

7. Наукові підходи до створення висококорозійностійких жароміцних сплавів для деталей проточної частини суднових і стаціонарних ГТУ / А. Д. Коваль, С. Б. Беліков, Е. Л. Санчугов, А. Р. Андрієнко // Нові конструкційні матеріали, ефективні методи їх обробки, підвищення надійності і довговічності деталей машин і конструкцій : зб. наук. пр. – Київ : УМК ВО. – 1991. – С. 4–7.
8. Лисенко М. А. Дослідження якості заготовки з жароміцного нікелевого сплаву для монокристалічного лиття / М. А. Лисенко, В. В. Клочихін, В. В. Наумік // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2017. – № 1. – С. 7–13.

Одержано 21.11.2019

© Канд. техн. наук Калінін О. В.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, м. Дніпро

Kalinin A. Research of the heat resistance of multi-component nickel alloys modified by nanospersion compositions

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 30ХГСА ПОСЛЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ ИЗ МЕЖКРИТИЧЕСКОГО ИНТЕРВАЛА ТЕМПЕРАТУР ПО НОВОМУ СПОСОБУ

Введение

Изотермическая закалка конструкционных сталей применяется для получения у них хорошего комплекса механических свойств. Во многих работах это объясняют свойствами нижнего бейнита. Однако в работе [1] показано, что значительный вклад в получение хорошего сочетания механических свойств вносит метастабильный аустенит, превращающийся при нагружении в мартенсит деформации. При этом важно обеспечить оптимальное количество метастабильного остаточного аустенита и развитие деформационного мартенситного превращения. В работе [2] предложена изотермическая закалка стали 37ГС из межкритического интервала температур (МКИТ). Показано, что у этой кремнийсодержащей стали может быть получена повышенная пластичность при умеренных прочностных свойствах. Влияние такой закалки для других сталей подобного типа не изучено. Обычно изотермическая закалка проводится в расплаве неэкологичных солей или щелочей. Их приобретение, утилизация, защита от вредных испарений, промывка деталей от солей и щелочей требует дополнительных затрат. В связи с этим актуальной задачей является изучение возможности проведения изотермической закалки без использования расплавов солей или щелочей. Такой способ был предложен в работе [3]. Он включал полную или неполную аустенитизацию, охлаждение в воде до заданной температуры, изотермическую выдержку при этой температуре в печи, последующее охлаждение на воздухе. В работе ставилась задача изучить влияние режимов изотермической закалки по новому способу с нагревом в МКИТ на структуру и свойства стали 30ХГСА для получения у нее хорошего комплекса механических свойств.

Материал и методика исследований

Химический состав стали 30ХГСА приведен в табл. 1

Таблица 1 – Химический состав исследованных сталей

Марка стали	Содержание элементов, масс %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	Cu
30ХГСА	0,33	0,92	0,96	0,96	0,05	0,012	0,014	0,05

Сталь 30ХГСА имеет следующие критические точки: A_{c1} 760 °С, A_{c3} 830 °С. Нагрев стали под закалку проводился в МКИТ и в аустенитную область (выдержка 2 мин/мм). Охлаждение и выдержка при температуре изотермы осуществлялись по схеме вода-печь. Окончательное охлаждение было на воздухе. Исследовалась также возможность

дополнительного повышения механических свойств стали 30ХГСА за счет нагрева после выдержки в МКИТ в аустенитную область перед охлаждением в воде до заданной температуры. В работе применялись дюротметрический, металлографический, рентгеновский методы исследования. Определялись механические свойства при растяжении (ГОСТ 1497-84) и ударная вязкость (ГОСТ 9454-78).

Анализ полученных результатов

Микроструктура стали 30ХГСА после изотермической закалки по режиму: нагрев в МКИТ на 790 °С, 30 мин, охлаждение до 350 °С, выдержка 60 мин, охлаждение на воздухе приведена на рис. 1. Она включает, нижний бейнит (основа), феррит (~15 %) и аустенит (~15 %). Появление последнего связано с тем, что при выдержке в МКИТ происходит обогащение аустенита углеродом и марганцем. Кроме того, при образовании бейнита происходит оттеснение углерода в прилегающие участки аустенита, что повышает его стабильность и позволяет ему сохраниться при комнатной температуре.

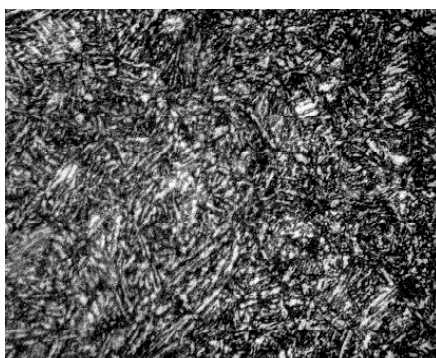


Рис. 1. Микроструктура стали 30ХГСА после изотермической закалки из МКИТ: нагрев на 790 °С, выдержка 30 мин, охлаждение до 300 °С, выдержка 60 мин, охлаждение на воздухе, $\times 500$

Электронномикроскопические исследования показали, что нижний бейнит имеет реечное строение с малой плотностью дислокаций внутри реек по сравнению с реечным мартенситом. По оценке, приведенной в работе [4], плотность дислокаций в таком бейните составляет $(5-10) \cdot 10^{13} \text{ м}^{-2}$. Это должно обеспечить их высокую подвижность при нагружении и, соответственно, пластичность, которые служат барьерами на пути дислокаций, что должно повышать прочностные свойства. В темнопольном отражении обнаруживается остаточный аустенит. После изотермической закалки из МКИТ (нагрев на 790 °С, 30 мин, охлаждение до 300 °С, выдержка 60 мин, охлаждение на воздухе) прочностные свойства стали лишь несколько ниже их уровня после такой же изотермической закалки из аустенитной области (880 °С), а пластичность и ударная вязкость выше (табл. 2, 2 и 2, 1). Особенно высокая пластичность ($\delta = 25 \%$, $\psi = 67 \%$) и ударная вязкость ($KCU = 1,8 \text{ МДж/м}^2$) получены при умеренной прочности после изотермической закалки из МКИТ (790 °С, 60 мин) в случае изотермической выдержки при 350 °С, 60 мин (табл. 2, 3).

Таблица 2 – Механические свойства стали 30ХГСА после различных режимов изотермической закалки

Термическая обработка	Механические свойства				
	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	$\delta, \%$	$\psi, \%$	KCU, МДж/м ²
1. Нагр. 880 °С, выдерж. 2 мин/мм, охл. в воде до 300 °С, из. выдерж. 60 мин, охл. на воздухе	1195	1290	14	47	0,8
2. Нагр. 790 °С, выдерж. 30 мин, охл. в воде до 300 °С, из. выдерж. 60 мин, охл. на воздухе	1150	1270	21	63	1,0
3. Нагр. 790 °С, выдерж. 30 мин, охл. в воде до 350 °С, из. выдерж. 60 мин, охл. на воздухе	1030	1160	25	67	1,8
4. Нагр. 790 °С, выдерж. 60 мин, нагр. 880 °С, выдерж. 3 мин, охл. в воде до 300 °С, из. выдерж. 60 мин, охл. на воздухе	1210	1310	16	59	1,5

Согласно данным рентгеновского анализа, количество остаточного аустенита после изотермической закалки по этому режиму составило ~25 %. При нагружении в процессе испытаний образца на растяжение остаточный аустенит претерпевает динамическое деформационное мартенситное превращение (ДДМП) и в участке вблизи зоны разрушения он отсутствует. Следствием этого является ПНП-эффект, вызывающий повышение пластичности и ударной вязкости [2]. Не исключено, что их увеличению также способствует повышенная пластичность самого бейнита и присутствие в структуре ~15 % феррита, равномерно распределенного в структуре в виде зерен размером $10\text{--}20 \cdot 10^{-6}$ м, очищенного от углерода и азота, перешедших в аустенит при выдержке в МКИТ. Такая высокая пластичность и ударная вязкость у стали 30ХГСА не достигаются обычно применяемым улучшением. Необходимым условием их получения является создание многофазной микронеоднородной структуры, сочетающей нижний бейнит, феррит и остаточный метастабильный аустенит при оптимальных их соотношениях. Применение изотермической закалки с предварительной выдержкой в МКИТ и последующей кратковременной аустенитизацией, дополнительно измельчающей зерно и сохраняющей неоднородность химического состава аустенита, полученную при выдержке в МКИТ, а также исключение феррита из структуры стали после закалки позволило получить повышенные прочностные свойства, пластичность и ударную вязкость (табл. 2, 4). Эти свойства значительно превышают их уровень после улучшения. Следует отметить, что, изменяя режимы изотермической закалки стали 30ХГСА, можно в широких пределах варьировать соотношение структурных составляющих и, соответственно, механические свойства стали.

Выводы

1. Изотермическая закалка стали 30ХГСА по новому способу из МКИТ с охлаждением и выдержкой при заданной температуре по схеме вода-печь является экологически чистой и позволяет получить комплекс механических свойств, не достижимый после улучшения по типовому режиму.
2. Кратковременная аустенитизация после выдержки в МКИТ перед охлаждением до температуры изотермы позволяет получить наиболее высокий уровень прочностных свойств при сохранении повышенной пластичности и ударной вязкости.

Список литературы

1. Малинов Л. С. Влияние изотермической закалки на количество, стабильность остаточного аустенита и свойства конструкционных сталей / Л. С. Малинов, А. П. Чейлях // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 1989. – №12. – С. 120–121.
2. 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.
3. Пат. 6414 Україна МПК C21D 1/00 (2006.01) Засіб термообробки / Л. С. Малинов ; № 200407300 ; заявл. 28.07.2004 ; опубл. 16.05. 2005, Бюл. № 5.
4. Большаков В. И. Использование высокопрочных сталей бейнитного класса в строительных металлоконструкциях [Текст] / В. И. Большаков // *Строительство, материаловедение, машиностроение* : сб. науч. трудов. – 2002. – Вып. 15. – Ч. 1. – С. 27–37.

Одержано 09.12.2019

© Д-р техн. наук Малинов Л. С., канд. техн. наук Бурова Д. В.

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

Malinov L., Burova D. Mechanical properties of steel 30HГСА after isothermal hardening from the intercritical temperature interval by a new method