

Визначення показників пластичності та міцності інструментальних сплавів у мікрооб'ємах

В. В. Пашинський, доктор технічних наук

М. Г. Субботіна, В. І. Закієв*

ДВНЗ Донецький національний технічний університет, Донецьк

*Національний авіаційний університет, Київ

Визначено властивості малопластичних сплавів методом кінетичного інденування на прикладі сталі X12Ф1, твердого сплаву ВК30 і порошкового сплаву на основі TiC. Були визначені показник пластичності δ_n і межа міцності τ_m^0 . Показник δ_n сплаву ВК30 (0,771) дещо нижчий, ніж сталі X12Ф1 (0,801), δ_n сплаву, що містить TiC, найменший (0,71). Межа міцності за нульової пластичної деформації τ_m^0 відповідно дорівнює $2,03 \pm 0,2$ ГПа для сталі X12Ф1, $1,98 \pm 0,4$ ГПа для сплаву ВК30 і $2,48 \pm 0,4$ ГПа для сплаву з карбідом титану.

Метод кінетичного інденування є могутнім інструментом визначення властивостей матеріалів у випадках, коли макровипробування неможливі, наприклад, на тонких плівках або малопластичних сплавах. Дослідження інденування ведуться багатьма авторами [1 – 8]. В цих роботах встановлені властивості та характер поведінки під інденатором металів, стекол, алмазів, тугоплавких з'єднань, сталей, але мало уваги було надано матеріалам з високим рівнем гетерогенності, таких як тверді сплави, структура яких складається з твердих карбідів і м'якої пластичної матриці.

Отже, метою роботи було визначення фізико-механічних властивостей інструментальних сплавів на макрорівні. Дослідження велись на зразках зі: 1) сталі X12Ф1, яка була гартована від 1100 °С (15 % карбідів, 60 % залишкового аустеніту); 2) твердого сплаву ВК30 (30 % Со – 70 % WC); 3) порошкового спеченого сплаву на базі 50 % TiC з Ni-Ti-матрицею (Т50Т39Н11). Такий вибір був обумовлений тим, що наведені матеріали мають різний комплекс фізико-механічних властивостей, але можуть бути використані у суміжних галузях.

Випробування були проведені на пристрої «Мікрон-гамма» і полягали у наступному: на зразок була опущена піраміда Віккерсу зі швидкістю 5 г/с до навантаження 0,5 Н, в той самий час пристрій фіксував криву в координатах Заглиблення індентору – Навантаження (h-P). Загальний вид такого графіку наведений на рис. 1 а. Така крива дозволяє визначити такі величини: h_{\max} – максимальна глибина відбитку (невідновленого); h_s – величина безконтактного заглиблення; h_c – величина контактного

заглиблення; h_f – залишкова глибина відбитку після зняття навантаження (рис. 1 б); $S = dP/dh$ – пружна жорсткість матеріалу.

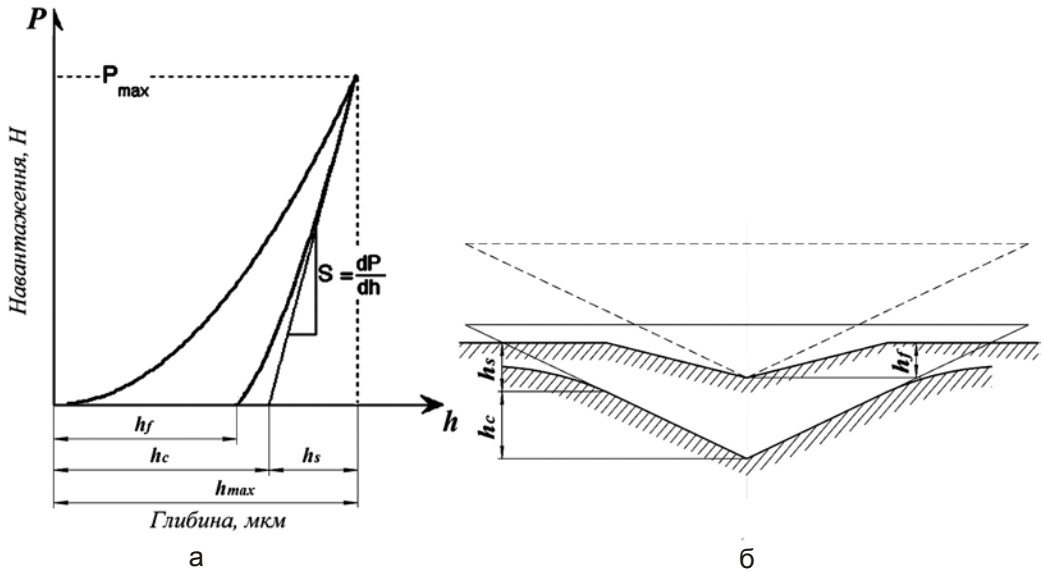


Рис. 1. Вид кривої індентування (а) та схема деформування площини шліфа під індентором (б).

Математична обробка результатів базувалась на залежностях, які описані в [6, 9]. Була встановлена доля пластичної деформації в загальнопружній деформації під індентором δ_H . Це безрозмірна величина, що встановлюється залежністю:

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

де $\varepsilon_p, \varepsilon_e, \varepsilon$ – усереднені по площадці контакту індентора зі шліфом значення пластичної, пружної та загальної деформації в напрямку дії сили відповідно. Ці величини визначаються залежностями:

$$\varepsilon = \ln \sin \gamma_1, \quad (2)$$

$$\varepsilon_p = \ln \sin \gamma_2, \quad (3)$$

$$\text{ctg} \gamma_2 = \text{ctg} \gamma_1 - 1,77 \varepsilon_e', \quad (4)$$

$$\varepsilon_e' = K_5 \cdot \left(\frac{h}{h_e} \left[1 + K_3 \left(\frac{h}{h_e} + \frac{h_H}{h_c} - 1 \right) \right]^{-1} \right) \cdot \text{ctg} \gamma_1 \cdot \frac{h_e}{h}, \quad (5)$$

де γ_2 – кут між віссю та гранню відновленого відбитка, $\gamma_1 = 68^\circ$ – двогранний кут піраміди Віккерса, h_H – твердість за Меєром, $E_{эф}$ – контактний модуль

Юнга, ε_e – пружна деформація контактної пари індентор-відбиток твердості, h_H – висота навалу, коефіцієнти $K_3 = 0,35$ и $K_3 = 1,35$ [6].

Висоту навалу в першому наближенні вважають рівню нулю, але це справедливо для м'яких пластичних матеріалів, на яких зона навколо відбитку має великий діаметр. Тверді матеріали, навпаки, формують відносно високі навали в об'ємі невеликого діаметру. Саме тому ділянки біля відбитків були про скановані за допомогою інтерференційного профілометра «Мікрон-альфа». Отримані фотографії наведені на рис. 2. Отримані результати довели, що висота навала дорівнює від 0,10 до 0,24 мкм, тому в розрахунках були використані саме такі показники h_H .

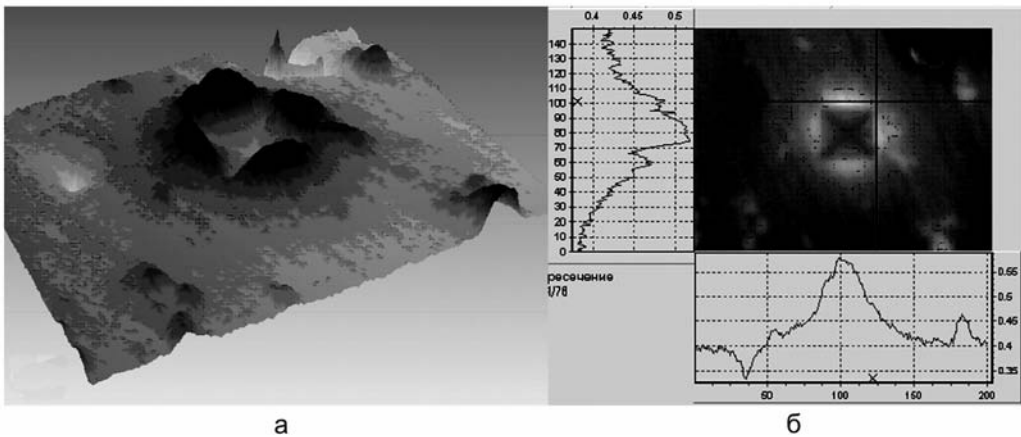


Рис. 2. Тривимірне зображення (а) і двовимірна топографія відбитку (б).

За результатами індентування була встановлена точка пружно-пластичного переходу під час вдавлювання індентору. Ця точка супроводжується вигином або площадкою на гілці навантаження, по якій можна встановити межу текучості у мікрооб'ємі за мулевої пластичної деформації τ_m^0 .

Показник τ_m^0 залежить від середнього контактного тиску (СКТ) між індентором і поверхнею, що від деформує [5]:

$$\tau_m^0 = [0,61 - 0,23(1 + \nu)]CKT_{\max} . \quad (6)$$

При невеликих навантаженнях (<1Н) також приймається до уваги закруглення на кінці індентору радіусом R [3, 4]:

$$CKT = \frac{\pi h^2}{ctg^2 \gamma_1} + 4\pi R h + 4\pi R^2 ctg^2 \gamma_3 , \quad (7)$$

де γ_3 – кут між віссю і ребром піраміди, $R = 400$ нм. Результати розрахунків СКТ наведені на рис. 3.

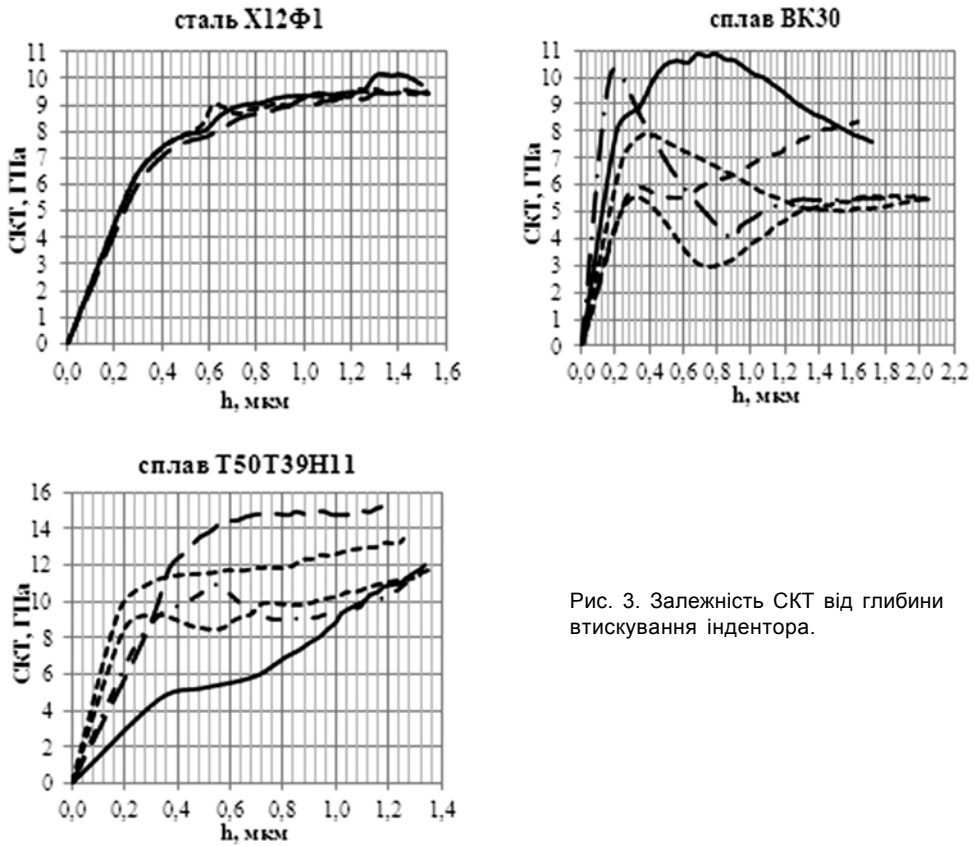


Рис. 3. Залежність СКТ від глибини втискування індентора.

Скачок СКТ відповідає пружно-пластичному. Згідно з існуючим уявленням про процеси, які відбуваються під індентором, має місце стан гідростатичного стискування, коли пластична деформація ускладнена, як і масове утворення дислокацій. Після скачка СКТ напруження достатні для утворення дислокаційних петель і протікання деформації [3, 4, 9]. Розраховані показники та механічні властивості наведені в таблиці.

Визначені характеристики матеріалів

Матеріал	E, ГПа	НМ, ГПа	h_{max} , мкм	h_f , мкм	ϵ_p , %	δ_H	τ_m^0 , Па
X12Φ1	$283,6 \pm 1,2$	11,27	$1,51 \pm 0,01$	$1,17 \pm 0,02$	$6,00 \pm 0,0004$	$0,801 \pm 0,004$	$2,03 \pm 0,2$
BK30	$238,3 \pm 13,3$	7,10	$1,93 \pm 0,14$	$1,45 \pm 0,14$	$5,90 \pm 0,0014$	$0,771 \pm 0,010$	$1,98 \pm 0,4$
T50T39H11	$358,8 \pm 11,1$	16,20	$1,31 \pm 0,04$	$0,90 \pm 0,06$	$5,48 \pm 0,0019$	$0,709 \pm 0,015$	$2,48 \pm 0,4$

Величина δ_H максимальна для сталі X12Φ1, показник для сплаву BK30 дещо нижчий. Мінімальне значення встановлено для сплаву T50T39H11, що обумовлено високими модулем пружності і показником δ_H карбиду вольфраму ($E = 700$ ГПа, $\delta_H = 0,820$) відносно карбиду титану ($E = 465$ ГПа, $\delta_H = 0,457$) [6].

Межа міцності σ_y у сотні разів вищий за макроскопічний, тому що при невеликих навантаженнях розмір деформованої зони набагато менший або наближується до розміру дислокацій, що призводить до реалізації теоретичної міцності [3, 4]. Щільність дислокацій в гартованій сталі дорівнює $10^{10} - 10^{12} \text{ см}^{-2}$, при цьому відстань між дислокаціями може бути ~ 1 мкм. Як видно на рис. 3, скачок СКТ знаходиться в області глибин менше 1 мкм. Високе значення σ_y вказує на відсутність в зоні деформації значної кількості дислокацій.

Таким чином, було встановлено, по-перше, що показник пластичності твердого сплаву ВК30 наближується до показника сталі Х12Ф1, що пояснюється рекордно високим модулем пружності WC серед усіх карбідів, у той самий час твердий сплав на основі TiC демонструє низьку пластичність. По-друге, межа міцності за нульової пластичної деформації дорівнює для сталі Х12Ф1 $2,03 \pm 0,2$ ГПа, для сплаву ВК30 $1,98 \pm 0,4$ ГПа, а для Т50Т39Н11 $2,48 \pm 0,4$ ГПа. Встановленні параметри можуть бути використані для прогнозування експлуатаційної стійкості виробів з інструментальних сплавів, особливо крихких матеріалів.

Література

1. Oliver W.C. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments / W.C. Oliver, G.M. Pharr // Materials research society. – 1992. – 6. – P. 1564 – 1583.
2. Oliver W.C. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology // J. Mater. Res. – 2004. – 19, 1. – P. 3 – 20.
3. Головин Ю.И. Наноиндентирование и механические свойства твердых тел в субмикроробъемах, тонких приповерхностных слоях и плёнках // Физика твердого тела. – 2008. – 50, 12. – С. 2113 – 2142.
4. Головин Ю.И. Наноиндентирование как средство комплексной оценки физико-механических свойств материалов в субмикроробъемах (обзор) // Завод. лаб. – 2009. – 1 (75). – 2009. – С. 45 – 59.
5. Дуб С.Н. Метод определения модуля Юнга при упругом локальном деформировании поверхности образца // Завод. лаб. – 2005. – 3. – С. 28 – 33.
6. Milman Yu.V. Plasticity determined by indentation and theoretical plasticity of materials // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2009. – 73, 9. – P. 1215 – 1221.
7. Фирстов С.А. Уравнение индентирования // Доповіди НАНУ. – 2007. – № 12. – С. 100 – 106.
8. Фирстов С.А. Новые методологические возможности определения механических свойств современных материалов методом автоматического индентирования // Наука та інновації. – 2010. – 6, 5. – С. 7 – 18.
9. Куш В.И. Оценка упруго-пластических свойств материалов по данным наноиндентирования и компьютерного моделирования. Экспериментально-теоретическая методика // Сверхтвердые материалы. – 2013. – 3. – С. 3 – 12.

Одержано 19.12.13

В. В. Пашинский, М. Г. Субботина, В. И. Закиев

Определение показателей пластичности и прочности инструментальных сплавов в микрообъемах

Резюме

Определены свойства малопластичных сплавов методом кинетического indentирования на примере стали X12Φ1, твердого сплава ВК30 и порошкового сплава на основе TiC. Были определены показатель пластичности δ_n и предел прочности τ_m^0 . Показатель δ_n сплава ВК30 (0,771) несколько ниже, чем стали X12Φ1 (0,801), δ_n сплава, содержащего TiC, наименьший (0,71). Предел прочности при нулевой пластической деформации τ_m^0 соответственно равен $2,03 \pm 0,2$ ГПа для стали X12Φ1, $1,98 \pm 0,4$ ГПа для сплава ВК30 и $2,48 \pm 0,4$ ГПа для сплава с карбидом титана.

V. V. Pashynsky, M. G. Subbotina, V. I. Zakiev

Tool alloys plasticity and strength characteristics determination in microvolumes

Summary

Mechanical properties of tool alloys were evaluated in case of X12Φ1 steel, carbide alloy 70 % WC-Co and 50 % TiC-NiTi via nanoindentation technic. The plasticity characteristic δ_n and yield strength τ_m^0 was determined. It was proved that δ_n was slightly less for 70 % WC-Co (0,771) alloy than for steel (0.801), but far more lower for TiC-based alloy (0.71). Yield strength at zero plastic deformation conditions was equal to 2.03 ± 0.2 GPa for steel, 1.98 ± 0.4 GPa for 70 % WC-Co alloy and 2.48 ± 0.4 GPa for 50 % TiC-NiTi alloy, accordingly.

Шановні колеги!

Триває передплата на науково-технічний журнал «Металознавство та обробка металів» на 2015 р.

Для регулярного одержання журналу потрібно перерахувати вартість заказаних номерів на розрахунковий рахунок Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України. Вартість одного номера журналу – 30 грн., передплата на рік – 120 грн.

Ціна архівних номерів 1995 – 2013 рр. – 10 грн.

Розрахунковий рахунок для передплатників, спонсорів і рекламодавців:

банк ГУДКСУ в м. Києві, р/р 31257201112215, код банку 820019.

Отримувач – ФТІМС НАН України, ЗКПО 05417153,

з посиланням на журнал "ММ".

Копію документа передплати та відомості про передплатника просимо надсилати до редакції, вказавши номер і дату платіжного документа.