

Bogumiła MŁODZIŃSKA
GŁÓWNY URZĄD MIAR

Zapewnienie spójności pomiarowej w pomiarach twardości Rockwella w skali C

Mg inż. Bogumiła MŁODZIŃSKA

Absolwentka Wydziału Mechaniki, Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. Od 1991 r. pracuje w Laboratorium Twardości Głównego Urzędu Miar w Warszawie, obecnie na stanowisku głównego metrologa

e-mail: length@gum.gov.pl

Streszczenie

Stanowisko pomiarowe twardości Rockwella I rzędu realizuje definicję pomiaru twardości Rockwella i stanowi wzorzec odniesienia GUM. Twardościomierz kalibracyjny stosowany jest do kalibracji wzorców twardości używanych do wzorcowania i kontroli bieżącej poprawności wskazań twardościomierzy użytkowych. Poprzez zastosowanie stanowiska wzorcowego twardości Rockwella wyniki kalibracji wzorców twardości Rockwella są odniesione do państwowego wzorca jednostki miary długości i wzorca odniesienia jednostki miary siły GUM. Ponieważ nie istnieje matematyczna formuła opisująca zależność twardości od wielkości mających wpływ na jej wartość, szacowanie niepewności definicji pomiaru stanowi duży problem. W referacie przedstawiono składniki budżetu niepewności dla każdego poziomu pomiarowego oraz przedstawiono sposób zapewnienia spójności pomiarowej.

Słowa kluczowe: spójność pomiarowa twardości Rockwella

Assuring the traceability in rockwell C hardness Measurements

Abstract

Primary hardness standard machine materialise the hardness scale definition and it is reference standard of GUM. It is used for „produce” primary hardness reference blocks using for verification and indirect calibration of hardness calibration machines used for the industrial production of hardness reference blocks. By using hardness calibration machine the result of a measurement have traceability to national standards of force, length and angle. Notice that in the case of Hardness a mathematical relationship connecting input quantities X_i with the output quantity H is not known, there is the problem with evaluation of the uncertainty. There give parameters that affect the uncertainty and general procedure for calculating the uncertainty of hardness measurements for each level to assure the traceability in dissemination of Rockwell C hardness.

Keywords: the traceability in Rockwell hardness

1. Pomiar twardości Rockwella

Pomiar twardości jest najbardziej rozpowszechnionym pomiarem, stosowanym do określenia własności mechanicznych, tj. cech materiału determinujących jego zdolność do przeciwstawiania się działaniu różnych obciążeń mechanicznych. Do pomiaru twardości stosowany jest przyrząd zwany twardościomierzem.

Istnieje wiele sposobów pomiaru twardości. Pomiar twardości sposobem Rockwella, (nawet tam gdzie możliwy jest pomiar innym sposobem), jest stosowany powszechnie ze względu na szybkość i łatwość pomiaru, prostą obsługę twardościomierza oraz bezpośredni odczyt twardości bez konieczności korzystania z

tablic przeliczeniowych. Do wzorcowania oraz bieżącej kontroli wskazań twardościomierza stosowane są wzorce twardości.

2. Zasada pomiaru i parametry wpływające na niepewność pomiaru

Pomiar twardości Rockwella w skali C polega na dwustopniowym wciskaniu w badaną powierzchnię wgłębnika - stożka diamentowego - w określony sposób tzn. z określoną siłą i w określonym czasie oraz na pomiarze trwałego przyrostu głębokości [1].

Pomiar twardości jest pomiarem niszczącym i niemożliwym do odtworzenia w tym samym punkcie. Z tego względu ważne jest, aby pojedynczy pomiar był wykonany jak najdokładniej, gdyż jego wynik wpływa na wartość niepewności.

Doświadczenie wykazuje, że sposób wykonania próbki tzn. obróbka powierzchni i jej czystość oraz struktura materiału mają istotny wpływ na wynik pomiaru twardości; grubość próbki jest jednym z parametrów decydujących o wyborze skali; może także, spowodować uszkodzenie wgłębnika, co w konsekwencji będzie rzutowało na wyniki dalszych pomiarów.

Konstrukcja i stan utrzymania twardościomierza wzorcowego mają decydujący wpływ na prawidłowy wynik pomiaru. Podstawowymi zespołami twardościomierza, których prawidłowe działanie wpływa na końcowy wynik pomiaru twardości są:

- Układ obciążający i sterujący nakładanie/zdejmowanie obciążenia; sposób nakładania siły oraz jej wartość są określone w odpowiednich dokumentach. Jeżeli nie będzie kontrolowany przebieg cyklu pomiarowego twardościomierzy sterowanych ręcznie, to dla próbek wykonanych z różnych materiałów różnica zmierzonej twardości może wynieść nawet 1 HRC.
- Układ pomiarowy: zważywszy na fakt, że 1 HRC odpowiada 2 μm pomiar trwałego przyrostu głębokości ma duży wpływ na dokładność pomiaru twardości i stanowi znaczący składnik budżetu niepewności pomiaru.
- Wgłębnik diamentowy; ze względu na trudność obróbki diamentu i uzyskania idealnego kształtu, wgłębnik może powodować zmianę wskazań twardości rzędu 0.5 HRC.
- Korpus twardościomierza; niewystarczająca sztywność (odkształcenie) może wprowadzić zmianę wskazań twardości do $(1 \div 3)$ HRC.

Warunki otoczenia takie jak temperatura otoczenia, wibracje czy też zakłócenia elektryczne są także źródłem błędów przy pomiarze twardości.

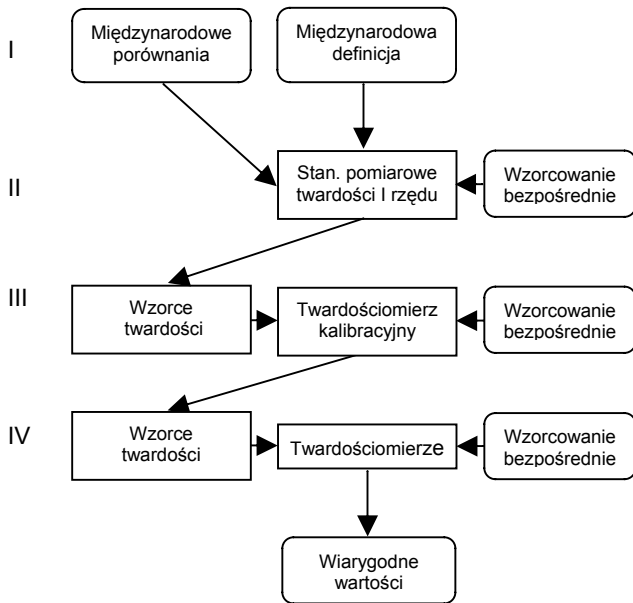
Operator decyduje o wyborze miejsca wykonania odcisku na powierzchni próbki. Wykonanie odcisku w pobliżu już istniejących lub w pobliżu krawędzi próbki może wprowadzić zmianę wskazań twardości nawet rzędu 2 HRC.

3. Spójność pomiarowa

Z definicji spójność pomiarowa jest to właściwość wyniku pomiaru lub wzorca jednostki miary polegająca na tym, że można je powiązać z pośrodkiem nieprzerwanego łańcucha porównań z Państwowymi lub Międzynarodowymi wzorcami jednostki miary lub wzorcami odniesienia (np. GUM), z których wszystkie mają określone niepewności.

Poniżej przedstawiono sposób zapewnienia możliwości odniesienia wyniku pomiaru, poprzez wzorcowanie, twardościomierzy

użytkowych do państwowych wzorców jednostek miar mających powiązanie (poprzez wzorcowanie bezpośrednie stanowiska pomiarowe twardości I rzędu i międzynarodowe pomiary porównawcze z międzynarodowym systemem miar. Do przekazywania skali twardości pomiędzy kolejnymi poziomami w łańcuchu metrologicznym oraz bieżącej kontroli twardościomierza użytkowego służą wzorce twardości – metalowe płytki, wykonane zgodnie z wymaganiami [3].



I – Poziom międzynarodowy
II – Poziom krajowy
III – Poziom laboratorium wzorcującego
IV – Poziom użytkownika

I – International level
II – National level
III – Calibration lab. level
IV – User level

Rys. 1. Struktura łańcucha metrologicznego niezbędna do zdefiniowania i przekazywania skali twardości
Fig. 1. The structure of the metrological chain for the definition and dissemination of hardness scales

Na Rysunku 1 przedstawiono cztery poziomy łańcucha metrologicznego niezbędnego do zdefiniowania i przekazywania skali twardości. Zdarzają się także przypadki trzystopniowego łańcucha metrologicznego, gdy stanowisko pomiarowe twardości I rzędu jest stanowiskiem wzorcowym, wykorzystywanym do wzorcowania wzorców twardości. Nie jest to zgodne łańcuchem metrologicznym przedstawionym na Rysunku 1, ale dopuszczalne. W pomiarach twardości nie zawsze może być zastosowana ogólnie przyjęta zasada, a mianowicie, aby przyrząd odniesienia miał dokładność o rząd wyższą a przynajmniej trzykrotnie wyższą niż wzorcowany przyrząd. Różnica niepewności pomiędzy poziomem krajowym i poziomem użytkownika jest stosunkowo niewielka; przejście z jednego poziomu na inny związane jest z uwzględnieniem kolejnego składnika w budżecie niepewności. Cztery poziomy struktury łańcucha pomiarowego mogą prowadzić do zbyt dużego przedziału niepewności wartości twardości dla stosowanego poziomu. Większość problemów w pomiarach porównawczych związanych z wystąpieniem większych błędów i niepewności ma swoje źródło w łańcuchu spójności pomiarowej.

W Polsce jest zachowany czteropozomowy łańcuch metrologiczny; w Głównym Urzędzie Miar jest stanowisko pomiarowe twardości I rzędu oraz stanowisko wzorcowe; są one stosowane odpowiednio do wzorcowania wzorców twardości I rzędu i wzorców twardości służących do wzorcowania twardościomierzy użytkowych.

Należy zauważyć, że dla każdego poziomu jest przeprowadzane wzorcowanie bezpośrednie i wzorcowanie pośrednie. Wzorcowanie bezpośrednie pozwala na odniesienie wyniku pomiaru do

państwowych wzorców jednostki miary masy, długości, czasu oraz kąta (wzorcowanie wgłębnika diamentowego) i sprawdzenia spełnienia wymagań odnośnie granicznych dopuszczalnych błędów, określonych w PN-EN ISO 6508.

W budżecie niepewności uwzględniane są składniki typu A związane z powtarzalnością pomiaru na wzorcach twardości oraz typu B związane z błędami wskazań wynikającymi z wpływu innych czynników.

Wzorcowanie pośrednie twardościomierza (na każdym poziomie) jest przeprowadzane na właściwym komplecie wzorców twardości i pozwala na określenie wpływu na wartość twardości wielkości nie określonych w sposób ilościowy oraz nie wyznaczanych podczas wzorcowania bezpośredniego takich jak czasy cyklu pomiarowego, dokładność wykonania wgłębnika (kąt stożka diamentowego, promień końcówki kulistej, stan przejścia kuli w pobocznice stożka) oraz prędkości przemieszczania się wgłębnika w materiale.

W celu porównania różnych stanowisk pomiarowych, stanowiących wzorce odniesienia twardości okresowo, (co kilka lat) przeprowadzane są międzynarodowe pomiary twardości. W ostatnich pomiarach uczestniczyło 12 Krajowych Instytutów Metrologicznych (NMI), a koordynatorem było MPA NRW (Niemcy).

Na specjalnie przygotowanych wzorcach twardości i według wcześniej przyjętej procedury zostały wykonane pomiary na stanowiskach pomiarowych I rzędu za pomocą wgłębnika należącego do stanowiska danego NMI oraz dwóch wgłębników dodatkowych w celu wyeliminowania wpływu błędów kształtu wgłębnika na wskazania twardości. Parametry cyklu pomiarowego zostały określone z największą dokładnością wymaganą w [2]. Dane z pomiarów zostały przedstawione w [5] i dowodzą, że wgłębniki zastosowane do wykonania pomiarów twardości miały znaczący wpływ na wynik pomiaru. Odchyłki od wartości średniej twardości dla skali HRC w przedziale twardości od 20HRC do 65 HRC w różnych laboratoriach znajdowały się w przedziale -0,51 HRC 0,43 HRC.

Łańcuch pomiarowy ma swój początek na poziomie definicji skali twardości, stanowiącej podstawę do przeprowadzenia porównań międzynarodowych. Należy tu wspomnieć, że nie istnieje jeden, „międzynarodowy wzorzec” realizujący daną skalę twardości. Na stanowisku pomiarowym twardości I rzędu, będącym państwowym wzorcem odniesienia twardości są kalibrowane wzorce twardości I rzędu, wykorzystywane do wzorcowania pośredniego twardościomierzy wzorcowych na poziomie laboratoriów wzorcujących. Bezpośrednie wzorcowanie twardościomierza I rzędu jest przeprowadzone przy użyciu przyrządów o możliwie najwyższej dokładności pomiaru i mających odniesienie do Państwowych wzorców Jednostek Miar. Praca laboratoriów utrzymujących stanowiska pomiarowe twardości jest regulowana wewnętrznymi procedurami, zapewniającymi realizowanie definicji danej skali twardości z możliwie najmniejszą niepewnością. Aktualnie w celu uzyskania wyższej dokładności pomiaru i zmniejszenia różnic pomiarów uzyskanych w różnych laboratoriach (potrzebę taką wykazano podczas w/w pomiarów porównawczych), trwają prace nad wprowadzeniem nowej definicji skali twardości Rockwella.

W laboratorium wzorcującym są kalibrowane wzorce twardości stosowane do kontroli metrologicznej twardościomierzy przemysłowych. Do pośredniego wzorcowania twardościomierzy wzorcowych laboratoria wzorcujące stosują wzorce twardości I rzędu. Wymagania, jakie powinny spełniać twardościomierze kalibracyjne oraz wzorce twardości są określone w normach (wymagania odnośnie twardościomierzy kalibracyjnych oraz wzorców Rockwella są podane w PN-EN ISO 6508-3).

Dla zapewnienia stabilności skali twardości niezbędne było wprowadzenie procedury podwójnego wzorcowania twardościomierzy wzorcujących:

- 1) Bezpośrednie wzorcowanie zapewnia, że twardościomierz działa prawidłowo i zgodnie z definicją skali twardości, odnośnie stosownych parametrów,

2) Pośrednie wzorcowanie na wzorcach twardości stanowi ocenę twardościomierza jako całego urządzenia.

4. Obliczanie niepewności pomiaru w pomiarze twardości Rockwella w skali C.

4.1. Ogólna zasada

Na poziomie stanowiska pomiarowego I rzędu niepewność pomiaru jest oszacowana na podstawie pomiaru wielkości fizycznych występujących w definicji twardości podczas wzorcowania bezpośredniego.

Wzorcowanie bezpośrednie i wzorcowanie pośrednie pozwala na uzyskanie różnych składników budżetu niepewności:

- niepewność definicji skali twardości wynikająca z przyjętych tolerancji oraz braku w definicji uwzględnienia wpływu pewnych czynników,
- niepewność wielkości nominalnych występujących w definicji skali twardości uwzględnionych na podstawie wzorcowania bezpośredniego,

Dla składowych budżetu niepewności związanych z niepewnością definicji skali przyjmuje się błędy dopuszczalne graniczne jako zakresy zmienności i na ich podstawie szacowana jest niepewność typu B (przyjęta deklaracja zgodności z wymaganiami) lub błędy rzeczywiste, jakkolwiek w tym przypadku należy pamiętać, że zostały one wyznaczone w chwili wzorcowania.

Dla składowych niepewności związanych z bezpośrednim pomiarem jest możliwe podanie niepewności na podstawie zadeklarowanej w świadectwie wzorcowania przyrządu stosowanego do wzorcowania bezpośredniego.

Dla składowych związanych ze wzorcowaniem pośrednim na wzorcach twardości, przyjmuje się niepewność typu A.

4.2. Niepewność związana z realizacją definicji twardości (skala C)

Szacowanie niepewności realizacji definicji skali twardości Rockwella jest w rzeczywistości szacowaniem niepewności związanej z wzorcowaniem bezpośrednim stanowiska pomiarowego I rzędu i przyjęciu błędów granicznych dopuszczalnych podanych w ISO 6508-3. Należy zauważyć, że mamy tu do czynienia z szacowaniem niepewności typu B.

Teoretycznie twardość Rockwella można zapisać jako funkcję niezależnych wielkości:

$$H = f(F_0, F, r, \alpha, t_0, t, v, h) \quad (1)$$

F_0 – siła wstępna

F – siła całkowita

r – promień wgłębnika

α – kąt wgłębnika

t_0 – czas utrzymywania obciążenia wstępnego

t – czas utrzymywania obciążenia całkowitego

v – prędkość zagłębiania

h – głębokość odcisku

Lub bardziej precyzyjnie jako równanie (2), gdzie x_i są zmiennymi niezależnymi zgodnie z równaniem (4).

$$H = 100 - \frac{h}{2} + \sum \frac{\partial H}{\partial x_i} \Delta x_i \quad (2)$$

Współczynniki wrażliwości jako pochodne cząstkowe opisują jak estymata wielkości wyjściowej H zmienia się wraz ze zmianami

wartości estymat wartości wejściowych x_i . Można to zapisać w następujący sposób:

$$u^2(H) \approx \sum_{i=1}^n u_i^2(H) = \sum_{i=1}^n c_i^2 u^2(x_i) \quad (3)$$

W praktyce, pochodne cząstkowe $\frac{\partial H}{\partial x_i}$ mogą być przybliżone przez przyrosty odpowiednich wielkości, co można zapisać:

$$u_{CR}^2(H) = c_1^2 u^2(F_0) + c_2^2 u^2(F) + c_3^2 u^2(r) + c_4^2 u^2(\alpha) + c_5^2 u^2(t_0) + c_6^2 u^2(t) + c_7^2 u^2(v) + c_8^2 u^2(h) \quad (4)$$

$u_{CR}(H)$ – złożona niepewność standardowa definicji odtworzenia skali twardości Rockwella

$$c_1 = \frac{\Delta H}{\Delta F_0}, \quad c_2 = \frac{\Delta H}{\Delta F}, \quad c_3 = \frac{\Delta H}{\Delta r}, \quad c_4 = \frac{\Delta H}{\Delta \alpha}, \\ c_5 = \frac{\Delta H}{\Delta t_0}, \quad c_6 = \frac{\Delta H}{\Delta t}, \quad c_7 = \frac{\Delta H}{\Delta v}, \quad c_8 = \frac{\Delta H}{\Delta h} \quad (5)$$

$c_1 \div c_8$ – współczynniki wrażliwości są związane z estymatą wielkości wejściowej x_i i opisują zmianę estymaty wielkości wyjściowej tj. twardości H na skutek zmiany estymaty wielkości wejściowej x_i . Ponieważ, nie została określona matematyczna zależność pomiędzy x_i i H , współczynniki wrażliwości zostały wyznaczone eksperymentalnie dla różnych poziomów twardości poprzez pomiar zmiany H wywołanej przez zmianę pojedynczej wielkości X_i , podczas gdy pozostałe wielkości pozostają niezmiennione.

Eksperymentalne wyznaczenie współczynników wrażliwości jest zazwyczaj czasochłonne i dlatego korzystnym jest stosowanie współczynników podanych w literaturze [1] i [3]. Należy jednak zachować ostrożność, pamiętając, że współczynniki te są zależne od charakterystyk badanych materiałów. W takich przypadkach jest niezbędne przeprowadzenie badań dla stosowanego materiału.

Niepewności standardowe wielkości wejściowych dla stanowisk wzorcowych $u(x_i)$ są wyznaczone na podstawie przyjętych dopuszczalnych błędów granicznych i prostokątnego rozkładu prawdopodobieństwa.

Np. niepewność standardowa związana z błędem obciążenia odpowiednio wstępnego i całkowitego;

$$u(F_0) = \frac{\Delta F_0}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

$$u(F) = \frac{\Delta F}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

Wyznaczone w taki sposób niepewności standardowe wielkości wejściowych pozwolą zgodnie z [4] na obliczenie standardowej niepewności złożonej stanowiska pomiarowego, realizującego definicję skali C twardości Rockwella, która występuje w równaniu niepewności wyznaczenia twardości wzorca na stanowisku pomiarowym I rzędu, stosowanego podczas wzorcowania pośredniego stanowiska kalibracyjnego.

$$u_{CRM} = \sqrt{u_{CR}^2 + u_{x CRM}^2} \quad (8)$$

4.3. Niepewność stanowiska kalibracyjnego wyznaczona podczas wzorcowania pośredniego

Złożona niepewność standardowa $u_{\text{CRM}-1}$ stanowiska kalibracyjnego wyraża się następującą zależnością:

$$u_{\text{CRM}-1} = \sqrt{u_{\text{CR}}^2 + u_{x_{\text{CRM}}}^2 + u_{x_{\text{CRM}-2}}^2 + u_{\text{ms}}^2} \quad (9)$$

gdzie:

$u_{\text{CRM}-1}$ – złożona niepewność standardowa pomiaru na stanowisku kalibracyjnym,

u_{CR} – niepewność standardowa wynikająca z definicji pomiaru na stanowisku pomiarowym twardości I rzędu zgodnie z (5) lub na podstawie informacji zamieszczonej w świadectwie wzorcowania zgodnie z (9),

$u_{x_{\text{CRM}}}$ – niepewność standardowa wynikająca z niejednorodności twardości wzorca związana ze stanowiskiem pomiarowym twardości I rzędu,

$u_{x_{\text{CRM}-2}}$ – niepewność standardowa wynikająca z niejednorodności twardości wzorca związana z twardościomierzem kalibracyjnym,

u_{ms} – niepewność standardowa związana z błędem wskazań twardościomierza kalibracyjnego.

$$u_{\text{CR}} = \frac{U_{\text{CR}}}{k} \quad (10)$$

gdzie:

U_{CR} – niepewność rozszerzona, podana w świadectwie wzorcowania stanowiska pomiarowego I rzędu

k – współczynnik rozszerzenia

Niepewność wynikająca z niejednorodności twardości wzorca jest obliczana na podstawie pomiaru na stanowisku pomiarowym I rzędu (niepewność typu A) w następujący sposób:

$$u_{x_{\text{CRM}}} = tS_{x_{\text{CRM}}} \quad (11)$$

gdzie t – współczynnik Studenta dla $n < 10$ pomiarów i

$$S_{x_{\text{CRM}}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \times \sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2} \quad (12)$$

\bar{H} – wartość średnia twardości z n pomiarów

Niepewność wynikająca z niejednorodności twardości wzorca jest obliczana na podstawie pomiaru twardościomierzem kalibracyjnym (niepewność typu A) w sposób analogiczny jak w (10) i (11).

Niepewność standardowa związana z błędem wskazań twardościomierza kalibracyjnego zależy od wartości działki elementarnej twardościomierza (zgodnie z wymaganiami [2]) $ms = 0,1 \text{ HR}$ i przy założeniu rozkładu prostokątnego wynosi:

$$u_{\text{ms}} = \frac{0,05\text{HRC}}{\sqrt{3}} \quad (13)$$

Niepewność pomiaru twardości wzorca na stanowisku kalibracyjnym analogicznie do (8) można zapisać jako:

$$u_{\text{CRM}-2} = \sqrt{u_{\text{CRM}-1}^2 + u_{x_{\text{CRM}-2}}^2} \quad (14)$$

4.4. Obliczenie niepewności podczas wzorcowania pośredniego twardościomierzy przemysłowych

Złożona niepewność standardowa pomiaru podczas wzorcowania pośredniego określona jest równaniem:

$$u_{\text{HTM}} = \sqrt{u_{\text{CRM}-2}^2 + u_{\text{H}}^2 + u_{\text{CRM}-\text{D}}^2 + u_{\text{ms}}^2} \quad (15)$$

u_{HTM} – złożona niepewność standardowa pomiaru twardości Rockwella twardościomierza

$u_{\text{CRM}-2}$ – niepewność standardowa pomiaru twardości wzorca

u_{H} – niepewność standardowa pomiaru twardości Rockwella jest wyznaczana na podstawie wyników pomiaru twardości wzorca (niepewność typu A) analogicznie do (11)

$u_{\text{CTM}-\text{D}}$ – niepewność standardowa związana ze zmianą twardości wzorca od ostatniego wzorcowania, ze względu na wymagania dotyczące materiału, z którego jest wykonany wzorec i jego obróbka przyjmuje się $u_{\text{CTM}-\text{D}} = 0 \text{ HRC}$

u_{ms} – niepewność standardowa związana rozdzielczością urządzenia pomiarowego

Na każdym z poziomów wzorcowania twardościomierzy w równaniu niepewności pomiaru twardościomierza występuje wyrażenie związane z niepewnością pomiaru twardości wzorca, wyznaczoną na poziomie bezpośrednio wyższym. Niepewność pomiaru twardości próbki u przy użyciu twardościomierza przemysłowego można zapisać równaniem uwzględniającym niepewności pomiaru twardości na poszczególnych poziomach.

$$u = \sqrt{u_{\text{HTM}}^2 + u_{\bar{x}}^2} \quad (16)$$

Gdzie $u_{\bar{x}}$ jest niepewnością standardową próbki, obliczoną analogicznie do (11) i uwzględniając (12).

Powyżej przedstawiono sposób przekazania definicji skali twardości Rockwella HRC do poziomu twardościomierza użytkowego oraz określenia niepewności pomiaru na tym poziomie. Począwszy od Państwowych Wzorców Jednostki Miary (masa, długość, kąt, czas), poprzez wzorec odniesienia twardości Rockwella GUM (stanowisko pomiarowe I rzędu) przekazywane są legalne jednostki miar do wzorców niższych rzędów, będących w dyspozycji terenowych urzędów miar, laboratoriów akredytowanych i laboratoriów przemysłowych oraz do użytkowych przyrządów pomiarowych.

5. Literatura

- [1] EA 10-16, Guidelines on the Estimation of Uncertainty in Hardness Measurements, 2001
- [2] PN-EN ISO 6508 Metale-Pomiar twardości sposobem Rockwella (skale A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)
 - Część 1: Metoda badań
 - Część 2: Sprawdzanie i wzorcowanie twardościomierzy
 - Część 3: Kalibracja wzorców twardości
- [3] Gabauer W., Manual of Codes of Practice of the Determination of Uncertainties in Mechanical Tests on Metallic Materials, The Estimation of Uncertainties in Hardness Measurements, Project, No. SMT4-CT97-2165, UNCERT COP 14: 2000
- [5] POLZIN T., SCHWENK D., Estimation of Uncertainty of Hardness Testing; PC file for the determination, Materialprüfung, 3, 2002 (44), pp. 64-71
- [5] POLZIN T., SCHWENK D., World-Wide Unified Scales for the Rockwell Test with Conical Indenters – Possibilities to achieve a World Wide Scale, VDI-Berichte, 2002 (1685), pp. 493-498