



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) **KZ** (13) **B** (11) **33106**  
(51) **G01N 27/80** (2006.01)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21) 2017/0311.1

(22) 19.04.2017

(45) 17.09.2018, бюл. №35

(72) Жакупов Алибек Ныгматуллович; Богомолов Алексей Витальевич; Жакупова Арай Толепбергеновна

(73) Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова" Министерства образования и науки Республики Казахстан

(56) RU 2 051 380 C1, 27.12.1995

RU 2 044 311 C1, 20.09.1995

WO 2007/030050 A1, 15.03.2007

JP 2011 085502 A, 28.04.2011

(54) **СПОСОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЯ**

(57) Изобретение относится к неразрушающим методам контроля качества термической обработки изделий из сталей и может быть использовано в

металлургии и машиностроении с целью контроля механических свойств изделий, прошедших закалку и отпуск.

Предлагаемый способ контроля качества термической обработки изделий основан на определении значений коэрцитивной силы  $H_c$ , максимальной магнитной проницаемости  $\mu_{\max}$  и остаточной магнитной индукции  $B$ , которые используют для нахождения предела текучести, временного сопротивления и относительного удлинения в уравнениях вида

$$\sigma_B = A_1 + A_2 H_c + A_3 \mu_{\max} + A_4 B;$$

$$\sigma_T = A_5 + A_6 H_c + A_7 \mu_{\max} + A_8 B;$$

$$\delta = A_9 + A_{10} H_c + A_{11} \mu_{\max} + A_{12} B;$$

где  $A_i$  - коэффициенты регрессии, вычисленные заранее при испытаниях на эталонных образцах стальных изделий.

(19) **KZ** (13) **B** (11) **33106**

Изобретение относится к неразрушающим методам контроля качества термической обработки изделий из сталей и может быть использовано в металлургии и машиностроении с целью контроля механических свойств изделий, прошедших закалку и отпуск.

Известен способ контроля качества термической обработки изделий (А.с. СССР №953541, кл. G01N 27/80, 1982), заключающийся в измерении двух разных значений остаточной намагниченности и оценке твердости изделия по разности измеренных величин.

Недостатком способа является определение только одного параметра механических свойств и использование в качестве магнитного параметра контроля остаточной намагниченности, имеющей слабую корреляцию с твердостью при высокотемпературном отпуске.

Известен также способ контроля качества термической обработки изделий из инструментальных сталей (А.с. СССР № 1532595, кл. С21D 9/22, 11/00, 1989), включающий измерение намагниченности насыщения, коэрцитивной силы и определение качества термической обработки через заранее установленную на эталонной стали зависимость механических свойств и магнитных параметров.

Недостатком данного способа является сложность и длительность проведения контроля из-за необходимости проведения замеров магнитных характеристик как при закалке, так и при отпуске, кроме того данный способ применим только для инструментальных сталей.

Наиболее близким техническим решением, взятым за прототип, является способ электромагнитного контроля качества термической обработки изделий (А.с. СССР №1578624, кл. G01N 27/80, 1990), заключающийся в том, что измеряют начальную магнитную проницаемость контролируемого изделия, намагничивают его постоянным магнитным полем, измеряют магнитный параметр изделия и по измеренным начальной магнитной проницаемости и магнитному параметру определяют качество термической обработки изделия.

Недостатком прототипа, является то, что данный способ определения механических свойств применим только для среднеуглеродистых сталей и не обеспечивает необходимую точность измерения по начальной и магнитной проницаемости, являющихся качественно одинаковыми параметрами.

Задачей является установление зависимостей показателей качества термической обработки, а именно механических свойств изделий, от величин коэрцитивной силы, максимальной магнитной проницаемости и остаточной магнитной индукции.

Техническим результатом предлагаемого способа является повышение достоверности контроля изделий за счет учета большего количества факторов, т.е. магнитных показателей, зависящих от режимов термического упрочнения.

Технический результат достигается тем, что в отличие от прототипа, предлагаемый способ определения механических свойств включает измерение коэрцитивной силы, максимальной магнитной проницаемости и остаточной магнитной индукции.

Предлагаемый способ осуществляется следующим образом. Образцы из стали в количестве 5 единиц подвергают нагреву до 880°C и закалке в воде до достижения образцами температуры охлаждаемой среды, затем производят отпуск при температурах 500, 550, 600, 650, 700°C и охлаждение на воздухе. Затем образцы, отпущенные при разных температурах, подвергают магнитным измерениям в замкнутой магнитной цепи по схеме пермеметра. Магнитное поле прикладывают вдоль оси образца, при этом максимальная напряженность внутреннего поля в образцах должна достигать 60 кА/м. Из начальных кривых намагничивания и петель гистерезиса получают значения коэрцитивной силы  $H_c$ , максимальной магнитной проницаемости  $\mu_{max}$  и остаточной магнитной индукции  $B$  для каждого образца. Данные показания для определения временного сопротивления  $\sigma_B$ , предела текучести  $\sigma_T$  и относительного удлинения  $\delta$  вставляют в регрессионные уравнения вида:

$$\sigma_B = A_1 + A_2 H_c + A_3 \mu_{max} + A_4 B;$$

$$\sigma_T = A_5 + A_6 H_c + A_7 \mu_{max} + A_8 B;$$

$$\delta = A_9 + A_{10} H_c + A_{11} \mu_{max} + A_{12} B;$$

где  $A_i$  - коэффициенты регрессии.

После всех вышеперечисленных мероприятий, образцы испытывают на растяжение и определяют фактические значения временного сопротивления, предела текучести и удлинения. По известным выходным параметрам, а именно показателям механических свойств, с помощью регрессионного анализа определяют коэффициенты  $A_i$ . В итоге получают зависимость комплекса механических свойств от магнитных характеристик для исследуемой стали.

Для подтверждения достоверности предлагаемого способа определения качества термической обработки были взяты образцы из стали 09Г2С и проведены испытания с замерами по предлагаемому способу. В таблице 1 приведены результаты применения предлагаемого способа. Определив уравнения зависимостей, были взяты 3 изделия из стали 09Г2С и термически обработаны по одному режиму, для примера была взята температура отпуска 620°C. Далее, измерили магнитные параметры на каждом отпущенном изделии. Подставив средние из трех значений по каждому из параметров в имеющиеся для данной стали уравнения зависимостей, определили расчетные значения  $\sigma_B$ ,  $\sigma_T$  и  $\delta$ . После, с каждого изделия были изготовлены стандартные образцы для испытания на растяжение по ГОСТ 1497-84 и получены фактические значения механических свойств. В таблице 2 приведены расчетные, вычисленные по уравнениям зависимостей, и фактические значения механических свойств, определенные при растяжении стандартных образцов. При этом, относительная погрешность

составила менее 1%, что подтверждает достоверность и высокую точность предлагаемого способа контроля качества термической обработки.

Таким образом, определяя предварительно значения механических и магнитных свойств на эталонных образцах стали находим уравнения зависимостей данных свойств и по имеющимся уравнениям, замеряя фактические значения  $H_c$ ,  $\mu_{\max}$

и  $B$  на стальных изделиях, определяем для них электромагнитным способом, являющимся неразрушающим, временное сопротивление, предел текучести и относительное удлинение. Кроме того, предлагаемый способ контроля термической обработки изделий применим по аналогичной методике проведения для любой марки стали.

Таблица 1

Температура отпуска 500°C			
	$H_c$ , А/см	$\mu_{\max}$	$B$ , Тл
$\sigma_B = 819$ МПа	12,4	580	1,05
$\sigma_T = 745$ МПа			
$\delta = 11,5$			
Температура отпуска 550°C			
$\sigma_B = 771$ МПа	11,7	596	1,01
$\sigma_T = 698$ МПа			
$\delta = 12,8$			
Температура отпуска 600°C			
$\sigma_B = 739$ МПа	10,8	612	0,96
$\sigma_T = 685$ МПа			
$\delta = 15,8$			
Температура отпуска 650°C			
$\sigma_B = 688$ МПа	10,3	641	0,77
$\sigma_T = 605$ МПа			
$\delta = 17,5$			
Температура отпуска 700°C			
$\sigma_B = 650$ МПа	10,1	652	0,53
$\sigma_T = 580$ МПа			
$\delta = 18,8$			
$\sigma_B = 929,4 + 15,86H_c - 0,76 \mu_{\max} + 110,1B;$ $\sigma_T = 3634 - 52,4H_c - 3,85 \mu_{\max} - 28,6B;$ $\delta = 46,99 - 3,15H_c + 0,0065 \mu_{\max} - 1,24B.$			

Таблица 2

Механические свойства изделий из стали 09Г2С при температуре отпуска 620 °С				
Расчетные (по уравнениям регрессии)		Фактические (из испытаний на растяжение)		Относительная погрешность, %
$\sigma_B$ , МПа	715	$\sigma_B$ , МПа	721	0,8
$\sigma_T$ , МПа	668	$\sigma_T$ , МПа	673	0,7
$\delta$ , %	16,2	$\delta$ , %	16,3	0,6

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ электромагнитного контроля качества термической обработки изделий, заключающийся в том, что измеряют магнитные показатели для оценки качества термической обработки, **отличающийся** тем, что определяют значения коэрцитивной силы  $H_c$ , максимальной магнитной проницаемости  $\mu_{\max}$  и остаточной магнитной

индукции  $B$ , которые используют для нахождения временного сопротивления  $\sigma_B$ , предела текучести  $\sigma_T$  и относительного удлинения  $\delta$  в уравнениях вида

$$\sigma_B = A_1 + A_2 H_c + A_3 \mu_{\max} + A_4 B;$$

$$\sigma_T = A_5 + A_6 H_c + A_7 \mu_{\max} + A_8 B;$$

$$\delta = A_9 + A_{10} H_c + A_{11} \mu_{\max} + A_{12} B;$$

где  $A_i$  - коэффициенты регрессии, вычисленные заранее при испытаниях на эталонных образцах стальных изделий.