

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 620.18.669.14.294.2

© Малинов Л.С.¹, Бузова Д.В.²

НЕТИПОВАЯ ТЕРМООБРАБОТКА СТАЛЕЙ 09Г2С И ЕН36, В ТОМ ЧИСЛЕ С ВЫДЕРЖКОЙ В МЕЖКРИТИЧЕСКОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР (МКИТ)

Показана целесообразность проведения нетиповых термообработок сталей 09Г2С и ЕН36: нормализации с выдержкой в межкритическом интервале температур (МКИТ), а также закалки в воде и изотермической закалки из аустенитной области или МКИТ.

Ключевые слова: межкритический интервал температур (МКИТ), нормализация, закалка, механические свойства, феррит, мартенсит, бейнит.

Малинов Л.С., Бузова Д.В. Нетипова термообработка сталей 09Г2С і ЕН36, у тому числі з витримкою у міжкритичному інтервалі температур (МКИТ). Показана доцільність проведення нетипових термообробок сталей 09Г2С і ЕН36: нормалізації з витримкою у між критичному інтервалі температур (МКИТ), а також гартування у воді і ізотермічного гартування із аустенітної області або з МКИТ.

Ключові слова: міжкритичний інтервал температур, нормалізація, гартування, механічні властивості, ферит, мартенсит, бейніт.

L.S. Malinov, D.V. Burova. Non-typical heat treatment of steels 09G2S and EN36, including heating in the inter-critical temperature interval (ITI). Usefulness of the non-typical heat treatments steels 09G2S and EN36: normalization with heating in the inter-critical temperature interval (ITI) and quenching in water and isothermal tempering of austenitic region or ITI was shown.

Keywords: inter-critical temperature interval, normalization, quenching, mechanical properties, ferrite, martensite, bainite.

Постановка проблемы. Обычно листовые строительные стали не подвергаются у потребителя упрочняющей термообработке, а поставляются металлургическими комбинатами в горячекатаном, нормализованном, улучшенном состоянии или после контролируемой прокатки. В последние годы в связи с недостаточным количеством или повышенной стоимостью специально предназначенных для ремонтных целей конструкционных листовых сталей, вместо них используют строительные низколегированные стали. Однако они не обеспечивают требуемую долговечность деталей машин из-за сравнительно невысокого уровня прочностных свойств. В связи с этим необходимы разработки способов термообработки низкоуглеродистых низколегированных сталей, существенно повышающих их прочностные свойства при сохранении достаточной пластичности.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [1-3] показана возможность их повышения за счет получения в строительных сталях структуры мартенсита [1], игольчатого феррита [2] и бейнита [3]. При проведении соответствующих термообработок для получения этих структур температура аустенитизации была выше A_{c3} . В ряде случаев она составляла 980 и даже 1100°C, что требовало повышенных энергозатрат. Известно применение для низкоуглеродистых низколегированных сталей, используемых для глубокой вытяжки, закалки из МКИТ ($A_{c3} > t > A_{c1}$) [4]. Это обеспечивает получение в структуре наряду с ферритом 25-30% мартенсита, придающего материалу повышенную прочность при сохранении высокой пластичности. На-

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

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

грев и выдержка в МКИТ приводит к образованию аустенита, наряду с которым в структуре сохраняется феррит и небольшое количество карбидов. При этом аустенит имеет химическую микронеоднородность, т.к. на его границе с карбидами концентрация углерода и других аустенитообразующих элементов существенно выше, чем в феррите. Это позволяет после закалки получить многофазную микронеоднородную структуру мартенсита или бейнита с широким спектром содержания углерода и легирующих элементов, сохранить феррит, небольшое количество карбидов и в ряде случаев остаточный аустенит, способный претерпевать при нагружении динамическое деформационное мартенситное превращение. Последнее также играет важную роль в получении повышенного уровня предела прочности и относительного удлинения [5]. В работах [6, 7] показана целесообразность нормализации с нагревом в МКИТ специально разработанных для этого строительных сталей 09Г2СЮЧ и 09ХГ2СЮЧ. Проведены исследования по влиянию изотермической закалки из МКИТ ряда конструкционных сталей на механические свойства, показавшие возможность получения такого их сочетания, которое не достижимо обычными способами термообработки [8, 9].

В работе [10] предложено при проведении термообработки сталей с нагревом в МКИТ применять комбинированный нагрев: сначала - в МКИТ с регламентированной выдержкой, а затем - кратковременно в аустенитную область. Это позволяет, если требуется, исключить после закалки присутствие в структуре феррита, снижающего прочностные свойства, и сохранить микронеоднородность химического состава, полученную предыдущим нагревом в МКИТ. Показано также положительное влияние предварительной перед выдержкой в МКИТ аустенитизации на механические свойства ряда сталей [11].

Цель статьи - изучение влияния термообработок, в том числе включающих выдержку в МКИТ, на микроструктуру и механические свойства сталей 09Г2С и ЕН36.

Изложение основного материала. *Материал и методика исследований.* Объектом исследований служили, применяемые в промышленности стали 09Г2С и ЕН36 (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав и температура критических точек исследованных сталей

Марка стали	С	Si	Mn	Содержание легирующих элементов, %								A _{c1}	A _{c3}
				Cu	V	Cr	Ni	Nb	Ti	P	S		
				не более									
09Г2С	0,10	0,6	1,5	0,30	-	0,3	0,3	-	-	0,025	0,030	725	860
ЕН36	0,11	0,3	1,25	0,02	0,08	0,03	0,02	0,04	0,015	0,015	0,003	740	860

Обычно сталь 09Г2С применяется в горячекатаном, нормализованном, реже в улучшенном состоянии, ЕН36 – после контролируемой прокатки. Механические свойства этих сталей после различных обработок, применяемых в промышленности, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Механические свойства исследованных сталей после термообработок по типовым режимам

Сталь	Обработка	Механические свойства		
		σ _{0,2} , МПа	σ _b , МПа	δ, %
09Г2С (лист толщиной 10-20 мм)	Горячекатаное состояние	345	490	21
	Нормализация	345	500	30
	Улучшение	370	500	19
ЕН36 (лист толщиной 6-30 мм)	Контролируемая прокатка	385	488	18

Различные виды термообработки проводили с нагревом в аустенитную область, а также с нагревом в МКИТ. Охлаждающей средой служила вода. В случае изотермической закалки охлаждение до температуры изотермы проводилось в воде, а выдержка осуществлялась в печи.

Проводились металлографические исследования. Механические свойства на растяжение определялись по ГОСТ 1497-84 на образцах диаметром 5 мм с расчетной длиной 30 мм, на

ударную вязкость – по ГОСТ 9454 на образцах с U-образным надрезом.

Результаты исследований.

Нормализация исследованных сталей по типовому режиму и с выдержкой в МКИТ.

Стали 09Г2С и ЕН36 нормализовались по типовому режиму с нагревом в аустенитную область и после нагрева и выдержки 60 мин. в МКИТ при различных температурах. На рис. 1 приведены механические свойства стали 09Г2С после нормализации с различных температур.

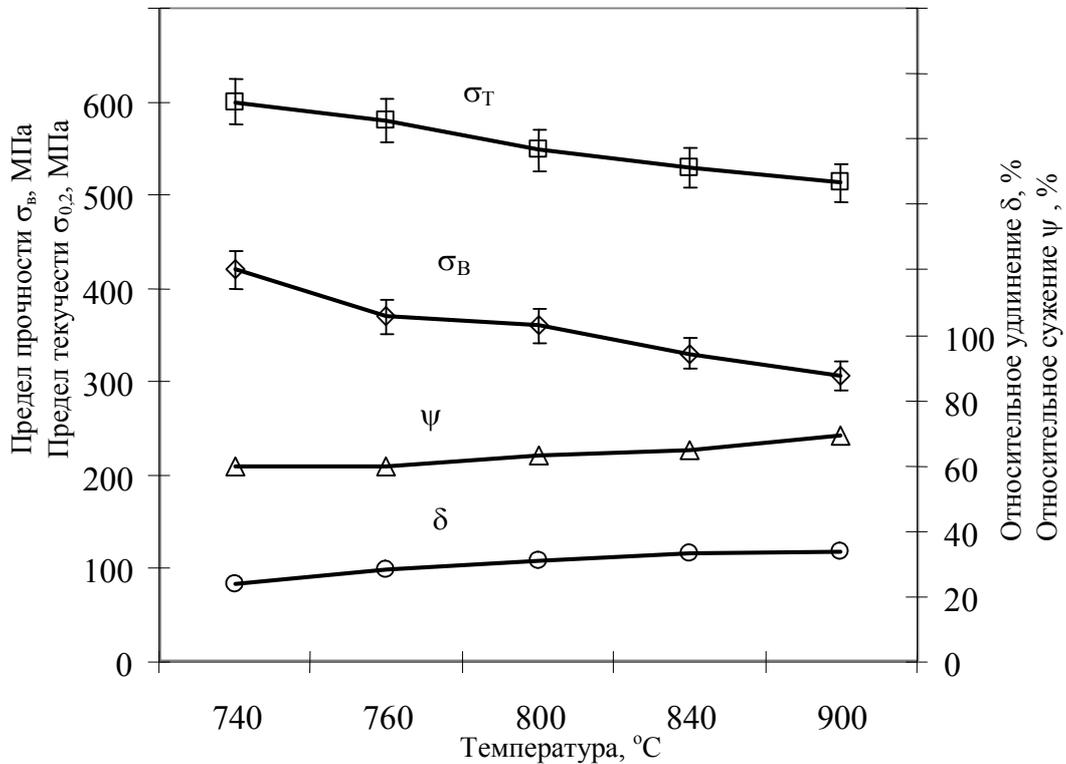


Рис. 1 – Механические свойства стали 09Г2С после нормализации с различных температур

Из него следует, что при повышении температуры в МКИТ прочностные характеристики снижаются, а пластические возрастают. При этом после выдержки при температурах 740 и 760°C, которые соответственно, на 30 и 50°C выше A_{c1} уровень прочностных свойств значительно выше, чем после нормализации с 920°C, а пластические характеристики и ударная вязкость сохраняются на достаточном уровне. Так сталь 09Г2С после нормализации с нагревом на 760°C (выдержка 60 мин.) имеет: $\sigma_{0,2}$ = 420 МПа, σ_B = 590 МПа, δ = 22%, ψ = 60%, КСУ = 1,9 МДЖ/м², а после нормализации с 920°C (выдержка 20 мин.): $\sigma_{0,2}$ = 350 МПа, σ_B = 530 МПа, δ = 28%, ψ = 66%, КСУ = 2,1 МДЖ/м².

Повышенный уровень прочностных свойств после нормализации с температур, незначительно превышающих A_{c1} , обусловлен дополнительным измельчением зерна, а также перераспределением углерода и марганца между α - и γ - фазами и обогащением последней этими элементами. Следствием этого является повышение устойчивости переохлажденного аустенита по отношению к распаду с образованием феррито- карбидной смеси (ФКС), которая образуется при более низких, чем при охлаждении из аустенитной области температурах. В результате ФКС более дисперсна и содержит повышенное количество карбидов. Достаточный уровень пластичности при нормализации из МКИТ обусловлены присутствием в структуре большого количества феррита, очищенного от углерода и азота, упрочняющих его. При нормализации стали ЕН36 наблюдается та же закономерность в изменении механических свойств от температуры нагрева, что и для стали 09Г2С.

В табл. 3 приведены механические свойства стали ЕН36 после нормализации с 920°C (выдержка 20 мин.) и с 780°C (выдержка 60 мин.).

Таблица 3

Механические свойства стали ЕНЗ6 после различных обработок

№ образца	Обработка	Механические свойства				
		$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДЖ/м ²
1	Нормализация с нагревом на 920°C (20 мин.)	352	448	27	64	1,5
2	Нормализация с нагревом на 780°C (60 мин.)	375	500	33	67	1,9
3	Нормализация с предварительным нагревом на 780°C (60 мин.) и последующей кратковременной аустенитизацией при 920°C (5 мин.)	389	550	29	68	1,7

Из нее следует, что в последнем случае свойства выше, чем в первом. Еще в большей степени повысить механические свойства стали ЕНЗ6 удастся проведением нормализации с нагревом и выдержкой в МКИТ и последующей кратковременной (5 мин.) аустенитизации при 920°C (табл. 3). Это можно объяснить дополнительным измельчением зерна при сохранении химической микронеоднородности, полученной выдержкой в МКИТ. Следует подчеркнуть, что нагрев и выдержка в МКИТ уменьшают перлитную полосчатость по сравнению с горячекатаным состоянием (рис. 2). Приведенные данные показывают целесообразность нормализации из МКИТ, что требует меньших энергозатрат, чем типовая термообработка.

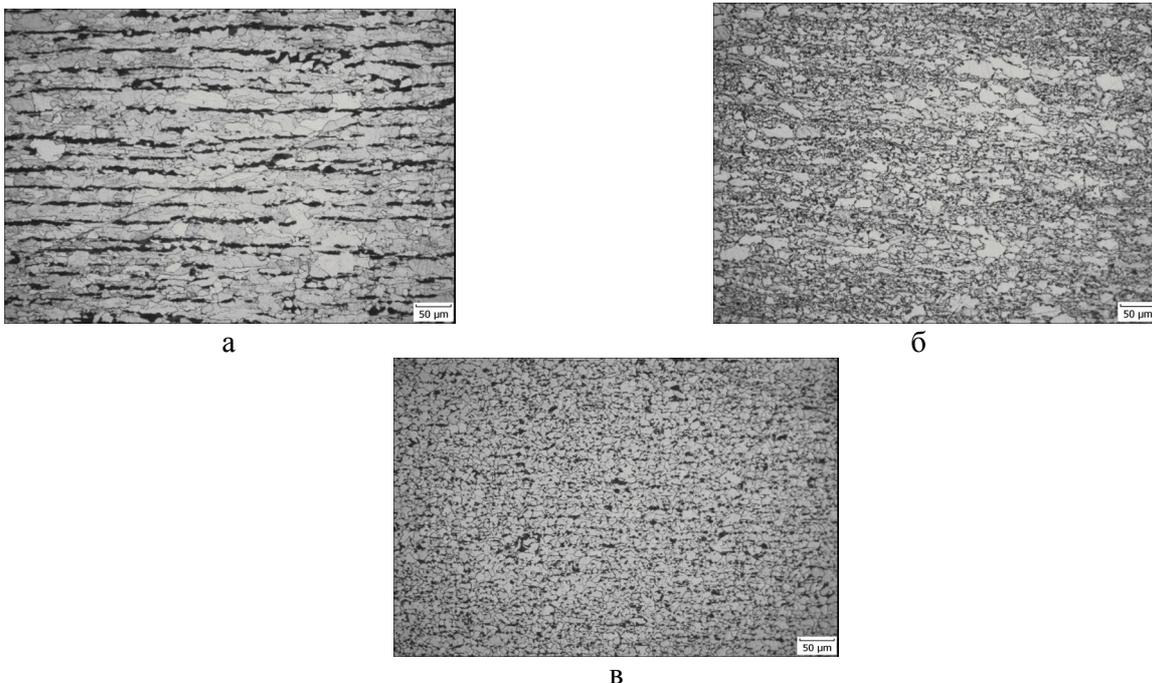


Рис. 2 – Микроструктура стали 09Г2С (x500x1,4): а – исходное горячекатаное состояние; б – нормализация с нагревом на 760°C, 60 мин.; в – нормализация с нагревом на 920°C, 20 мин.

Закалка исследованных сталей из МКИТ и аустенитной области. Для сталей 09Г2С и ЕН36 были выбраны следующие температуры нагрева под закалку: в МКИТ: 760, 800, 840°С и из аустенитной области: 920°С. Охлаждающей средой служила вода. С повышением температуры нагрева под закалку в МКИТ и особенно после перехода в аустенитную область, прочностные характеристики увеличиваются, а пластичность и ударная вязкость снижаются (табл. 4).

Таблица 4

Влияние температуры нагрева под закалку на механические свойства исследованных сталей

Сталь	Температура, °С, выдержка 60 мин.	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДЖ/м ²
09Г2С	760	675	884	17	65	1,5
	800	832	956	13	54	1,3
	840	1032	1179	11	52	0,9
	920	1125	1214	10	50	0,8
ЕН36	760	625	832	16	63	1,4
	800	810	938	14	58	1,3
	840	990	1150	12	54	1,0
	920	1020	1190	11	52	0,9

Это объясняется увеличением количества аустенита в структуре сталей при нагреве до все более высоких температур и, соответственно мартенсита после закалки, несмотря на уменьшающуюся в нем концентрацию углерода. При закалке из МКИТ следует учитывать влияние на механические свойства времени выдержки.

В табл. 5 приведены механические свойства стали 09Г2С после закалки из МКИТ с 760 и 800°С после выдержки 30,60 и 90 мин.

Таблица 5

Влияние времени выдержки при температурах нагрева в МКИТ на 760 и 800°С на механические свойства стали 09Г2С

Температура нагрева, °С	Время выдержки, мин.	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДЖ/м ²
760	30	713	898	15	63	1,3
	60	675	884	17	72	1,5
	90	668	815	14	66	1,2
800	30	856	986	10	50	1,1
	60	832	956	13	54	1,3
	90	792	926	14	56	1,4

Из полученных данных следует, что увеличение времени пребывания при этих температурах образцов снижает прочностные характеристики и либо неоднозначно влияет на пластичность и ударную вязкость, либо повышает их. Согласно данным [12] при нагреве в МКИТ, образующийся в начальный момент аустенит обогащен углеродом по сравнению с его равновесной концентрацией, что должно привести к образованию после закалки мартенсита с повышенным содержанием углерода. При увеличении продолжительности выдержки образцов при температурах МКИТ содержание углерода в аустените и, соответственно, после закалки в мартенсита снижается в направлении, приближающему сталь к равновесному состоянию. Для полного выравнивания химического состава аустенита и мартенсита требуется длительная выдержка (более 3 часов). При необходимости в исследованных сталях получить наиболее высокий уровень прочностных свойств их следует закалывать с 840 или даже 920°С. В этом случае уровень получаемых механических свойств близок к таковому у ряда среднеуглеродистых сталей после улучшения. Это следует отметить в связи с тем, что в справочной и учебной литературе не рассматривается возможность повышения прочностных свойств исследуемых сталей проведением закалки. Между тем, она после нагрева в МКИТ или аустенитную область позволяет использо-

вать низкоуглеродистые низколегированные стали по новому назначению, а именно, вместо улучшаемых для деталей небольшого сечения. Это согласуется с данными работ [1, 2]. Следует также отметить, что закалка из МКИТ может заменить закалку из аустенитной области и последующий высокий отпуск, поскольку обеспечивает более высокий уровень прочностных свойств, при достаточной для многих случаев пластичности и ударной вязкости. Соответствующие данные приведены для стали 09Г2С и ЕН36 в табл. 6.

Таблица 6

Механические свойства стали 09Г2С и ЕН36 после различных режимов термообработки

Сталь	Режим термообработки	Механические свойства				
		$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДЖ/м ²
09Г2С	Закалка: 920°C, 20 мин., вода; отпуск 650°C, 60 мин.	589	650	18	68	1,5
	Закалка: 780°C, 60 мин., вода	775	884	17	64	1,4
	Закалка: 780°C, 60 мин., вода + 920°C, 5 мин., вода	780	930	15	60	1,3
	Закалка: 920°C, 20 мин., вода + 780°C, 60 мин., вода	790	910	17	63	1,4
ЕН36	Закалка: 920°C, 20 мин., вода; отпуск 650°C, 60 мин.	585	695	17	65	1,5
	Закалка: 780°C, 60 мин., вода	615	805	15	59	1,4
	Закалка: 780°C, 60 мин., вода + 920°C, 5 мин., вода	733	908	16	62	1,6
	Закалка: 920°C, 20 мин., вода + 780°C, 60 мин., вода	683	824	17	60	1,5

На сталях 09Г2С и ЕН36 показано, что предварительная закалка из аустенитной области (920°C, 20 мин.) позволяет повысить уровень прочностных свойств после повторной закалки из МКИТ (780°C, 60 мин.) (табл.6). Это можно объяснить ускорением перераспределения углерода и легирующих элементов между α - и γ - фазами, дополнительным измельчением зерна и образованием субструктуры. Более высокий уровень прочностных свойств при повышенной пластичности и ударной вязкости получен после закалки с предварительным нагревом и выдержкой в МКИТ (780°C 60 мин.) и последующей кратковременной аустенитизации при 920°C, 5 мин. (табл. 6). Данный результат обусловлен устранением феррита из структуры, дополнительным ее диспергированием при сохранении микронеоднородности в распределении углерода и других элементов, полученной при закалке из МКИТ.

Изотермическая закалка исследованных сталей. Данные в литературе по изотермической закалке строительных сталей немногочисленны. В работе [3] приведены результаты исследова-

ний изотермической закалки из аустенитной области стали 10Г2ФБ. Полученные механические свойства соответствуют классу прочности X 70 ($\sigma_{0,2}$ = 500-600 МПа, σ_b = 600-700 МПа, $\delta \geq 20\%$, $\psi = 60-70\%$). Данные по влиянию изотермической закалки по аналогичному режиму, но только из МКИТ, на стали 09Г2С и ЕН36 приведены в табл. 7.

Таблица 7

Свойства сталей 09Г2С и ЕН36 после изотермической закалки

Сталь	Режим термообработки	Механические свойства				
		$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДЖ/м ²
09Г2С	н. 920°С, в.20 мин., охлаждение в воде до 500°С, в. 60 мин., воздух	685	759	16	66	1,30
	н. 760°С, в. 60 мин., охлаждение в воде до 500°С, в. 10 мин., воздух	463	561	20	74	1,50
	н. 760°С, в. 60 мин., охлаждение в воде до 500°, в. 30 мин, воздух	478	580	22	76	1,68
	н. 760°С, в. 60 мин., охлаждение в воде до 500°, в. 60 мин, воздух	490	610	20	72	1,48
ЕН36	н. 920°С, в. 20 мин., охлаждение в воде до 500°С, в. 60 мин., воздух	556	704	17	74	1,30
	н. 760°С, в. 60 мин., охлаждение в воде до 500°, в. 10 мин, воздух	474	573	23	77	1,70
	н. 760°С, в. 60 мин., охлаждение в воде до 500°, в. 30 мин, воздух	489	590	25	78	1,80
	н. 760°С, в. 60 мин., охлаждение в воде до 500°, в. 60 мин, воздух	503	615	21	76	1,75
	н. 760°С, в. 60 мин., н. 920°С, в. 5 мин., охлаждение в воде до 500°, в. 30 мин, воздух	523	708	22	77	1,70
	н. 920°С, в. 20 мин., вода, н. 780°С, в. 60 мин., охлаждение в воде до 500°, в. 60 мин, воздух	630	740	18	62	1,60

Примечание: н. – нагрев, в. – выдержка.

Из полученных данных следует, что после изотермической закалки с нагревом в аустенитную область (920°С, 20 мин.), охлаждения в воде до 500°С, выдержки при этой температуре 60 мин., охлаждения на воздухе у сталей 09Г2С и ЕН36 могут быть получены прочностные свойства, соответствующие категории Х70, но относительное удлинение несколько ниже требуемого уровня. Изотермическая закалка из МКИТ обеспечивает более высокий уровень пластических характеристик по сравнению с аналогичной закалкой из аустенитной области, но при этом у стали 09Г2С ниже, чем требуется для категории Х70, прочностные характеристики. Увеличение продолжительности изотермической выдержки при 500°С от 10 до 60 мин. повы-

шает прочностные свойства при сохранении хорошей пластичности и ударной вязкости. При этом у стали ЕН36 обеспечивается уровень свойств соответствующий категории Х70.

Дополнительная кратковременная аустенитизация при 920°C, 5 мин. после выдержки в МКИТ стали ЕН36 позволяет после изотермической закалки от этой температуры с выдержкой при 500°C повысить прочностные свойства до более высокого уровня, чем это достигнуто увеличением продолжительности изотермической выдержки при 500°C. При этом сохраняется повышенная пластичность и ударная вязкость (табл. 7). Это можно объяснить дополнительным измельчением зерна и исключением из структуры феррита. Высокий уровень механических свойств в стали ЕН36 получен после предварительной закалки в воде из аустенитной области и последующей изотермической закалки с нагревом в МКИТ. Хорошее сочетание механических свойств после изотермической закалки обусловлено получением наряду с ферритом низкоуглеродистого нижнего бейнита, обладающего повышенной прочностью и пластичностью. Не исключено присутствие на его границах тонких прослоек аустенита, повышающих пластичность стали.

Выводы

1. Нормализация сталей 09Г2С и ЕН-36 с нагревом и выдержкой в МКИТ по рациональному режиму позволяет получить более высокий уровень механических свойств, чем после нормализации с нагревом в аустенитную область.
2. Закалка исследованных сталей из МКИТ с температур близких к A_{c3} или выше нее позволяет получить уровень механических свойств, близкий к таковому у среднеуглеродистых улучшаемых сталей после закалки и высокого отпуска. Это в ряде случаев позволяет для деталей небольшого сечения заменить их низкоуглеродистыми низколегированными сталями. С повышением температуры нагрева под закалку в МКИТ при постоянной выдержке прочностные свойства возрастают, а пластичность и ударная вязкость снижаются из-за увеличения в структуре количества мартенсита и снижения доли феррита. Увеличение выдержки с 30 до 90 мин. при выбранной температуре в МКИТ снижает прочностные свойства и либо неоднозначно влияет на пластичность и ударную вязкость, либо повышает их. Могут быть выбраны режимы нагрева и выдержки в МКИТ исследованных сталей, обеспечивающие после закалки уровень механических свойств, позволяющий заменить закалку из аустенитной области и последующий высокий отпуск, что уменьшает энергозатраты на проведение термообработки. В стали ЕН36 изотермическая закалка из МКИТ позволяет получить уровень свойств категории Х70.
3. Изотермическая закалка из МКИТ с переохлаждением до 500°C и выдержкой при этой температуре позволяет получить при более низких прочностных свойствах более высокие значения пластичности и ударной вязкости, чем после аналогичной термообработке из аустенитной области.
4. Кратковременная аустенитизация после выдержки в МКИТ при проведении нормализации и закалки позволяет повысить прочностные характеристики и сохранить на требуемом уровне характеристики пластичности и ударной вязкости. Близкий результат обеспечивает предварительная закалка из аустенитной области, проведенная перед термообработкой с нагревом и выдержкой в МКИТ.

Список использованных источников:

1. Малинов Л.С. Повышение прочностных свойств строительных сталей нетрадиционной для них термообработкой / Л.С.Малинов, А.С. Рубец // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2004. – №2. – С. 79-81.
2. Большаков В.И. Влияние продолжительности гомогенизирующей выдержки и последующей деформации на структуру игольчатого феррита в малоуглеродистых сталях 09Г2С и 10Г2ФБ / В.И. Большаков, Г.М. Воробьев, Г.Д. Сухомлин // *Сб. науч. трудов*. Вып. 26, ч.1 – Дн-вск: РИА «Днепр – VLL». – 2004. – 376 с.
3. Бекетов О.В. Особливості процесів структуроутворення і розробка параметрів зміцнення сталі 10Г2ФБ / О.В. Бекетов. – Автореф. дис. На здобуття наук. ступ. канд. техн. наук по спец. 05.02.01. – матеріалознавство. – 2004. – 20 с.

4. Голованенко С.А. Двухфазные низколегированные стали / С.А. Голованенко, Н.М. Фонштейн. – М.: Металлургия. – 1986. – 207 с.
5. Малинов Л.С. Структура и свойства экономнолегированных марганцевых сталей / Л.С. Малинов, А.П. Чейлях, Е.Л. Малинова // Металлы. – 1993. – №1. – С. 106-111.
6. Егорова С.В. Возможности и перспективы использования межкритической нормализации для упрочнения низколегированных сталей и сварных конструкций / С.В. Егорова, Ю.А. Стеренбоген, А.В. Юрчишин и др. // Автоматическая сварка. – 1983. – № 12. – С. 7-13.
7. Егорова С.В. Межкритическая нормализация – способ упрочнения сварных конструкций / С.В. Егорова, А.В. Юрчишин, А.И. Кренделева и др. // Автоматическая сварка. – 1992. – №4. – С. 24-28.
8. Петруненко А.А. Термическая обработка низколегированных сталей для получения ферритно-аустенитно-бейнитной структуры / А.А. Петруненко // Физика металлов и металловедение. – 1991. – № 5. – С. 93-98.
9. 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.
10. Малинов Л.С. Структура и свойства Fe – Cr – Mn сталей после закалки с предварительным нагревом в межкритический интервал температур / Л.С. Малинов, А.П. Чейлях // МиТОМ. – 1990. – С. 45-47.
11. Малинов Л.С. Способы термообработки сталей с нагревом в межкритический интервал температур (МКИТ) для повышения их механических свойств / Л.С. Малинов, О.А. Васенко, Д.В. Малинова // Металл и литье Украины. – 2012. – №1. – С. 18-22.
12. Дьяченко С.С. Особенности структур неполной перекристаллизации и их влияние на свойства сталей / С.С. Дьяченко, О.П. Фоменко // МиТОМ. – 1970. – №1. – С. 9-11.

Bibliography:

1. Malinov L.S. Improvement of strength properties of construction steels non-typical for them heat treatment / L.S. Malinov, A.S. Rubec // Metallurgical and mining industry. – 2004. – №2. – P. 79-81. (Rus.)
2. Bolshakov V.I. A homogenizing influence of duration of exposure and subsequent deformation on the structure of acicular ferrite in low-carbon steels 09G2S and 10G2FB / V.I. Bolshakov, G.M. Vorobiev, G.D. Sukhomlin // Collection of scient. works. production 26, p.1 – Dnepropetrovsk: RIA «Dnepr – VAL». – 2004. – 376 p. (Rus.)
3. Beketov A.V. Peculiarities of processes of structure formation and development of parameters strengthening steel 10G2FB / A.V. Beketov. – Abstract of dissertation on competition of Sciences. degree candidate of technical Sciences on speciality. 05.02.01. – materials science. – 2004. – 20 p. (Ukr.)
4. Golovanenko S.A. Two-phase low-alloy steel / S.A. Golovanenko, N.M. Fonshteyn. – M: Metallurgy. – 1986. – 207 p. (Rus.)
5. Malinov L.S. Structure and properties sparingly alloyed manganese steel / L.S. Malinov, A.P. Cheylyah, E.L. Malinova // Metals. – 1993. – №1. – P. 106-111. (Rus.)
6. Egorova S.V. Opportunities and prospects of using intercritical normalization for hardening of low-alloyed steels and welded structures / S.V. Egorova, Y.A. Sterenbogen, A.V. Yurchyshyn etc.. // Automatic welding. – 1983. – № 12. – P. 7-13. (Rus.)
7. Egorova S.V. 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.)
8. Petrunenko A.A. Heat treatment of low alloy steels for obtaining austenitic-ferritic-bainitic structure / A.A. Petrunenko // Physics of metals and metallography. – 1991. – № 5. – P. 93-98. (Rus.)
9. 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.)
10. Malinov L.S. Structure and properties of Fe - Cr - Mn after hardening steels with preliminary heating in the intercritical temperature interval / L.S. Malinov, A.P. Cheylyah // Metals and heat treatment of metals. – 1990. – P. 45-47. (Rus.)

11. Malinov L.S. Ways of heat treatment of steels with heating in the intercritical temperature interval of temperatures (ITI) to improve their mechanical properties / L.S. Malinov, O.A. Vasenko, D.V Malinova // Metal and casting of Ukraine. – 2012. – №1. – С. 18-22. (Rus.)
12. 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.)

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

Статья поступила 05.07.2013

УДК 669.112.227.346.2

Чейлях Я.А.¹, Чейлях А.П.², Кривенко О.В.³, Шейченко Г.В.⁴

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ТОЧКУ M_n И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ НАПЛАВЛЕННЫХ Fe-Cr-Mn МЕТАСТАБИЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Выполнен анализ влияния легирующих элементов (Cr, Mn, Si, C) на положение т. M_n в сталях системы легирования Fe-Cr-Mn. Разработана физико-математическая модель их влияния на точку M_n , получаемый фазовый состав и метастабильность аустенита, от которых зависит развитие деформационного мартенситного превращения при испытаниях и свойства наплавленного металла и сталей аустенитного, аустенитно-мартенситного и мартенситно-аустенитного классов.

Ключевые слова: модель, легирование, аустенит, мартенсит, точка M_n , метастабильность, фазовый состав.

Чейлях Я.О., Чейлях О.П., Кривенко О.В., Шейченко Г.В. Моделювання впливу легуєчих елементів на точку M_n і фазовий склад наплавлених Fe-Cr-Mn метастабільних сталей. Виконаний аналіз впливу легуєчих елементів (Cr, Mn, Si, C) на положення точку M_n в сталях системи легування Fe-Cr-Mn. Розроблена фізико-математична модель їх впливу на т. M_n , отримуваний фазовий склад і метастабільність аустеніту, від яких залежить розвиток деформаційного мартенситного перетворення при випробуваннях і властивості наплавленого металу і сталей аустенітного, аустенітно-мартенситного і мартенситно-аустенітного класів.

Ключові слова: модель, легування, аустеніт, мартенсит, точка M_n , метастабільність, фазовий склад.

Ya.O. Cheiliakh, O.P. Cheiliakh, O.V. Krivenko, G.V. Sheichenko. The modeling of influence alloying elements on point M_s and phase composition of surfacing Fe-Cr-Mn metastable steels. The analysis of influence of alloying elements (Cr, Mn, Si, C) is executed on position of point M_s in the steels of the systems alloying Fe-Cr-Mn. The physical-mathematical model of their influence on point M_s , getting of phase composition and metastable of austenite, on which the development deformation induced martensite transformation at tests and properties of surfacing metal and steels of austenitic, austenite-martensite and martensite-austenite classes depends is developed.

Keywords: model, alloying, austenite, martensite, point M_s , metastability, phase composition.

¹ канд. техн. наук, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

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

⁴ канд. техн. наук, ПАО «ММК имени Ильича», г. Мариуполь