

## ЕЛЕКТРОННИЙ ТВЕРДОМІР ДЛЯ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ

*Кравченко М. О.* – гр. БЕМ-17, студент, *nekirrin@gmail.com*

*Музиченко Д. А.* – гр. БЕМ-17, студент, *provedos@ukr.net*

*Кулік Т. І.* – д.т.н., доц., *t-81@ukr.net*

*Стаценко Д. В.* – к.т.н., доц., *statsd@ukr.net*

*Київський національний університет технологій та дизайну*

*У роботі запропоновано рішення по вдосконаленню приладу для вимірювання твердості матеріалів. Конструкція твердоміра, що працює за методом Роквелла, оптимізована шляхом встановлення мікроконтролера, електромеханічного приводу та датчиків. Це дозволило спростити конструкцію приладу, підвищити його надійність та знизити вартість при збереженні високої точності вимірювань.*

*The paper proposes a solution to improve the device for measuring the hardness of materials. The design of the Rockwell hardness tester is optimized by installing a microcontroller, electromechanical drive and sensors. This has simplified the design of the device, increased its reliability and reduced cost while maintaining high measurement accuracy.*

**Вступ.** Сучасне машинобудування неможливо уявити без якісних, надійних та витривалих матеріалів. Для встановлення таких робочих якостей, як міцність, жорсткість, здатність опору змінним навантаженням, ресурс деталей на виробництвах, в ремонтних та діагностичних майстернях виникає потреба у вимірюванні ступеня твердості металевих елементів. Твердість металу – це його здатність пластично деформуватися під впливом предмета з більшою твердістю (індентора). Випробування на твердість є дуже поширеним вимірюванням, оскільки воно не тільки визначає міру опору виробу, але й його стійкість до змінних навантажень. Перевагою випробовувань на визначення твердості є те, що дане дослідження є неруйнівними, а прилади для вимірювання твердості металів можуть бути як стаціонарними, так і переносними. Вимірювання можна проводити на еталонних зразках (виготовлених з того ж матеріалу або сплаву, що пройшов таку саму термічну обробку) або на готових деталях. Єдина умова – у разі перевірки готових деталей необхідно вжити заходів, щоб об'єкт перевірки не мав зовнішніх пошкоджень.

Вибір методу контролю твердості залежить від:

- початкових механічних показників опору механічному впливу, еластичності та пластичності виробу;
- розмірів зразка (або стику сусідніх конструктивних елементів, якщо твердість встановлюється в зоні, наприклад, зварного шва);
- кінцевого результату: встановити твердість самого виробу або твердість лише його поверхні (виконується для деталей, які пройшли специфічну термічну обробку або інший тип поверхневого зміцнення);
- вимог до умов випробування: у польових умовах використовують нестационарні портативні твердоміри;
- стабільності результатів вимірювань та їх відтворюваності при повторних випробуваннях.

Твердістю вважається стійкість металу до незворотних пластичних деформацій, і тому відрізняється від інших вимірювань наявністю спеціальних уніфікованих приладів – тестерів твердості для металів. Твердоміри використовуються для визначення твердості м'яких сплавів та кольорових металів, чавуну та нетвердих сталей згідно з нормативними документами [1-4].

**Постановка проблеми.** Існують різні шляхи вимірювання твердості матеріалів: вимірювання твердості за Брінеллем, за методами Роквелла, Віккерса, Шора та ін. Застосування різних методів вимірювань твердості матеріалів обумовлене механічними властивостями матеріалів і конструктивно-технологічними особливостями виробів.

Твердість за Брінеллем вимірюється сталеву кулею або кулькою з карбїду вольфраму та дозволяє встановити твердість матеріалів, яка перевищує твердість звичайної сталі. Для інструментальних сплавів необхідний твердосплавний індентор. Звичайна сталеву куля використовується для вимірювання твердості деревини, міді, алюмінію, дюралюмінію, нержавіючої сталі, скла. Тобто твердомір може бути застосований не лише до металів. Метод Брінелля для визначення твердості передбачає забивання кульки індентора (загартованої сталі або твердого сплаву) у поверхню зразка. В результаті на металі залишається заглиблення у вигляді фрагмента сфери певного діаметра та глибини, що дозволяє визначити ступінь твердості за Брінеллем (НВ). За результатами вимірювання діаметра відбитка на деякому матеріалі твердість за Брінеллем обчислюють за формулами або визначають за таблицею показників твердості за Брінеллем.

Метод Роквелла для визначення твердості металів передбачає забивання алмазного конуса або загартованої сталевий кульки в попередньо зашліфовану поверхню зразка. На відміну від попереднього методу, твердість Роквелла (HR) передбачає визначення глибини вдавнення. Метод Роквелла вважається більш оперативним, і в сучасних тестерах твердості процес тестування та подальша обробка його результатів автоматизовані. Суть методу Роквелла полягає у тому, що попередньо обирається певна опорна точка, і отримана для цієї координати глибина проникнення індентора віднімається з довільно обраної максимальної глибини відбитку.

Принцип роботи твердоміра за Вікерсом визначається уколом індентора у вигляді алмазної піраміди на квадратній основі, яка має кут вершини  $136^\circ$ . Твердість по Вікерсу – це твердість матеріалу, розрахована на основі розміру поглиблення, що утворюється при зануренні алмазної піраміди індентора, обчислюється діленням навантаження на площу отриманого пірамідального відбитку. Після «уколу» на поверхні зразка для тестування залишається відбиток у формі ромба (іноді неправильний). Значення діагоналі цього ромба (або середнє арифметичне двох діагоналей) використовується для встановлення числа твердості за Вікерсом.

Метод Шора зазвичай використовується для вимірювання твердості низькомодульних матеріалів, таких як полімери: пластмаси, еластомери, каучуки та продукти їх вулканізації. Сутність методу полягає у визначенні висоти, на яку після удару об поверхню досліджуваного зразка відскакує бойок, що падає з певної висоти. Твердість за Методом Шора оцінюють в умовних одиницях, пропорційних висоті підскакування бойка. Метод відрізняється відносно великою дисперсією значень результатів вимірювань, але він практичний своєю простотою (включаючи конструкцію вимірювального пристрою) та ефективністю вимірювань, що дозволяє проводити їх, у тому числі на готових виробах, великих деталях та криволінійних поверхнях з досить великим радіусом. Завдяки цьому він широко використовується у виробничій практиці.

На сьогоднішній день на ринку обладнання склалася ситуація, коли існує безліч пропозицій від різних виробників, різних категорій ціни й точності, але більшість з них часто не задовольняють багатьох підприємців або фінансовою стороною питання, або класом точності, або зручністю використання та масо-габаритними характеристиками.

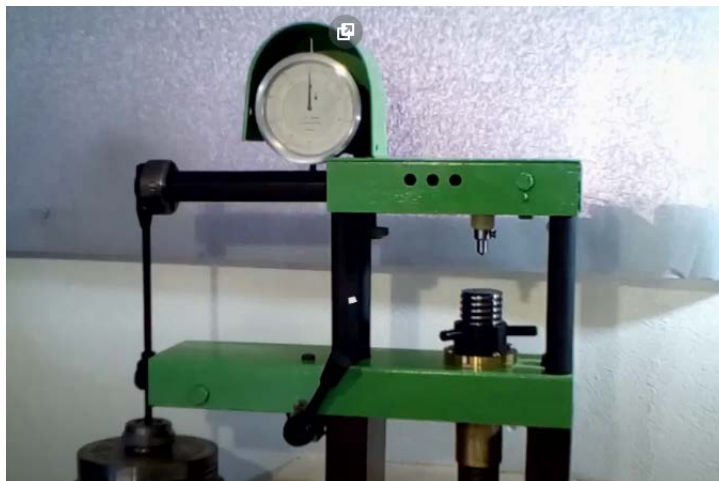
У зв'язку із частиною вище перерахованих проблем, громадянином України Максимом Буяновим було розроблено універсальний прилад для визначення твердості за методом Роквелла [5], який дає змогу оцінити

ступінь твердості за однією зі шкал, відповідно до досліджуваного матеріалу, зробивши мінімальні зміни у налаштуванні та оснастці. Крім того, винахідник відкрив повний доступ до креслень деталей та склав інструкцію для складання, налаштування та використання свого приладу [6].

Зазначена конструкція має деякі недоліки, яких можна позбутися, вдосконаливши конструкцію за рахунок електромеханічного приводу, який зменшить масу та габарити приладу, зробивши непотрібною вагу, що виконує тестове навантаження, ряду датчиків та мікроконтролера, які автоматизують налаштування при зміні шкали та частину дій, що виконує оператор при дослідженні зразка.

Отже, метою дослідження є спрощення та здешевлення приладу для вимірювання твердості матеріалів за методом Роквелла з одночасним підвищенням його експлуатаційних якостей шляхом застосування автоматизованого електромеханічного приводу під програмним керуванням.

**Результати досліджень.** Зазначена на рис. 1 конструкція являє собою спрощену та удосконалену конструкцію приладу ТК-2М, оптимізовану для можливості виготовлення у будь-якій майстерні, що має у своєму парку фрезерний та токарний верстати, зварювальний апарат.



*Рисунок 1. Твердомір М. Буянова, оснований на конструкції ТК-2М*

Основним критерієм для приладу при змінюванні шкал, є випробувальне навантаження, що досягає свого максимуму у шкалі HRC – 150 кгс, що традиційно досягається завдяки ваги та важеля. Але існує можливість замінити вагу на компактний електродвигун з черв'ячним редуктором для забезпечення самогальмування лебідки, що задає лінійне

навантаження на пружину, яка зробить наростання зусилля на важелі поступовим. Також приводом може бути гідравлічний циліндр, що буде діяти на важіль.

Необхідне навантаження може задаватись з повіркою на тензодатчики, що дадуть змогу мікроконтролеру зупинити збільшення навантаження на необхідній відмітці, виключаючи необхідність тонкого налаштування ваги, розрахунку та підгонки деталей, так як прилад буде здійснювати регуляцію навантаження автоматично при кожному дослідженні, нівелюючи можливе виникнення погрішностей, спровокованих зміною потужності двигуна або тиску гідравлічного циліндру, що є досить розповсюдженою проблемою в твердомірах, що використовують будь-який привод, замість ваги.

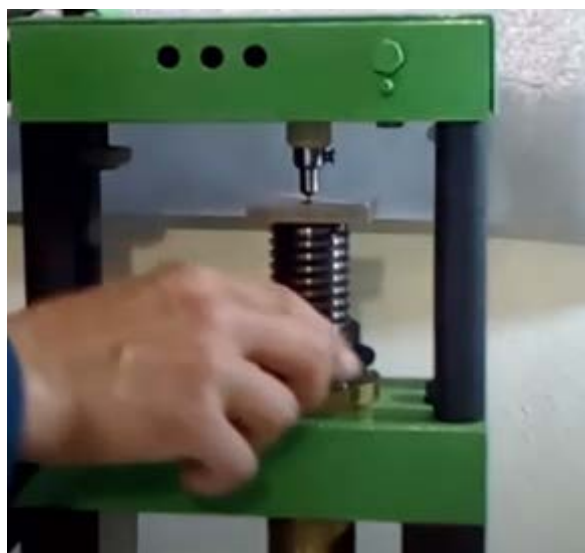
Ступінь заглиблення індентора може бути визначена за допомогою звичайного електронного мікрометра з можливістю виводу цифрових даних. Для отримання показань з мінімальною погрішністю, у приладі ТК-2М використовують важіль збільшення ходу індикатора, але можлива реалізація на основному важелі.

Робота з приладом передбачає такі операції:

1. Встановлення оператором зразка на столик (рис. 2).
2. Регулювання висоти позиціонування таким чином, щоб кінець індентора торкався поверхні зразка (рис. 3).



*Рисунок 2. Встановлення досліджуваного зразка*



*Рисунок 3. Піджим поверхні зразка до індентора*

3. Вибір налаштувань для обраної шкали та індентора.
4. Запуск процесу вимірювання.

5. Зчитування показників з дисплею після завершення вимірювання.

При цьому, прилад виконує наступні операції:

1. Після подачі команди «пуск», контролер запускає двигун приводу та зчитує покази тензодатчика. Покази попередньо обнулені перед запуском приводу, тобто враховується тільки навантаження, що діє через індентор.

2. При досягненні навантаження 10 кгс (попереднє навантаження) привод зупиняється.

3. Виконується витримка часу 5 секунд, знімаються покази з мікрометра (глибина занурення індентора при попередньому навантаженні  $h$ ) після чого виконується повторний пуск приводу. Робота приводу припиняється при досягненні основного навантаження в сумі з попереднім (залежить від шкали дослідження, для HRC 160 кгс).

4. Виконується витримка 10 секунд.

5. Привод запускається у зворотному напрямі для зняття навантаження до 10 кгс, після чого знімаються покази мікрометра (глибина занурення індентора після основного навантаженні  $H$ ).

6. Виконується обчислення твердості за формулою, до якої підставляються виміряні значення та константи відповідно до обраної шкали:

$$HR = N - \frac{H-h}{s},$$

де різниця  $H - h$  являє собою різницю глибин занурення індентора після зняття основного навантаження і до її застосування (при попередньому навантаженні) в мм;  $N$ ,  $s$  – константи, що залежать від конкретної шкали Роквелла.

7. Обчислені покази виводяться на дисплей.

8. Опис процесу роботи приладу у часовій діаграмі показано на рис. 4.

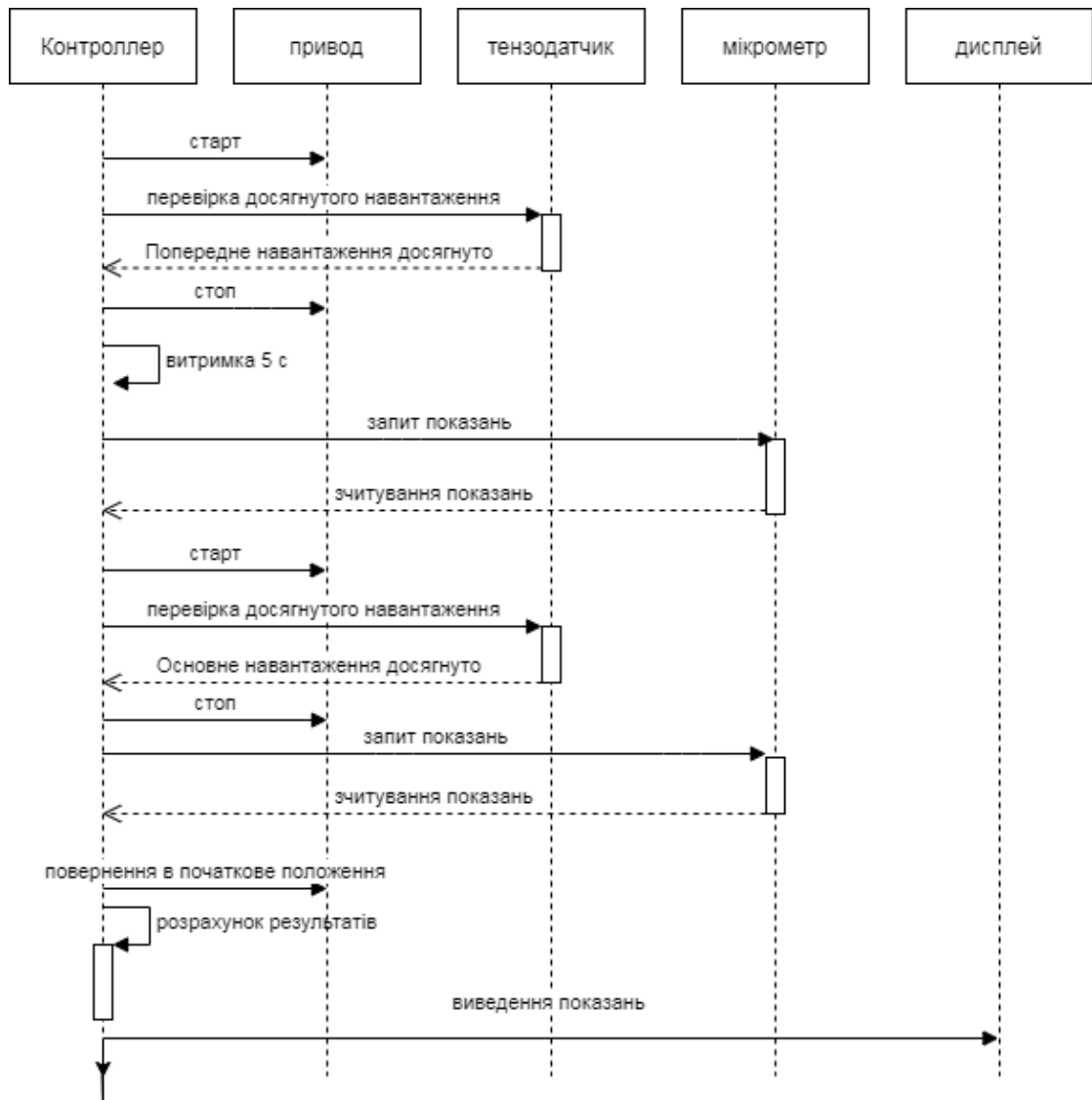


Рисунок 4. Часова діаграма роботи приладу

**Висновки.** Найважливішими вимогами до пристроїв вимірювання твердості є оперативність дослідження зразків, максимальна точність та мінімальні габарити й маса, але також значну роль відіграє і вартість обладнання. Результатом дослідження стало розроблення приладу на основі конструкції та принципів роботи твердоміру М. Буянова, що, в свою чергу, є спрощеним функціональним аналогом приладу ТК-2М.

На відміну від приладу ТК-2М, у якому функцію збільшення ходу індикатора реалізовано окремим важільним вузлом, цю функцію виконує основний важіль навантаження, що значно спрощує конструкцію, дає змогу відмовитися від великої кількості деталей, які потребують точної підгонки, за рахунок чого досягається зменшення витрат на виробництво та підвищується надійність приладу за рахунок ліквідації деталей, поломка або пошкодження яких може призвести до виводу з ладу приладу. За рахунок спрощення конструкції важільної системи навантаження

з'являється обмеження розміру зразка, який має знаходитися між приводом та стойкою важеля. Вага заготовки обмежена граничним значенням вимірювання тензодатчика, який в свою чергу може дати деформаційну погрішність. Оскільки обрано методику вимірювання зі зняттям випробувального навантаження перед вимірюванням глибини занурення індентора, то погрішність має бути незначною, або її буде легко скорегувати шляхом знаходження залежностей та внесення поправок для розрахунків у програмну складову.

#### Список використаних джерел

1. ДСТУ EN ISO 6506-1:2019 (EN ISO 6506-1:2014, IDT; ISO 6506-1:2014, IDT) Матеріали металеві. Випробування на твердість по Брінеллю. Частина 1. Метод випробування. [Чинний від 01.11.2019]. Київ, 2019. (ГП «УкрНИУЦ»).
2. ДСТУ ISO 6508-2:2010 (ISO 6508-1:2005, IDT) Національний стандарт України. Металеві матеріали. Визначення твердості за Роквеллом. Частина 2. Повірка та калібрування приладів для вимірювання твердості (шкали А, В, С, D, E, F, G, H, K, N, T). [Чинний від 01.07.2014]. Київ, 2013. (ТК «Стандартизація методів контролю механічних, металографічних та корозійних властивостей металопродукції»).
3. ДСТУ ISO 6507-1:2007 Матеріали металеві. Визначення твердості за Вікерсом. Частина 1. Метод випробування (ISO 6507-1:2005, IDT). Поправка № 1. [Чинний від 01.02.2018]. Київ, 2018. (ДП «УкрНДНЦ»).
4. ГОСТ 23273-78 Металлы и сплавы. Измерение твердости методом упругого отскока бойка (по Шору) [Чинність документа відновлено з 01.01.2019] (Міждержавний стандарт).
5. Буянов М. Самодельный твердомер Роквелла. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=AKd0mjOOI0Q> (дата звернення: 10.03.2021).
6. Буянов М. Твердомір. URL: <https://drive.google.com/file/d/1y5mD4SBg3MIFCSW1mMCOZr3ZV2AqUIAL/view> (дата звернення: 10.03.2021).