

## Ćwiczenie 5

### POMIARY TWARDOŚCI

#### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zaznajomienie studentów ze metodami pomiarów twardości metali, zakresem ich stosowania, zasadami i warunkami wykonywania pomiarów oraz praktycznym wykonaniem pomiarów twardości różnych materiałów i części maszyn.

#### 2. Wprowadzenie

Jednym z najczęściej stosowanych sposobów zweryfikowania właściwości mechanicznych i prawidłowości przeprowadzenia obróbki cieplnej metali jest pomiar twardości, który szybko dostarcza informacji o stanie materiału.

*Twardość* – wyraża wielkość oporu stawianego przez materiał podczas odkształcenia plastycznego spowodowanego wciskaniem wgłębnika o określonym kształcie. Twardość jako funkcja wielu czynników zewnętrznych, a w szczególności promieni stykających się powierzchni (wgłębnik-badana próbka) nie jest stałą materiałową. Otrzymane wyniki różnymi metodami pomiaru twardości mogą być porównywane między sobą jedynie na podstawie odpowiednich tablic porównawczych.

Większość metod pomiaru twardości polega na powolnym wciskaniu wgłębnika w materiał pod działaniem stałej lub stopniowo wzrastającej siły o określonej wartości.

Do najbardziej rozpowszechnionych metod należą:

- metoda Brinella,
- metoda Vickersa,
- metoda Rockwella.

Dokładne wytyczne dotyczące warunków wykonywania w/w prób i interpretacji otrzymanych wyników zawarte są w normach PN-EN

### 3. Ogólne zasady wykonywania badań twardości metali

W celu uzyskania wiarygodnych, umożliwiających porównywania wyników pomiarów twardości należy przestrzegać następujących zasad:

- Powierzchnia próbki powinna być płaska i gładka, wolna od warstwy tlenkowej i ciał obcych, zwłaszcza zupełnie wolna od smarów (z wyjątkiem prób przeprowadzanych na pewnych materiałach oddziałujących na węgelnik, takich jak tytan gdzie smary mogą być wymagane).
- Próbki należy przygotować w taki sposób, aby zredukować do minimum ewentualne zmiany twardości warstwy wierzchniej spowodowane np. nagraniem lub umocnieniem przez zgniot.
- Po przeprowadzeniu pomiaru ślad odcisku nie powinien być widoczny na odwrotnej stronie próbki.
- W przypadku pomiaru twardości cienkich blach odbiegających od płaskości należy umieścić próbkę stroną wypukłą od węgelnika aby uniknąć błędu wynikającego z ugięcia próbki.
- Pomiar przeprowadza się w temperaturze otoczenia mieszczącej się w zakresie od 10°C do 35°C.
- Badana próbka powinna być na sztywnej podporze i podparta w taki sposób, aby badana powierzchnia była prostopadła do osi węgelnika i kierunku działania obciążenia. Istotne dla wiarygodności otrzymanych wyników jest, aby próbka nie przemieszczała się w trakcie pomiaru.
- Podczas pomiarów aparatura powinna być zabezpieczona przed wstrząsami i drganiami.
- Odległość między środkami dwóch sąsiadujących odcisków powinna być równa minimum trzem średnicom odcisku, zaś odległość odcisku od krawędzi co najmniej 2,5 razy większa od średnicy odcisku.

#### 4. Metoda BRINELLA – PN-EN ISO 6506-1

W tej metodzie węgłbnik jest w kształcie kulki wykonanej z twardego metalu o średnicy  $D$ . Po wykonaniu odcisku należy wyznaczyć średnicę  $d$  odcisku (mierząc średnice  $d_1$  i  $d_2$  w dwóch prostopadłych kierunkach-rys.1) powstałego na powierzchni po zdjęciu siły obciążającej  $F$ . Twardość Brinella jest proporcjonalna do ilorazu siły obciążającej i pola powierzchni odcisku będącego częścią sfery o promieniu równym  $D/2$ .

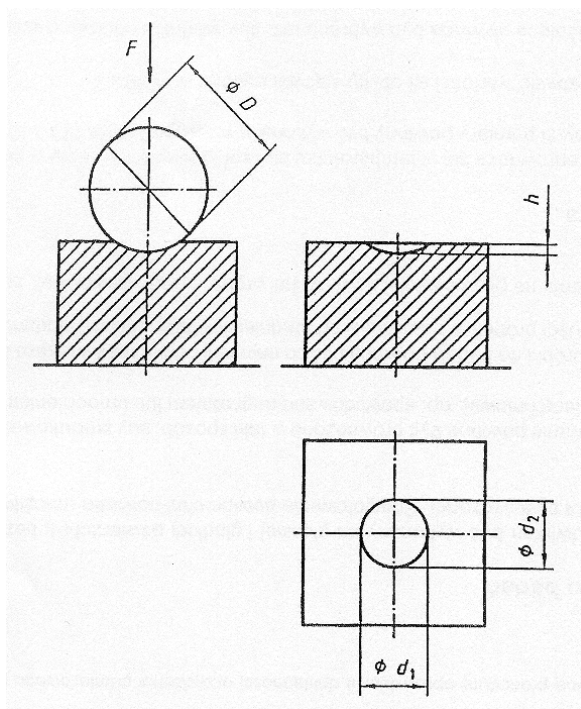
$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Głębokość odcisku można wyznaczyć ze wzoru:

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$$

Zaś twardość Brinella wyliczamy na podstawie wzoru:

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



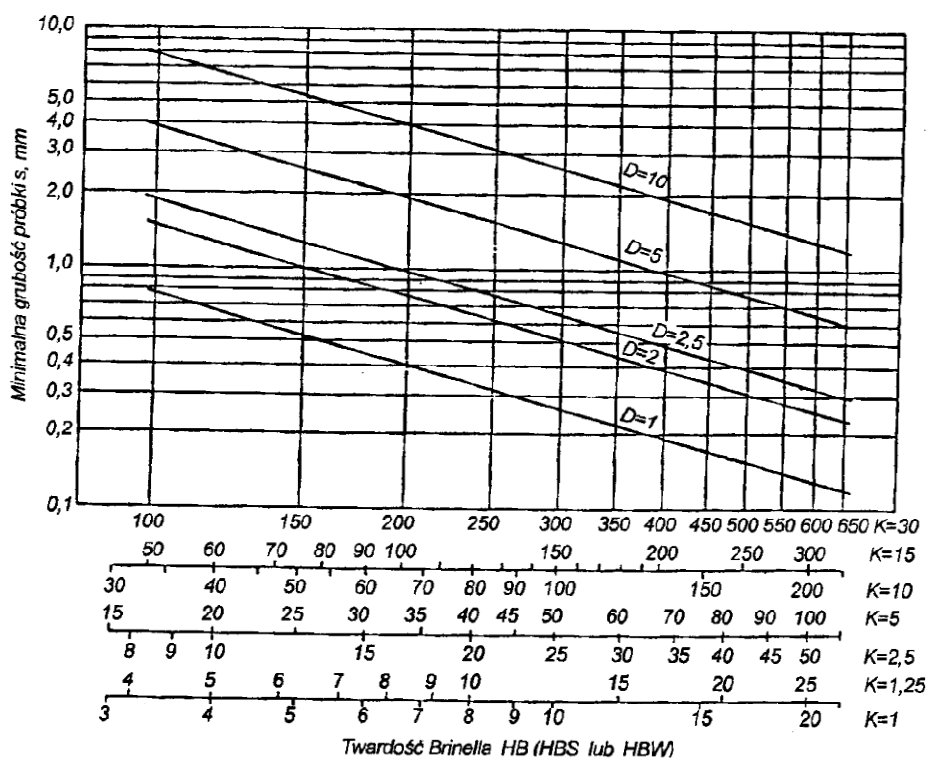
Rys.1. Zasada pomiaru wielkości odcisku.

Podając zmierzone wartości twardości Brinella należy podać oprócz wartości liczbowej twardości średnicę kulki – wgłębnika, wartość siły obciążającej oraz czas działania obciążenia jeśli nie zawiera się w przedziale od 10s do 15s.

Przykłady zapisywania zmierzonej wartości twardości Brinella:

**350 HBW 5/750** – twardość Brinella 350 mierzona za pomocą kulki o średnicy 5mm i sile obciążającej 7,355kN działającej w czasie od 10s do 15s.

**600 HBW 1/30/20** – twardość Brinella 600 mierzona za pomocą kulki o średnicy 1mm i sile obciążającej 294,2kN działającej w czasie od 20s.



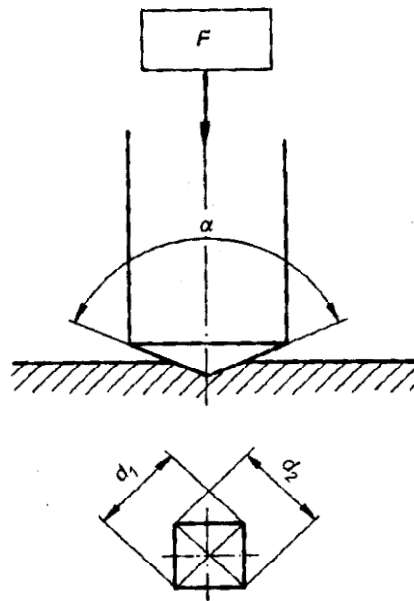
Rys.2. Minimalna grubość próbki w zależności od twardości HB

## 5. Metoda VICKERSA – PN-EN ISO 6507-2

W metodzie Vickersa wgłębnikiem jest diamentowy ostrosłup czworoboczny o kącie wierzchołkowym  $136^{\circ} \pm 0,5$ . W zależności zastosowanego obciążenia wgłębnika wyróżnia się cztery zakresy skali Vickersa:

- nanotwardość – obciążenie do 10g,
- mikrotwardość – obciążenie do 200g,

- twardość pod małymi obciążeniami – obciążenie od 200g do 1000g,
- makrotwardość – obciążenie od 1kg do 120kg.



Rys. 3. Schemat pomiaru twardości metodą Vickersa.

Po obciążeniu mierzy się długość przekątnych  $d_1$  i  $d_2$  (rys.3.) powstałego odcisku w celu obliczenia jego powierzchni. Twardość Vickers wyraża się jako stosunek siły obciążającej  $F$  i pola powierzchni bocznej odcisku  $S$ .

$$HV = \frac{F}{S} 0,102$$

gdzie:  $F$  - siła nacisku na wgłębnik [N],  $S$  – pole powierzchni bocznej odcisku [ $\text{mm}^2$ ]

Powierzchnię boczną odcisku można obliczyć ze wzoru przyjmując przekątną  $d$  jako średnia arytmetyczną zmierzonych przekątnych  $d_1$  i  $d_2$ .

$$S = \frac{d^2}{2 \sin \frac{136^\circ}{2}}$$

Podstawiając otrzymamy:

$$HV = \frac{2F0,102 \sin 60^\circ}{d^2}$$

czyli

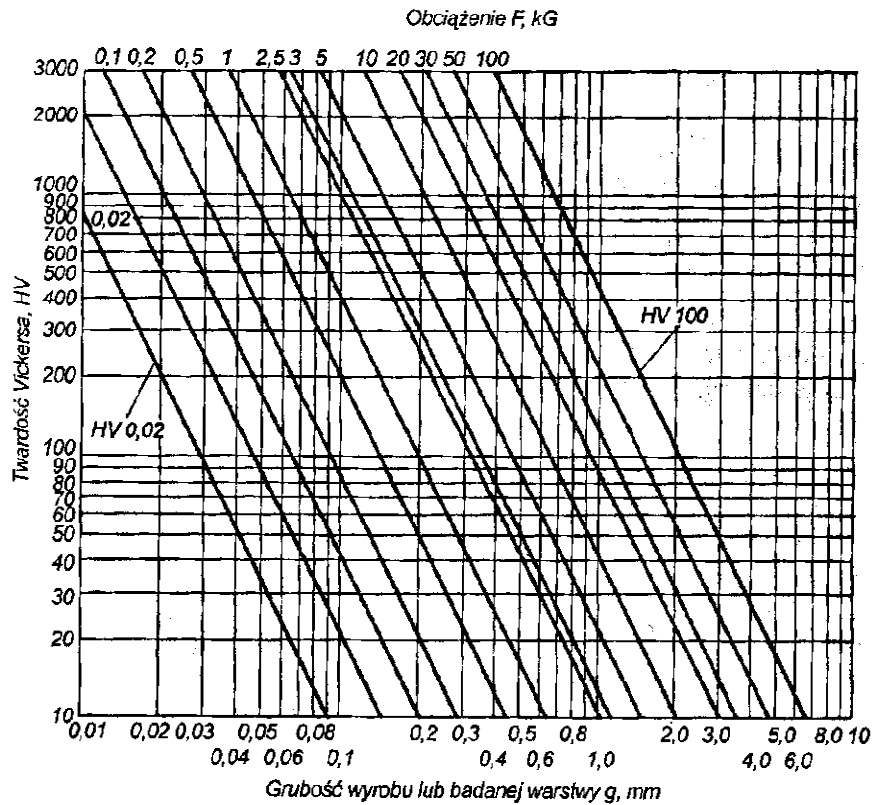
$$HV = 0,18915 \frac{F}{d^2}$$

Mierzona twardość można obliczyć z powyższego wzoru, bądź odczytać z odpowiednich tablic.

Oznaczenie twardości Vickersa HV uzupełnia się liczbami określającymi umownie wielkość siły obciążającej wgłębnik i czas działania obciążenia, jeśli jest inny niż standardowy 10-15s.

**640HV1** – twardość Vickersa 640 zmierzona przy obciążeniu wgłębnika 9,807N przy czasie działania obciążenia 10-15s.

**640HV<sup>30</sup>/20** – twardość Vickersa 640 zmierzona przy obciążeniu wgłębnika 294,2N przy czasie działania obciążenia 20s.



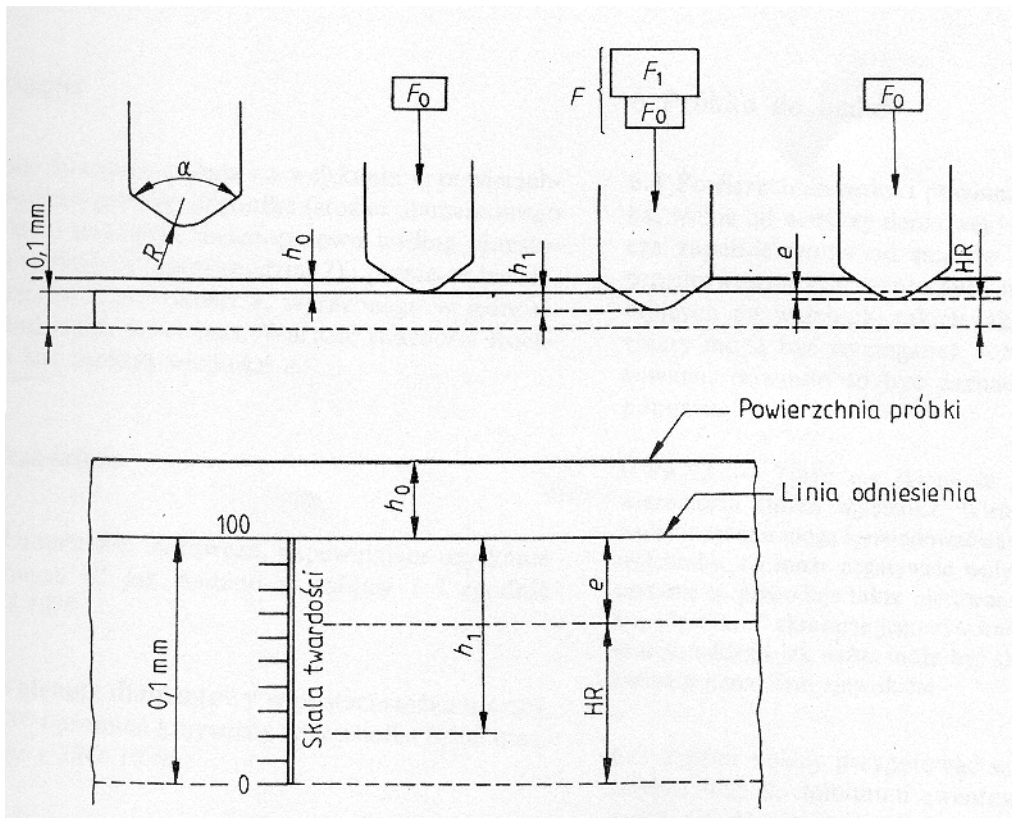
Rys.4. Najmniejsza dopuszczalna grubość próbki lub badanej warstwy, na której można wykonywać pomiar, w zależności od twardości HV i wielkości siły F obciążającej wgłębnik.

## 6. Metoda ROCKWELLA – PN-EN ISO 6508-1

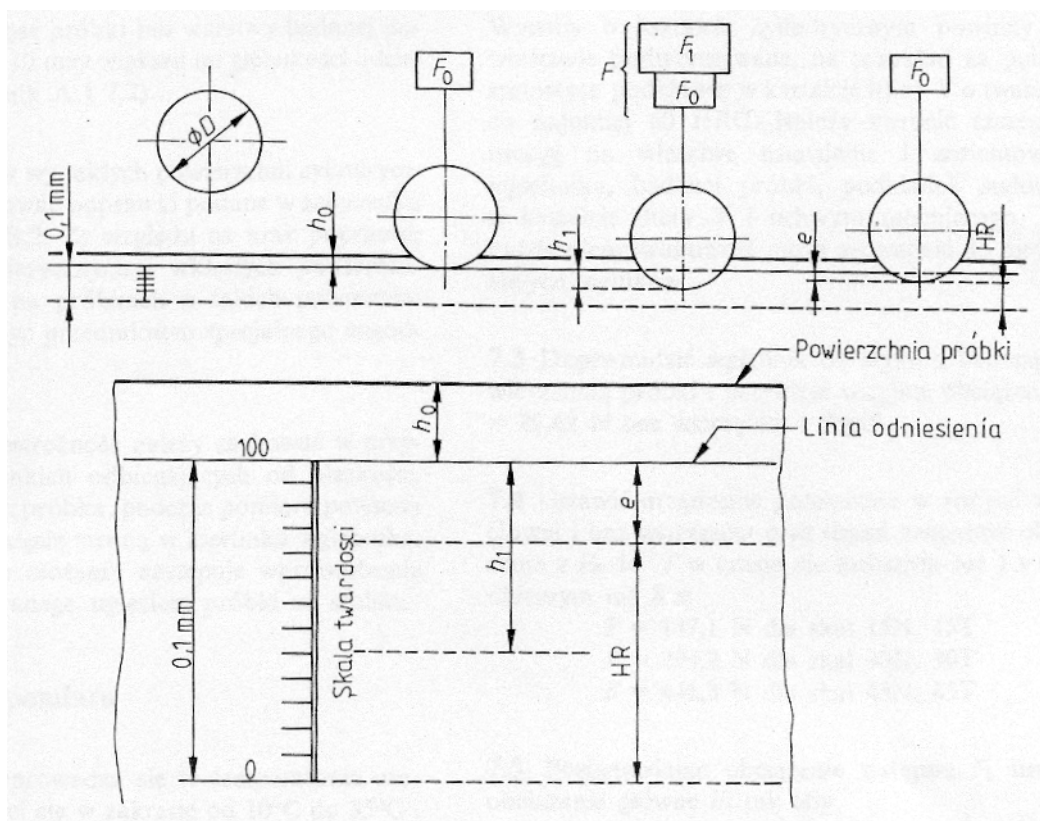
Próba twardości Rockwella polega na dwustopniowym wciskaniu w powierzchnię badanej próbki stożka diamentowego o kącie 120° lub kulki stalowej ulepszonej cieplnie o twardości nie mniejszej niż 850HB10 o średnicy 1/16 cala (około 1,588mm) lub 2/16 cala (około 3,175) oraz zmierzeniu trwałego przyrostu głębokości  $e$  pod zadany obciążeniem. W celu wyznaczenia twardości Rockwella należy od wielkości  $e$  odjąć pewną stałą  $K$  (obydwie wielkości wyrażone w umownych jednostkach odkształcenia). Stosowanie dwustopniowego obciążenia ma na celu zmniejszenie błędów pomiarów wynikających głównie z nierówności powierzchni.

Tabela.1. Stosowane skale twardości Rocwella

Skala	Rodzaj wgłębnika	Obciążenie wstępne $F_0$ N (kg)	Obciążenie całkowite $F$ N (kG)	Skala K	Oznaczenie twardości
A	Stożek diamentowy	98,07 (10)	588,4 (60)	0,2mm=100j	HRA
C			1471 (150)		HRC
D			980,7 (100)		HRD
B	Kulka o średnicy 1,588mm		980,7 (100)	0,26mm=130j	HRB
F			588,4 (60)		HRF
G			1471 (150)		HRG
E	Kulka o średnicy 3,175mm		980,7 (100)	0,26mm=130j	HRE
H			588,4 (60)		HRH
K			1471 (150)		HRK



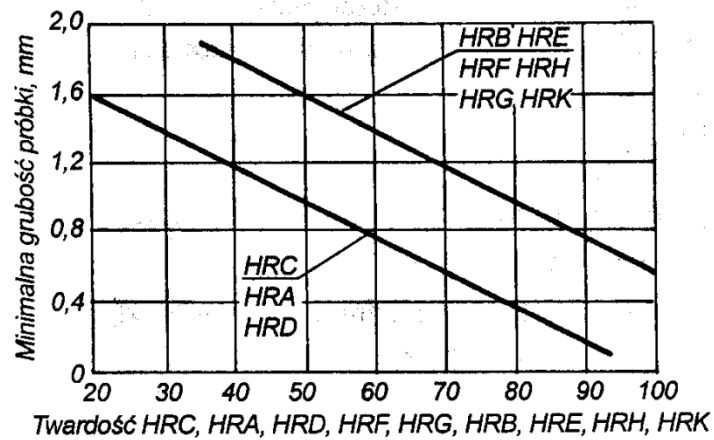
Rys.5. Zasada pomiaru z zastosowaniem stożka diamentowego



Rys.7. Zasada pomiaru z zastosowaniem kulki stalowej



Twardość Rockwella oznacza się symbolem HR poprzedzonym wartością mierzonej twardości a po nim literę zależną od rodzaju wgłębnika i wielkością obciążenia (zgodnie z tabelą 1).



Rys.8. Minimalna grubość badanej próbki w zależności od twardości Rockwella.

## 7. Wykonanie ćwiczenia

Dla próbek wskazanych przez prowadzącego (wykonanych z różnych metali) należy;

- Sprawdzić możliwość wykonania pomiarów twardości w/w metodami.
- Określić warunki pomiaru (dobrać rodzaj wgłębnika i wielkość obciążenia).
- Wykonać pomiar twardości.
- Określić błędy pomiarów.
- Wykorzystując dostępne tablice dokonać porównania wyników twardości otrzymanych różnymi metodami.

Załącznik do instrukcji – tabele porównawcze twardości.

Tabela porównawcza twardości Rockwella z twardościami Vickersa i Brinella dla stali węglowych i niskostopowych jak również w przybliżeniu dla wszelkich stali stopowych, konstrukcyjnych i narzędziowych w różnych stanach obróbki cieplnej

T w a r d o ś ć				T w a r d o ś ć			
Rock-wella	Vic-kersa	Bri-nella	Rock-wella	Rock-wella	Vic-kersa	Bri-nella	Rock-wella
HRC	HV	HB 0/3000	HRA	HRC	HV	HB 10/3000	HRA
68	940	-	85,6	43	423	400	72,0
67	900	-	85,0	42	412	390	71,5
66	865	-	84,5	41	402	381	70,9
65	832	739	83,9	40	392	371	70,4
64	800	722	83,4	39	382	362	69,9
63	772	705	82,8	38	372	355	69,4
62	746	688	82,3	37	363	344	68,9
61	720	670	81,8	36	354	336	68,4
60	697	654	81,2	35	345	327	67,9
59	674	634	80,7	34	336	319	67,4
58	653	615	80,1	33	327	311	66,8
57	633	595	79,6	32	318	301	66,3
56	613	577	79,0	31	310	294	65,8
55	595	560	78,5	30	302	286	65,3
54	577	543	78,0	29	294	279	64,7
53	560	525	77,4	28	286	271	64,3
52	544	500	76,8	27	279	264	63,8
51	528	487	76,3	26	272	258	63,3
50	513	475	75,9	25	266	253	62,8
49	498	464	75,2	24	260	247	62,4
48	484	451	74,7	23	254	243	62,0
47	471	442	74,1	22	248	237	61,5
46	458	432	73,6	21	243	231	61,0
45	446	421	73,1	20	238	226	60,5
44	434	409	72,5				

Twardość Brinella mierzona za pomocą kulki z węglików

Tabela porównawcza twardości Rockwella HRB z twardościami Rockwella innych skali i z twardością Brinella dla metali o twardości poniżej 240 HB

T w a r d o ś ć					T w a r d o ś ć				
Rockwella			Brinella /kulka stalowa/		Rockwella			Brinella /kulka stalowa/	
HRB	HRF	HRA	10/500	10/3000	HRB	HRF	HRA	10/500	10/3000
100	-	61,5	201	240	74	99,0	46,0	118	135
99	-	61,0	195	234	73	98,5	45,5	116	132
98	-	60,0	189	228	72	98,0	45,0	114	130
97	-	59,5	184	222	71	97,5	44,5	112	127
96	-	59,0	179	216	70	97,0	44,0	110	125
95	-	58,0	175	210	69	96,0	43,5	109	123
94	-	57,5	171	205	68	95,5	43,0	107	121
93	-	57,0	167	200	67	95,0	42,5	106	119
92	-	56,5	163	195	66	94,5	42,0	104	117
91	-	56,0	160	190	65	94,0	-	102	116
90	-	55,5	157	185	64	93,5	41,5	101	114
89	-	55,0	154	180	63	93,0	41,0	99	112
88	-	54,0	151	176	62	92,0	40,5	98	110
87	-	53,5	148	172	61	91,5	40,0	96	108
86	-	53,0	145	169	60	91,0	39,5	95	107
85	-	52,5	142	165	59	90,5	39,0	94	106
84	-	52,0	140	162	58	90,0	38,5	92	104
83	-	51,0	137	159	57	89,5	38,0	91	103
82	-	50,5	135	156	56	89,0	-	90	101
81	-	50,0	133	153	55	88,0	37,5	89	100
80	-	49,5	130	150	54	87,5	37,0	87	-
79	-	49,0	128	147	53	87,0	36,5	86	-
78	-	48,5	126	144	52	86,5	36,0	85	-
77	-	48,0	124	141	51	86,0	35,5	84	-
76	-	47,0	122	139	50	85,5	35,0	83	-
75	99,5	46,5	120	137					

Tabela porównawcza twardości Rockwella HRB z twardościami Rockwella innych skali z twardością Brinella dla metali o twardości poniżej 240 HB

T w a r d o ś ć					T w a r d o ś ć				
Rockwella			Brinella /kulka stalowa/		Rockwella			Brinella /kulka stalowa/	
HRB	HRF	HRA	10/500	10/3000	HRB	HRF	HRA	10/500	10/3000
49	85,0	-	82	-	24	70,5	24,0	-	-
48	84,5	34,5	81	-	23	70,0	23,5	63	-
47	84,0	34,0	80	-	22	69,5	23,0	-	-
46	83,0	33,5	-	-	21	69,0	22,5	62	-
45	82,5	33,0	79	-	20	68,5	22,0	-	-
44	82,0	32,5	78	-	19	68,0	21,5	61	-
43	81,5	32,0	77	-	18	67,0	-	-	-
42	81,0	31,5	76	-	17	66,5	21,0	60	-
41	80,5	31,0	75	-	16	66,0	20,5	-	-
40	79,5	-	-	-	15	65,5	20,0	59	-
39	79,0	30,5	74	-	14	65,0	-	-	-
38	78,5	30,0	73	-	13	64,5	-	58	-
37	78,0	29,5	72	-	12	64,0	-	-	-
36	77,5	29,0	-	-	11	63,5	-	-	-
35	77,0	28,5	71	-	10	63,0	-	57	-
34	76,5	28,0	70	-	9	62,0	-	-	-
33	75,5	-	69	-	8	61,5	-	-	-
32	75,0	27,5	-	-	7	61,0	-	56	-
31	74,5	27,0	68	-	6	60,5	-	-	-
30	74,0	26,5	67	-	5	60,0	-	55	-
29	73,5	26,0	-	-	4	59,5	-	-	-
28	73,0	25,5	66	-	3	59,0	-	-	-
27	72,5	25,0	-	-	2	58,0	-	54	-
26	72,0	24,5	65	-	1	57,5	-	-	-
25	71,0	-	64	-	0	57,0	-	53	-

Tabela przybliżonego porównania twardości Rockwella z twardościami Vickersa i Brinella dla miedzi i stopów aluminium walcowanych na zimno

T w a r d o ś ć				T w a r d o ś ć			
Rock-wella	Vic-kersa	Brinella	Rock-wella	Rock-wella	Vic-kersa	Brinella	Rock-wella
HRB	HV	HB <sub>10/500</sub>	HRF	HRB	HV	HB <sub>10/500</sub>	HRF
70	127,5	118,0	98,2	34	88,0	82,0	81,8
68	124,0	115,0	97,2	32	86,5	81,0	80,9
66	121,5	112,0	96,2	30	85,5	79,5	80,0
64	118,0	109,0	95,3	28	84,0	78,5	79,1
62	115,5	106,5	94,4	26	82,5	77,0	78,2
60	112,5	104,0	93,5	24	81,0	76,0	77,4
58	110,0	102,0	92,6	22	80,0	75,0	76,5
56	108,0	100,0	91,7	20	79,0	74,0	75,6
54	106,0	98,0	90,8	18	78,0	73,0	74,7
52	104,0	96,0	89,9	16	76,5	71,5	73,8
50	102,0	94,0	89,0	14	75,5	70,5	72,9
48	100,0	92,5	88,1	12	74,5	69,5	72,0
46	98,0	90,5	87,2	10	73,5	68,5	71,1
44	96,0	89,0	86,3	8	72,5	67,5	70,2
42	94,5	88,0	85,4	6	71,5	66,5	69,3
40	92,5	86,0	84,5	4	71,0	66,0	68,4
38	91,0	84,5	83,6	2	70,0	65,0	67,6
36	89,5	83,5	82,7	0	69,5	64,0	66,7