing (GOST 1497-84) [4–7].

In order to determine the technological parameters of heat treatment for obtaining pipes of a high strength group, the mode of thermal cyclic hardening of steel was simulated, followed by low-temperature tempering, which allows obtaining properties at the level of: tensile strength – not less than 931 MPa, yield strength – in the range 862–1034 MPa, elongation – not less than 9.0 %.

The values of the mode parameters were selected according to the recommendations: heating temperature – 860 °C (critical point of phase transformation Ac3) [3]; tempering temperature – 150 °C (temperature of preservation of the martensite structure for steel 12CrMoV) [3]; heating time – according to the recommendations [8]; holding time during heating for hardening – 1.5–2 minutes per 1 mm of section [3]; holding time during vacation – 1 hour [9]; cooling rate during quenching – 150 °C/s (thermokinetic diagram for steel 12CrMoV); cooling time in air after tempering – according to [10].

Results and discussion

As a result of modeling, according to the scheme shown in Figure 1, the following results were obtained (where *i* is the number of quenching cycles):

Microstructure. Figure 2 shows the microstructure at different heat treatment modes: from one quenching cycle and higher, followed by low tempering.

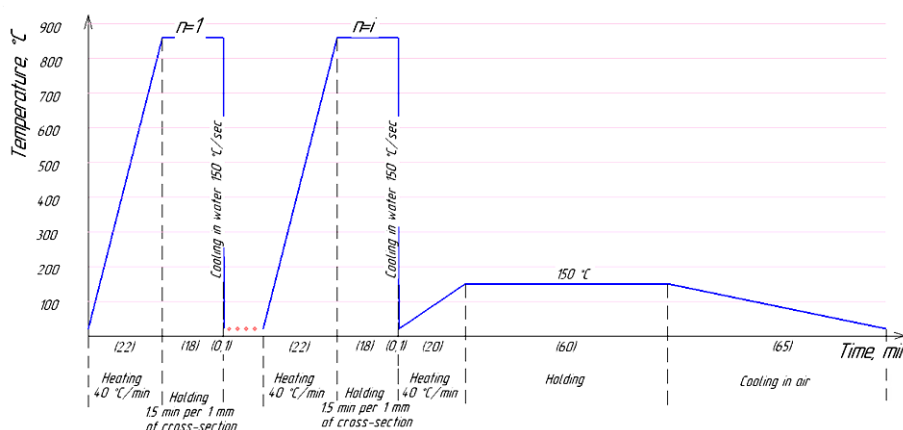
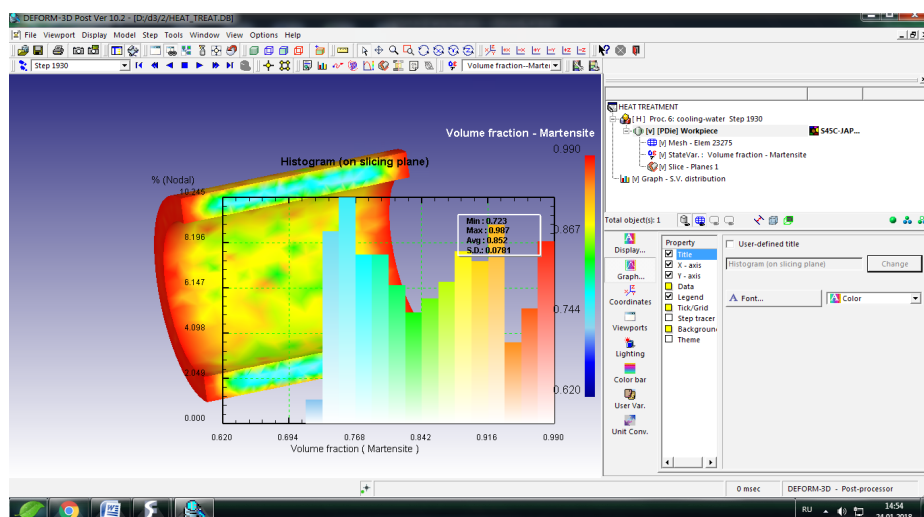


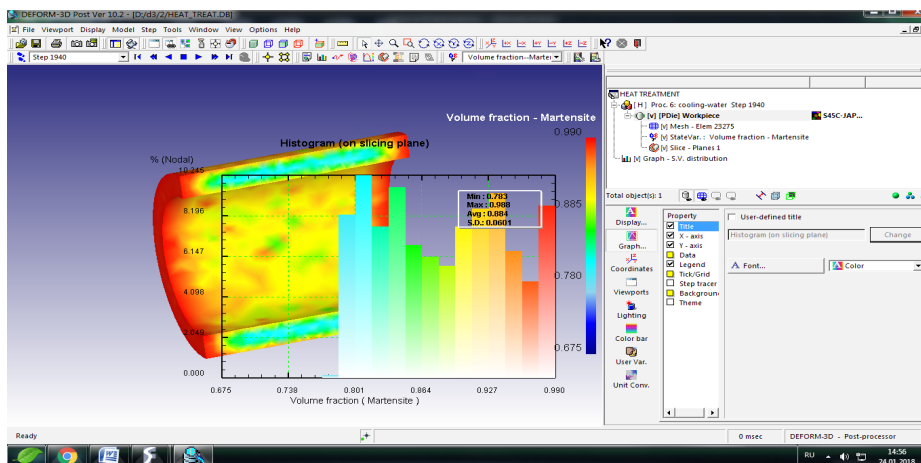
Figure 1 – Heat treatment scheme

Analyzing the microstructures, it can be seen that the largest amount of martensite was recorded during three quenching cycles. The values of the graphs indicate that during one quenching cycle followed by tempering from the pipe core to the surface, the amount of martensite is from 72.3 to 98.7 %, with increasing cycles, this amount accordingly increases from 78.3 to 98.8 % of martensite and further at three cycles from 85.4 to 99.2 %. However, with four cycles, a gradual decrease occurs - from 81.9 to 99.0 %, which tentatively suggests a decrease in strength properties, since a decrease in the martensite phase causes an increase in troostite, which has a lower hardness and, accordingly, the strength of steel. In addition, a decrease in the amount of the martensite phase with four quenching cycles gives a recommendation that it is unreasonable to further increase the cycles of thermal cycling.

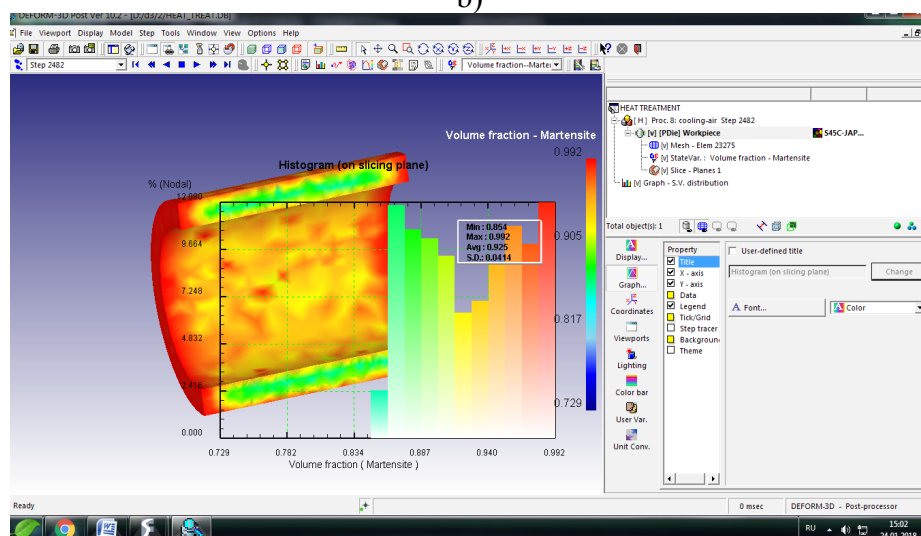
Hardness. Figure 3 shows the hardness results for various thermal cycling modes. It can be seen that the average value of hardness between the center and the surface of the pipe is 53.0 HRC, which is the maximum, which is revealed during three quenching cycles. At the same time, an increase in hardness from one cycle to three is confirmed by the analysis of the results of the microstructure in terms of the number of phase components.



a)



b)



c)

Figure 2 – Microstructure of 12CrMoV steel at 1-3 hardening cycles (a – one cycle; b – two cycles; c – three cycles)

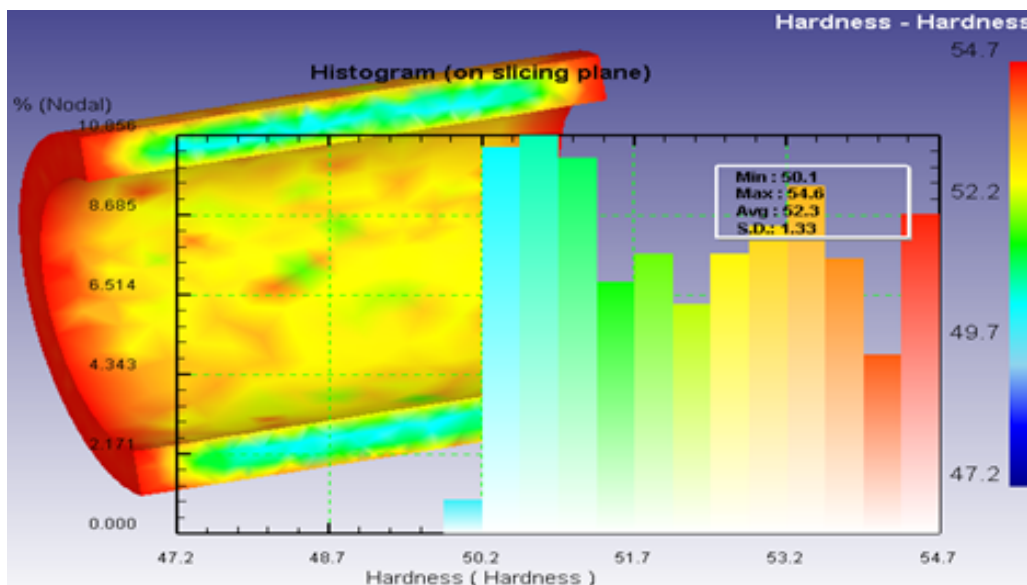


Figure 3 – Hardness of 12CrMoV steel at 4 hardening cycles

Mechanical properties. To determine the parameters normalized by the API 5CT standard, namely the tensile strength, yield strength and relative elongation, the tensile stress of a standard 12CrMoV steel sample made was modeled in Deform 3D Forming, as shown in Figure 4. At the same time, the material was used from the thermal cooling database at the last step in each mode. As a result, the data were obtained, the values of which are indicated in Table 1.

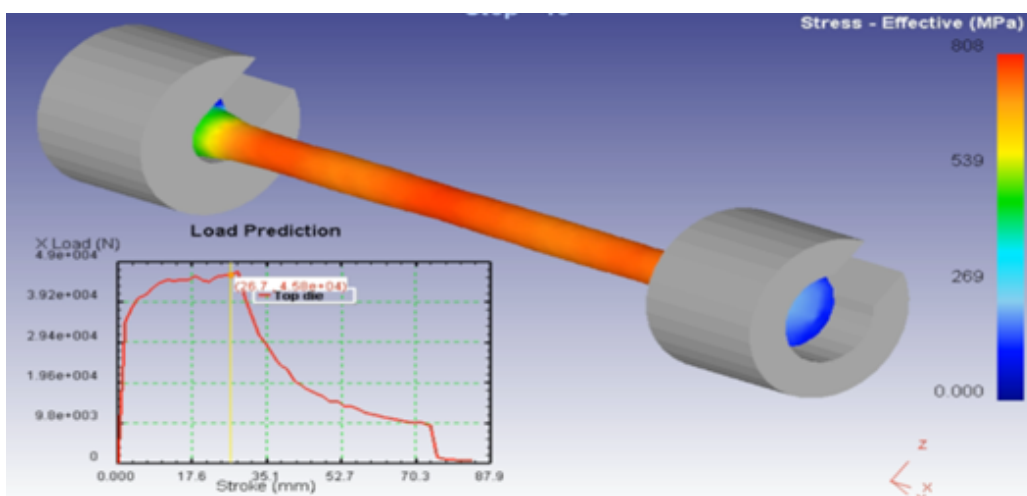


Figure 4 – Simulated tensile test of a 12CrMoV steel sample

Table 1 – Simulated tensile test results

Indicator	1 cycle	2 cycles	3 cycles	4 cycles
Tensile strength, MPa	925	997	1080	975
Yield strength, MPa	745	848	928	825
Elongation,%	10,1	10,8	11,1	9,8

To confirm the results of computer simulation of heat treatment in the Deform 3D HT program, samples were cut from a tubing with a diameter of 88.9 mm and a wall thickness of 12 mm from 12CrMoV steel, obtained using the current production technology of «KSP Steel» LLP. that is, from one quench cycle followed by low tempering to four cycles, three specimens were processed according to the heat treatment scheme in Figure 1. After the treatment, all specimens were tensile tested to determine mechanical properties. At the same time, the results shown in Figure 5 were obtained (0 cycles corresponds to the initial state of the metal).

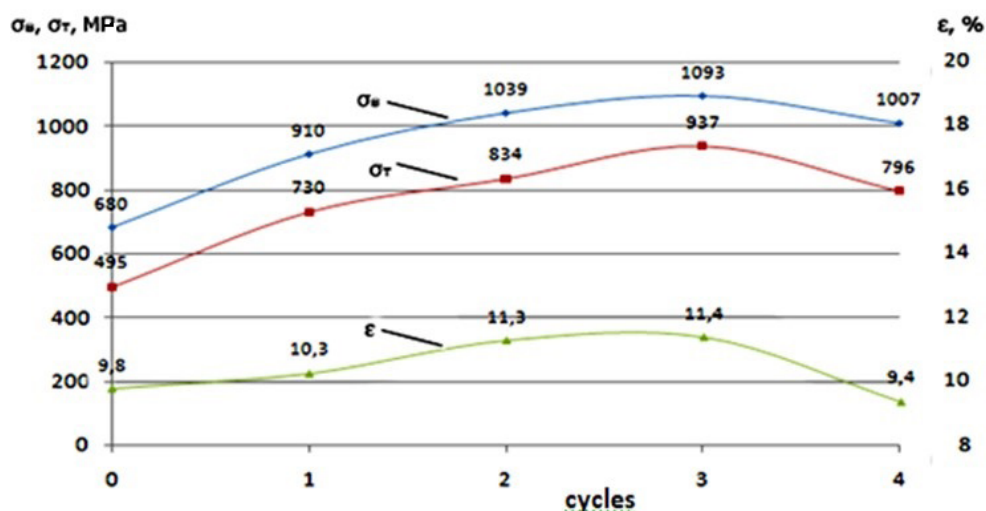


Figure 5 – Tensile test of steel 12CrMV

As can be seen from Figure 5, the maximum mechanical properties, namely the tensile strength equal to 1093 MPa, the yield strength – 937 MPa and the relative elongation – 11.4 % are observed during three quenching cycles followed by tempering. Three samples were used for each mode and the graph shows average values, the results obtained correspond to the Q125 strength group according to API 5 CT standard. The relative error of the calculated and experimental data ranges from 0.96 to 4.04 %. This confirms the sufficient accuracy and efficiency of computer modeling in the Deform 3D HT environment for predicting mechanical properties during heat treatment of steel.

Conclusions

1 Computer modeling in the Deform 3D HT environment makes it possible to effectively predict the mechanical properties of steels, depending on the technological parameters and heat treatment modes for steel hardening;

2 Comparing the results of tensile tests of computer simulation in Deform 3D and the actual, the relative calculation error does not exceed 4.04 %;

3 The results of computer modeling and the performed mechanical tests confirm the effectiveness of the thermal cycling modes use for obtaining pipes of strength group Q125 from steel 12CrMoV: the number of cycles – 3, heating temperature – 860 °C, tempering temperature – 150 °C, cooling rate – 150 °C/sec.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Лежнев, С. Н.** Использование комплекса «DEFORM 2D/3D» в научной работе при разработке новых инновационных технологий [Текст] // *Металлургия. Технология новых материалов «CAD и графика – 2009»*. – С. Н. Лежнев, Е. А. Панин, И. В. Чуманов. – М : 2009. – Т. 5.– С. 92–93.

2 **Iyengar, S.** Heat Treatment of Low-Alloyed Steel up to Grade Q125 / Iyengar S., Bogomolov A. V., Zhakupov A. N. [Text] // *Solid State Phenomena*. – 2017. – V. 265. – P. 981–987.

3 **Седов, Ю. Е.** Справочник молодого термиста / Ю. Е. Седов, А. М. Адашкин [Текст] // М. : Высшая школа», 1985. – 239 с.

4 **Федюкин, В. К.** Термоциклическая обработка сталей и чугунов. [Text]. // Л. : Машиностроение, 1977. – 384 с.

5 **Приходько, В. М.** Металлофизические основы упрочняющих технологий / В. М. Приходько, Л. Г. Петрова, О. В. Чудина [Текст] // М. : Машиностроение, 2003. – 381 с.

6 **Журавлев, Л. Г.** Физические методы исследования металлов и сплавов / Л. Г. Журавлев, В. И. Филатов [Text]. // Челябинск : изд-во ЮУрГУ, 2004. – 165 с.

7 **Итыбаева, Г. Т.** Методы прогнозирования качества сварных труб / Г. Т. Итыбаева, А. К. Акылбеков, Л. Р. Мусина // *Наука и техника Казахстана*. – 2019. – № 2. – С. 13–27.

8 **Гребенков, С. К.** Деформационное упрочнение и структура термоупрочненных низкоуглеродистых мартенситных сталей / дисс. канд. техн. наук [Текст] // Пермь – 2014. – 167 с.

9 **Смирнов, М. А.** Влияние структуры на деформационное старение низкоуглеродистой стали / М. А. Смирнов, И. Ю. Пушминцев, О. В. Барнак и А. Н. Мальцева [Текст] // *Деформация и разрушение материалов*. – 2014.– No. 8. – С. 9-15.

10 **Tanigawa, H.** Irradiation effects on precipitation and its impact on the mechanical properties of reducedactivation ferritic/martensitic steels / H. Tanigawa [et al.] // *Journal of Nuclear Materials*. – 2007. – № 367–370. – P. 42–47.

REFERENCES

- 1 **Lezhnev, S.N.** Ispol`zovanie kompleksa «DEFORM 2D/3D» v nauchnoj rabote pri razrabotke novy`x innovacionny`x tehnologij [The use of the complex «DEFORM 2D/3D» in scientific work in the development of new innovative technologies] / Lezhnev, S. N., Panin E. A., Chumanov I. V. [Text]. // Metallurgy. Technologies of new materials «CAD and graphics». – 2009. – V. 5. – P. 92–93.
- 2 **Iyengar, S.** Heat Treatment of Low-Alloyed Steel up to Grade Q125 /Iyengar S., Bogomolov A.V., Zhakupov A.N. [Text] // Solid State Phenomena. – 2017. – V. 265. – P. 981–987.
- 3 **Sedov, Yu. E.** Spravochnik molodogo termista [Handbook of a young thermist] / Sedov Yu. E., Adaskin A. M. [Text] // Moscow : Higher school, 1986. – 239 p.
- 4 **Fedyukin, V.K.** Termotsiklicheskaya obrabotka stalei i chugunov [Thermocyclic treatment of steels and cast irons] / V.K. Fedyukin. [Text]. // Leningrad : Mashinostroyenie, 1977. – 384 p.
- 5 **Prilhodko, V. M.** Metallofizicheskiye osnovy uprochnyayuchshikh tekhnologiy [Metal physical principles of strengthening technologies] / V. M. Prikhodko, L. G. Petrova, O. V. Chudina. [Text]. // Moscow : Mashinostroyenie, 2003. – 381 p.
- 6 **Zhuravlev, L.G.** Fizicheskiye metody issledovaniys metallov i splavov [Physical research methods of metals and alloys] / L. G. Zhuravlev, V. I. Filatov [Text]. // Chelyabinsk : Publ. YuUrGU, 2004. – 165 p.
- 7 **Ity`baeva, G. T.** Metody` prognozirovaniya kachestva svarny`x trub [Methods for predicting the quality of welded pipes] / G. T. Ity`baeva, A. K. Aky`lbekov, L. R. Musina [Text] // Scientific Journal «Science and Technology of Kazakhstan». Pavlodar, Kazakstan. – 2019. – № 2. – P. 13–27.
- 8 **Grebenkov, S.K.** Deformatsionnoye uprochneniye i struktura termouprochnyonykh nizkouglerodistykh martensitnykh staley [Deformation strengthening and structure of heat-treated low-alloyed martensite steels] / S. K. Grebenkov [Text] // Dis.of PhD in Engineering Sciences /S. K. Grebenkov. – Perm, 2014. – 167 p.
- 9 **Smirnov, M. A.** Vliyaniye struktury na deformatsionnoye starenie nizkouglerodistoy stali [Influence structure on stress aging of low-alloyed steel]/ M. A. Smirnov, I. Yu. Pyshmintsev, O. V. Barnak, A. N. Maltseva [Text] // Deformation and rupture of materials [Deformatsiya i razrusheniye materialov]. – 2014. – No. 8. – P. 9–15.
- 10 **Tanigawa, H.** Irradiation effects on precipitation and its impact on the mechanical properties of reducedactivation ferritic/martensitic steels / H. Tanigawa [et al.] // Journal of Nuclear Materials. – 2007. – № 367–370. – P. 42–47.

Материал поступил в редакцию 17.03.22.

А. А. Зингер¹, А. Н. Жакупов², *А. В. Богомолов³

^{1,2,3}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал баспаға 17.03.22 түсті.

DEFORM 3D-ДЕ КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУДІ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП БОЛАТТЫҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН БОЛЖАУ

Болатты нығайтудың оңтайлы технологиялық параметрлерін анықтауға мүмкіндік беретін Deform 3D бағдарламасын қолдана отырып, термиялық өңделген төмен қосындыланған болаттың микроқұрылымын зерттеу нәтижелері ұсынылған. Зерттеу нысаны 12ХМФ маркалы құбырлы болат. Механикалық қасиеттердің жоғарылауына әсер ететін термиялық өңдеу параметрлерін анықтау және бағалау үшін осы бағдарламада модельдеу нәтижелері қолданылды. Нәтижелерді салыстыру үшін ГОСТ 1497-84 сәйкес созылу сынағы кезінде механикалық қасиеттерді анықтау әдісі қолданылды.

Беріктілігі жоғары топтағы құбырларды алу үшін термиялық өңдеудің технологиялық параметрлерін анықтау мақсатында болатты төмен температуралы жасытумен термоциклді беріктендіру тәртіптемесі модельденді, бұл келесі деңгейде қасиеттер алуға мүмкіндік береді: созылудың беріктік шегі – 931 Мпа кем емес, аққыштық шегі – 862–1034 МПа диапазонында, салыстырмалы ұзаруы – 9,0 % кем емес.

Модельдеу параметрлерінің мәндері болаттың химиялық құрамын ескере отырып таңдалды: қыздыру температурасы – 860 °С, жасыту температурасы – 150 °С. Термиялық өңдеу процесін модельдеу нәтижелері созылу сынақтарымен расталды, нәтижесінде келесі механикалық қасиеттер алынды: созылудың беріктік шегі – 1093 МПа, аққыштық шегі – 937 МПа және салыстырмалы ұзаруы – 11,4 %, Q125 беріктік тобы қасиеттерінің мәндеріне сәйкес келеді.

Кілтті сөздер: термоциклді өңдеу, модельдеу, беріктендіру, микроқұрылым, механикалық қасиеттері.

А. А. Зингер¹, А. Н. Жакупов², *А. В. Богомолов³

^{1,2,3}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар.

Материал поступил в редакцию 17.03.22.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В DEFORM 3D

Представлены результаты исследования микроструктуры термообработанной низколегированной стали с использованием программы Deform 3D, позволяющей определить оптимальные технологические параметры упрочнения стали. Объектом исследования является трубная сталь марки 12CrMV. Для определения и оценки параметров термообработки, влияющих на повышение механических свойств, были использованы результаты моделирования в указанной программе. Для сравнения результатов использовали

метод определения механических свойств при испытании на растяжение по ГОСТ 1497-84.

С целью определения технологических параметров термообработки для получения труб группы высокой прочности был смоделирован режим термоциклического упрочнения стали с последующим низкотемпературным отпуском, который позволяет получить свойства на уровне: предел прочности при растяжении – не менее 931 МПа, предел текучести – в диапазоне 862–1034 МПа, относительное удлинение – не менее 9,0 %. Значения параметров моделирования были выбраны в соответствии с учетом химического состава стали: температура нагрева – 860 °С, температура отпуска – 150 °С. Результаты моделирования процесса термообработки были подтверждены испытаниями на растяжение, в результате которых были получены механические свойства: предел прочности при растяжении – 1093 МПа, предел текучести – 937 МПа и относительное удлинение – 11,4%, соответствующие значениям свойств группы прочности Q125.

Ключевые слова: термоциклическая обработка, моделирование, упрочнение, микроструктура, механические свойства.

Теруге 17.03.22 ж. жіберілді. Басуға 27.03.22 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

15 Мб RAM

Шартты баспа табағы 14,5. Таралымы 300 дана.

Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3952

«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

<https://vestnik.tou.edu.kz/>

<http://stk.tou.edu.kz/>