START

Podaj pisemne odpowiedzi na poniższe pytania:

1. Na czym polega pomiar twardości metodami statycznymi?
2. Scharakteryzuj pomiar twardości metodą Brinella
3. Co to jest mikrotwardość?
4. Jakie średnice kulek używa się przy metodzie Brinella?
5. Scharakteryzuj pomiar twardości metodą Vickersa.
6. Kiedy stosujemy metodę Vickersa.
7. Scharakteryzuj pomiar twardości metodą Knoopa.
8. Scharakteryzuj pomiar twardości metodą Rockvella.
9. Jakich wgłębników używa się w metodzie Rockvella.
10. Do jakich materiałów stosuje się metodę Rockvella.
11. Podaj co oznaczają symbole: HRA, HRB, HRC, HRF.
12. Opisz procedurę pomiaru metodę Rockvella.
13. Narysuj kształty wgłębników dla każdej metody pozostawione w materiale badanym.

CZY NAPISAŁEŚ ODPOWIEDZI NA PYTANIA

TAK	**NIE**

Napisz odpowiedzi na pytania korzystając z Internetu, podręczników i poradników

Przystąp do wykonywania ćwiczenia.

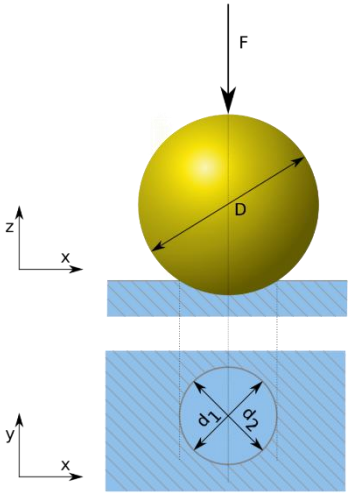
- dokonaj pomiaru twardości metodą Rockvella (trzy pomiary),
- oblicz średnią twardość Rockvella,
- oblicz odchylenie standardowe,
- zapisz wynik pomiaru wraz z poprawką,
- na podstawie tablic porównawczych przedstaw obliczone twardości w poszczególnych metodach,
- napisz wnioski,
- zgłoś prowadzącemu o zakończeniu ćwiczenia

Zgłoś prowadzącemu o zakończeniu ćwiczenia

- uprzątnij stanowisko pracy
- oddaj: instrukcje, tabele, podręczniki i poradniki
- oddaj sprawozdanie z ćwiczenia.

Twardość definiuje się jako opór materiału na trwałe wnikanie innego ciała stałego, w przypadku metod pomiaru twardości. W praktyce oznacza to, jaką odporność będzie wykazywał materiał na zarysowanie, wgniecenia czy inne formy plastycznej deformacji oraz zużycie. Mikrotwardość z kolei odnosi się do pomiarów na bardzo małych obszarach, co pozwala na badanie heterogenicznych metali lub cienkich warstw powierzchniowych. W badaniach naukowych stosuje się dwie inne skale, zarejestrowane w twardościach Knoopa (KHN) i wskaźnik twardości Vickersa(VHN). W metodzie Vickersa stosowany jest wgłębnik wykonany z diamentowego foremnego ostrosłupa czworokątnego o ścianach pod kątem 136 stopni. W metodzie Knoopa krawędzie diamentowego wgłębnika nachylone są pod kątami 172,5 i 130 stopni. Pomiary mikrotwardości dokonywane są przy małych i bardzo małych obciążeniach, z tego względu przy ich pomocy można dokonywać pomiarów twardości elementów bardzo małych lub o niewielkiej grubości, jak np. ostrzy żyletki do golenia, osi zegarków naręcznych, cienkich drutów, taśm o grubości kilku setnych milimetra, warstw bardzo płytko nawęglanych, azotowanych i chromowanych, twardości poszczególnych składników strukturalnych stopów (np.: perlit, ferryt), rozkładu twardości w spoinach, twardości materiałów ściernych itp.

Pomiar twardości metodą Brinella został opracowany przez szwedzkiego inżyniera Johana Augusta Brinella w 1990 roku. Twardość w skali Brinella określa się w jednostkach HB w skali zawierającej się od 3 do 600 HB. Kulkę stalową można używać do próbek o twardości do 450 HB. Powyżej twardości 350 HB wyniki pomiaru kulką stalową i wykonaną z węglików różnią się istotnie, dlatego rodzaj kulki należy oznaczać dodając w oznaczeniu literę **S** (**HBS**) dla stali i **W** dla węglików (**HBW**). Średnica kulki (1, 2,5, 5 i 10 mm), czas obciążenia (od 10 s dla stali do 60 s miękkich stopów) oraz siła docisku (1-3000 kG), zależy od rodzaju materiału i grubości próbki. Procedurę dokonywania pomiarów twardości metodą Brinella opisuje Polska Norma **PN-EN ISO 6506**.



Twardość wg. skali Brinella oblicza się wg. wzoru:

$$HB = 0{,}102\frac{2F}{\pi D(D-\sqrt{D^2-d^2}}$$

gdzie: F – siła obciążająca [N]
D – średnica kulki [mm]
d – średnica odcisku [mm]

Najistotniejszym parametrem przy pomiarze twardości Brinella jest odpowiedni dobór siły docisku wgłębnika. Należy ją dobrać w ten sposób, aby średnica odcisku zawierała się w przedziale $0{,}24D \leq d \leq 0{,}6D$. Siła ta musi być proporcjonalna do kwadratu wymiaru kulki i określa ją tak zwany współczynnik porównywalności K, zwany również wskaźnikiem siła – średnica.

$$\frac{F_1}{d_1} = \frac{F_2}{d_2} = K$$

Dodatkowym atutem tej metody jest możliwość przybliżonego określenia wytrzymałości materiałów R_m, która jest wprost proporcjonalna do wartości twardości HB pomnożona przez współczynnik proporcjonalności k:

$$R_m = k \cdot HB$$

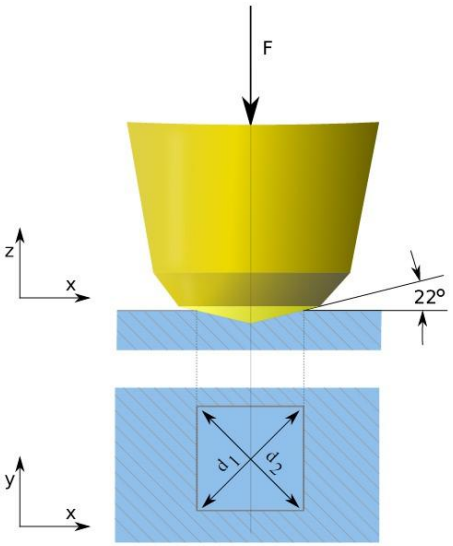
Wartości współczynnika proporcjonalności k dla wybranych gatunków materiałów podaje tabela:

Materiał	**Współczynnik proporcjonalności k**
Stal ($125 \leq HB \leq 175$)	3,33
Stal ($HB > 175$)	3,53
Odlewnicze stopy aluminium	2,55
Brąz i mosiądz wyżarzony	5,39
Brąz i mosiądz walcowany	3,92
Żeliwo szare	(HB – 40)/6

Wady metody Brinella:

- niemożność stosowania go do pomiaru twardości wyrobów twardych, drobnych oraz cienkich warstw utwardzonych i powierzchni niepłaskich,
- kłopotliwy pomiar twardości (mikroskop do pomiaru średnicy odcisku),
- zależność wyniku pomiaru twardości od zastosowanego obciążenia na kulkę,
- znaczne uszkodzenie powierzchni z uwagi na duży rozmiar odcisku.

Pomiar twardości metodą Vickersa została opracowana przez R. L. Smitha i G. E. Sandlanda. Nazwa tej skali i metody sprawdzania twardości pochodzi jednak od firmy Vickers Armstrong, która jako pierwsza zaczęła produkować twardościomierze wykorzystujące tą metodę. Twardość wg. Vickersa oznacza się w jednostkach HV, w skali od 80 HV do 940 HV. Metoda Vickersa do pomiaru twardości stosuje wgłębnik w postaci ostrosłupa diamentowego o podstawie kwadratowej i kącie 136˚ między przeciwległymi ścianami. Nacisk zależy od rodzaju badanego materiału, jednak zawarty jest w zakresie od 9,8 do 981 N (od 1 do 100 kg). W tej metodzie twardość to stosunek obciążenia F do powierzchni S pobocznicy odcisku wgłębnika. Pomiar dokonywany jest na podstawie długości przekątnych powstałego odcisku, do dalszych obliczeń przyjmuje się średnią wartość.



Wzór Vickersa na twardość materiału

$$HV = \frac{F}{S} \approx \frac{0{,}1891F \cdot \sin(136°/2)}{d^2}$$

gdzie:

F – siła [N]

S – pole powierzchni odcisku [mm^2]

d – przekątna otrzymanego odcisku [mm]

W metodzie tej stosuje się jedną skalę dla całego zakresu twardości. Zasady pomiaru twardości metodą Vickersa określa norma PN-EN ISO 6507-1:2018-05.

Obciążenia używane przy próbie Vickersa są znormalizowane i wynoszą: 1, 5, 10, 20, 30, 50 i 100 kG lub odpowiednie obciążenie w N.

W zależności od wartości zastosowanego obciążenia rozróżnia się trzy zakresy skali Vickersa:

- ✓ Próba mikrotwardości Vickersa – dla obciążeń 0,09807 N ≤ F ≤ 0,9807 N (0.01kG - 0.1kG). Oznaczenie HV 0.01 – HV 0.1
- ✓ Próba twardości Vickersa przy małej sile obciążenia – 1,961 N ≤ F ≤ 29,42 N (0.2kG - 3kG). Oznaczenie HV 0.2 – HV 3
- ✓ Próba twardości Vickersa – 49,03 N ≤ F ≤ 980,7 N (5kG - 100kG). Oznaczenie HV5 – HV100.

Pomiary twardości często traktowane jako nieniszcząca metoda oceny stanu materiału, umożliwiają oszacowanie nie tylko mikrostruktury, ale także granicy wytrzymałości i plastyczności materiału, zgodnie z poniższymi wzorami.

$$R_m = 3{,}404 \cdot HB$$
$$R_e = 2{,}305 \cdot HB$$

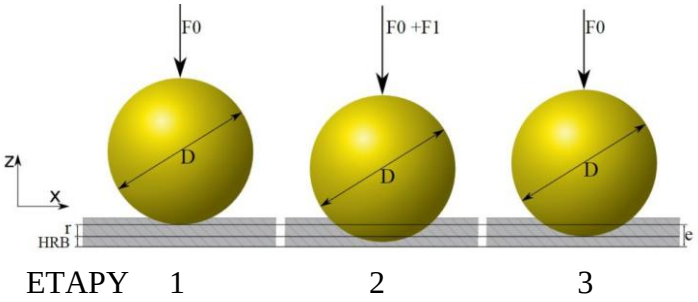
Zalety metody Vickersa:

- duża porównywalność tej metody z metodą Brinella (aż do 300 jednostek twardości HB są ze sobą zgodne; powyżej stosuje się zależność HB = 0,95 HV),
- możliwość uzależnienia twardości HV od wytrzymałości na rozciąganie R_m,
- możliwość stosowania tej metody zarówno do materiałów miękkich, jak i bardzo twardych,
- małe głębokości odcisków,
- duża dokładność odczytu przekątnych,

Wady metody Vickersa:

- skomplikowana konstrukcja twardościomierza wymagającego bardzo fachowej obsługi,
- mała wydajność pomiaru,
- niemożność pomiaru niektórych niejednorodnych, np. żeliwa,
- dość znaczny wpływ chropowatości na wynik pomiaru,

Pomiar twardości metodą Rockwella została opatentowana przez Hugh M. Rockwella i Stanley'a P. Rockwella w 1914 roku. Używana jest ona do pomiarów twardości i wytrzymałości metali oraz tworzyw polimerowych. Pomiar twardości metodą Rockwella polega na pomiarze głębokości wcisku dokonanego wzorcowym stożkiem diamentowym o kącie wierzchołkowym 120° i promieniu zaokrąglenia 0,2 mm dla skali **C**, **A** i **N** albo stalowej, hartowanej kulki o średnicy 1,5875 mm (1/16") w metodach **B, F i T** przy użyciu odpowiedniego nacisku. Metoda ta jest szybka i łatwa w użyciu, gdyż przyrząd jest wyposażony w czujnik wyskalowany bezpośrednio w jednostkach twardości. Próba Rockwella pozostawia na badanym przedmiocie tylko słabo widoczną skazę, dlatego może być używana do kontroli gotowych wyrobów. Twardość w skali Rockwella oznacza się **HR**.

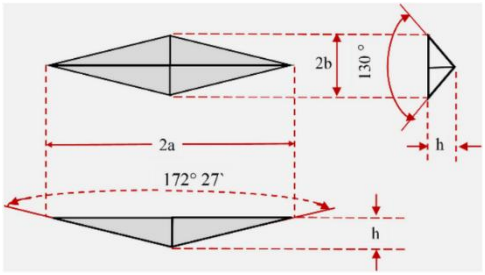


Etap 1 – obciążenie wstępne F_o, ustawienie czujnika.
Etap 2 – obciążenie robocze $F_o + F_1$, przy którym powstaje trwałe odkształcenie.
Etap 3 – odciążenie do obciążenia wstępnego F_o, odczyt twardości ze skali czujnika w jednostkach HRB.
Siłę badawczą należy dobrać tak, aby średnia średnica odcisku d mieściła się w przedziale od 0,24 D do 0,6 D.

Skala twardości	Wgłębnik	Siła F_0 [N]	Siła F_1 [N]	Zastosowanie
HRA	Stożek diamentowy	98,07	490,3	Stale węglowe, stopowe, stale zahartowane i ulepszone cieplnie, węgliki spiekane
HRB	Kulka 1,5875 mm	98,07	882,6	Stale węglowe, stopowe, w stanie normalizowanym i zmiękczonym, stopy aluminium, stopy miedzi, metale nieżelazne o twardości w zakresie 30-100 HRB
HRC	Stożek diamentowy	98,07	1,373	Materiały o twardości powyżej 100 HRB – stale węglowe, stopowe, nawęglane, hartowane, odlewy żeliwne
HRD	Stożek diamentowy	98,07	882,6	Stal nawęglana, tytan, żeliwo ciągliwe
HRE	Kulka 3,175 mm	98,07	882,6	Aluminium, żeliwo ciągliwe, stopy magnezu
HRF	Kulka 1,5875 mm	98,07	490,3	Cienki blachy o twardości w przedziale 60-100 HRF
HRG	Kulka 1,5875 mm	98,07	1,373	Stopy miedziowo-niklowe, żeliwa ciągliwe

Każda skala twardości Rockwella posiada oznaczenie HR uzupełnione dodatkową literą lub literami wskazującymi na zastosowany wgłębnik oraz obciążenie wstępne i całkowite. Twardość stali wykonuje się najczęściej metodami HRC, HRA i HRB. Pomiar twardości stali metodą Rockwella wykonywany jest wg normy PN-EN ISO 6508-1.

Pomiar twardości metodą Knoopa – jedna ze statycznych metod pomiaru twardości materiałów, opracowana przez Narodowe Biuro Standaryzacji (USA) w 1939 r. Jest bardzo podobna do metody Vickersa, różnica leży w geometrii wgłębnika - romboedrycznej piramidy diamentowej. Efektem jest odcisk o stosunku długości przekątnych 7:1. Zastosowanie nieco niższych nacisków jednostkowych niż w metodzie Vickersa umożliwiło zastosowanie metody Knoopa do pomiaru twardości cienkich warstw oraz materiałów kruchych, takich jak szkło czy ceramika. Wartość twardości wyznaczana jest według wzoru:



$$HK = 14{,}228 \cdot \frac{0{,}102 \cdot F}{d^2}$$

gdzie:
HK – twardość Knoopa;
F – obciążenie wgłębnika;
d – długość dłuższej przekątnej odcisku;

Zalety metody Knoopa

- Mała głębokość odcisku ok. 1 / 30 większej przekątnej rombu (mniejsza niż u Vickersa, ok. 1/7 przekątnej kwadratu);
- Małe błędy pomiaru w porównaniu z metodą Vickersa (zwiększają się przy najmniejszych obciążeniach mniejszych od 0,025 kG np: przy 0,001: 0,015 kG itp.)
- Możność badania materiałów bardzo twardych i kruchych, jak np.: szkło, emalia, które przy innych pomiarach pękają.

Procedura pomiar twardości metodą Rockwella *twardościomierzem typ HR – 150A*

1 Wyczyścić górną powierzchnię śruby (26) oraz górną i dolną powierzchnię wybranego stołu, umieścić stół na śrubie (26).

2 Wyczyścić powierzchnię stykową próbki i umieścić ją na stole, przekręcić kółko ręczne (27), aby podnosić powoli stół, dociskając wgłębnik w górę do chwili aż mała wskazówka pokryje się z czerwonym znakiem a duża wskazówka wykona trzy obroty i zatrzyma się wskazując pionowo w górę. (Dopuszczalny jest błąd wynoszący 5 działek, jeżeli błąd przekracza 5 działek, punkt ten należy unieważnić i wykonać próbę ponownie).

3 Przekręcić zewnętrzną część wskaźnika (24) aby długa wyżłobiona linia pomiędzy C a B pokryta się z dużą wskazówką. (Można przekręcać w kierunku zegarowym lub przeciwnym do zegarowego).

4 Pociągnąć do siebie dźwignię (15), aby przyłożyć główną siłę obciążającą, jednocześnie duża wskazówka wskaźnika obraca się w kierunku przeciwnym do zegarowego.

5 Kiedy wskazówka wskaźnika zatrzyma się wyraźnie, pchnąć dźwignię zwalniającą (16), aby zwolnić główną siłę obciążającą. Należy pamiętać, że przykładanie i zwalnianie głównej sity obciążającej powinno odbywać się powoli.

6 Odpowiednie odczyty na wskaźniku. W czasie wykonywania próby z użyciem wgłębnika diamentowego, należy odczytywać czarne cyfry na zewnątrz, a w przypadku używania wgłębnika w postaci kulki stalowej należy odczytywać czerwone cyfry po wewnętrznej stronie.

7 Przekręcić kółko ręczne, aby opuścić próbkę w dół i usunąć ją ze stołu. Rozpocząć nową próbę zgodnie z procedurami opisanymi w punktach 2) do 6) wyżej.

8 Osłona ochronna śruby (30) chroni śrubę (26) wtargnięciem pyłu. W czasie, gdy twardościomierz nie jest używany lub, gdy próbka ma wysokość do 80mm, śruba powinna być zabezpieczona osłoną ochronną, Jeżeli wysokość próbki jest większa niż 80 mm, osłonę ochronną należy zdemontować, aby zapobiec jej opieraniu się o stół przyrządu i unieważnieniu wyniku próby.

GŁÓWNE DANE TWARDOŚCIOMIERZA TYP HR – 150A

1.	Wstępna siła nacisku	98,07 N (10 kG)
2.	Całkowita siła nacisku	588,4 N (60 kG), 980 N (100 kG), 1471 N (150 kG)
3.	Podziałka wskaźnika	C: 0 – 100, B: 30 – 130
4.	Maks. wysokość próbki	80 mm (z osłoną ochronną śruby) 170 mm (bez osłony ochronnej śruby)
5.	Wysięg	135 mm
6.	Wymiary gabarytowe DxSxW	466 x 238 x 630 mm
7.	Waga netto	65 kg

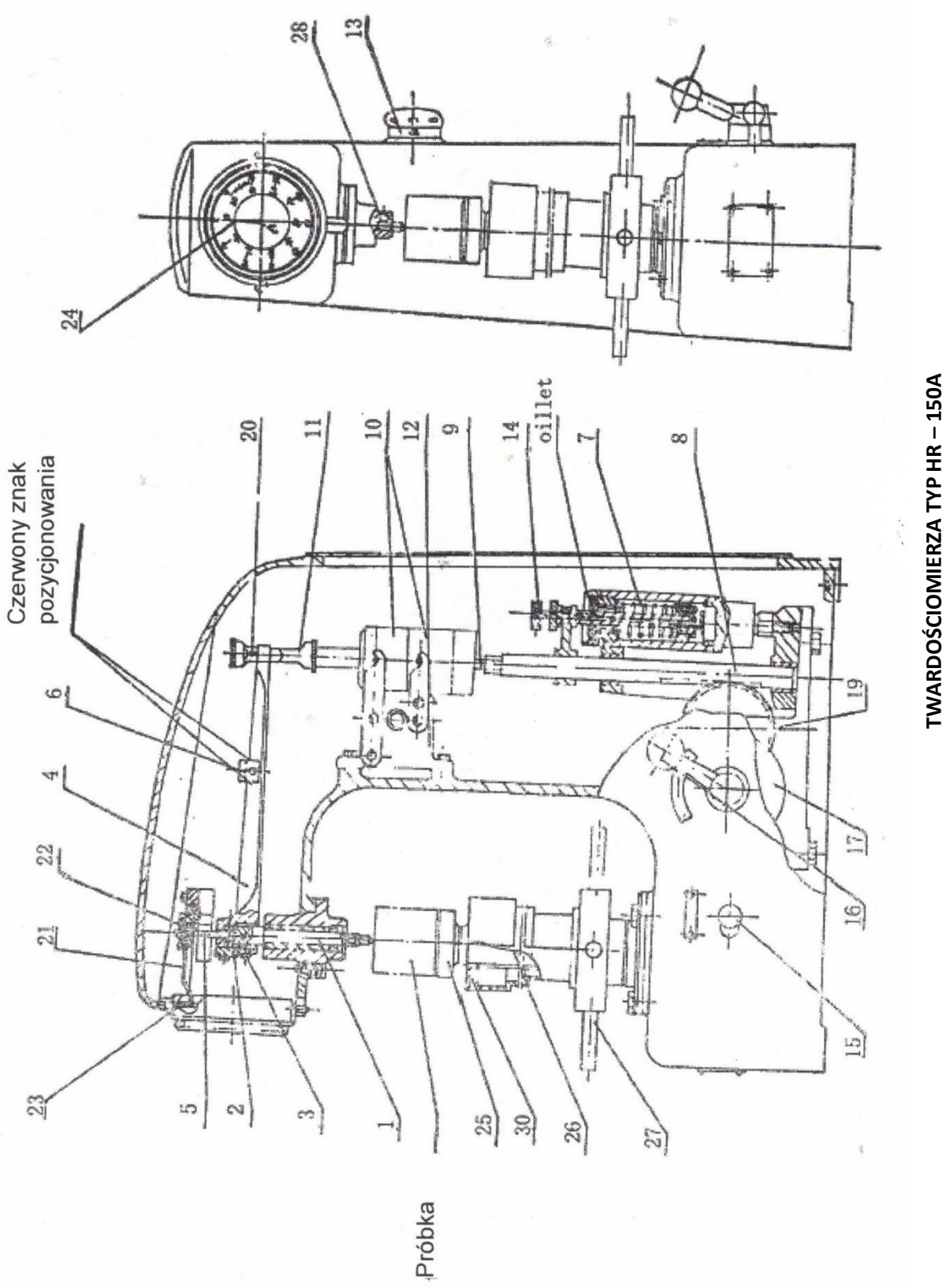
ZAKRES STOSOWANIA TWARDOŚCIOMIERZA TYP HR – 150A

Skala	Wgłębnik	Nacisk całkowity N (kG)	Symbole	Zakres pomiaru
B	Ø 1.588 mm kulka stalowa	980,7 (100)	HRB	20-100
C	120° diamentowy	1471 (150)	HRC	20-70
A	120° diamentowy	588,4 (60)	HRA	20-88

Skala A. Używana do pomiarów metali, których twardość jest wyższa niż HRC 70 (takich jak węglik wolframu, itp.), a także do pomiarów innych twardych materiałów oraz materiałów hartowanych powierzchniowo.

Skala C. Używana do pomiarów twardości części stalowych obrabianych cieplnie.

Skala B. Używana do pomiarów miękkich i średnio twardych metali oraz niehartowanych części stalowych.



TWARDOŚCIOMIERZA TYP HR – 150A

Odchylenie standardowe

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} |x_i - \ddot{x}|^2}{n}}$$

$gdzie$: $\ddot{x} - wartość\ średnia, x_i - pojedyńczy\ pomiar, n - ilość\ pomiarow$