

УДК 621.791

ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ТВЕРДОСТІ ІНДЕНТУВАННЯ ТА МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ВІД МІКРОСТРУКТУРИ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ЗРАЗКІВ З ВУГЛЕЦЕВОЇ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ СТАЛІ У12А²²

Мощенко А.В., аспірант ХНАДУ

Анотація. Показано, як дисперсність мікроструктури зразків з вуглецевої сталі У12А впливає на значення механічних властивостей по ISO 14577 при індентуванні пірамідою Берковича. Встановлено, що зменшення розміру зерна перліто-цементитної мікроструктури сталі У12А значно підвищує такі параметри механічних властивостей, як твердість індентування у 1,5-2,5 рази, а модуль пружності на 3-70%.

Ключові слова: мікроструктура, перліт, цементит, твердість індентування, модуль пружності, діаграма індентування.

DETERMINATION OF THE DEPENDENCE OF INDENTATION HARDNESS AND ELASTIC MODULUS ON MICROSTRUCTURE IN THE STUDY OF SAMPLES OF U12A CARBON TOOL STEEL

Moshenok A.V., postgraduate student of KhNADU

Annotation. It is shown how the dispersion of the microstructure of samples of carbon steel U12A affects the values of mechanical properties according to ISO 14577 when indenting with the Berkovich pyramid. It was found that a decrease in the grain size of the pearlite-cement microstructure of U12A steel significantly increases such mechanical properties as indentation hardness by 1.5-2.5 times and elastic modulus by 3-70%.

Keywords: microstructure, pearlite, cementite, indentation hardness, elastic modulus, indentation diagram.

Вступ

Зараз є велика проблема у встановлення залежності твердості та пружності металів і їх сплавів від мікроструктури. На прикладі методів вимірювання твердості індентування та модуля пружності згідно з ISO 14577 [1] нами встановлено цю залежність.

Значним фактором, що впливає на значення результатів вимірювання твердості індентування та модуля пружності вуглецевої інструментальної сталі У12А є розмір зерна структурних складових мікроструктури.

Питанню впливу мікроструктури на значення твердості індентування та модуля пружності вуглецевої інструментальної сталі У12А і присвячене дане дослідження.

Аналіз публікацій і мета роботи

Згідно з міжнародним стандартом ISO 14577 [1] встановлено, що найбільш прогресивним набором механічних властивостей металевих матеріалів: твердість за Мартенсом HM , твердість за Мартенсом HM_s , твердість індентування H_{IT} , модуль пружності E_{IT} , повзучість при індентуванні C_{IT} , релаксація при індентуванні R_{IT} , робота при індентуванні. Основними параметрами цього комплексу є твердість індентування, яка враховує як пружну, так і пластичну складові у твердості, а також модуль пружності, який характеризує пружність досліджуваного

²² Робота виконана під керівництвом доцента Лалазарової Н.О.

матеріалу [2-3]. Але при цьому важливу роль на значення твердості інденування та пружності грає дисперсність зерна структурних складових металу або сплаву.

Предметом досліджень були сталеві міри твердості. Що стосується впливу мікроструктури на значення твердості та пружності сталевих зразків - це питання є актуальним для сучасного матеріалознавства.

Метою даної роботи є дослідження твердості інденування та пружності вуглецевої інструментальної сталі У12А з різною мікроструктурою.

Матеріали і методи дослідження

Для дослідження були відібрані зразки, виготовлені з мір твердості. Позначення зразків, їх твердість та мікроструктура надано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення твердості за Віккерсом сталевих зразків в залежності від мікроструктури

Зразок	Твердість зразку за Віккерсом та марка сталі	Мікроструктура
Міра твердості HV	1. Міра твердості 500HV10 (У12А)	Перліт + цементит
	2. Міра твердості 790HV10 (У12А)	Перліт + цементит (дрібно глобулярний)
	3. Міра твердості 350HV30 (У12А)	Перліт
	4. Міра твердості 850HV50 (У12А)	Перліт + цементит (дрібно глобулярний)

Твердість інденування та модуль пружності вимірювалась на приладі NanoTest (Micro Materials Ltd) [4]. Унікальність даного приладу - горизонтальне розташування шпинделя і індентора, що дозволяє з більшою точністю визначати твердість в мікро- і нанодіапазоні. Це пов'язано з силою тяжіння, яка діє на досліджуваний зразок під час проведення випробування.



Рис. 1. Прилад NanoTest Micro Materials Ltd

Результати дослідження

За авторською програмою [5] визначаємо твердість інденування (рис.4) та модуль пружності (рис. 5) за отриманими при інденуванні показниками діаграми інденування (рис. 3) згідно стандарту ISO 14577 (рис. 2).

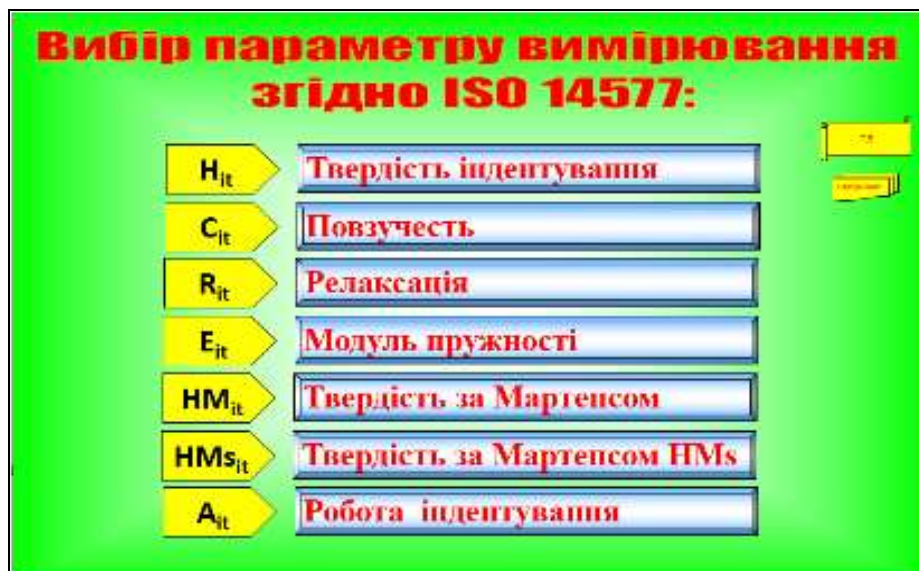


Рис. 2. Вибір механічних властивостей матеріалів згідно стандарту 14577

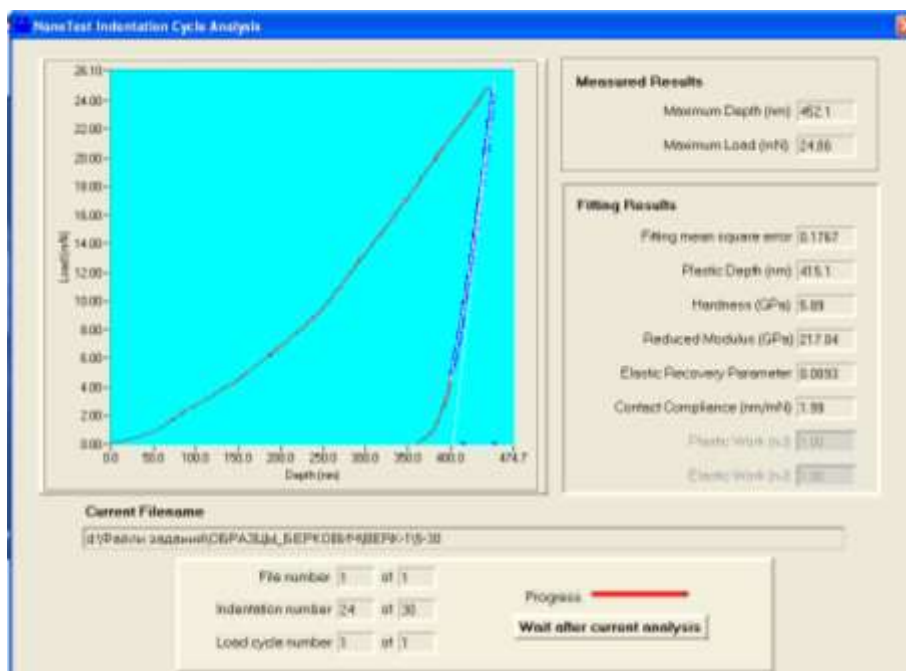


Рис. 3. Типова діаграма інденування зразків 1-4 пірамідою Берковича



Рис. 4. Розрахунок твердості індентування для зразка №1



Рис. 5. Розрахунок модуля пружності для зразка №1

Залежність твердості індентування та модуля пружності в залежності від мікроструктури наведено у таблиці 2. З таблиці 2 видно, що сталеві зразки з різної мікроструктурою та твердістю за Віккерсом від 500 до 790 одиниць (збільшення у 1,6 рази) надають також збільшення твердості індентування з 5,85 до 8,96 ГПа, тобто у 1,5 рази.

Таблиця 2 – Значення твердості інденування та модуля пружності в залежності від мікроструктури вуглецевої інструментальної сталі У12А

Позначення зразка	Мікроструктура	Твердість інденування Ніт, гПа	Модуль пружності Еіт, гПа
1. Міра твердості 500HV10 (У12А)	Перліт + цементит	5,85	207,9
2. Міра твердості 790HV10 (У12А)	Перліт + цементит (дрібно глобулярний)	8,96	214,5
3. Міра твердості 350HV30 (У12А)	Перліт	4,21	140,9
4. Міра твердості 850HV50 (У12А)	Перліт + цементит (дрібно глобулярний)	10,99	248,4

При цьому модуль пружності збільшується тільки на 3%. А ось дослідження на другій парі аналогічної вуглецевої сталі У12А твердість за Віккерсом від 350 до 850 одиниць надає збільшення твердості інденування від 4,21 до 10,99 ГПа, а модуля пружності з 140,9 до 248,4, тобто у 1,7-2,6 разів. Таким чином, зменшення зерна мікроструктури завжди надає збільшення як твердості, так і модуля пружності приблизно у 2 рази.

Висновки

1. При дослідженні залежності твердості інденування зразків з вуглецевої інструментальної сталі У12А встановлено, що зменшення зерна мікроструктури надає збільшення твердості інденування в 1,5-2,6 разів. А зростання модуля пружності для цих зразків значно менше: від 1,03 до 1,7 разів.

2. Доцільно для збільшення експлуатаційних властивостей деталей машин досліджувати такі їх механічні властивості, як твердість інденування та модуль пружності.

Література

1. ISO 14577-1:2015. Metallic materials — Instrumented indentation test for hardness and materials parameters // This standard was last reviewed and confirmed in 2021.- Part 1: Test method. - 46 p.
2. Li-zhen HOU, Shi-liang WANG, Guo-Liang CHEN, Yue-hui HE, Ya XIE // Mechanical properties of tungsten nanowhiskers characterized by nanoindentation /journal/transactions-of-nonferrous-metals-society-of-china.- Volume 23, Issue 8, August 2013, Pages 2323-2328.
3. Esteban Broitman. Indentation Hardness Measurements at Macro-, Micro-, and Nanoscale: A Critical Overview // December 2016.- Tribology Letters.-65(1):23.- DOI:10.1007/s11249-016-0805-5.
4. Nano Test Materials Testing Platform Two Copyright : [Электронный ресурс] Micro Materials Ltd. – Wrexham. – United Kingdom. – 2023.– Режим доступа: <https://www.micromaterials.co.uk/>.
5. Мощенок, В.І. Сучасні методи визначення твердості матеріалів : монографія / LAP LAMBERT Academic Publishing.- 2019. ISBN-13:978-620-0-25655-3 . - 392 с.