

(19) **UA** (11) **91671** (13) **U**
(51) МПК
G01N 3/42 (2006.01)

Fig. 1

UA 91671 U

Корисна модель належить до матеріалознавства, а саме до випробувань матеріалів індентуванням.

Відомий спосіб визначення твердості матеріалів індентуванням (ISO 14577:2002(E) Metallic materials-Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Part 1: Test method), який полягає у втискуванні індентора пірамідальної форми в поверхню мікрошліфа з одночасним записом кривої в координатах глибина втискування індентора - навантаження. Згідно з цим способом визначають глибину невідновленого і відновленого відбитків, глибину втискування індентора у контакт з матеріалом і пружний прогин матеріалу за індентором, контактну жорсткість, модуль Юнга, відношення дисипованої матеріалом енергії до пружно поверненої.

Визначення вказаних величин є недостатнім для визначення експлуатаційних властивостей твердих сплавів. Сплави, вироби з яких виходять з ладу в результаті зносу або розтріскування, вимагають встановлення комплексної характеристики, яка б враховувала як здатність сплаву чинити опір впровадженню абразивних часток, так і здатність перетворювати енергію, що підводиться до них, без макроруйнування.

Найбільш близьким аналогом до запропонованого способу є спосіб визначення властивостей матеріалів (Фирстов С.А. Новые методологические возможности определения механических свойств современных материалов методом автоматического индентирования / С.А. Фирстов, В.Ф. Горбань, Э.П. Печковский // Наука та інновації. - 2010. - Т. 6. - № 5. - С. 7-18), що включає визначення індентуванням відношення дисипованої матеріалом енергії до пружно поверненої, межі пружності, відношення енергії пружної деформації в зоні контакту з індентором до дисипованої, відношення енергії пружної деформації в безконтактній з індентором зоні до дисипованої.

Стосовно твердих сплавів встановлення тільки цих властивостей недостатньо, оскільки вони не можуть спрогнозувати експлуатаційні властивості з високою мірою достовірності. Це не дозволяє оптимізувати вибір сплавів для виготовлення інструменту та зношуваних деталей, що може привести до передчасного виходу їх з ладу.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення способу визначення експлуатаційних властивостей твердих сплавів, в якому за рахунок комплексного визначення фізико-механічних властивостей забезпечується точне прогнозування експлуатаційних властивостей, що призводить до оптимізації вибору сплаву для виготовлення виробів.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення експлуатаційних властивостей твердих сплавів, що включає визначення індентуванням відношення дисипованої матеріалом енергії до пружно поверненої, межі пружності, відношення енергії пружної деформації в зоні контакту з індентором до дисипованої, відношення енергії пружної деформації в безконтактній з індентором зоні до дисипованої, згідно корисної моделі, додатково визначають частку пластичної деформації, параметри крихкості, після чого визначають узагальнену функцію бажаності за наступною залежністю:

$$D = 8 \sqrt{\prod_{i=1}^8 d_i},$$

де d_i - частинна функція бажаності для кожної використаної властивості, що визначається за залежністю:

$$d_i = e^{-e^{-y_i}},$$

де y_i - відгук кожного значення властивості, а експлуатаційні властивості твердих сплавів відносять при $D = 0,37 - 0,63$ до низьких, при $D = 0,64 - 0,84$ до середніх і при $D = 0,85 - 1$ до високих.

До твердих сплавів, які використовуються для виготовлення інструменту або зношуваних деталей, пред'являють вимоги по рівню механічних властивостей - твердості і міцності на вигин. Ці властивості є основним критерієм оцінки якості і експлуатаційних властивостей твердих сплавів. Незважаючи на це, тверді сплави з однаковим рівнем твердості і міцності можуть пропрацювати різну кількість годин, що вказує на недостатність встановлення тільки таких механічних властивостей.

Суть способу пояснюється рисунками, де на фіг. 1 представлена діаграма індентування; на фіг. 2 - графік переводу значень властивості δ_H в значення відгуку; на фіг. 3 - графік переводу значень відношення властивостей W_{ce}/W_{pl} в значення відгуку.

Спосіб здійснюють таким чином.

5 Проводять кінетичне індентування на зразках твердих сплавів і визначають наступні властивості:

1) частка пластичної деформації під δ_H (Milman U.V. Plasticity determined by indentation and theoretical plasticity of materials / Yu.V. Milman, S.I. Chugunova, I.V. Goncharov // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. V. 73, Is. 9.-2009. P. 1215-1221);

10 2) W_{pl}/W_e - відношення дисипованої матеріалом енергії до пружно поверненої;

3) σ_{ind} (ГПа) - межа пружності при індентуванні;

4) W_{ce}/W_{pl} (%) - відсоток, який складає пружна деформація в зоні контакту з індентором від енергії, яку матеріал дисипував;

15 5) W_s/W_{pl} (%) - відсоток, який складає пружна деформація у безконтактній з індентором зоні від енергії, яку матеріал дисипував;

6) в'язкість руйнування K_{1C} (МПа·м^{1/2}), параметр мікрокрихкості γ і параметр Палмквіста α (Дуб С.Н., Игнатуша А.И. Твердость и трещиностойкость материалов на основе плотных модификаций BN / Сверхтвердые материалы. - 1991. - № 1. - С. 34-36) і (Новиков Н.В., Дуб С.Н., Булычев С.И. Методы микроиспытаний на трещиностойкость / Заводская лаборатория.-1987. - № 7. - С. 60-67).

Потім визначають узагальнену функцію бажаності D , яка є середнім геометричним частинних функцій бажаності за залежністю:

$$D = 8 \sqrt[8]{\prod_{i=1}^8 d_i},$$

25

де d_i - частинна функція бажаності для кожної використаної властивості, що визначається за залежністю:

$$d_i = e^{-e^{-y_i}},$$

30

де y_i - відгук кожного значення властивості.

Для твердих сплавів збільшення δ_H , W_{pl}/W_e і K_{1C} призводить до підвищення експлуатаційної стійкості, тоді як інших властивостей - до скорочення терміну служби. Тому максимальну для кожної властивості δ_H , W_{pl}/W_e і K_{1C} бажаність $d = 0,95$ ($y = 3$) присвоюють 35 максимальному знайденому значенню, а мінімально допустиму бажаність $d = 0,37$ ($y = 0$) присвоюють значенню, яке трохи нижче середнього.

Для властивостей σ_{ind} , W_{ce}/W_{pl} , W_s/W_{pl} , γ , α бажаність $d = 0,95$ ($y = 3$) присвоюють мінімальним значенням, а мінімально допустиму бажаність $d = 0,37$ ($y = 0$) присвоюють значенням, які трохи вище за середніх.

40 У результаті значення узагальненої функції бажаності D для кожного сплаву є маркером експлуатаційних властивостей сплавів, а саме:

$D = 0,37 - 0,63$	низькі експлуатаційні властивості
$D = 0,64 - 0,84$	середні експлуатаційні властивості
$D = 0,85 - 1$	високі експлуатаційні властивості

Приклад

Здійснювали вибір твердого сплаву для виробництва бандажу для прокатного валка з ряду сплавів: ВК30, ТС15/15 і ВК11. На зразках з цих сплавів було проведено кінетичне індентування і встановлені властивості (10 значень для кожної властивості) за наступними залежностями:

$$5 \quad \sigma_{\text{ind}} = E \cdot \varepsilon_{\text{es}},$$

де σ_{ind} - межа пружності при індентуванні;

E - модуль Юнга;

ε_{es} - величина пружної деформації у безконтактній області.

10

$$\varepsilon_{\text{es}} = \varepsilon_p \frac{h_s}{h_c},$$

де ε_p - усереднене по площі контакту індентора з шліфом значення пластичної деформації у напрямі дії сили;

15

h_c - глибина втискування індентора у контакт з матеріалом;

h_s - пружний прогин матеріалу за індентором.

$$h_s = 0,75 P_{\text{max}} / S,$$

20

де P_{max} - прикладене навантаження;

S - контактна жорсткість.

$$h_c = h_{\text{max}} - h_s,$$

де h_{max} - глибина невідновленого відбитку.

25

$$\delta_H = \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon} = 1 - \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon},$$

де δ_H - частка пластичної деформації;

ε_e , ε - усереднені по площі контакту індентора з шліфом значення пружної і загальної деформації у напрямі дії сили відповідно.

30

$$\varepsilon = \ln \sin \gamma_1,$$

де γ_1 - двогранний кут індентора.

$$\varepsilon_p = \ln \sin \gamma_2$$

де γ_2 - кут між віссю і гранню відновленого відбитку.

$$\text{ctg} \gamma_2 = \text{ctg} \gamma_1 - 1,77 \varepsilon'_e$$

35

$$\varepsilon'_e = K_5 \cdot \left(\frac{h}{h_e} \left[1 + K_3 \left(\frac{h}{h_e} + \frac{h_H}{h_c} - 1 \right) \right]^{-1} \right) \cdot \text{ctg} \gamma_1 \cdot \frac{h_e}{h},$$

де ε'_e - пружна деформація контактної пари індентор-відбиток твердості;

h_H - висота навалу;

40

K_5 і K_3 - коефіцієнти форми індентора.

$$K_{1C} = \frac{7,42 \cdot 10^{-2} P}{(l + a)^{3/2}},$$

$$\gamma = \left(\frac{l + a}{a} \right)^2 - 1,$$

$$\alpha = \frac{\sum l_i}{P},$$

де h_f - глибина відновленого відбитку;

5 K_{1C} - в'язкість руйнування;

γ - параметр мікрокрихкості;

α - параметр Палмквисту;

a - половина діагоналі відбитку;

l - довжина радіальної тріщини.

10 Отримані значення властивостей наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Сплав	δ_H	W_{ce} / W_{pl} , %	W_s / W_{pl} , %	W_{pl} / W_e	σ_{IT} , ГПа	K_{1C} МПа·м ^{1/2}	γ	α
ВК30	0,75±0,09	14,79±2,95	23,91±2,05	2,62±0,23	5,57±0,73	6,41±0,41	0,25±0,15	0,06±0,04
ТС15/15	0,82±0,02	10,83±1,47	20,05±2,72	3,29±0,32	3,44±1,25	15,0±0,01	0	0
ВК11	0,84±0,04	7,87±1,59	16,43±2,77	4,26±0,56	3,28±0,97	3,39±3,76	0,19±0,13	0,13±0,19
Максимальне значення	0,88	-	-	5,67	-	15,0	-	-
Мінімальне значення	-	5,8	13,1	-	1,42	-	0	0
Середнє	0,80	11,16	20,13	3,39	4,09	6,34	0,18	0,08

Для твердих сплавів збільшення δ_H , W_{pl} / W_e і K_{1C} веде до підвищення експлуатаційної стійкості, тоді як інших властивостей - до скорочення терміну служби. Тому максимальному значенню $\delta_H = 0,88$ присвоювали максимальну бажаність $d = 0,9$ і відгук $y' = 3$, величині нижче середнього $\delta_H = 0,7$ присвоювали $d = 0,37$ і $y' = 0$. На підставі цих даних будували графік в координатах властивість-відгук, за цим графіком знаходили значення відгуку y' для кожного значення δ_H .

Для кожного знайденого y' розраховували частинну функцію бажаності:

20 $d_i = e^{-e^{-y_i}}$.

Аналогічно знаходили функції бажаності для значень властивостей W_{pl} / W_e і K_{1C} .

Для величин σ_{ind} , W_{ce} / W_{pl} , W_s / W_{pl} , γ , α збільшення значення означає зменшення якості сплаву, тому мінімальному значенню $W_{ce} / W_{pl} = 5,8$ присвоювали максимальну бажаність $d = 0,95$ і відгук $y' = 3$, величині вище середнього $W_{ce} / W_{pl} = 12$ присвоювали $d = 0,37$ і $y' = 0$.

25 Потім також будували графік властивість-відгук, встановлювали y' і обчислювали бажаність d .

Потім визначали узагальнену функцію бажаності для кожного ряду властивостей і середню:

$$D = \sqrt[8]{\prod_{i=1}^8 d_i}.$$

30 Знайдені значення функції бажаності наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Сплав	d для δ_H	d для $W_{ce}/W_{pl}, \%$	d для $W_s/W_{pl}, \%$	d для W_{pl}/W_e	d для $\sigma_{IT}, \text{ГПа}$	d для $K_{IC}, \text{МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$	d для γ	d для α	D
ВК11	0,72±0,09	0,15±0,13	0,70±0,11	0,44±0,09	0,45±0,05	0,50±0,06	0,39±0,06	0,94±0,01	0,37±0,07
ВК30	0,86±0,01	0,53±0,2	0,82±0,09	0,66±0,11	0,77±0,18	0,98±0,01	0,95±0,01	0,95±0,01	0,78±0,08
ТС15/15	0,88±0,1	0,82±0,17	0,89±0,06	0,4±0,12	0,81±0,16	0,16±0,03	0,59±0,04	0,93±0,94	0,61±0,04

На підставі даних таблиці 2 віднесли експлуатаційні властивості сплаву ВК11 до низьких, оскільки $D = 0,37 \pm 0,17$, сплаву ВК30 - до високих ($D = 0,78 \pm 0,08$), ТС15/15 - до середніх ($D = 0,61 \pm 0,04$). Для виробництва бандаж прокатного валка вибрали сплав з високими експлуатаційними властивостями - ВК30.

Таким чином, використання запропонованого способу забезпечує точне прогнозування експлуатаційних властивостей твердих сплавів за рахунок комплексного визначення фізико-механічних властивостей, що веде до оптимізації вибору сплаву для виготовлення виробів.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

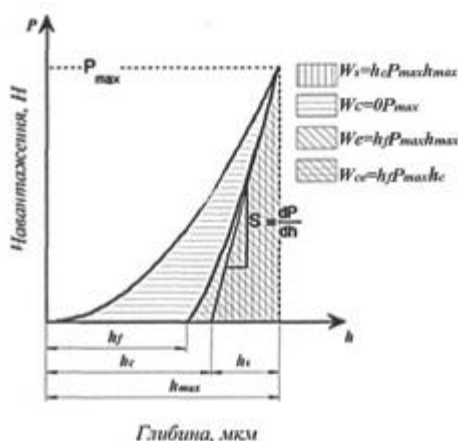
Спосіб визначення експлуатаційних властивостей твердих сплавів, що включає визначення ідентуванням відношення дисипованої матеріалом енергії до пружно поверненої, межі пружності, відношення енергії пружної деформації в зоні контакту з індентором до дисипованої, відношення енергії пружної деформації в безконтактній з індентором зоні до дисипованої, який **відрізняється** тим, що додатково визначають частку пластичної деформації, параметри крихкості, після чого визначають узагальнену функцію бажаності за наступною залежністю:

$$D = \sqrt[8]{\prod_{i=1}^8 d_i},$$

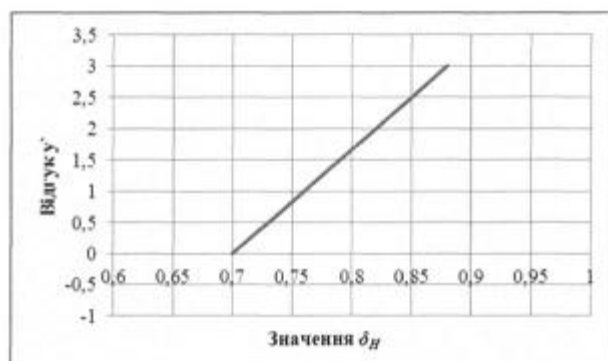
де d_i - частинна функція бажаності для кожної використаної властивості, що визначається за залежністю:

$$d_i = e^{-e^{-y_i}},$$

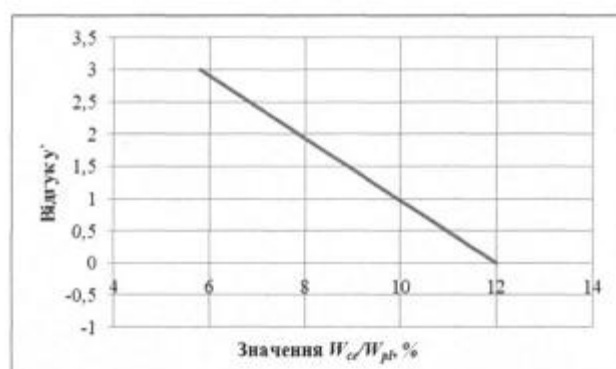
де y_i - відгук кожного значення властивості, а експлуатаційні властивості твердих сплавів відносять при $D = 0,37 - 0,63$ до низьких, при $D = 0,64 - 0,84$ до середніх і при $D = 0,85 - 1$ до високих.



Фиг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

Комп'ютерна верстка М. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601