

II ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ТА ОБРОБКИ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

УДК 669.15'.74.-194-15.669.17

Д-р техн. наук Малинов Л. С., канд. техн. наук Бутова Д. В., канд. техн. наук Малышева И. Е.
ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РЕССОРНО-ПРУЖИННЫХ СТАЛЕЙ ПОЛУЧЕНИЕМ МНОГОФАЗНОЙ СТРУКТУРЫ С МЕТАСТАБИЛЬНЫМ АУСТЕНИТОМ

Цель работы. Повысить прочностные свойства или пластичность и ударную вязкость сталей 60С2А, 60С2ХФА, 65Г после термообработки с нагревом в межкритический интервал температур за счет получения многофазной структуры с метастабильным аустенитом, претерпевающим динамическое деформационное мартенситное превращение при нагружении.

Методы исследования. ДюрOMETрический, металлографический и рентгеновский методы исследования. Определение механических свойств при растяжении (ГОСТ 1497-84) и ударной вязкости (ГОСТ 9454-78).

Полученные результаты. Закалка из МКИТ и низкий отпуск или изотермическая закалка при рациональных термовременных режимах их проведения позволяют получить в исследованных сталях дисперсную многофазную структуру с метастабильным остаточным аустенитом. Это обеспечивает исследованным сталям в одних случаях уровень механических свойств, соответствующий высокопрочному состоянию, в других – повышенную пластичность и ударную вязкость при таких же (в ряде случаев более высоких) прочностных свойствах, как у среднеуглеродистых сталей после улучшения.

В зависимости от требуемых механических свойств, количеством и стабильностью остаточного аустенита по отношению к ДДМП необходимо управлять, оптимизируя их для каждого конкретного случая.

Изотермическую закалку целесообразно проводить экологически чистым способом, осуществляя после аустенитизации охлаждение до температуры изотермы в воде, выдержку при ней – в печи с последующим охлаждением на воздухе. В ряде случаев после нагрева и выдержки в МКИТ следует перед охлаждением кратковременно нагреть сталь в аустенитную область.

Научна новизна. Показана целесообразность создания многофазной структуры с метастабильным аустенитом в сталях 60С2А, 60С2ХФА, 65Г применением термообработки с нагревом в межкритический интервал температур. Это позволяет при определенных режимах термообработки в одних случаях получить механические свойства, соответствующие высокопрочному состоянию, в других – достичь более высокого уровня пластичности и ударной вязкости, чем у улучшаемых сталей, при таких же, как у них, или даже более высоких прочностных свойствах.

Практическая ценность. Повышение прочностных свойств или пластичности и ударной вязкости рессорно-пружинных сталей 60С2А, 60С2ХФА, 65Г после термообработки с нагревом в МКИТ за счет получения многофазной структуры с метастабильным аустенитом, претерпевающим ДДМП при нагружении, что позволяет расширить области применения этих сталей.

Ключевые слова: закалка, межкритический интервал температур, многофазная структура, мартенсит, бейнит, метастабильный аустенит, механические свойства.

Введение

Повышение механических свойств сталей является актуальной задачей. В данной работе она решалась применительно к рессорно-пружинным сталям общего назначения 60С2А, 60С2ХФА, 65Г. Их основными свойствами являются высокий предел упругости и релаксационная стойкость. Обычно они подвергаются закалке в масле из аустенитной области с небольшим превышением A_{c3} и среднему отпуску, обеспечивающему получение структуры троостита отпуска [1]. В работах

[2, 3] показана перспективность повышения свойств сталей и чугунов получением у них многофазной структуры с метастабильным аустенитом, претерпевающим при нагружении в процессе испытаний или эксплуатации динамическое деформационное мартенситное превращение (ДДМП). Оно является не только механизмом упрочнения, но релаксации микронапряжений. В данной работе ставилась задача повышения прочностных свойств или пластичности и ударной вязкости сталей 60С2А, 60С2ХФА, 65Г после

термообработки с нагревом в МКИТ за счет получения многофазной структуры с метастабильным аустенитом, претерпевающим (ДДМП) при нагружении. Это позволило бы расширить области применения исследованных сталей.

Материалы и методика исследований

Объектом исследований служили стали 60С2А, 60С2ХФА, 65Г, широко применяемые в промышленности. Их химический состав и критические точки приведены в табл. 1

Таблица 1 – Химический состав исследованных сталей (масс. %) и критические точки A_{c1} , A_{c3}

Марка стали	Содержание элементов, %								Критические точки °С	
	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	V	A_{c1}	A_{c3}
60С2А	0,61	1,75	0,81	0,22	0,12	0,017	0,016	-	770	820
60С2ХФА	0,62	1,62	0,56	0,95	-	0,021	0,015	0,14	765	780
65Г	0,62	0,27	1,1	-	-	0,024	0,021	-	721	745

Нагрев сталей под закалку проводился как в аустенитную область в соответствии с типовой технологией, так и в МКИТ. При изотермической закалке сталей их охлаждение до температуры изотермы проводилось не в расплаве неэкологичных солей или щелочей, как это обычно принято, а в воде, с выдержкой при заданной температуре в печи [4, 5], после которой охлаждение до комнатной температуры осуществлялось на воздухе. Время пребывания образцов в воде при охлаждении до заданной температуры предварительно определялось на образцах – свидетелях с зачеканенной в них термопарой. Такая термообработка названа изотермической закалкой по схеме «вода-печь». В работе применялись дюрOMETрический, металлографический и рентгеновский методы исследования. Определялись механические свойства при растяжении (ГОСТ 1497-84) и ударная вязкость (ГОСТ 9454-78).

Анализ полученных результатов

Рассмотрим вначале результаты исследований стали 60С2А после закалки из МКИТ и низкого отпуска, сравнив их с данными после типовой термообработки, приводимыми в литературе. Сталь 60С2 имеет в отожженном состоянии структуру перлита с сеткой феррита по границам зерен. Эта сталь подвергается закалке с 870 °С в масло и среднему отпуску при 420 °С. После этой термообработки сталь имеет структуру троостита отпуска и следующие механические свойства: $\sigma_{0,2} = 1540$ МПа, $\sigma_B = 1675$, МПа, $\delta = 5$ %, $\psi = 30$ %, $KCU = 0,30$ МДж/м².

Полученные данные (табл. 2) показывают, что при увеличении времени выдержки в МКИТ при 800 °С от

20 до 60 мин прочностные характеристики и пластичность возрастают, а при дальнейшем ее увеличении до 90 мин снижаются.

После нагрева и выдержки 60 мин в МКИТ при 800 °С, закалки в масло и отпуска при 250 °С, 60 мин получен наиболее высокий уровень механических свойств, сравнимый с таковым, например, у разработанной в США высокопрочной стали Супер-Хай-Гаф ($\sigma_{0,2} = 1680$ МПа, $\sigma_B = 2050$ МПа, $\delta = 10$ %) [1]. Получение высокого уровня прочностных свойств при достаточной пластичности у стали 60С2А после определенного режима закалки из МКИТ и низкого отпуска обусловлено мелкозернистостью (балл зерна 9, 10), получением отпущенного дисперсного мартенсита с различной концентрацией углерода и метастабильного аустенита, претерпевающего при испытаниях свойств на растяжение ДДМП. Согласно данным рентгеновского анализа после закалки с 800 °С (выдержки 60 мин) и отпуска 250 °С, 60 мин в структуре присутствует ~ 10 % остаточного аустенита, который почти полностью переходит в мартенсит деформации при испытании образцов на растяжение. Более низкий уровень механических свойств после закалки 800 °С и выдержки при этой температуре 20 мин (отпуск 250 °С, 60 мин) (табл. 2) может быть обусловлен более низким содержанием углерода в мартенсите отпуска из-за значительного количества не растворившихся при нагреве в МКИТ в аустените карбидов, снижающих в низкоотпущенной стали пластичность, и малого количества остаточного аустенита после термообработки (J 5 %). Соответственно, ДДМП не получает заметного развития и не может повысить пластичность стали. Закалка с 800 °С после выдержки 90 мин и

Таблица 2 – Влияние времени выдержки в МКИТ при 800 °С на механические свойства стали 60С2А после закалки и отпуска при 250 °С, 60 мин

Время выдержки τ , мин	Механические свойства				
	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	KCU, МДж/м ²
30	1540	1620	7	29	0,26
60	1768	2099	9	35	0,35
90	1580	1710	6	25	0,21

отпуск 250 °С также приводят к снижению прочностных и пластических свойств (табл. 2). Это является следствием почти полного изотермического превращения в МКИТ феррита в аустенит. В результате в нем, соответственно, и в мартенсите после закалки и низкого отпуска уменьшается содержание углерода. Последнее снижает прочностные свойства после низкого отпуска. Следствием снижения содержания углерода в аустените перед закалкой является образование сравнительно небольшого количества остаточного аустенита (~ 5 %) и малого влияния ДДМП на пластичность.

Низкий отпуск стали 60С2А после закалки обычно не применяется, поскольку в этом случае требуемые для рессор и пружин характеристики ниже, чем после среднего отпуска. Однако для обеспечения свойств, соответствующих высокопрочному состоянию, после закалки из МКИТ по рациональному режиму он необходим.

Для получения многофазной структуры в стали 60С2А, основными составляющими которой являются нижний бейнит, мартенсит, метастабильный остаточный аустенит, небольшое количество феррита и не растворившихся при неполной аустенитизации карбидов, проводили изотермическую закалку из МКИТ с температуры 800 °С (выдержка 60 мин). Температуры изотермы составляли, соответственно, 300, 350 и 400 °С, а выдержки при каждой из них – 10, 30 и 60 мин. Механические свойства стали 60С2А после изотермической закалки по различным режимам приведены в табл. 3. Из приведенных данных следует, что наиболее высокие прочностные свойства при изотермической закалке с 800 °С получены после выдержек при 300 °С, а наибольшая пластичность – при 350 °С.

При увеличении выдержки при 300 °С прочностные характеристики, пластичность и ударная вязкость изменяются неоднозначно. Их максимум соответствует выдержке 30 мин. При этом прочностные свойства стали 60С2А после выдержек от 10 до 60 мин при 300 °С (табл. 3) существенно превосходят их уровень

у улучшаемых сталей ($\sigma_{0,2} = 750\text{--}900$ МПа, $\sigma_b = 900\text{--}1000$ МПа). Полученная при этом пластичность и ударная вязкость соответствуют аналогичным свойствам у улучшаемых сталей ($\delta = 10\text{--}12$ %, $\psi = 45\text{--}50$ %, $KCU = 0,5\text{--}1,0$ МДж/м²) [1]. Последнее обусловлено присутствием в структуре небольшого количества феррита, очищенного от углерода и азота, а главным образом реализацией ДДМП из-за образовавшегося в структуре 8–12 % метастабильного аустенита, претерпевающего при испытаниях механических свойств ДДМП. Причинами получения таких прочностных свойств могут быть мелкозернистость, повышенная плотность дислокаций в бейните и более высокое содержание в нем углерода, чем при более высоких температурах изотермической выдержки, и присутствие не растворившихся при нагреве в аустените карбидов.

После изотермической закалки из МКИТ с выдержками от 10 до 60 мин при 350 °С характер изменения механических свойств аналогичен рассмотренному выше. Однако прочностные свойства существенно ниже, чем обеспечивает выдержка при 300 °С. Их уровень соответствует таковому у улучшаемых сталей, при этом пластичность и ударная вязкость выше, чем у них. Полученное после выдержки 30 мин при 350 °С удлинение $\delta = 26$ %, обычно не достигается в среднеуглеродистых сталях после улучшения.

Оно характерно для низкоуглеродистых строительных сталей, имеющих преимущественно ферритную структуру и в 2–3 раза более низкие прочностные свойства. Микроструктура стали 60С2А после такой термообработки является преимущественно бейнитной. Доля феррита в структуре не превышает 5 %. Рентгеновский фазовый анализ позволяет заключить, что в структуре также присутствует остаточный аустенит. Его количество составляет после выдержки при 350 °С 30 мин ~20 %. Самое большое количество остаточного аустенита (25 %) образуется после выдержки 10 мин при 350 °С. По мере увеличения ее продолжительности до

Таблица 3 – Механические свойства стали 60С2А после изотермической закалки из МКИТ (800 °С, 60 мин) с выдержками при 300, 350, 400 °С

Температура изотермы t , °С	Время выдержки τ , мин	Механические свойства					
		$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	KCU, МДж/м ²	HRC
300	10	1500	1610	10	45	0,5	44
	30	1450	1730	12	47	0,8	46
	60	1370	1713	11	46	0,6	48
350	10	760	1150	15	51	1,3	33
	30	940	1278	26	62	1,4	35
	60	910	1170	14	45	1,2	36
400	10	750	1030	10	44	0,8	34
	30	870	1100	8	43	0,7	36
	60	900	1160	7	40	0,7	38

60 мин количество остаточного аустенита в структуре уменьшается до 15 %, а доля α - фазы возрастает. Наиболее высокий уровень относительного удлинения и ударной вязкости при умеренной прочности после изотермической закалки стали 60С2А из МКИТ при 350 °С, 30 мин обусловлен оптимальным количеством остаточного аустенита и наиболее благоприятным развитием ДДМП при испытаниях механических свойств [2, 3]. Эти данные согласуются с результатами работ [6–8], в которых изучалось влияние изотермической закалки с нагревом в МКИТ на механические свойства среднеуглеродистых низколегированных сталей.

Получение более низких прочностных свойств после всех выдержек при температуре изотермы 400 °С может быть обусловлено более низкой плотностью дислокаций в бейните, меньшей степенью пересыщения его углеродом, чем после выдержек при 350 и 290 °С. Пониженную пластичность можно объяснить выделением карбидов по границам бейнитных кристаллов, поскольку при 400 °С усиливается диффузия углерода из них в аустенит, расположенный на их границах. Следствием выделения карбидов из аустенита может быть уменьшение количества остаточного аустенита в структуре и менее благоприятное развитие ДДМП.

Повысить уровень прочностных свойств у стали 60С2А при сохранении достаточной пластичности можно комбинированной термообработкой. Она включает предварительную нормализацию с нагревом и выдержкой в МКИТ при 800 °С 60 мин, и последующую изотермическую закалку с нагревом в аустенитную область на 870 °С (выдержка 5 мин), охлаждением в воде до 300 °С, выдержкой при этой температуре 30 мин и охлаждением до комнатной температуре на воздухе. В результате указанной термообработки получены механические свойства, соответствующие высокопрочным сталям: $\sigma_{0,2} = 1875$ МПа, $\sigma_b = 2017$ МПа, $\delta = 11$ %, $\psi = 45$ %, КСУ = 0,7 МДж/м². Положительный эффект такой обработки может быть обусловлен дополнительным диспергированием бейнита, исключением из структуры феррита и получением в структуре метастабильного остаточного аустенита, претерпевающего при испытаниях свойств ДДМП.

Следует отметить, что в стали 60С2ХФА так же, как и в 60С2А, нагревом в МКИТ (770 °С, 60 мин), охлаждением в воде до 350 °С, изотермической выдержкой 30 мин,

охлаждением на воздухе (табл. 4, 1) получено высокое удлинение, не достигаемое при близкой прочности у улучшаемых сталей. Так же, как и в стали 60С2А, для получения повышенного уровня прочности и высокого удлинения, не достигаемого типовой термообработкой, необходимо получить мелкозернистую дисперсную многофазную структуру, включающую нижний бейнит, небольшое количество карбидов и метастабильный аустенит (~ 25 %), претерпевающий при нагружении ДДМП. Допускается иметь в структуре небольшое количество феррита (≤ 5 %). Повысить у стали 60С2ХФА прочностные свойства, сохранив высокую пластичность и ударную вязкость, удается кратковременной аустенитизацией (900 °С, 5 мин), проводимой после выдержки в МКИТ (800 °С, 60 мин) перед изотермической закалкой при 350 °С, 30 мин (табл. 4, 2).

Учитывая возможность получения после закалки из МКИТ и низкого отпуска в стали 60С2А и 60С2ХФА механических свойств, соответствующих высокопрочному состоянию, была проведена аналогичная термообработка стали 65Г. Сравнивая уровень механических свойств этой стали после типовой закалки с 810 °С и отпуска 200 °С (табл. 5, 1), можно заключить, что закалка из МКИТ (740 °С) после выдержек в нем 30, 60 мин и аналогичного отпуска, обеспечивает при близких прочностных свойствах более высокую пластичность и ударную вязкость (табл. 5, 2, 3).

Изучено влияние изотермической закалки стали 65Г из МКИТ (740 °С, 10 мин) с охлаждением в воде до температур 300 и 400 °С, выдержкой при них в печи 10, 30 и 60 мин и последующим охлаждением на воздухе на ее механические свойства (табл. 6). При увеличении продолжительности выдержки при 300 °С прочностные, пластические свойства и ударная вязкость изменяются неоднозначно. После 30 мин достигается максимум всех свойств. Уровень механических свойств стали 65Г соответствует высокопрочной низкоотпущенной стали типа 4340 (США) [1]. После изотермической закалки с выдержкой при 400 °С прочностные свойства, как и в предыдущем случае, имеют максимум после выдержки 30 мин.

Пластичность и ударная вязкость достигают наибольших значений после 60 мин. Прочностные свойства после этой выдержки значительно превышают таковые у улучшаемых сталей, а пластичность и ударная вязкость им соответствуют.

Таблица 4 – Механические свойства стали 60С2ХФА после изотермической закалки из МКИТ

Режим термообработки	Механические свойства				
	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДж/м ²
1	820	1220	25	44	1,3
2	1090	1450	21	42	1,2

Режимы термообработки:
 1 - закалка из МКИТ с 770 °С (60 мин), охлаждение в воде до 350°С (30 мин), охлаждение на воздухе;
 2 - после той же выдержки в МКИТ кратковременной аустенитизации при 900 °С (5 мин) и выдержки при 350 °С (30 мин), охлаждение на воздухе.

Выводы

1. Закалка из МКИТ и низкий отпуск или изотермическая закалка при рациональных термовременных режимах их проведения позволяют получить в исследованных сталях дисперсную многофазную структуру с метастабильным остаточным аустенитом. Это обеспечивает исследованным сталям в одних случаях уровень механических свойств, соответствующий высокопрочному состоянию, в других – повышенную пластичность и ударную вязкость при таких же (в ряде случаев более высоких) прочностных свойствах, как у среднеуглеродистых сталей после улучшения. Это позволяет расширить области применения исследованных сталей.

2. В зависимости от требуемых механических свойств количеством и стабильностью остаточного аустенита по отношению к ДДМП необходимо управлять, оптимизируя их для каждого конкретного случая.

Изотермическую закалку целесообразно проводить экологически чистым способом, осуществляя после аустенитизации охлаждение до температуры изотермы в воде, выдержку при ней – в печи с последующим охлаждением на воздухе. В ряде случаев после нагрева и выдержки в МКИТ следует перед охлаждением кратковременно нагреть сталь в аустенитную область.

Список литературы

1. Гольдштейн М. И. Специальные стали / М. И. Гольдштейн, С. В. Грачев, Ю. Г. Векслер. – М. : МИСИС, 1999. – 408 с.
 2. Малинов Л. С. Разработка экономнолегированных высокопрочных сталей и способов упрочнения с исполь-

зованием принципа регулирования мартенситных превращений / Л. С. Малинов. – дис. ... доктора техн. наук : 05.16.01, Екатеринбург, 1992. – 381 с.

3. Малинов Л. С. Ресурсосберегающие экономнолегированные сплавы и упрочняющие технологии, обеспечивающие эффект самозакалки / Л. С. Малинов, В. Л. Малинов. – Мариуполь : Рената, 2009. – 568 с.
 4. Пат. 87940 на винахід. Україна МПК С21D 1/78 (2006.01) Спосіб термообробки сталі / Л. С. Малинов, В. Л. Малинов. № а 200807554 ; заявл. 02.08.2009 ; опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16.
 5. Пат. 87468 на корисну модель. Україна МПК С21D 1/78 (2006.01) Спосіб термообробки низьковуглецевих низьколегованих сталей / Л. С. Малинов, Д. В. Бутова. № u 201309757 ; заявл. 05.08.2013 ; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 3.
 6. Петруненок А. А. Структура низколегированных сталей с ПНП-эффектом после термической обработки и деформации / А. А. Петруненок, В. В. Яровой, Б. А. Букреев // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1991. – № 7. – С. 77–80.
 7. 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. 24–28.
 8. Малинов Л. С. Повышение свойств среднеуглеродистых низколегированных сталей изотермической закалкой межкритического интервала температур (МКИТ), создающей многофазную структуру / Л. С. Малинов, Д. В. Бутова // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні – 2013. – № 2. – С. 64–68.

Одержано 10.09.2018

Таблица 5 – Механические свойства стали 65Г после закалки из аустенитной области, режим 1 (с 810 °С, 10 мин) и из МКИТ, режимы 2, 3 (с 740 °С, 30 и 60 мин) и отпуска 200 °С

Режим термообработки	Механические свойства				
	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДж/м ²
1	1790	2200	3	26	0,1
2	1770	2210	7	30	0,2
3	1740	2240	8	36	0,3

Таблица 6 – Механические свойства стали 65Г после изотермической закалки из МКИТ (740 °С) с охлаждением в воде до температуры изотермы и различных выдержек при ней

Температура изотермической выдержки t , °С	Время выдержки τ , мин	Механические свойства				
		$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДж/м ²
300	10	1300	1427	5	30	0,30
	30	1876	1993	9	36	0,40
	60	1745	1871	5	25	0,33
400	10	1473	1549	5	27	0,25
	30	1620	1707	7	37	0,35
	60	1478	1529	10	51	0,45

Малінов Л.С., Бутова Д.В., Малишева І.Ю. Підвищення механічних властивостей ресорно-пружинних сталей отриманням багатофазної структури з метастабільним аустенітом

Мета роботи. Підвищити властивості міцності або пластичність та ударну в'язкість сталей 60С2А, 60С2ХФА, 65Г після термообробки з нагрівом в міжкритичний інтервал температур за рахунок одержання багатофазної структури з метастабільним аустенітом, який зазнає динамічного деформаційного мартенситного перетворення при навантаженні.

Методи дослідження. ДюрOMETричний, металографічний та рентгенівський методи дослідження. Визначення механічних властивостей при розтягуванні (ГОСТ 1497-84) та ударної в'язкості (ГОСТ 9454-78).

Одержані результати. Гартування із МКІТ та низький відпуск або ізотермічне гартування при раціональних термочасових режимах їх проведення дозволяють одержати в досліджених сталях дисперсну багатофазну структуру з метастабільним залишковим аустенітом. Це забезпечує досліджуваним сталям в одних випадках рівень механічних властивостей, який відповідає високоміцному стану, в інших – підвищену пластичність та ударну в'язкість при таких само (в низці випадків більш високих) властивостях міцності, як у середньовуглецевих сталях після поліпшення.

Залежно від механічних властивостей, що вимагаються, кількістю та стабільністю залишкового аустеніту щодо відносно ДДМП необхідно керувати, оптимізуючи їх для кожного конкретного випадку.

Ізотермічне гартування доцільно проводити екологічно чистим способом, здійснюючи після аустенітизації охолодження до температури ізотерми у воді, витримку при цьому у печі з подальшим охолодженням на повітрі. В низці випадків після нагріву та витримки в МКІТ треба перед охолодженням короткочасно нагріти сталь в аустенітну область.

Наукова новизна. Показана доцільність створення багатофазної структури з метастабільним аустенітом в сталях 60С2А, 60С2ХФА, 65Г застосуванням термообробки з нагріванням в міжкритичний інтервал температур (МКІТ). Це дозволяє при певних режимах термообробки в одних випадках отримати механічні властивості, які відповідні високоміцному стану, в інших – досягти більш високого рівня пластичності та ударної в'язкості, ніж у поліпшуваних сталях, при таких самих як у них або навіть більш високих властивостях міцності.

Практична цінність. Підвищення властивостей міцності або пластичності й ударної в'язкості ресорно-пружинних сталей 60С2А, 60С2ХФА, 65Г після термообробки з нагріванням в МКІТ за рахунок одержання багатофазної структури з метастабільним аустенітом, який зазнає ДДМП при навантаженні, що дозволяє розширити галузі використання цих сталей.

Ключові слова: гартування, міжкритичний інтервал температур, багатофазна структура, мартенсит, бейніт, метастабільний аустеніт, механічні властивості.

Malinov L., Burova D., Malysheva I. Increasing mechanical properties of spring steel by producing multiphase structure with metastable austenite

Purpose. To improve the strength properties or ductility and toughness of steels 60C2A, 60C2XFA, 65G after heat treatment with heating in the intercritical temperature range due to obtaining a multiphase structure with metastable austenite undergoing dynamic deformation martensitic transformation under loading.

Research methods. Durometric, metallographic and X-ray methods of research. Determination of tensile properties (ГОСТ 1497-84) and impact strength (ГОСТ 9454-78).

Obtained results. Quenching from intercritical temperature range and low tempering or isothermal quenching under rational thermal-time regimes allow to obtain a dispersed multiphase structure with metastable residual austenite in the studied steels. This provides the investigated steels in some cases, the level of mechanical properties corresponding to high strength, in others – increased ductility and toughness with the same (in some cases, higher) strength properties, as in medium carbon steels after improvement.

Depending on the required mechanical properties, the amount and stability of residual austenite with respect to DDMT must be controlled, optimizing them for each specific case.

It is advisable to carry out isothermal hardening in an environmentally friendly way, after austenitization, cooling to isotherm temperature in water; holding it in an oven, followed by air cooling. In some cases, after heating and holding in the intercritical temperature range, the steel should be briefly heated to the austenitic region before cooling.

Scientific novelty. The feasibility of creating a multiphase structure with metastable austenite in steels 60C2A, 60C2XFA, 65G using heat treatment with heating in the intercritical temperature range is shown. This allows, under certain heat treatment conditions, in some cases, to obtain mechanical properties corresponding to a high strength state, in others – to achieve a higher level of ductility and toughness than that of improved steels, with the same or even higher strength properties.

Practical value. Increasing the strength properties or ductility and toughness of spring steels 60C2A, 60C2XFA, 65G after heat treatment with heating in intercritical temperature range by obtaining a multiphase structure with metastable austenite undergoing DDMT under loading, which allows expanding the areas of application of these steels.

Key words: quenching, intercritical temperature range, multiphase structure, martensite, bainite, metastable austenite, mechanical properties.