



УКРАЇНА

(19) UA (11) 6146 (13) U

(51) 7 G01N25/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛІ

1

2

(21) 20041008186

(22) 08 10 2004

(24) 15 04 2005

(46) 15 04 2005, Бюл. № 4, 2005 р.

(72) Афтандіянц Євген Григорович, Зазимко Оксана Володимирівна, Лопатко Костянтин Григорович

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Спосіб визначення механічних властивостей сталі, що включає визначення хімічного складу сталі, вимірювання температури і отримання розрахункових характеристик властивостей, за заздалегідь складеними рівняннями регресії, який від-

різняється тим, що в процесі термічної обробки додатково вимірюють температури нагріву сталі, закінчення утворення аустеніту при нагріві і розпаду при охолодженні, перегрів над температурою закінчення формування аустеніту, визначають кількість розчинених елементів і вміст вторинних фаз в аустеніті при температурі нагріву і у фериті при температурі закінчення розпаду аустеніту, значення показників включають в заздалегідь складені рівняння регресії, по яких визначають розрахункові характеристики механічних властивостей

Корисна модель відноситься до способів дослідження хімічних і фізичних властивостей речовин, зокрема до неруйнующого контролю механічних властивостей сталі

Відомі способи визначення якості термічно оброблених виробів, які включають термічну обробку виробів, вирізування проб з цих виробів або спеціального припуску на певній відстані від поверхні з подальшим дослідженням їх властивостей після всіх перетворень, яких зазнав цей виріб в процесі його виготовлення і термічної обробки [Ю А Башнин "Термическая обработка крупных деталей" - М Металлургия, 1973 с.34-35, А с СРСР №263251, С21D1/54, 1968, А с СРСР №802839, G01N1/28, С21D9/22, бюл. 1981 №5] Складність цих способів полягає в тому, що для кожного виробу з різним перетином необхідно виготовити зразок і окрему обойму або тільки зразок, що вставляється в технологічний отвір, та має різні умови нагріву і охолодження, що приводить до недостатньої достовірності результатів дослідження властивостей зразків, викликаної тим, що практично важко забезпечити однакові умови нагріву і охолодження виробу і зразка або обійми із зразком з причини нерівномірності температурного поля в термічній печі, змін температури охолоджуючого середовища та інших чинників

Відомий також спосіб контролю механічних властивостей виробів з феромагнітних матеріалів, який полягає в тому, що виріб намагнічують у маг-

нітному полі, вимірюють величину напруженості перемінного магнітного поля, а контрольовані параметри визначають за величиною залишкової магнітної індукції [М Н Михеев и др. Неразрушающий магнитный контроль закаленных и отпущенных изделий из низколегированных конструкционных и простых углеродистых сталей - "Дефектоскопия", 1977 №6, с.13-18, а с СРСР №728068, кл. G01N27/80, 1974, а с СРСР №930099, кл. G01N27/80, 1982, бюл. №19]

Відомий також неруйнующий спосіб визначення механічних властивостей сталі, що полягає у визначенні хімічного складу сталі, вимірюванні температури та електроопору при кристалізації і після кристалізаційних процесів в сталі, аналізі кривих електроопору і температури та отриманні розрахункових характеристик механічних властивостей по заздалегідь складеним рівнянням регресії, що враховують зміну хімічного складу і параметрів, отриманих на основі аналізу кривих електроопору і температури [а с СРСР №1260790, МПК⁴ G01N25/02, опубл. бюл. №36, 1986р - прототип]

Проте цим способом не можна достовірно і з достатньою точністю визначати вплив різних режимів і видів термічної обробки на механічні властивості сталей, тому що вимірювання і аналіз тільки хімічного складу сталі, температури і електроопору при кристалізації і після кристалізаційних процесів в сталі, не дають можливості до-

(19) UA (11) 6146 (13) U

стовірно оцінювати чинники, які визначають механічні властивості сталі при термічній обробці, а саме: величину перегріву над температурою закінчення формування аустеніту, ступінь легування твердого розчину аустеніту і фериту, а також вміст в них карбідів і нітридних фаз. Без урахування цих чинників, що визначають процес формування механічних властивостей сталі, не можуть бути отримані достовірні рівняння регресії, які дозволяють з мінімальною погрішністю визначати механічні властивості сталей після різних режимів і видів термічної обробки.

Корисною моделлю ставиться завдання підвищити точність і прискорити процес визначення механічних властивостей сталі.

Поставлене корисною моделлю завдання досягається тим, що у способі визначення механічних властивостей сталі, що включає визначення хімічного складу сталі, вимірювання температури і отримання розрахункових характеристик властивостей, за заздалегідь складеними рівняннями регресії, згідно корисної моделі, в процесі термічної обробки додатково вимірюють температури нагріву сталі, закінчення утворення аустеніту при нагріві і розпаду при охолодженні, перегрів над температурою закінчення формування аустеніту, визначають кількість розчинених елементів і вміст вторинних фаз в аустеніті при температурі нагріву і у фериті при температурі закінчення розпаду аустеніту, значення показників включають в заздалегідь складені рівняння регресії, по яких визначають розрахункові характеристики механічних властивостей.

Приклад реалізації способу.

В плавильній печі виплавляли сталі, після розливання яких визначали вміст у них таких основних елементів як вуглець, кремній, марганець, хром, сірка, фосфор, азот і ванадій [ДСТ 7565-81, 12344-78 - 12365-84]. На основі плану повного експерименту було виплавлено 80 марок сталей з таким вмістом елементів: С до 0,41%; Si до 3,74%; Mn до 3,51%; V до 0,33%; Cr до 3,52%; S=0,012-0,039%; P=0,004-0,025%; N=0,009-0,043%.

Із сталей виготовлялися зразки і в процесі ділатометричного аналізу визначалися температури початку і закінчення утворення аустеніту при нагріві (t_{ac1} , t_{ac3}) і його розпаду при охолодженні (t_{ar3} , t_{ar1}).

Вміст елементів (азот (Na) і ванадій (Va)) розчинених в аустеніті і вторинної фази (нітриди ванадію ($qVNa$)), яка не розчинилася в аустеніті визначали при різному перегріві (dtc) над температурою закінчення утворення аустеніту (t_{ac3}), який визначали як різницю між температурою нагріву (t_a) і t_{ac3} $dtc=t_a-t_{ac3}$.

Температуру нагріву (t_a) змінювали від 850 до 1100°C, що практично повністю охоплює діапазон температур, які використовують у процесах термічної обробки сталей. Вміст елементів (вуглець (Cf), марганець (Mnf), хром (Crf), кремній (Si), ванадій (Vf), азот (Nf)) у фериті і вторинних фаз, які виділилися у фериті (нітридованадієва ($qVnf$) і карбідна (qk)), визначали при температурі закінчення розпаду аустеніту (t_{ar1}).

Механічні властивості сталей (по ДСТ 1497-84, 9454-78) визначали після нормалізації від 850 до

1100°C і шляхом множинного кореляційного аналізу будували регресійні моделі впливу основних структурних показників (розглянутих вище) на формування механічних властивостей сталей, які для імовірності 95% мають наступний вигляд:

Межа міцності (МПа)

$$\sigma_B = 1410 + 284,1(C+Na) - 9289(S+P) - 2,485(C+Na)*dtc - 65,63qk + 5,095*qVnf(Cf+Nf) + 1,362*10^{-3}*dtc(Cf+Nf)(Si+Mnf+Cr+Vf) - 3,957*10^{-3}*dtc*qk*qVnf(Cf+Nf)(Si+Mnf+Cr+Vf) \\ R=0,759; \delta=1,95\%; F_{7/72}=14,02 > F_{70,05}=1,9$$

Межа текучості (МПа)

$$\sigma_T = 592 - 50,71(Si+Mn+Cr+Va) + 203,7(C+Na)(Si+Mn+Cr+Va) - 4130(C+Na)(S+P)(Si+Mn+Cr+Va) - 87,53*qk + 132(C+Na)(S+P)* \\ *(Si+Mn+Cr+Va)dtc*qVNa + 151,8(Si+Mnf+Cr+Vf) - 196,8qVnf*qk + 6,417*10^{-4}(Cf+Nf)(Si+Mnf+Cr+Vf)qVnf*qk*dtc, \\ R=0,889; \delta=3,1\%; F_{8/71}=33,59 > F_{7,05}=2,3$$

Відносне подовження (%)

$$\delta = 30,1 + 1,28(Si+Mn+Cr+Va) - 7,983(C+Na)(Si+Mn+Cr+Va) - 0,3664*dtc + 8,782(C+Na)(S+P)dtc - 4,314(Mnf+Cr+Vf+Si) + 0,02081(Cf+Nf)* \\ *(Si+Mnf+Cr+Vf) + 0,2682*qk(Si+Mnf+Cr+Vf) + 0,0288*(Si+Mnf+Cr+Vf)dtc + 0,0576*qk*dtc - 8,061*10^{-3}*qk(Cf+Nf)* \\ *(Si+Mnf+Cr+Vf) + 9,18*10^{-2}*qk*qVnf*dtc, \\ R=0,904; \delta=1,8\%; F_{11/68}=27,7 > F_{7,05}=2,3$$

Відносне звуження (%)

$$\psi = 69,4 - 18,33(C+Na)(Si+Mn+Cr+Va) - 79,17(S+P)(Si+Mn+Cr+Va) - 0,4384*dtc + 5,074*dtc(S+P) + 258,2(C+Na)(Si+Mn+Cr+Va)(S+P) - 5,703*(Si+Mnf+Cr+Vf) + 0,5291*qk(Si+Mnf+Cr+Vf) + 0,04738*qk(Cf+Nf) + 0,03717*qk*dtc - 8,132*10^{-3}*qk(Cf+Nf)(Si+Mnf+Cr+Vf) + 0,2864*qVnf*qk*dtc, \\ R=0,924; \delta=1,24\%; F_{11/68}=36,01 > F_{7,05}=2,3$$

Ударна в'язкість (МДж/м²)

$$KCU = 1,22 - 0,0664(Si+Mn+Cr+Va) - 2,457(C+Na) - 13,76(S+P) + 0,2369(C+Na)(Si+Mn+Cr+Va) + 1,556(S+P)(Si+Mn+Cr+Va) + 53,67(C+Na)(S+P) + 0,01562(C+Na)dtc - 4,913*10^{-3}*dtc + 0,124(S+P)dtc + 28,31(S+P)qVNa - 5,529(C+Na)(S+P)(Si+Mn+Cr+Va) - 0,4229(C+Na)(S+P)dtc - 91,93(C+Na)(S+P)qVNa - 0,06272(Si+Mnf+Cr+Vf) + 1,962*10^{-3}*qk*(Si+Mnf+Cr+Vf) - 1,71*10^{-6}(Cf+Nf) + 0,4247*qk*qVnf - 1,078*10^{-4}*qk*dtc + 6,384*10^{-7}(Cf+Nf)(Si+Mnf+Cr+Vf)dtc, \\ R=0,755; \delta=1,9\%; F_{19/60}=4,19 > F_{7,05}=1,9,$$

де R - коефіцієнт множинної кореляції,

δ - середня похибка апроксимації (тобто середнє відхилення розрахованих значень від експериментальних),

$F_{n/m}$, $F_r^{0.05}$ - розрахунковий і табличний критерій Фішера, відповідно

Аналіз отриманих рівнянь дозволяє визначати механічні властивості сталі при різних режимах термічної обробки з підвищеною точністю і оптимізувати процес виробництва сталі з метою отримання ефективного поєднання характеристик міцності і пластичності, при мінімальній витраті легуючих елементів

Приклад визначення механічних властивостей сталі, яка містить 0,21% C, 1,15% Si, 1,0% Mn, 1,0% Cr, 0,09% V, 0,028% S, 0,025% P, 0,014% N після нормалізації від 950°C

Значення механічних властивостей сталі, визначених експериментально на зразках по ДСТ 1497-84, 9454-78 наступні: межа міцності $\sigma_{0.2} = 675 \text{ МПа}$, межа текучості $\sigma_{0.001} = 483 \text{ МПа}$, відносне подовження $\delta = 26,5\%$, відносне звуження $\psi = 45,4\%$, ударна в'язкість $K_{CV} = 0,48 \text{ МДж/м}^2$

Значення структурних параметрів і механічних властивостей сталі, визначених по запропонованому методу наступні:

$t_{ac3} = 834^\circ\text{C}$, $N_a = 0,0096\%$, $V_a = 0,074\%$, $qVNa = 0,0203\%$, $d_{tc} = 116^\circ\text{C}$,
 $Cf = 0,011\%$, $Mnf = 0,948\%$, $CrI = 0,683\%$,
 $Vf = 0,009\%$, $Nf = 0,0027\%$, $qVNf = 0,0446\%$, $q_k = 4,14\%$,
 межа міцності $\sigma_{0.2} = 645 \text{ МПа}$, межа текучості $\sigma_{0.001} = 454 \text{ МПа}$,
 відносне подовження $\delta = 27,9\%$, відносне звуження $\psi = 47,1\%$,
 ударна в'язкість $K_{CV} = 0,49 \text{ МДж/м}^2$

Значення механічних властивостей сталі, визначених за способом викладеним у прототипі, тобто без урахування структурних показників згідно способу, що заявляється, наступні: межа міцності $\sigma_{0.2} = 977 \text{ МПа}$, межа текучості $\sigma_{0.001} = 596 \text{ МПа}$, відносне подовження $\delta = 21,9\%$, відносне звуження $\psi = 55,1\%$, ударна в'язкість $K_{CV} = 0,51 \text{ МДж/м}^2$.

Видно, що відхилення значень механічних властивостей, визначених за способом, що заявляється, від експериментальних даних складає (по абсолютному значенню) для меж міцності 4,4%, меж текучості 6,0%, відносного подовження 5,3%, відносного звуження 3,7%, ударної в'язкості 2,1%

Відхилення значень механічних властивостей, визначених за способом запропонованим у прототипі від експериментальних даних складає для меж міцності 44,8%, меж текучості 23,4%, відносного подовження 17,4%, відносного звуження 21,4%, ударної в'язкості 6,3%

Суттєвими відмінностями корисної моделі є

- вимірювання температур нагріву при термічній обробці, закінчення утворення аустеніту при нагріві і розпаду при охолодженні,
- визначення величини перегріву сталі над температурою закінчення формування аустеніту,
- визначення вмісту елементів і вторинної фази в аустеніті при температурі нагріву,
- визначення вмісту елементів і вторинних фаз у фериті при температурі закінчення розпаду аустеніту,
- розрахунок механічних властивостей за рівняннями регресії, що містять, як незалежні змінні перегрів сталі над температурою закінчення формування аустеніту, вміст елементів і вторинної фази в аустеніті при температурі нагріву і у фериті при температурі закінчення розпаду аустеніту

Застосування запропонованого способу визначення механічних властивостей сталі забезпечить у 3-10 разів більш високу точність визначення показників, ніж прототип і прискорить процес визначення механічних властивостей

