

8. Чейлях А.П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии / А.П. Чейлях. – Харьков: ННЦ ХФТИ. 2003. – 212 с.
9. Кириллов А.А. Структурно и неструктурно чувствительные свойства хромистых чугунов / А.А. Кириллов [и др.] // Черные металлы. – 2007. – сентябрь. – С.7–13.
10. Волчок И.П. Влияние марганца на процессы структурообразования износостойких высокохромистых чугунов / И.П. Волчок, В.В. Нетребко // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. – Дн-вск.: ПГАСА. - 2012. - Вып. 64. – С.301–304.

Bibliography:

1. Garber M. Castings from white wear resistant cast irons / M. Garber. – М.: Mashinostroenie. 1972. – 112 p. (Rus.)
2. Tsylin I.I. White wear resistant cast irons. Structure and properties / I.I. Tsylin. – М.: Metallurgiya. 1983. – 176 p. (Rus.)
3. Gerek A. Alloy cast iron – structural material / A. Gerek, Bajka L. – М.: Metallurgiya. 1978. – 208 p. (Rus.)
4. Komarov O.S. High-chromium cast iron as a material for rapidly worn out machine parts / O.S. Komarov [and others] // Litejnoe proizvodstvo. – 2008. – № 2. – P.2-4. (Rus.)
5. Ivanov D. Abrasive resistance against high-chromium cast iron wearing out / D. Ivanov, O. Mityayev // Mashinoznavstvo. – 2000. – №10. – P.22–25. (Ukr.)
6. Kapustin M. Optimization of chemical content of wear resistant cast iron for cast grinding balls / M. Kapustin, I.Shestakov // Novi materialyitehnologii v metalurgii ta mashinobuduvanni. – 1999. – №2. – P.32–33. (Rus.)
7. Gudremon E. Special steels / E. Gudremon // М.: Metallurgiya. 1966. V. 1 –736 p. (Rus.)
8. Chejlyah A.P. Economically alloyed metastable alloys and strengthening technologies / A.P. Chejlyah. – Charkov.: NNC HFTI. - 2003. – 212 p. (Rus.)
9. Kirillov A.A. Structurally and non-structurally sensitive properties of chromium cast irons / A.A. Kirillov [and others] // Chernye metally. – 2007. –September – P.7–13. (Rus.)
10. Volchok I. P. Manganese influence of the structure formation properties of wear resistant high-chromium cast irons / I.P. Volchok, V.V. Netrebko // Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie. Collection of scientific works.– Dnepropetrovsk.: PGASA. - 2012. - Issue 64. – P.301–304. (Rus.)

Рецензент: В.Г. Ефременко
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 18.02.2013

УДК 669.15.74. 194- 15.669.17

© Малинов Л.С.¹, Бурова Д.В.²

**ВЛИЯНИЕ ЗАКАЛКИ ИЗ МЕЖКРИТИЧЕСКОГО ИНТЕРВАЛА
ТЕМПЕРАТУР (МКИТ) И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ВЫСОКОГО ОТПУСКА НА
СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛЕЙ 40ХН И 40ХН2МА**

Приведены результаты исследований по получению хорошего сочетания механических свойств сталей 40ХН и 40ХН2МА термообработками, включающими нагрев в МКИТ, создающими в них микронеоднородную многофазную структуру.

Ключевые слова: межкритический интервал температур, мартенсит, феррит, метастабильный аустенит, закалка, высокий отпуск, механические свойства.

¹ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² аспирант ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

Малінов Л.С., Бурова Д.В. Вплив гартування з міжкритичного інтервалу температур (МКІТ) і подальшого високого відпуску на структуру і механічні властивості сталей 40ХН і 40ХН2МА. Наведено результати досліджень з отримання хорошого поєднання механічних властивостей сталей 40ХН і 40ХН2МА термообробками, що включають нагрівання в МКІТ, які створюють у них мікронеоднородну багатофазну структуру.

Ключові слова: міжкритичний інтервал температур, мартенсит, ферит, метастабільний аустенит, гартування, високий відпуск, механічні властивості.

L.S. Malinov, D.V. Burova. The impact of hardening from inter-critical temperature interval (ITI) and subsequent high tempering on the structure and properties of steels 40HN and 40HN2MA. The results of research on getting good combination of mechanical properties of steel 40HN and 40HN2MA by heat treatment were presented, which include heating in inter-critical temperature interval (ITI), which create heterogeneous multiphase structure in them.

Keywords: inter-critical temperature interval, martensite, ferrite, metastable austenite, hardening, high tempering, mechanical properties.

Постановка проблеми. Одним из перспективных направлений энергосбережения в термообработке является разработка таких способов ее проведения, которые обеспечивают получение хорошего сочетания механических свойств при снижении расхода энергоносителей. К ним относятся упрочнение доэвтектоидных сталей с нагревом в МКІТ. Это является альтернативой общепринятым технологиям, предусматривающим нагрев до более высоких температур в аустенитную область с небольшим превышением A_{c3} .

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [1,2] предложено для получения хорошего комплекса механических свойств получать в сталях многофазную микронеоднородную структуру, состоящую из мартенсита, бейнита, феррита, карбидов, карбонитридов, метастабильного остаточного аустенита, а также их разнообразные сочетания. Могут быть структуры, включающие не все составляющие, а лишь некоторые из них. При нагреве и выдержке в МКІТ наряду с ферритом и карбидами присутствует аустенит. При этом он имеет химическую микронеоднородность, т.к. на его границе с карбидом концентрация углерода существенно выше, чем на границе с ферритом. Это позволяет получить после термообработки многофазную дисперсную микронеоднородную структуру. Широкое промышленное применение в настоящее время нашла лишь закалка из МКІТ малоуглеродистых сталей, используемых для глубокой вытяжки [3]. В работе [4] показана целесообразность нормализации с нагревом в МКІТ специально разработанных строительных сталей. Известны исследования по изотермической закалке из МКІТ среднеуглеродистой стали 37ГС [5] и малоуглеродистых сталей, легированных марганцем и кремнием [6,7], что позволяет получить у них хорошее сочетание механических свойств. В работе [8] показана возможность получения бейнитноаустенитной структуры в сталях различного химического состава термообработкой, включающей нагрев и выдержку в МКІТ, переохладение до температур бейнитного превращения и регламентированную выдержку при них.

К настоящему времени термообработка с нагревом в МКІТ среднеуглеродистых улучшаемых сталей еще мало изучена. В работах [8-10] приведены данные лишь по нескольким маркам таких сталей. В практике термической обработки среднеуглеродистых улучшаемых сталей, как правило, применяется закалка из аустенитной области $A_{c3}+(30-50^{\circ}C)$ и последующий высокий отпуск.

Цель статьи - изучение влияния на структуру и механические свойства сталей 40ХН и 40ХН2МА, широко применяемых в промышленности, закалки из МКІТ с последующим высоким отпуском. Полученные результаты сравнивались с таковыми после типовой термообработки, включающей закалку из аустенитной области и отпуск на ту же температуру, что и после закалки из МКІТ.

Изложение основного материала. Химический состав и критические точки сталей 40ХН и 40ХНМА приведены в табл 1.

Таблица 1

Химический состав и температура критических точек сталей 40ХН, 40ХНМА

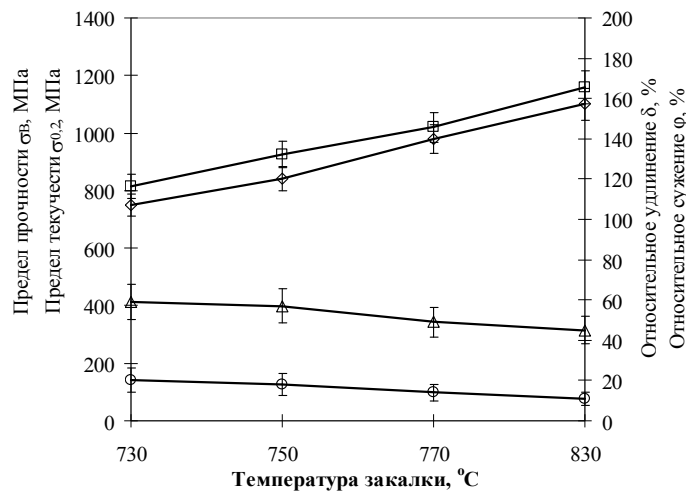
Марка стали	C	Si	Mn	Содержание легирующих элементов, %						A _{c1}	A _{c3}	M _H
				Mo	V	Cr	Ni	P	S			
				не более								
40ХН	0,40	0,2	0,7	-	-	0,6	1,2	≤0,035	≤0,035	735	768	305
40ХН2МА	0,40	0,2	0,7	0,2	-	0,8	1,4	≤0,025	≤0,025	730	774	320

Нагрев до различных температур проводился в камерной электрической печи СНОЛ-16.2,5.1/11-И2. Охлаждение при закалке осуществлялась в масле.

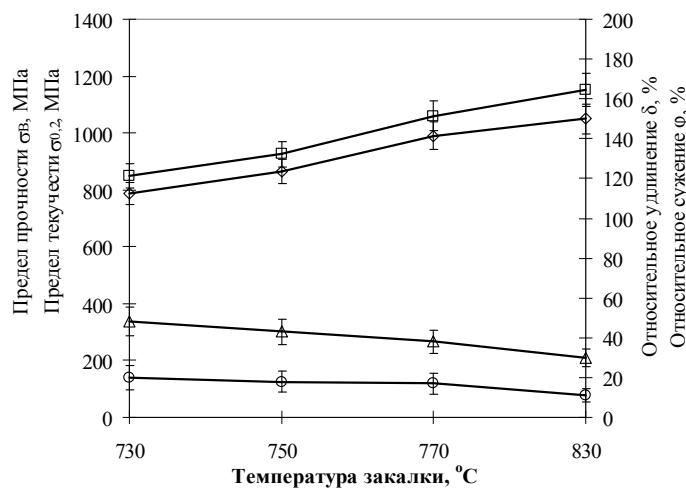
При изотермической закалке образцы после аустенитизации, в том числе с нагревом в МКИТ, переохлаждались в воде до заданной температуры в бейнитном интервале, при которой затем выдерживались заданное время в печи, после чего охлаждались на воздухе.

Проводились металлографические и дюрOMETрические исследования. Механические свойства на растяжение определялись согласно ГОСТ 1497-84, а на ударную вязкость согласно ГОСТ 9454-78.

Анализ полученных результатов. Влияние температуры нагрева в МКИТ (выдержка 60 мин.) после закалки и отпуска (530°C, 60 мин.) на механические свойства сталей 40ХН и 40ХН2МА приведено на рис.1 (а, б).



а)



б)

Рис. 1 – Механические свойства сталей после закалки с различных температур и отпуска при 530°C, 60 мин.: а – сталь 40ХН; б – сталь 40ХН2МА

Из них следует, что повышение температуры нагрева под закалку в МКИТ приводит в исследованных сталях к увеличению прочностных и снижению пластических свойств. Это обусловлено увеличением доли аустенита в структуре при нагреве, соответственно, мартенсита после закалки и сорбита отпуска после высокого отпуска.

Закалка из МКИТ с температурах 750-770°C позволяет получить при несколько меньших прочностных свойствах более высокую пластичность и ударную вязкость, чем после улучшения по типовому режиму (закалка с 830°C, отпуск 530°C, 1ч.) (табл.2). Это обусловлено тем, что наряду с сорбитом отпуска в структуре присутствуют дисперсные равномерно распределенные участки феррита, которых нет после улучшения по типовому режиму (рис.2). Кроме того, феррит после выдержки в МКИТ имеет пониженное содержание углерода, который вследствие его перераспределения между α - и γ - фазами обогащает последнюю.

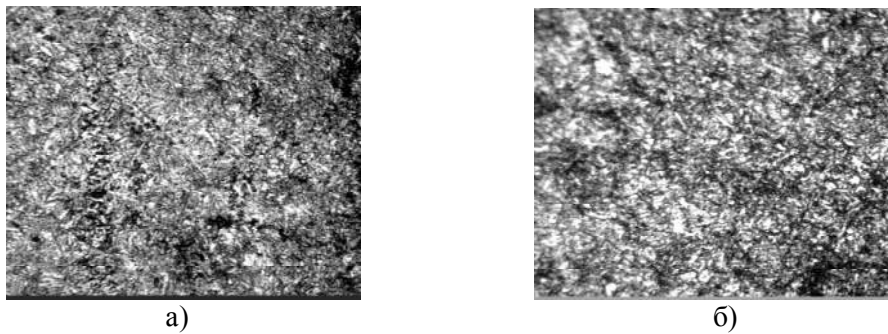


Рис. 2 – Микроструктура стали 40ХН после различных режимов улучшения, $\times 500 \times 1,4$: а - нагрев 820°C, выдержка 20мин., охлаждение в масле, отпуск 530°C, выдержка 60мин; б - нагрев 750°C, выдержка 20мин., охлаждение в масле, отпуск 530°C, выдержка 60 мин

Следует ожидать, что за счет некоторого снижения температуры высокого отпуска, проводимого после закалки из МКИТ, можно повысить прочностные свойства, доведя их до уровня, получаемого после улучшения по типовому режиму, при сохранении требуемых характеристик пластичности и ударной вязкости.

Для повышения прочностных свойств целесообразно при закалке после выдержки в МКИТ (770°C, 60 мин.) перед охлаждением провести кратковременную аустенитизацию, при (850°C, 5 мин.), а затем осуществить отпуск на 530°C. В результате происходит дополнительное измельчение зерна и в основном сохраняется достигнутая при выдержке в МКИТ химическая микронеоднородность в распределении углерода и легирующих элементов, что и обеспечивает достигаемый эффект.

Таблица 2
Механические свойства сталей 40ХН и 40ХН2МА после различных обработок

Сталь	Термическая обработка	Механические свойства			
		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Ψ , %
40ХН	Улучшение: нагрев ($t = 820^\circ\text{C}$, $\tau = 20$ мин), отпуск ($t = 530^\circ\text{C}$, $\tau = 60$ мин)	1158	1100	11	45
	Улучшение с нагревом под закалку в МКИТ: нагрев ($t = 770^\circ\text{C}$, $\tau = 60$ мин), отпуск ($t = 530^\circ\text{C}$, $\tau = 60$ мин)	1020	980	14	57
	Закалка из МКИТ нагрев ($t = 750^\circ\text{C}$, $\tau = 60$ мин), аустенитизация (нагрев $t = 850^\circ\text{C}$, $\tau = 20$ мин), отпуск ($t = 530^\circ\text{C}$, $\tau = 60$ мин)	1142	1088	14	53
40ХН2МА	Улучшение: нагрев ($t = 830^\circ\text{C}$, $\tau = 20$ мин), отпуск ($t = 530^\circ\text{C}$, $\tau = 60$ мин)	1170	1050	12	48

Продолжение таблицы 2

Улучшение с нагревом под закалку в МКИТ: нагрев ($t = 770\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 60$ мин), отпуск ($t = 530\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 60$ мин).	925	810	14	55
Закалка из МКИТ нагрев ($t = 770\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 60$ мин), аустенитизация (нагрев $t = 860\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 20$ мин), отпуск ($t = 530\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 60$ мин)	923	806	14	58

В данной работе изучалось влияние изотермической закалки с предварительным нагревом и выдержкой в МКИТ исследованных сталей на их структуру и механические свойства (табл.3). Для исследованных сталей такая термообработка ранее не применялась. Это предопределило интерес к изучению этого вопроса. Особенностью изотермической закалки являлось также и то, что в отличие от общепринятой методики, как уже отмечалось, охлаждение после неполной аустенитизации проводилось не в расплаве солей, а в воде до температуры изотермы, а выдержка осуществлялась при выбранных температурах в печи.

Таблица 3

Механические свойства сталей 40ХН и 40ХН2МА после изотермической закалки из МКИТ

Сталь	Термическая обработка	Механические свойства			
		$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
40ХН	Изотермическая закалка: нагрев ($t = 820\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 60$ мин), перенос ($t = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 60$ мин)	1113	1029	14	53
	Изотермическая закалка: нагрев ($t = 770\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 60$ мин), перенос ($t = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 60$ мин)	941	887	16	56
40ХН2МА	Изотермическая закалка: нагрев ($t = 830\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 20$ мин), перенос ($t = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 60$ мин)	1180	1020	11	40
	Изотермическая закалка: нагрев ($t = 770\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 60$ мин), перенос ($t = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 60$ мин)	1011	901	19	58

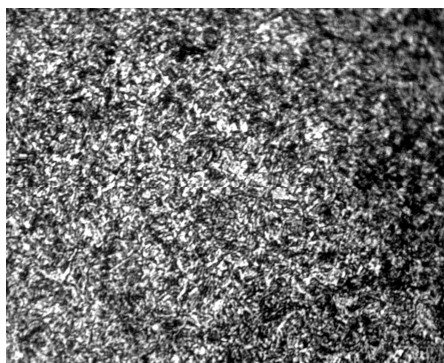


Рис. 3 - Микроструктура стали 40ХНМА после изотермической закалки: нагрев ($t=770\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau=60$ мин), перенос ($t=350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau=60$ мин.), охлаждение на воздухе, $\times 500 \times 1,4$

Повышенный уровень пластичности после изотермической закалки из МКИТ может быть объяснен получением в структуре нижнего бейнита, феррита и остаточного аустенита (рис.3), а также превращением его в мартенсит деформации [1, 2, 5-8].

Изотермическая закалка с нагревом в МКИТ, примененная в данной работе, экономичнее, чем улучшение, так как температура нагрева ниже, чем при традиционной закалке, и не требуется проведение высокого отпуска, который связан с дополнительными энергозатратами. К тому же может быть получен близкий уровень прочностных свойств, при более высоких значениях пластичности (особенно относительного удлинения), чем после улучшения. Достоинствами примененного способа изотермической закалки является также исключение использования расплавов солей, обычно применяемых в промышленности и являющимися неэкологичными.

Выводы

1. При проведении закалки из МКИТ с последующим высоким отпуском достигается меньший уровень прочностных свойств, чем после типовой термообработки с закалкой из аустенитной области и отпуском по типовому режиму. Однако при этом обеспечиваются более высокие пластичность и ударная вязкость. Для каждой стали необходимо выбирать ре-

жим нагрева в МКИТ, при котором после закалки и отпуска может быть получен хороший комплекс механических свойств, удовлетворяющий требованиям, предъявляемым к сталям определенного химического состава и назначения.

2. Применение изотермической закалки с нагревом в МКИТ по сравнению с улучшением позволяет получить в исследуемых сталях, при соответствующих требованиям прочностных свойствах, повышенную пластичность. Достоинством применяемого способа изотермической закалки является отсутствие расплава неэкологичных солей.
3. В исследованных сталях при осуществлении различных способов термообработки в ряде случаев нет необходимости при нагреве получать однофазную однородную по химическому составу структуру аустенита, как это принято в настоящее время. Целесообразно создание многофазной дисперсной микронеоднородной структуры за счет регламентированного нагрева и выдержки в МКИТ, что обеспечивает ресурсосбережение.
4. Причинами получения хорошего сочетания механических свойств после термообработок с нагревом в МКИТ и последующего высокого отпуска является большая дисперсность структуры сорбита отпуска и присутствие в ней небольших по размерам равномерно распределенных участков феррита. В случае изотермической закалки повышенный уровень механических свойств может быть обусловлен присутствием в структуре наряду с другими составляющими (бейнитом, карбидами, ферритом) метастабильного аустенита, превращающегося при нагружении в мартенсит.

Список использованных источников:

1. Малинов Л.С. Разработка экономнолегированных высокопрочных сталей и способов упрочнения с использованием принципа регулирования мартенситных превращений: дис. д-р. техн. наук: 05.16.01 Малинов Леонид Соломонович // Екатеринбург, 1992. -381 с.
2. Малинов Л.С. Ресурсосберегающие экономнолегированные сплавы и упрочняющие технологии, обеспечивающие эффект самозакалки / Л.С. Малинов, В.Л. Малинов // Мариуполь: ПГТУ, 2009.– 265 с.
3. Голованенко С.А. Двухфазные низколегированные стали / С.А. Голованенко, Н.М. Фонштейн.- М.: Металлургия.– 1986. -207 с.
4. Межкритическая нормализация – способ упрочнения сварных конструкций / С.В. Егорова, А.В. Юрчишин, А.И. Кренделева [и др.] // Автоматическая сварка. –1992. –№4. -С. 24-28.
5. Петруненок А.А. Термическая обработка низколегированных сталей для получения ферритно-аустенитно-бейнитной структуры / А.А. Петруненок // Физика металлов и металловедение. - 1991. - №5. - С. 93-98.
6. Jiang Haitao. Influence of isothermal bainitis processing on the mechanical properties and microstructure characterization of TRIP-steel / Haitao Jiang, Hubin Wu, Di Tang, Qiang Lui // J. Univ. Sci. and Technol. Beijing. –2008. –№ 5. – С. 574-579.
7. Liu Jie. Исследование и развитие нового типа ПНП-сталей в рамках UNISPAR / Jie Liu, Lin Li, Liu Rendong // Shanghai Metals. – 2009. – № 1. – С. 22 - 25.
8. Малинов Л.С. Повышение свойств сталей и высокопрочного чугуна получением в них многофазных структур, включающих бейнит и метастабильный аустенит/ Л.С. Малинов // Металл и литье Украины. – 2004. –№7. –С. 8-10.
9. Дьяченко С.С. Особенности структур неполной перекристаллизации их влияние на свойства сталей / С.С. Дьяченко, О.П. Фоменко // МиТОМ. –1970. -№1. – С. 9-11.
10. Полякова А.М. Межкритическая закалка конструкционных сталей / А.М. Полякова, В.Д. Садовский // Металлы и термическая обработка металлов.– 1970. –№4. – С. 5-8.

Bibliography:

1. Malinov L.S. Economically development of high strength steels and methods of hardening using the principle of regulation of martensitic transformations: dis. d-r. tech. nauk: 05.16.01 Malinov Leonid Solomonovich // Ekaterenburg, 1992. 381 p. (Rus.)
2. Malinov L.S. Resource-saving economically alloyed and the strengthening technologies providing effect self- quenching / L.S. Malinov, V.L.Malinov // Mariupol: PSTU, 2009. –265 p. (Rus.)
3. Golovanenko S.A. Two-phase low-alloy steel / S.A. Golovanenko, N.M. Fonshteyn. – M: Metallurgy. -1986. – 207 p. (Rus.)

4. Intercritical normalization - a way of hardening of welded structures / S.V. Egorova, A.V. Jurchishin, A.I. Krendeleva [and others] // Automatic Welding. - 1992. - № 4. - P. 24-28. (Rus.)
5. Petrunenko A.A. Heat treatment of low alloy steels for obtaining austenitic-ferritic-bainitic structure / A.A. Petrunenko // Physic of metall and metallurgiya. - 1991. - № 5. - P. 93-98. (Rus.)
6. Jiang Haitao. Influence of isothermal bainitis processing on the mechanical properties and microstructure characterization of TRIP-steel / Haitao Jiang, Hubin Wu, Di Tang, Qiang Lui // J.Univ. Sci. and Technol. Beijing. – 2008. – № 5. – P. 574-579.
7. Liu Jie. Research and development of a new type of TRIP-steels under UNISPAR/ Jie Liu, Lin Li, Liu Rendong // Shanghai Metals. - 2009. - № 1. - P. 22-25.
8. Malinov L.S. Improving the properties of steel and ductile iron in them obtaining multiphase structures including bainite and metastable austenite / L.S. Malinov // Metal and casting of Ukraine. - 2004. - № 7. - P. 8-10. (Rus.)
9. Dyachenko S.S. Features structures incomplete recrystallization of their influence on the properties of steel / S.S. Dyachenko, O.P. Fomenko // Metals and heat treatment of metals. - 1970. - № 1. - P. 9-11. (Rus.)
10. Polyakova A.M. Intercritical hardening of structural steel / A.M. Polyakova, V.D. Sadowski // Metals and heat treatment of metals. - 1970. - № 4. – P. 5-8. (Rus.)

Рецензент: А.И. Троцан
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 20.05.2013

УДК 621.771.294.64:621.785.55

© Ефременко В.Г.¹, Чабак Ю.Г.², Гаврилова В.Г.³,
Ефременко Б.В.⁴

ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА ПРИ НАГРЕВЕ ПОД ЗАКАЛКУ

Установлено, что при окислительном нагреве под закалку (1000-1150 °С) в поверхностных слоях высокохромистого чугуна происходит растворение вторичных и эвтектических карбидов, уменьшение содержания углерода и увеличение концентрации хрома. Исследована кинетика процессов, определены кинетические параметры, рассчитаны энергия активации и коэффициент диффузии углерода.

Ключевые слова: чугун, окислительный нагрев, карбиды, растворение, углерод, хром, диффузия, энергия активации.

Єфременко В.Г., Чабак Ю.Г., Гаврилова В.Г., Єфременко Б.В. Зневуглицювання високохромистого чавуну при нагріванні під загартування. Встановлено, що під час окислювального нагрівання під загартування при 1000-1150 °С у поверхневих шарах високохромистого чавуну відбувається розчинення вторинних та евтектичних карбідів, зменшення вмісту вуглецю та збільшення концентрації хромu. Досліджено кінетику процесів, визначено кінетичні параметри, розраховано енергію активації та коефіцієнт дифузії вуглецю.

Ключові слова: чавун, окислювальний нагрів, карбідy, розчинення, вуглець, хром, дифузія, енергія активації.

¹ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

⁴ студент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь