

ŚRODKI POMOCNICZE DO POWLEKANIA METALI	NORMA BRANŻOWA	<b>BN-75</b> <b>1076-03</b>
	<b>Natryskane powłoki metalowe, cermetalowe i ceramiczne</b>	
	Metody badań	
	Zamiaśt BN-67/1076-03	
Grupa katalogowa 0306		

## 1. WSTĘP

**1.1. Przedmiot normy.** Przedmiotem normy są badania własności powłok metalowych, cermetalowych i ceramicznych nakładanych metodą natryskową za pomocą pistoletów płomieniowych, plazmowych oraz łukowych na wyrobach (podłożu) z metali i stopów.

### 1.2. Rodzaje badań

- a) badanie wyglądu zewnętrznego wyrobu (podłoża) i powłoki,  
 b) badanie grubości,  
 c) badanie przyczepności,  
 d) badanie szczelności,  
 e) badanie twardości i mikrotwardości,  
 f) badanie masy właściwej,  
 g) badanie porowatości,  
 h) badanie przepuszczalności,  
 i) badanie wytrzymałości na rozciąganie,  
 j) badanie dylatometryczne,  
 k) badanie ścieralności,  
 l) badanie odporności na zarysowanie,  
 m) badanie żaroodporności,  
 n) badanie odporności na udary cieplne.

Do badania własności powłok na wyrobach gotowych stosuje się w kontroli warsztatowej badania a), b), c), d) i e).

### 1.3. Określenia

- a) materiał podłoża — metal znajdujący się pod powłoką lub przeznaczony do pokrycia powłoką,  
 b) natryskana powłoka metalowa — powłoka z metalu lub stopu naniesiona na podłożę metodą metalizacji natryskowej,  
 c) natryskana powłoka cermetalowa — powłoka z cermetalów naniesiona na podłożę metodą natryskiwania płomieniowego lub plazmowego,  
 d) natryskana powłoka ceramiczna — powłoka z materiału ceramicznego naniesiona na podłożę

metodą natryskiwania płomieniowego lub plazmowego,

e) natryskana powłoka ochronna — powłoka naniesiona na powierzchnię metalu w celu zabezpieczenia go przed korozją,

f) natryskana powłoka techniczna — powłoka nanoszona w celu uzyskania określonych technicznych własności przedmiotów powlekanych: powłoka regeneracyjna (przywrócenie pierwotnego lub nadanie żądanego kształtu lub wymiarów), powłoka przewodząca (warstwa przewodząca na niemetalach), powłoka zmniejszająca współczynnik tarcia (powierzchnie łożyskowe), powłoka odporna na ścieranie (zmniejszające ścieralność), powłoka nadająca lub poprawiająca zdolność lutowania, powłoka stosowana w metaloplastyce,

g) grubość miejscowa powłoki — grubość powłoki w  $\mu\text{m}$ , oznaczona punktowo w dowolnym miejscu przedmiotu,

h) grubość średnia powłoki — średnia wartość grubości na całym badanym przedmiocie.

## 2. METODY BADAŃ

### 2.1. Badanie wyglądu zewnętrznego wyrobu (podłoża) i powłoki

**2.1.1. Zakres stosowania badania.** Badanie przeprowadza się metodą wzrokową. Badaniu poddaje się powierzchnie przygotowane do powlekania oraz powłoki po jej wykonaniu.

**2.1.2. Zasada badania** polega na wzrokowej obserwacji wyrobu (podłoża) lub próbek przed natryskaniem powłoki i po jej natryskaniu.

**2.1.3. Sposób wykonania.** Badanie należy wykonać nieuzbrojonym okiem lub za pomocą lupy o powiększeniu 6-krotnym.

**2.1.4. Ocena wyników badania.** Podłożę przyjmuje się za właściwie przygotowane, jeśli jest cał-

Zgłoszona przez Instytut Mechaniki Precyzyjnej  
 Ustanowiona przez Dyrektora Zjednoczenia Urządzeń Technologicznych  
 dnia 29 października 1975 r.  
 jako norma obowiązująca w zakresie czynności określonych normą  
 od dnia 1 lipca 1976 r. (Dz. Norm. i Miar nr 3/1976 poz. 7)

kowicie pozbawione śladów zanieczyszczeń w postaci plam tłustych, brudu i rdzy lub walcowiny. Powierzchnie przygotowane za pomocą oczyszczania strumieniowo-ściernego (piaskowania) powinny mieć równomierny matowy wygląd. Niedopuszczalne jest występowanie miejsc czystych, lecz wykazujących połysk.

Badana powłoka powinna być całkowicie jednorodna, o jednakowej ziarnistości i barwie, nie wykazująca widocznych porów, pęcherzy, pęknięć, odstawania, przypaleń, miejsc nie pokrytych.

## 2.2. Badanie grubości

**2.2.1. Metody badań.** Badanie grubości powłok należy prowadzić jedną z następujących metod:

— za pomocą warsztatowych przyrządów pomiarowych,

— metodą nieniszczącą magnetyczną lub elektromagnetyczną, przy użyciu warstwomierzy magnetycznych lub elektromagnetycznych w przypadku pomiaru grubości powłok niemagnetycznych na podłożu ferromagnetycznym,

— metodą niszczącą mikroskopową polegającą na wykonaniu szlif w przekroju pod określonym kątem do płaszczyzny powłoki i oznaczeniu grubości na obrazie mikroskopowym.

### 2.2.2. Zakres stosowania metod

**2.2.2.1. Warsztatowe przyrządy pomiarowe** stosuje się do pomiaru grubości powłok na przedmiotach kulistych, obrotowych lub płaskich, o niewielkich wymiarach.

**2.2.2.2. Metody magnetyczne i elektromagnetyczne** stosuje się do pomiarów grubości powłok na przedmiotach o dużych wymiarach.

### 2.2.3. Sposób wykonania

a) Za pomocą warsztatowych przyrządów pomiarowych — zgodnie z instrukcją POM poz. 3, 165/1 oraz poz. 3, 166/1.

b) Metodą magnetyczną lub elektromagnetyczną — zgodnie z PN-76/H-04623.

**2.2.4. Ocena wyników badania.** W przypadku powłok ochronno-dekoracyjnych o grubości do 0,3 mm dopuszcza się odchyłki w granicach podanych w tablicy. W przypadku powłok technicznych o grubości ponad 1 mm dopuszcza się odchyłki w granicach  $\pm 0,2$  mm. Nałożenie grubszej powłoki nie powoduje zabrakowania części.

## 2.3. Badanie przyczepności

**2.3.1. Rodzaje metod.** Badanie przyczepności przeprowadza się jedną z następujących metod:

- próba dźwiękowa,
- próba nacinania powłok cienkich,
- próba nacinania powłok grubych,
- metoda odrywania A,
- metoda odrywania B.

Założona grubość powłoki mm	Zmierzona grubość powłoki b, mm	Kwalifikacja powłoki
0,3	0,25 ÷ 0,35	dobra
0,3	0,2 < b < 0,4	warunkowo
0,3	0,2 > b > 0,4	dobra
		zła
0,2	0,16 ÷ 0,24	dobra
0,2	0,12 < b < 0,28	warunkowo
0,2	0,12 > b > 0,24	dobra
		zła
0,1	0,08 ÷ 0,15	dobra
0,1	0,08 > b > 0,15	zła

Powłoki warunkowo dobre dopuszcza się do pracy w środowiskach nieagresywnych i na przedmiotach nie narażonych na duże naprężenia.

W przypadku powłok złych lub powierzchni natryskanych na nieodpowiednią grubość, należy powłokę usunąć (np. przez piaskowanie) i natryskać ponownie.

### 2.3.2. Zakres stosowania metod

a) **Próba dźwiękowa.** Próbę dźwiękową stosuje się do badania grubych powłok metalowych (powyżej 1 mm) naniesionych na części obrotowe, prowadnice itp.

b) **Próba nacinania powłok cienkich.** Próbę nacinania powłok cienkich stosuje się do badania powłok ochronnych i innych o grubości do 0,5 mm. Stosuje się ją przed wszystkimi innymi próbami określającymi własności powłoki.

c) **Próba nacinania powłok grubych.** Próbę nacinania powłok grubych stosuje się do sprawdzenia, czy przyjęty sposób przygotowania podłoża zapewnia odpowiednią przyczepność powłoki.

d) **Metody odrywania A i B** stosuje się do określenia wpływu poszczególnych parametrów natryskiwania i rodzaju przygotowania podłoża na przyczepność badanej powłoki.

### 2.3.3. Próba dźwiękowa

**2.3.3.1. Zasada metody** polega na słuchowym określeniu przyczepności powłoki do pokrytego materiału podłoża.

**2.3.3.2. Sposób wykonania.** Przedmiot natryskany należy lekko uderzyć prętem stalowym o średnicy 10 mm i długości 120 mm. Badana część powinna przy uderzeniu zwisać swobodnie.

**2.3.3.3. Ocena wyników badania.** Gdy uderzony przedmiot wyda dźwięk pełny, metaliczny, to przyczepność powłoki do podłoża ocenia się jako dobrą. Dźwięk głuchy świadczy, że powłoka źle przylega do podłoża i w tym przypadku należy

ją usunąć, przedmiot przygotować ponownie do natryskiwania i nanieść powłokę.

Próba dźwiękowa nie daje całkowitej pewności i nie zawsze jest możliwa do wykonania.

### 2.3.4. Próba nacinania powłok cienkich

**2.3.4.1. Zasada badania** polega na nacinaniu badanej powłoki w sposób podany w 2.3.4.2.

**2.3.4.2. Sposób wykonania.** Próbę wykonać za pomocą ostro zeszlifowanego przecinaka lub rylca nacinając kwadraty o wymiarach  $3 \times 3$  mm. Powłoka natryskana musi być przecięta do podłoża.

**2.3.4.3. Ocena wyników badania.** Przyczepność uznaje się za dobrą, gdy powłoka odrywa się od podłoża kawałkami mniejszymi niż  $5 \text{ mm}^2$ . Przyczepność uznaje się za złą, gdy powłoka odrywa się całymi kawałkami o powierzchni około  $10 \text{ mm}^2$ .

Powłokę o nieodpowiedniej przyczepności należy usunąć całkowicie, a przedmiot ponownie przygotować i natryskiwać. W przypadku powłoki dobrej miejsce próby opiaskować przez szablon i natryskiwać na żadaną grubość.

### 2.3.5. Próba nacinania powłok grubych

**2.3.5.1. Zasada badania** polega na nacinaniu badanej powłoki w określony sposób i odrywania jej od podłoża za pomocą przecinaka.

**2.3.5.2. Sposób wykonania.** Po natryskaniu próbnego przedmiotu przeciąć natryskaną powłokę aż do podłoża, w miejsce przecięcia wstawić przecinak o kącie ostrza  $30^\circ$  i pochyliwszy go pod kątem  $60^\circ$  uderzać lekko młotkiem.

**2.3.5.3. Ocena wyników badania.** W przypadku dobrej przyczepności powłoka odpryskuje tylko w małych kawałkach, a rozdzielenie natryskanej powłoki od podłoża jest niemożliwe.

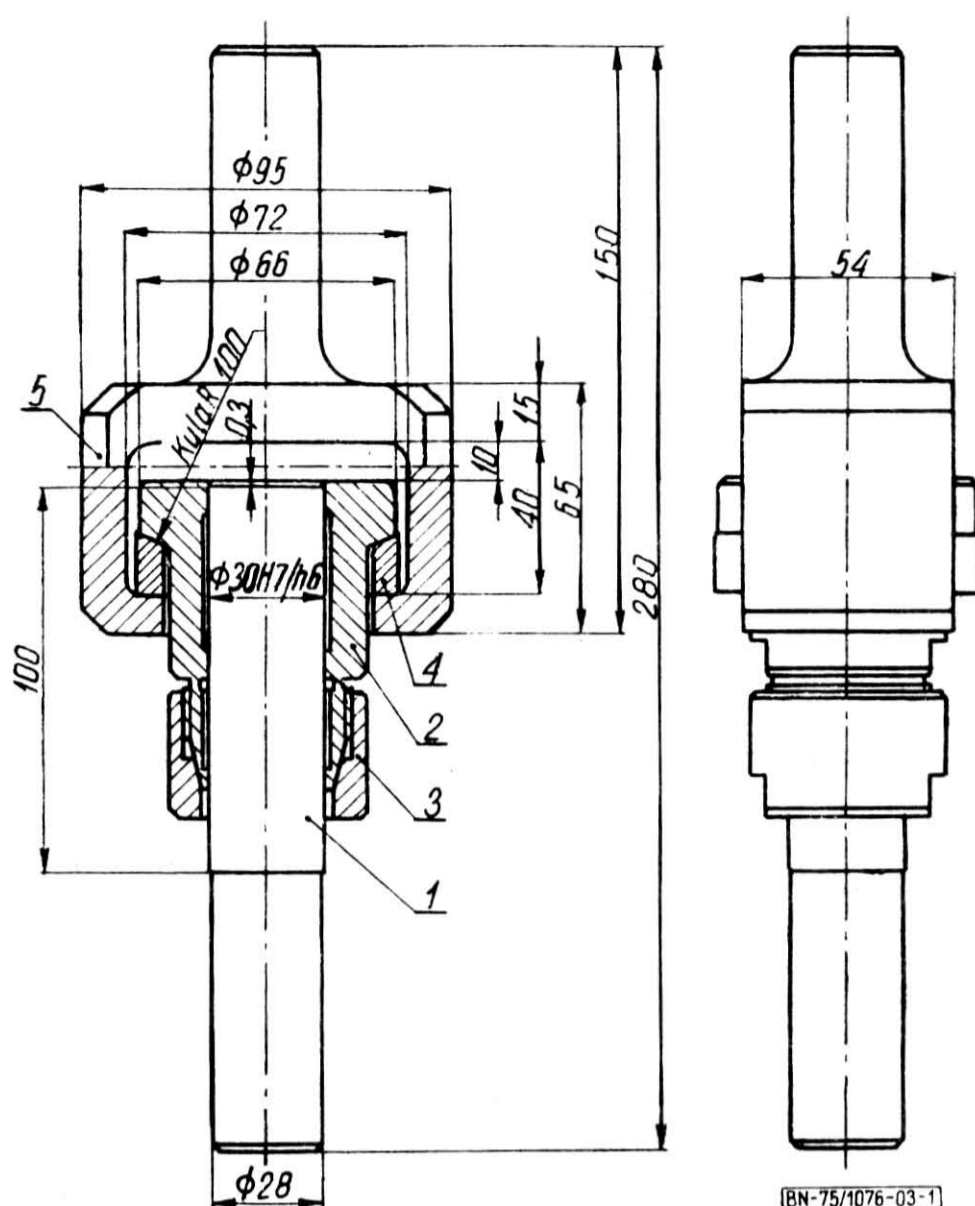
Przy złej przyczepności — przy częściach obrotowych — odpryskuje cała skorupa, przy częściach płaskich odrywają się kawałki powłoki o powierzchni ponad  $100 \text{ mm}^2$ . Należy sprawdzić, czy błąd powstał w czasie przygotowania powierzchni, natryskiwania lub czy został spowodowany złym rodzajem przygotowania.

### 2.3.6. Metoda odrywania A

**2.3.6.1. Zasada badania** polega na odrywaniu trzpienia od powłoki natryskanej nań wg 2.3.6.3.

**2.3.6.2. Aparatura.** Zrywarka wytrzymałościowa o sile minimalnej  $10000 \text{ kN}$  i przyrząd wykonany wg rys. 1.

**2.3.6.3. Przygotowanie próbki do badań.** Przygotować trzpień 1 wg rys. 1 w założony sposób, usunąć z jego krawędzi grad, wsunąć w tuleję 2 po uprzednim opiaskowaniu jej części czołowej. Przy piaskowaniu części czołowej należy szczególnie starannie chronić jej część o średnicy  $30\text{H}7$ .



Rys. 1. Przyrząd do badania przyczepności powłok metodą odrywania A: 1 — trzpień, którego czoło przygotowuje się w założony sposób, 2 — tuleja, 3 — nakrętka służąca do unieruchomienia trzpienia w tulei podczas natryskiwania, 4 — pierścień, 5 — jarzmo

Trzpień należy ustawić w tulei tak, aby jego krawędź była poniżej krawędzi tulei 2 o około  $0,3 \text{ mm}$ .

Po ustawieniu trzpienia należy go unieruchomić nakrętką zaciskającą 3 i na powierzchni czołowej trzpienia i tulei natryskiwać badaną powłokę na grubość  $1,5 \div 2,0 \text{ mm}$  (zgodnie z instrukcją dla danego pistoletu metalizacyjnego). Dopuszcza się natryskanie badanej powłoki na grubość  $0,3 \text{ mm}$  i następnie natryskanie do grubości  $2 \text{ mm}$  innego materiału. Po natryskaniu powierzchni czołowej trzpienia i tulei odkręcić nakrętkę 3, założyć na tuleję pierścień 4 i cały zespół włożyć do jarzma 5. Do badań należy przygotować 5 próbek.

**2.3.6.4. Sposób wykonania.** Zamocować przyrząd wraz z próbką w szczękach maszyny wytrzymałościowej i trzpień oderwać od natryskanej powłoki notując wartość siły odrywającej.

Po przeprowadzeniu próby usunąć powłokę z powierzchni czołowej trzpienia i tulei; po ponownym przygotowaniu oraz nałożeniu powłoki przyrząd nadaje się do ponownego użycia.

**2.3.6.5. Obliczanie wyników badania.** Wartość przyczepności  $R_o$  określa się jako stosunek siły od-

rywającej do wielkości powierzchni czołowej trzpienia w  $\text{kN}/\text{cm}^2$  ze wzoru

$$R_o = \frac{P}{F} = 0,142P \quad (1)$$

w, którym:

$P$  — wartość siły odrywającej trzpień od powłoki,  $\text{kN}$ ,

$F$  — powierzchnia czołowa trzpienia,  $\text{cm}^2$ .

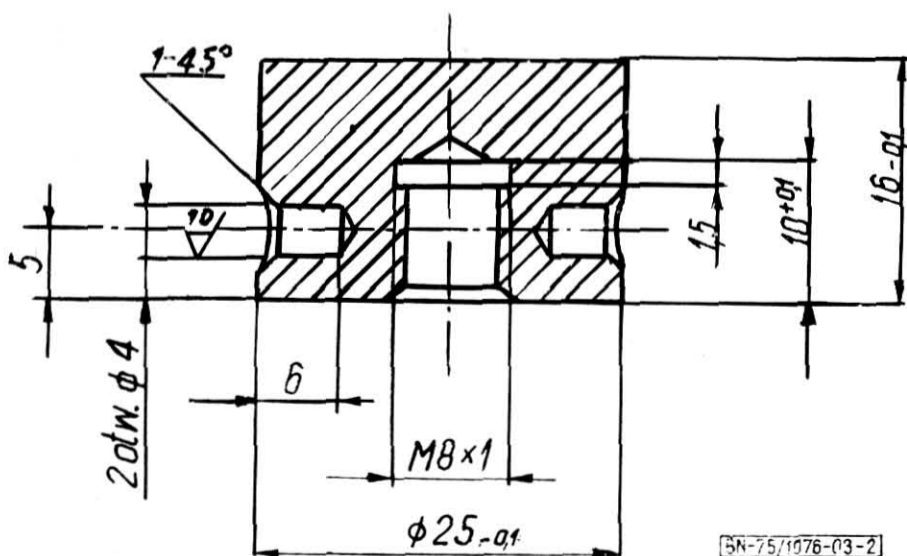
**2.3.6.6. Ocena wyników badania.** Za wynik przyjmuje się średnią arytmetyczną z 5 wykonanych pomiarów.

### 2.3.7. Metoda odrywania B

**2.3.7.1. Zasada badania** polega na odrywaniu natryskanej próbki od powłoki, do której przyklejona jest przeciwpróbka.

**2.3.7.2. Aparatura.** Zrywarka wytrzymałościowa o sile minimalnej 10 000  $\text{kN}$  oraz przyrząd wg załącznika 2 rys. Z2-3.

**2.3.7.3. Przygotowanie próbki do badań.** Powierzchnię czołową próbki o kształcie walca (rys. 2) przygotować w założony sposób (np. przy badaniu wpływu rodzaju ścierniwa na przyczepność natryskanej powłoki należy opiaskować badanym ścierniwem). Podczas przygotowywania chronić powierzchnie boczne próbki. Przygotowaną powierzchnię czołową próbki odmuchać strumieniem czystego sprężonego powietrza i natryskać badany materiał powłokowy na założoną grubość przy założonych parametrach natryskiwania. Nie zaleca się stosować powłok grubszych niż 1  $\text{mm}$ . W przypadku badania wpływu międzywarstwy na przyczepność, należy na przygotowaną powierzchnię natryskać najpierw międzywarstwę o założonej grubości, a następnie właściwą powłokę. Po natryskaniu badanej powłoki należy próbkę skleić z przeciwpróbką za pomocą żywicy epoksydowej.



*Osł gwintu  $M8 \times 1$  prostopadła do powierzchni czołowych i współosiowych  $\phi 25 - g1$*

Przeciwpróbka ma taki sam kształt jak właściwa próbka. Podczas klejenia należy zachować współosiowość próbki i przeciwpróbki. Do badań należy przygotować 5 próbek.

**2.3.7.4. Sposób wykonania.** Po okresie czasu niezbędnym do utwardzenia żywicy, próbkę odrywa się od przeciwpróbki na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej mierząc siłę niszczącą połączenie powłoki z podłożem.

Do przygotowania próbek, natryskiwania, klejenia i odrywania zaleca się stosowanie specjalnych przyrządów wg załącznika 2.

Podczas próby należy zwrócić uwagę na to, aby żywica nie przeniknęła do podłoża.

**2.3.7.5. Obliczanie wyników.** Wartość przyczepności  $R_o$  określa się jako stosunek siły odrywającej do powierzchni czołowej w  $\text{kN}/\text{cm}^2$  z wzoru

$$R_o = \frac{P}{F} = 0,205P \quad (2)$$

w, którym:

$P$  — wartość siły odrywającej próbkę,  $\text{kN}$ ,

$F$  — powierzchnia próbki,  $\text{cm}^2$ .

**2.3.7.6. Ocena wyników badania.** Za wynik należy przyjąć średnią arytmetyczną z 5 wykonanych pomiarów.

### 2.4. Badanie szczelności

**2.4.1. Zakres stosowania badania.** Badanie stosuje się dla natryskanych powłok metalowych - cynkowych i aluminiowych oraz ceramicznych nałożonych na przedmioty wykonane ze stopów żelaza, narażonych na działanie korozji w środowisku atmosferycznym, chemicznym lub wodnym.

**2.4.2. Zasada badania.** Badanie polega na stosowaniu wskaźników barwnych, którymi nasycy się paski bibuły filtracyjnej do nałożenia na powłokę w dowolnym miejscu. W miejscach porowatych lub wadliwie wykonanych następuje zmiana zabarwienia wskaźnika w zależności od rodzaju powłoki.

#### 2.4.3. Odczynniki i roztwory

a) roztwór ferrokcyjowy o składzie:

— żelazocyjanek potasowy ( $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ) 10 g,

— chlorek sodowy ( $\text{NaCl}$ ) 15 g,

— woda destylowana 10  $\text{cm}^3$ ,

b) 10-procentowy roztwór wodny kwasu tioglikolowego (świeży, nieutleniony).

**2.4.4. Przygotowanie próbki do badań.** Do badań stosuje się próbki (lub wyroby) o dowolnej wielkości. Badanie należy prowadzić w pomieszczeniu, w którym nie występuje pył metalowy.

**2.4.5. Sposób wykonania.** Roztworem ferrokcyjowym (a) należy zwilżyć paski bibuły do sączenia o wymiarach  $100 \times 100$   $\text{mm}$  i nałożyć je na próbkę

Rys. 2. Próbkę do badania przyczepności powłok metodą odrywania B, na który natryskiwana jest badana powłoka (patrz załącznik 2).

z powłoką cynkową lub powłoką ceramiczną o podłożu stalowym na okres 5÷10 min.

Roztworem kwasu tioglikolowego należy zwilżyć paski bibuły do sączenia i nałożyć je na próbki z powłoką aluminiową na okres około 20 min.

**2.4.6. Ocena wyników badania.** Przy badaniu szczelności powłok cynkowych i ceramicznych nie powinny wystąpić na bibule do sączenia nasyconej roztworem punkty lub plamy niebieskie. Przy badaniu powłok aluminiowych na szczelność pojawienia się charakterystycznego czerwonego zabarwienia na bibule do sączenia nasyconej roztworem świadczy o reakcji kwasu tioglikolowego z podłożem; zabarwienie znika po około 20 min.

Powłokę należy uznać za złą przy pojawieniu się na bibule plam tworzących się w wyniku istnienia porów w powłoce. Powłokę należy usunąć i przedmiot metalizować ponownie.

## 2.5. Badanie twardości i mikrotwardości

**2.5.1. Rodzaje metod.** Badanie twardości powłoki przeprowadza się za pomocą:

- próby twardości metali sposobem Vickersa,
- próby mikrotwardości metali mikrotwardościomierzem Hanemanna.

**2.5.2. Zakres stosowania badania.** Próbę twardości powłok metalizacyjnych sposobem Vickersa stosuje się do badania powłok o grubości powyżej 0,5 mm.

Próbę mikrotwardości powłok sposobem Hanemanna stosuje się do wszystkich rodzajów materiałów lub poszczególnych faz w nich występujących pod warunkiem uzyskania prawidłowego odcisku penetratora.

**2.5.3. Zasada badania.** Próba twardości powłok sposobem Vickersa polega na wciskaniu piramidy diamentowej (penetratora) typu Vickersa w badany materiał.

Próba twardości powłok sposobem Hanemanna polega na wgłębieniu penetratora diamentowego typu Vickersa w badany materiał przy obciążeniu 0÷200 G.

### 2.5.4. Aparatura

Twardościomierz Vickersa.

Mikrotwardościomierz Hanemanna.

**2.5.5. Przygotowanie próbki od badań.** Powierzchnia próbki (badanej powłoki) powinna mieć chropowatość nie większą niż  $R_a = 1,25 \div 0,32 \mu\text{m}$  wg PN-73/M-04251.

Powłoki twarde ze stali wysokowęglowych, węglików i ceramiczne należy badać przy nacisku nie większym niż 5 kN.

Powłoki miękkie (z metali nieżelaznych) oraz powłoki o grubości mniejszej niż 1 mm należy badać przy nacisku nie większym niż 1 kN.

### 2.5.6. Sposób wykonania

- sposobem Vickersa wg PN-71/H-04361 (przy obciążeniu poniżej 1 kN),
- sposobem Hanemanna wg załącznika 1.

### 2.5.7. Obliczanie wyników badania

- dla próby twardości metali sposobem Vickersa przy obciążeniu poniżej 1 kN wg PN-71/H-04361,
- dla próby mikrotwardości sposobem Hanemanna wg załącznika 1.

Dla próby twardości sposobem Vickersa należy wykonać co najmniej 5 pomiarów odcisków, podając za wynik średnią arytmetyczną tych pomiarów.

## 2.6. Badanie masy właściwej

**2.6.1. Metoda badania.** Badanie masy właściwej przeprowadza się metodą ważenia hydrostatycznego.

**2.6.2. Zakres stosowania badania.** Badanie stosuje się do oznaczania masy właściwej próbek natryskowych powłok (zdjętych z podłoża) o kształcie bryły (np. sześciangu, prostopadłościanu, cylindra).

**2.6.3. Zasada metody** polega na oznaczaniu masy właściwej próbki jako stosunku jej masy w powietrzu do masy wypartej przez nią cieczy. Przed badaniem próbki nasyca się wodą destylowaną w urządzeniu podciśnieniowym.

**2.6.4. Przyrząd.** Waga hydrostatyczna (A) lub odpowiednio przygotowana waga laboratoryjna (B).

Waga hydrostatyczna A jest zaopatrzona z lewej strony w dwie szalki, z których dolna jest podczas pomiaru zanurzona w cieczy.

Wagę laboratoryjną B należy przygotować do pomiaru masy właściwej przez zaopatrzenie jej w haczyk do zawieszenia próbki i w ławeczkę umożliwiającą ustawienie naczynia z wodą nad lewą szalkę, w sposób nie ograniczający jej ruchów.

**2.6.5. Sposób wykonania.** Próbkę układa się na lewej szalce wagi hydrostatycznej i oznacza masę próbki w powietrzu  $P$ . Następnie próbkę zanurza się w naczyniu z wodą i ponownie oznacza masę w wodzie  $P_1$ . Różnica masy  $P - P_1$  odpowiada objętości próbki  $V$ .

W przypadku użycia wagi laboratoryjnej przystosowanej do oznaczania masy właściwej, próbkę zawiesza się na cienkim druciku lub na haczyku lewej szalki w powietrzu, a następnie w naczyniu z wodą.

Temperatura wody powinna wynosić  $20 \pm 0,1^\circ\text{C}$ .

**2.6.6. Obliczanie wyników badania.** Masę właściwą  $\gamma$ , wyrażoną w  $\text{kg/m}^3$ , oblicza się ze wzoru

$$\gamma = \frac{P}{P - P_1} \quad (3)$$

w którym:

$P$  — masa próbki w powietrzu, kg,

$P_1$  — masa próbki w wodzie, kg.

**2.6.7. Ocena wyników badania.** Za wynik należy przyjąć średnią arytmetyczną z 5 przeprowadzonych pomiarów.

## 2.7. Badanie porowatości

**2.7.1. Postanowienia ogólne.** Jako porowatość przyjmuje się część całkowitej objętości próbki, przypadającą na pory. Oznacza się porowatość otwartą  $P_o$ ; tj. część objętości próbki przypadającą na pory otwarte, porowatość zamkniętą  $P_z$ , tj. część objętości przypadającą na pory zamknięte oraz porowatość całkowitą, stanowiącą sumę obu wielkości  $P = P_o + P_z$ .

**2.7.2. Zakres stosowania badania.** Badania stosuje się do oznaczenia porowatości próbek natryskanych powłok, o kształcie bryły (sześciangu, prostopadłościanu, cylindra).

**2.7.3. Zasada metody** polega na wykonaniu oznaczeń według metody A lub B.

**Metoda A.** Oznaczanie porowatości otwartej, zamkniętej i całkowitej.

Porowatość otwartą  $P_o$  oznacza się w % ze wzoru

$$P_o = \frac{(m_2 - m_1) \cdot \gamma_m}{[(m_1 - m) \cdot \gamma_m - m] \cdot \gamma_w} \cdot 100 \quad (4)$$

Porowatość zamkniętą  $P_z$  oblicza się w % ze wzoru

$$P_z = 1 - \frac{(m_1 - m) \cdot \gamma_w \cdot \gamma_m}{[(m_1 - m) \cdot \gamma_m - m] \cdot \gamma_w} \cdot 100 \quad (5)$$

Porowatość całkowitą  $P_c$  stanowi suma porowatości otwartej  $P_o$  i porowatości zamkniętej  $P_z$

$$P_c = P_o + P_z$$

gdzie:

$m$  — masa próbki nasycona wodą przy ważeniu w wodzie,

$m_1$  — masa suchej próbki ważonej w powietrzu,

$m_2$  — masa próbki nasyconej wodą przy ważeniu w powietrzu,

$\gamma_m$  — masa właściwa próbki wyrażona w  $\text{kg/m}^3$  obliczona ze wzoru (3),

$\gamma_w$  — masa właściwa wody.

**Metoda B.** Oznaczanie gęstości pozornej oraz tzw. szczelności. Gęstość pozorną oznacza się w określonej temperaturze i przy odpowiedniej wilgotności (stosunek masy próbki do jej objętości); szczelnością  $s$  oznacza się część całkowitej objętości jaką zajmuje masa badanej próbki bez porów (stosunek gęstości pozornej próbki do jej masy właściwej).

Gęstość pozorną  $d_p$  oznacza się w  $\text{kg/m}^3$  ze wzoru

$$d_p = \frac{m}{V_c} \quad (6)$$

w którym:

$m$  — masa próbki (zważona z dokładnością 0,001 g),

$V_c$  — objętość całkowita próbki wraz z porami (obliczona z wymiarów próbki z dokładnością 0,1 mm),  $\text{m}^3$ .

Współczynnik szczelności  $s$  oznacza się ze wzoru

$$s = \frac{d_p}{\gamma} \quad (7)$$

w którym:

$d_p$  — gęstość pozorną,  $\text{kg/m}^3$ ,

$\gamma$  — masa właściwa,  $\text{kg/m}^3$ .

Porowatość jako wskaźnik  $p$  oznacza się ze wzoru

$$p = 1 - s = 1 - \frac{d_p}{\gamma} \quad (8)$$

lub jako procent

$$p = (1 - s) \cdot 100 = 1 - \frac{d_p}{\gamma} \cdot 100$$

**2.7.4. Przyrząd.** Stosuje się przyrządy pomiarowe (suwmiarka, mikrometr) oraz wagę laboratoryjną.

## 2.8. Badanie przepuszczalności

**2.8.1. Zakres stosowania badania.** Badanie stosuje się do powłok natryskanych, narażonych na działanie gazów lub cieczy agresywnych oraz w celu określenia wpływu parametrów natryskiwania na przepuszczalność gazową powłok.

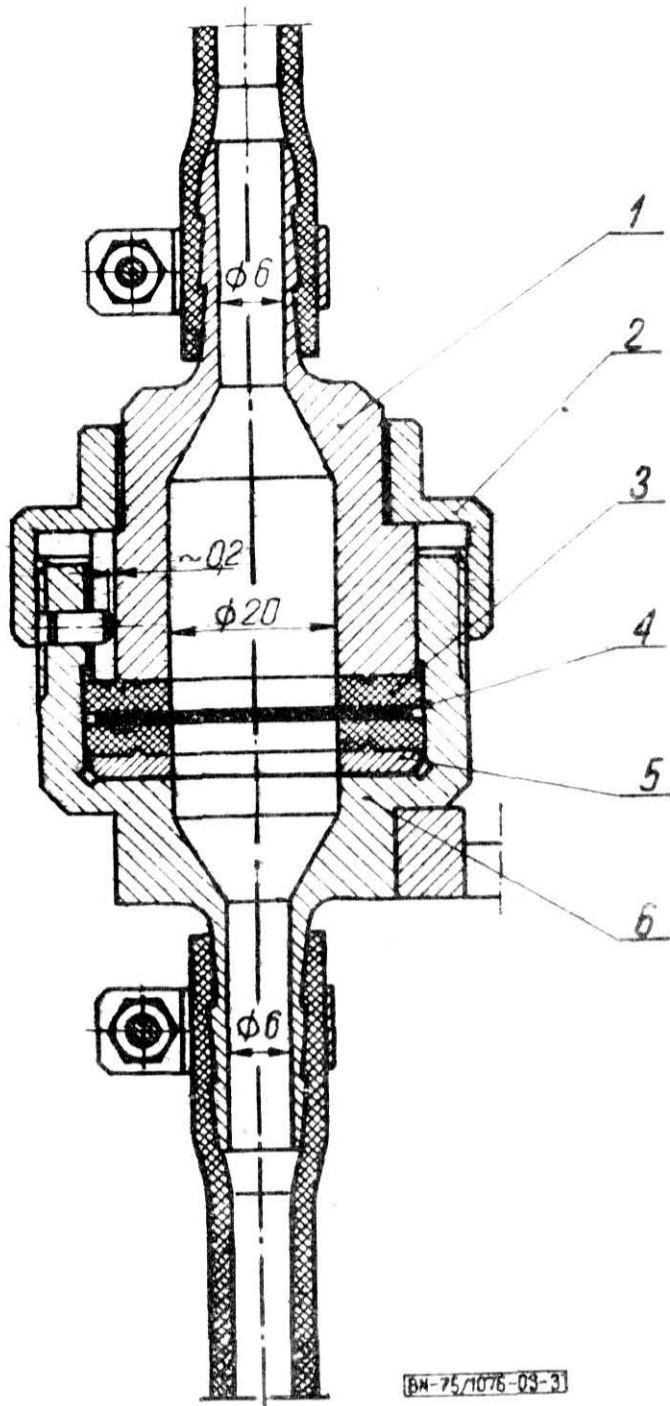
**2.8.2. Zasada badania** polega na przepuszczeniu argonu pod nadciśnieniem 0,5 ÷ 0,1 MPa przez próbkę powłoki zdjętej z podłoża.

**2.8.3. Przyrząd** — wg rys. 3.

**2.8.4. Przygotowanie próbki do badań.** Płytkę stalową o średnicy 32 mm i grubości 4 mm, lekko opiaskowaną, należy pokryć od czoła badaną powłoką przez natryskiwanie na grubość 0,5 ÷ 1 mm. Powłokę tę zdejmuje się z podłoża. W przypadku badania powłok trudno zdejmowalnych z podłoża należy stosować międzywarstwę z NaCl natryskaną plazmowo na próbkę. W tym przypadku zdejmuje się badaną powłokę z podłoża przez rozpuszczenie międzywarstwy w wodzie. Międzywarstwy z NaCl nie należy stosować do powłok cynkowych i aluminiowych.

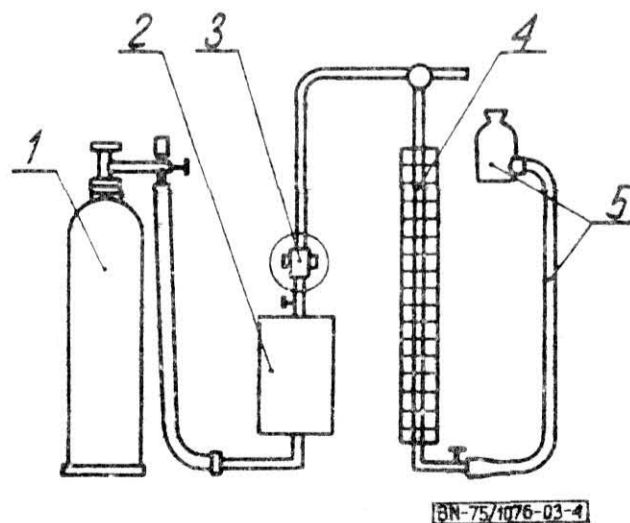
Próbki powłoki przed badaniem należy wygrzać w temperaturze 200°C przez okres 2 h.

**2.8.5. Sposób wykonania.** Próbkę powłoki mocuje się między dwiema gumowymi uszczelkami



Rys. 3. Przyrząd do badania przepuszczalności powłok: 1 — komora nadciśnieniowa, 2 — nakrętka łączna, 3 — uszczelka, 4 — badana próbka, 5 — uszczelka, 6 — komora ciśnienia obniżonego

przyrządu (rys. 3). Po dociśnięciu pierścieni gumowych przez dokręcenie nakrętki 1 na rys. 3 przepuszcza się przez przyrząd argon pod nadciśnieniem  $0,05 \div 0,1$  MPa. Schemat połączenia przyrządu przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Schemat połączenia przyrządu do badania przepuszczalności powłok: 1 — butla z gazem, 2 — zbiornik wyrównawczy, 3 — przyrząd, 4 — biureta pomiarowa, 5 — zbiornik z wodą

**2.8.6. Ocena wyników badań.** Wartość przepuszczalności  $D$  odpowiada okresowi czasu (min), w którym  $50 \text{ cm}^3$  argonu pod nadciśnieniem  $0,05 \div 0,1$  MPa przepływnie przez badaną próbkę.

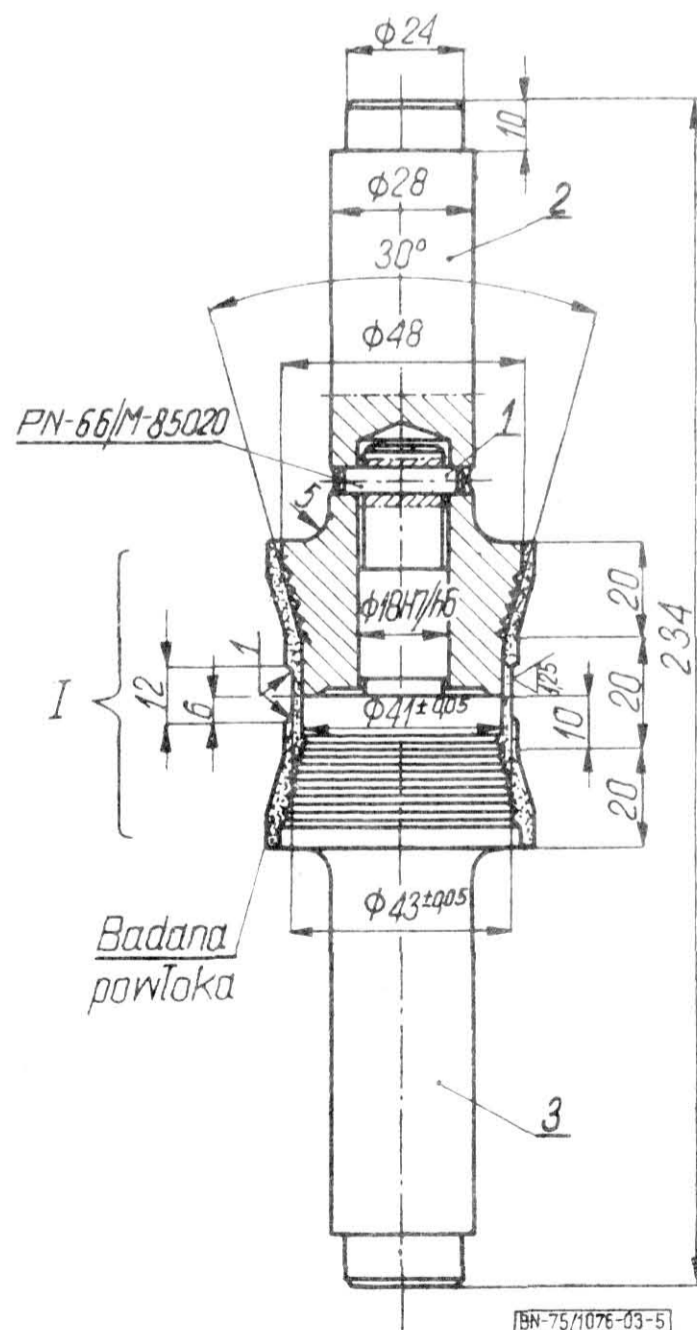
Wzrost wartości  $D$  oznacza spadek przepuszczalności. Za wynik należy przyjąć średnią arytmetyczną z 3 pomiarów, podając każdorazowo grubość badanej powłoki.

## 2.9. Badanie wytrzymałości na rozciąganie

**2.9.1. Zakres stosowania badania.** Badanie stosuje się do określania wpływu parametrów natryskiwania na wytrzymałość na rozciąganie powłok metalizacyjnych, porównywania powłok uzyskiwanych przez natryskiwanie różnymi pistoletami (ustawiania pistoletów metalizacyjnych przy regeneracji odpowiedzialnych części maszyn oraz sprawdzania kwalifikacji metalizatorów).

**2.9.2. Zasada badania** polega na określeniu wytrzymałości na rozciąganie próbki powłoki o przekroju pierścieniowym, natryskanej na specjalny przyrząd (rys. 5).

**2.9.3. Przyrząd.** Zrywarka uniwersalna o sile minimalnej  $10\,000 \text{ kN}$  oraz przyrząd wykonany wg rys. 5.



Rys. 5. Przyrząd do badania wytrzymałości powłok na rozciąganie: 1 — kołek mocujący, 2 — trzpień górny, 3 — trzpień dolny, I — obszar natryskiwania badanej powłoki

**2.9.4. Przygotowanie próbki do badań.** Przyrząd zmontowany wg rys. 5 należy odłuszczyć. Następnie natryskuje się badaną powłokę równomiernie na środkową część (I) przyrządu w taki sposób, aby uzyskać w jego najcieńszej części o średnicy 46 mm. Po natrysku obrobić mechanicznie przez skrawanie środkową część próbki (wymiar 12 mm) na średnicę podaną na rys. 5. Po tych operacjach należy usunąć kołek 1 mocujący dwie części 2 i 3 przyrządu.

**2.9.5. Sposób wykonania.** Zamontować przyrząd do normalnej maszyny wytrzymałościowej i podać próbie rozciągania.

Przy prawidłowym przebiegu próby pęknięcie powinno nastąpić w środkowej obrobionej części próbki w płaszczyźnie podziału lub w niewielkiej od niej odległości.

Po przeprowadzeniu próby należy usunąć powłokę z obu części przyrządu. W tym celu należy badaną powłokę przeciąć przecinakiem w miejscu o największej średnicy lub na części stożkowej albo też na obu częściach.

Nie dopuszcza się nacinania powłoki w obszarze pomiarowym, tzn. w części środkowej próbki.

Po usunięciu powłoki przyrząd jest gotowy do ponownego użycia.

**2.9.6. Obliczanie wyników badania.** Wytrzymałość doraźną powłoki na rozciąganie  $R_m$  oblicza się w  $\text{kN/mm}^2$  wg wzoru

$$R_m = \frac{P}{F} = \frac{P}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)} = \frac{P}{159} = 0,006P \quad (9)$$

w którym:

$P$  — siła potrzebna do rozerwania powłoki, kN,

$D$  — średnica zewnętrzna powłoki w obszarze pomiarowym (obrobionym), mm,

$d$  — średnica części środkowej przyrządu, mm.

Za wynik próby przyjmuje się średnią arytmetyczną z trzech pomiarów.

## 2.10. Badanie dylatometryczne

**2.10.1. Zakres stosowania badania.** Badanie stosuje się do pomiaru współczynnika rozszerzalności cieplnej powłok natryskanych pracujących głównie w podwyższonych i wysokich temperaturach.

**2.10.2. Aparatura.** Dylatometr Chevenarda.

**2.10.3. Przygotowanie próbek do badań.** Lekko opiaskowany drut stalowy o średnicy 2,5 mm i długości 80 mm umieścić w uchwycie obrotowym i po podgrzaniu do temperatury około  $250^\circ\text{C}$  natryskać na niego za pomocą pistoletu plazmowego warstwę NaCl o grubości  $0,15 \div 0,2$  mm; na przygotowany rdzeń natryskać przy założonych parametrach badaną powłokę aż do uzyskania na całej długości równomiernej średnicy 5 mm; po ostygnięciu

próbki wkłada się ją do wody o temperaturze  $80 \div 100^\circ\text{C}$  aż do całkowitego rozpuszczenia warstewki NaCl, po czym rdzeń się wyciąga. Otrzymaną w ten sposób rurkę z materiału powłokowego obcina się na długość 50 mm i suszy w temperaturze  $80^\circ\text{C}$  przez 2 h.

**2.10.4. Sposób wykonania.** Badanie należy wykonać na dylatometrze przy zatorowym przedziale temperatury.

**2.10.5. Obliczanie wyników badania.** Współczynnik liniowej rozszerzalności cieplnej  $y$  oblicza się ze wzoru

$$y = \frac{b}{L_o \cdot K_z \cdot \Delta t} + \alpha \quad (10)$$

w którym:

$b$  — odcinek rzędnej zmierzony na wykresie dylatometrycznym dla danego przyrostu temperatury, mm,

$L_o$  — długość próbki, mm,

$K_z$  — współczynnik powiększenia  $K_z = 141,25$ ,

$\Delta t$  — przyrost temperatury,  $^\circ\text{C}$ ,

$\alpha$  — współczynnik rozszerzalności (dla kwarcu  $0,54 \cdot 10^{-6}$ ).

**2.10.6. Ocena wyników badania.** Za wynik współczynnika rozszerzalności cieplnej wyrażony w  $\frac{1}{^\circ\text{C}}$  ( $^\circ\text{C}^{-1}$ ) należy przyjąć średnią arytmetyczną z 3 próbek badanych w tych samych warunkach.

## 2.11. Badanie ścieralności

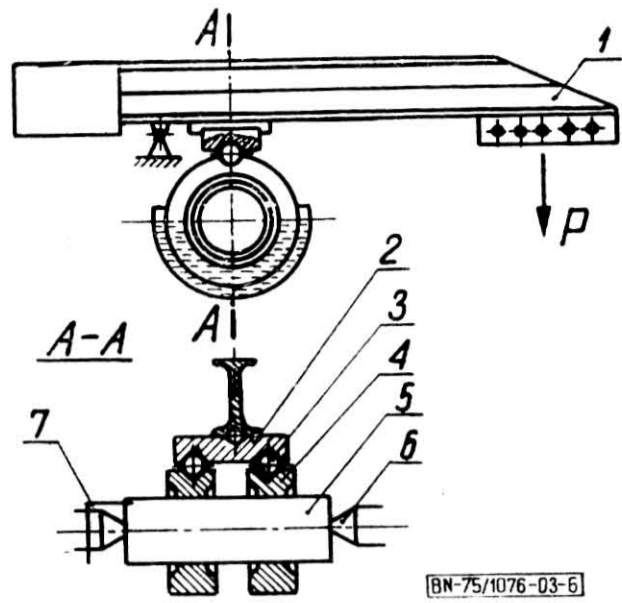
**2.11.1. Zakres stosowania badania.** Badanie należy stosować przy ścieralności różnych powłok metalizacyjnych pracujących jako powierzchnie cierne części maszyn, wpływu środka smarującego na zmianę ścieralności powłoki i współpracy różnych materiałów oraz wpływu parametrów natryskiwania na ścieralność powłoki.

**2.11.2. Zasada badania** polega na określeniu zmian wymiarów średnicy próbki o kształcie wałka, z natryskaną powłoką, poddanej ścieraniu przez przeciwpróbkę o kształcie pierścienia.

**2.11.3. Aparatura.** Przyrząd wg rys. 6 — mikroskop uniwersalny umożliwiający pomiar z dokładnością do 0,001 mm.

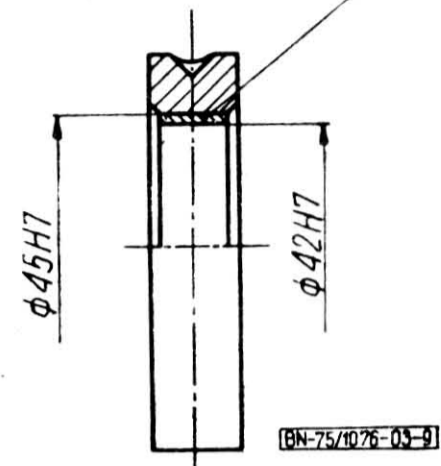
**2.11.4. Przygotowanie próbki do badań.** Wałek wykonany wg rys. 7 opiaskować elektrokorundem B-16, a następnie natryskać badanym materiałem i obrabiać skrawaniem na wymiar podany na rys. 8. Po obróbce próbki założyć dwie stalowe przeciwpróbki (pierścienie) z wciśniętymi tulejami z materiału założonego w badaniach (rys. 9) lub natryskane założonym w badaniach materiałem i obrobione na wymiar jak na rys. 10.



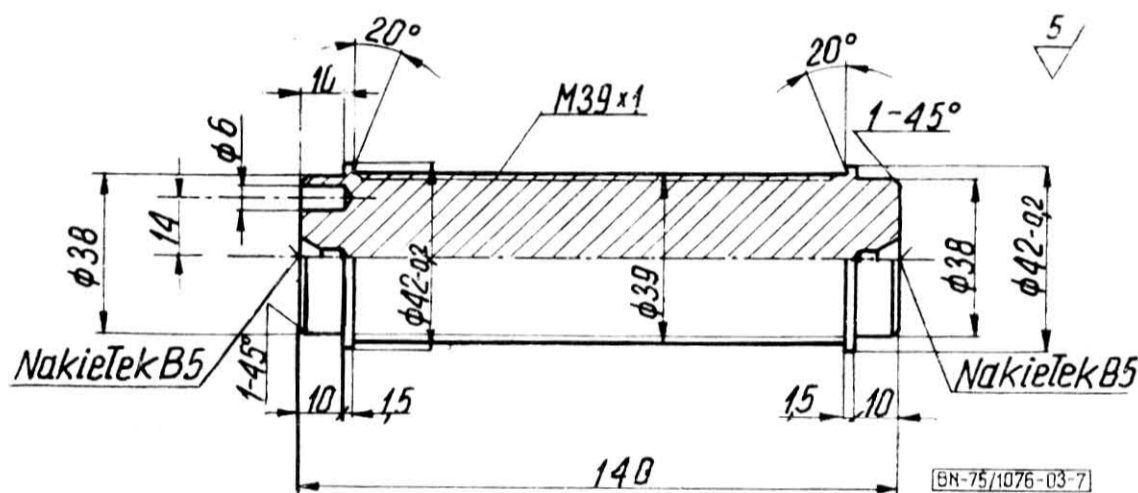


Rys. 6. Przyrząd do badania ścieralności: 1 — dźwignia obciążana siłą  $P$ , 2 — belka poprzeczna umożliwiająca obciążanie jednocześnie dwóch pierścieni, 3 — kulka stalowa umożliwiająca niezależne ustawianie się pierścieni, 4 — pierścień (próbka lub przeciwpróbka), 5 — wałek (przeciwpróbka lub próbka), 6 — kły, 7 — zabierak

*Tuleja z materiału założonego do badań*

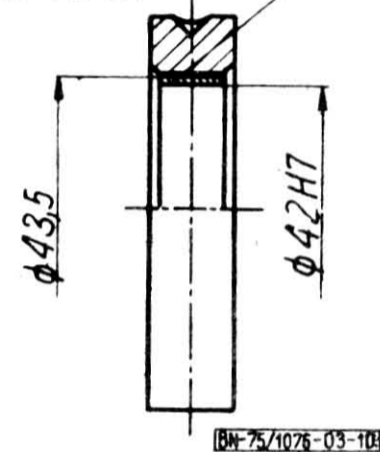


Rys. 9. Przeciwpróbka z wciśniętą tuleją wykonaną z założonego do badań materiału

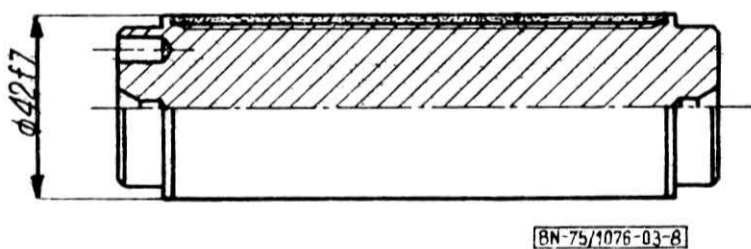


Rys. 7. Wałek przygotowany skrawaniem pod natrysk badanej powłoki

*Natryskiwany materiał ogatunku założonym do badań*



Rys. 10. Przeciwpróbka natryskana założonym do badań materiałem



Rys. 8. Próbka natryskana badaną powłoką przygotowaną do badań (wałek wg rys. 7 natryskany badaną powłoką)

**2.11.5. Sposób wykonania.** W przyrządzie kłowym wg rys. 6 umożliwiającym obracanie próbki względem unieruchomionej przeciwpróbki zamontować próbkę wraz z przeciwpróbkami, poddać założonym obciążeniom  $p$ , następnie nadać jej ruch obrotowy z założoną prędkością  $v$ .

Próbka wraz z przeciwpróbkami powinna być zanurzona w wannie o pojemności  $3500 \text{ cm}^3$  wypełnionej założonym do badań środkiem smarującym.

Pomiar badanych próbek wykonuje się po upływie 150 h, jednak dla ustalenia przebiegu ścierania próbki można ją mierzyć np. co 10 h pracy.

Pomiar wykonuje się w stałych dwóch prostopadłych kierunkach. W tym celu należy oznaczyć

na czole próbki miejsca pomiaru. Pomiar próbki wykonuje się na mikroskopie uniwersalnym z dokładnością do  $0,001 \text{ mm}$ .

**2.11.6. Obliczanie wyników badania.** Ścieralność badanej powłoki w mikrometrach określa się wielkością wytarcia próbki. Wartość tę należy obliczyć jako średnią arytmetyczną z sześciu pomiarów (trzy próbki z dwoma przeciwpróbkami). Wykres zużycia określa funkcja

$$Q = f(t) \quad (11)$$

Przy podawaniu wyników należy określić warunki prowadzonej próby: prędkość obwodową  $v$ , naciski jednostkowe  $p$ , czas prowadzenia próby, chropowatość początkową próbki i przeciwpróbki, rodzaj materiału próbki i przeciwpróbki, rodzaj czynnika smarującego, twardość materiału próbki i przeciwpróbki.

## 2.12. Badanie odporności na zarysowanie

**2.12.1. Zakres stosowania badania.** Badanie należy stosować do powłok pracujących na ścieranie, szczególnie powłok ceramicznych i węglkowych.

**2.12.2. Zasada badania.** Badanie umożliwia określenie odporności powłok na rysujące działanie stożka diamentowego obciążonego siłą  $50 \div 1000$  N.

**2.12.3. Przyrząd** — wg rys. 11.

**2.12.4. Przygotowanie próbki do badań.** Na opiaszkowane jednostronnie próbki stalowe o wymiarach  $85 \times 70 \times 5$  mm należy natryskać (przy założonych parametrach) badaną powłokę na grubość nie mniejszą niż 0,5 mm, następnie próbki należy dokładnie oszlifować.

**2.12.5. Sposób wykonania.** Przygotowaną próbkę mocuje się w przyrządzie (rys. 11) i poddaje rysującemu działaniu stożka diamentowego (włębniaka Rockwella) o kącie wierzchołkowym  $120^\circ$ . Stożek diamentowy powinien być obciążony siłą od 50 do 1000 N. Przyrząd powinien umożliwiać zmianę obciążenia co 50 N.

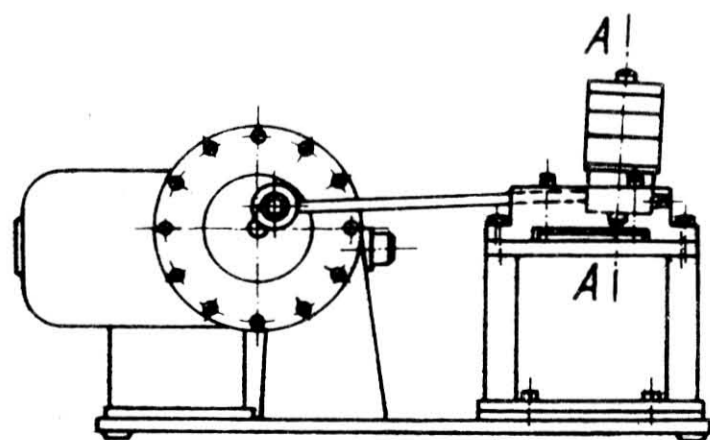
Stożek diamentowy powinien wykonywać 60 suwów na min, przy skoku długości  $20 \div 25$  mm. Czas badania 1 min. W celu określenia odporności powłoki na zarysowanie niezbędne jest wykonanie próby przy co najmniej 3 obciążeniach wzrastających każdorazowo co 100 lub 150 N. Przy każdym obciążeniu wykonuje się trzy zarysowania w odstępie  $2 \div 3$  mm, następnie mierzy szerokość każdej rysy w trzech miejscach z dokładnością do 0,001 mm.

**2.12.6. Obliczanie wyników badania.** Z obliczonej szerokości rysy  $a$  oblicza się następnie jej głębokość  $h$  wg wzoru

$$h = \frac{a\sqrt{3}}{6} \quad (12)$$

Z wartości liczbowych sporządza się wykres zależności głębokości uzyskanej rysy od obciążenia stożka diamentowego lub wynik podaje w formie tablicy.

**2.12.7. Ocena wyników badania.** Odporność na zarysowanie określa się głębokością rysy uzyskanej przy założonym obciążeniu. Wynikiem badania powinien być wykres jako funkcja uzyskana dla kilku materiałów powłokowych lub dla jednego materiału przy różnych parametrach natryskiwania.



## 2.13. Badanie żaroodporności

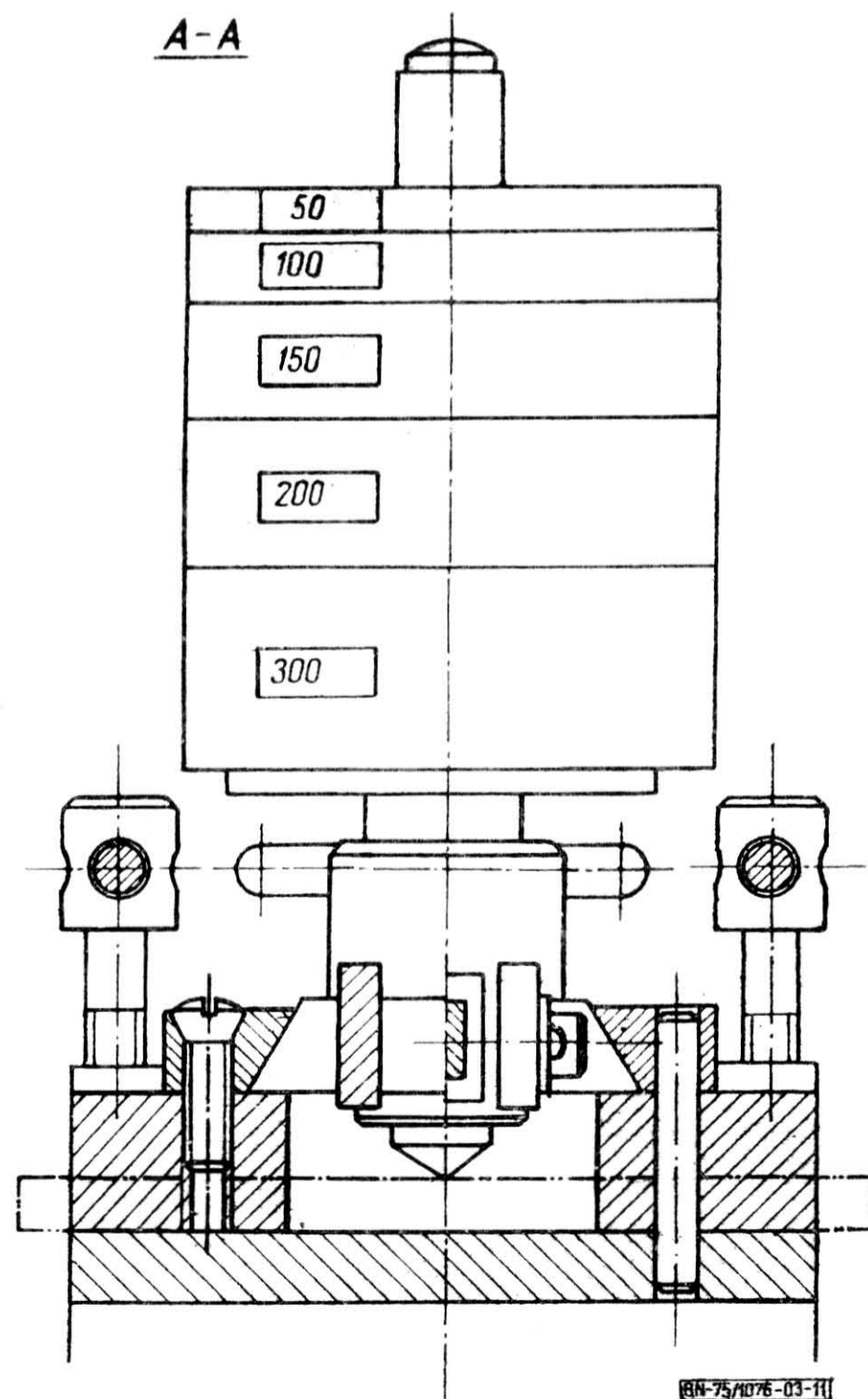
**2.13.1. Rodzaje metod.** Rozróżnia się dwie metody badania powłok na działanie podwyższonych temperatur:

— metodę A, umożliwiającą rejestrowanie w sposób ciągły zmian ciężaru badanej powłoki,

— metodę B, umożliwiającą okresowe rejestrowanie zmian zachodzących w badanej powłoce i jej ciężaru.

**2.13.2. Zakres stosowania metody.** Badaniom podlegają powłoki mające na celu ochronę materiału podłoża przed krozyjnym działaniem środowiska w podwyższonych temperaturach. Próba służy do jakościowego i ilościowego określenia zmian zachodzących w powłokach metalowych w podwyższonych temperaturach w zależności od grubości powłoki, materiału podłoża i rodzaju środowiska.

**2.13.3. Zasada metody.** Badanie metodą A polega na umieszczeniu próbki w urządzeniu grzejmym z termometrem umożliwiającym ciągłą rejestrację zmian ciężaru próbki.



Rys. 11. Przyrząd do badania odporności na zarysowanie

Badanie metodą B polega na umieszczeniu próbek w dowolnym piecu (najlepiej silitowym) i okresowej kontroli zmian ciężarowych zachodzących w próbce.

#### 2.13.4. Aparatura

Metoda A — Termowaga.

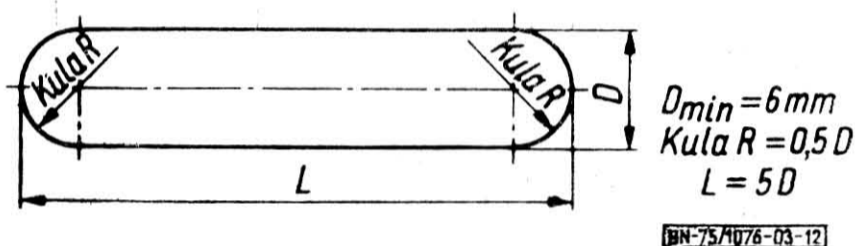
Metoda B — Piec do obróbki cieplnej dowolnego typu o zakresie  $0 \div 1300^\circ\text{C}$ , waga analityczna.

#### 2.13.5. Przygotowanie próbki do badań

**Metoda A.** Wymiar próbki powinien być dostosowany do skali pomiarowej urządzenia (termowagi) służącego do prowadzenia pomiaru.

Kształt próbki powinien być zgodny z rys. 12, przy zachowaniu zależności  $v=0,50D$ . Dla uniknięcia wpływu podłoża na wynik pomiaru należy stosować próbki z powłoką na całej ich powierzchni.

**Metoda B.** Próbki przygotować podobnie jak w metodzie A. Nie ma ograniczeń wielkości próbki.



Rys. 12. Próbkę do pomiaru żaroodporności na zarysowanie

**2.13.6. Sposób wykonania — metoda A.** Próbkę dostosowaną ciężarem do zakresu pomiarowego urządzenia należy zamocować w uchwycie termowagi i wraz z uchwytem umieścić w piecu elektrycznym z regulacją temperatury. Ciężar próbki należy zrównoważyć obciążnikami tak, aby waga urządzenia wskazywała zero. Po zrównoważeniu ciężaru próbki należy regulator temperatury nastawić na założoną temperaturę, następnie włączyć piec i urządzenie rejestrujące zmiany ciężaru badanej próbki w funkcji czasu prowadzonego pomiaru. Jeżeli w czasie trwania próby zaobserwuje się, że wskazania urządzenia rejestrującego nie wykazują zmian, to próbę należy uznać za zakończoną.

W normalnych warunkach czas trwania próby powinien odpowiadać charakterystyce przyrządu pomiarowego, jednak okres ten nie powinien być dłuższy niż 100 h. Próba żaroodporności powinna być prowadzona w atmosferze utleniającej. Dopuszcza się prowadzenie próby w dowolnej innej atmosferze z zastrzeżeniem, że przy określaniu wyników należy dokładnie określić rodzaj atmosfery, w której próbę prowadzono.

W każdym przypadku prowadzenia próby żaroodporności należy dokładnie określić warunki

temperaturowe oraz tolerancję wskazań urządzeń pomiarowo-rejestrujących.

**2.13.7. Sposób wykonania — metoda B.** Próbkę zważyć, a następnie umieścić na odpowiedniej podstawie z blachy żaroodpornej w piecu elektrycznym wyposażonym w regulator temperatury. Po nastawieniu założonej temperatury włączyć piec. Czas trwania próby jak w metodzie A do 100 h. Po 25 h piec należy wyłączyć, ostudzić do temperatury otoczenia i wyjąć próbki. Próbki należy poddać oględzinom wzrokowym i przy powiększeniu 6-krotnym, następnie oczyścić je miękką szczotką włosianą i zważyć. Po zakończeniu ważenia próbki należy umieścić w piecu jak poprzednio i poddać dalszemu wygrzewaniu. Czynność ważenia powtarzać po każdorazowym upływie 25 h.

**2.13.8. Obliczanie wyników badań.** W obu metodach zmiany zachodzące w powłokach należy określić jako stosunek przyrostów masy (dodatnich lub ujemnych) wyrażonej w wielkościach pomiarowych stosowanych urządzeń do powierzchni próbki określonej przed rozpoczęciem próby żaroodporności (w  $\text{cm}^2$  lub  $\text{mm}^2$ ) wg wzoru

$$X = \frac{\Delta Q}{S} \quad (13)$$

w którym:

$X$  — jednostka przyrostu masy, kg,

$\Delta Q$  — przyrost masy ( $Q - Q_1$ ), kg,

$S$  — powierzchnia próbki,  $\text{cm}^2$ .

Przyrost masy w odniesieniu do jednostki powierzchni należy przedstawić graficznie jako zależność  $X = f(t)$  jednostki przyrostu masy do czasu trwania próby.

#### 2.14. Badanie odporności na udary cieplne

**2.14.1. Zakres stosowania badania.** Badaniu podlegają powłoki narażone na działanie gwałtownie zmieniającej się temperatury.

**2.14.2. Zasada badania** służy do określenia zmian zachodzących w powłoce pod wpływem uderzeń cieplnych w określonych temperaturach oraz badania wpływu rodzaju materiału powłokowego i materiału podłoża, grubości powłoki, rodzaju i grubości międzywarstwy, powłok wieloskładnikowych i wielowarstwowych na ich odporność na szybkie zmiany temperatury.

**2.14.3. Urządzenie.** Piec do obróbki cieplnej o zakresie  $0 \div 1300^\circ\text{C}$  wyposażony w dokładny regulator temperatury, źródło sprężonego powietrza o ciśnieniu 0,5 MPa.

**2.14.4. Przygotowanie próbki do badań.** Próbki stalowe w kształcie płytek o wymiarach  $40 \times 60 \times 4$  mm należy pokryć dwustronnie powłoką jed-

no- lub wielowarstwową z badanych materiałów natryskanych na przyjętą grubość

**2.14.5. Sposób wykonania.** Natryskane próbki należy umieścić w piecu do obróbki cieplnej o odpowiedniej temperaturze, wygrzewając na wskroś dla wyrównania temperatury w całym przekroju. Następnie należy wyjąć próbki szybko z pieca i chłodzić intensywnie w strumieniu sprężonego powietrza. Po ochłodzeniu próbki do odpowiedniej temperatury (przyjętej w badaniu), należy próbkę ponownie umieścić w piecu, wygrzewać i chłodzić. Czynności te należy powtarzać wielokrotnie.

Po każdorazowym ochłodzeniu próbki poddaje się ją oględzinom wzrokowym w celu określenia zmian zachodzących na jej powierzchni. W przypadkach wyników niepewnych należy oględziny przeprowadzić pod powiększeniem 6-krotnym.

Próbkę należy prowadzić do chwili pojawienia się pęknięć lub odprysków na powierzchni badanej powłoki.

Zaleca się stosowanie urządzenia, w którym wprowadzenie próbki do pieca, okres wygrzewania i chłodzenia jest sterowany automatycznie.

**2.14.6. Ocena wyników badania.** Miarą odporności powłoki na udary cieplne (w określonym przedziale) temperatury jest liczba kolejnych cykli grzania i chłodzenia do momentu pojawienia się pierwszych pęknięć lub wykruszeń powłoki.

Przy badaniach porównawczych dopuszcza się każdorazowo ustalenie granicznej liczby udarów (np. dla wąskiego zakresu temperatur lub powłoka o wysokiej odporności na szybkie zmiany temperatury — 20 cykli).

K O N I E C

Informacje dodatkowe

Z A Ł A C Z N I K 1

## BADANIE MIKROTWARDOŚCI

**1. Zasada metody badania i próby** polega na wgłębianiu penetratora diamentowego typu Vickersa w badany materiał pod niewielkimi obciążeniami w zakresie  $0 \div 200$  N.

**2. Zakres stosowania próby.** Próbę stosuje się do pomiaru mikrotwardości wszystkich rodzajów materiałów lub poszczególnych faz w nich występujących pod warunkiem uzyskania prawidłowego odcisku penetratora.

### 3. Przygotowanie mikrotwardościomierza

**3.1. Opis aparatu.** Instalowany na mikroskopie metalograficznym typu Neophot twardościomierz Hanemanna składa się z dwóch zasadniczych części — obiektywu i okularu.

Obiektyw ma ostrosłup diamentowy wgłębnika bezpośrednio umocowany w soczewce dokładnie w osi optycznej, wyposażony jest w specjalną usytuowaną pionowo skalę umożliwiającą wywieranie właściwego — żadanego obciążenia na wgłębnik. Ostrosłup diamentowy umieszczony jest dokładnie w osi optycznej obiektywu.

Okular ma w polu widzenia dwie pary półprostych, których każda para tworzy kąt prosty (rys. Z1-1b) oraz stałą skalę poziomą.

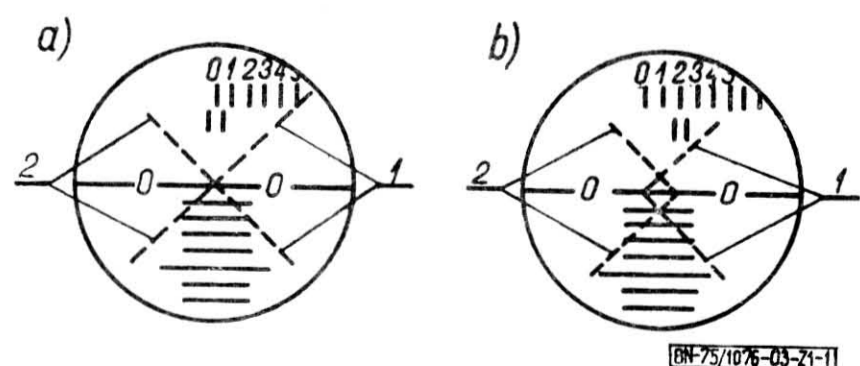
Bęben regulujący, w który wyposażony jest okular umożliwia przesuwanie względem siebie obu par półprostych, zwanych dalej liniami nastawnymi i rejestruje wielkość dokonanych przesunięć, co umożliwia odczytanie wielkości przekątnej odcisku.

Przed przystąpieniem do pomiaru należy kolejno mikrotwardościomierz:

- zamontować na mikroskopie,
- wywzorcować,
- określić wartość działki elementarnej,
- wyregulować (tj. wyśrodkować).

**3.2. Zamontowanie mikrotwardościomierza na mikroskopie.** Zamontowanie twardościomierza Hanemanna na mikroskopie polega na zastąpieniu okularu i obiektywu mikroskopu przez obiektyw i okular twardościomierza. Operację tę należy wykonać zgodnie z instrukcją obsługi mikrotwardościomierza.

**3.3. Wywzorcowanie mikrotwardościomierza.** Po ustawieniu aparatu na mikroskopie w polu widzenia widoczne są dwie skale: pozioma i pionowa oraz dwie linie nastawne (rys. Z1-1a). Przesuwanie tych linii za pomocą pokrętła na okularze tworzy kwadrat, którego wielkość zależna jest od wielkości przesunięcia linii (rys. Z1-1b).



Rys. Z1-1. Obraz skali pionowej i poziomej oraz dwóch linii nastawnych (oznaczenie 1 i oznaczenia 2) widziany w okularze twardościomierza

Ustawienie ostrości skali pionowej wykonuje się przez obracanie pierścienia za pomocą dźwigienki włożonej do otworu wykonanego w tym pierścieniu. W ten sam sposób pierścieniem należy ustawić kreskę zerową skali pionowej dokładnie w punkcie styku obu linii nastawnych.

Wzorcowanie obiektywu przeprowadza się w sposób następujący: na obiektyw nakłada się odpowiednią oprawkę bakelitową i notuje się przesunięcie skali pionowej. Następnie nakłada się odważniki od 5 do 100 N i notuje każdorazowo przesunięcie skali pionowej.

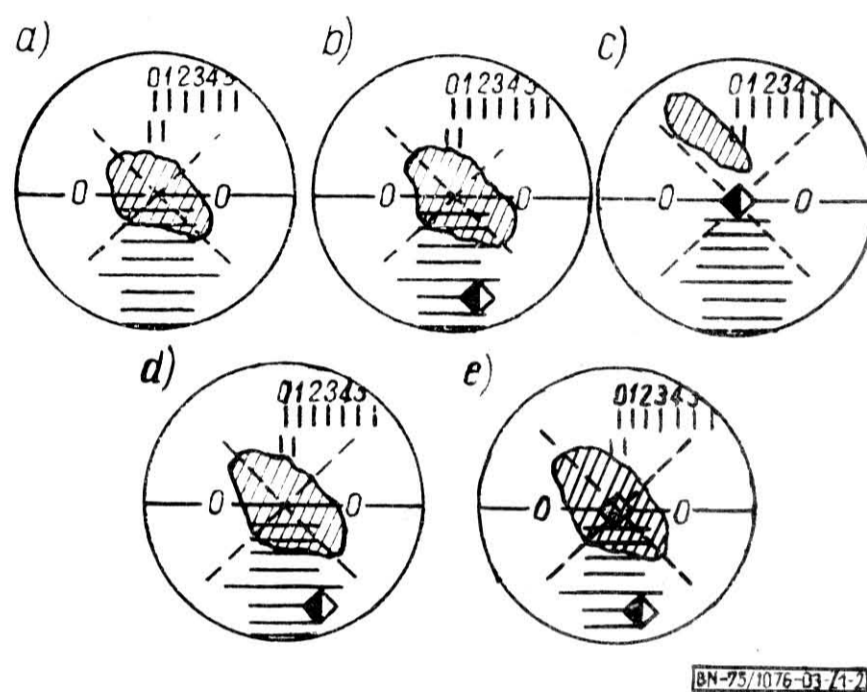
**3.4. Określenie wartości jednej działki elementarnej.** Wartość jednej działki elementarnej w mikrometrach ( $\text{cm}^{-4}$ ) określa się przez porównanie z wzorcem długości. Wzorzec długości ustawia się w miejsce próbki obserwowanej i przez porównanie dwóch na siebie naniesionych obrazów — skali wzorca i skali okularu — określa się stałą skali twardościomierza. Stała przyrządu jest to stosunek długości wzorca (w mm) do odpowiadającej jej odległości działek skali aparatu. Stała ta jest to liczba, przez którą należy pomnożyć wielkość przekątnej odcinka podanej w podziałkach skali, ażeby otrzymać jej wielkość wyrażoną w mikrometrach.

Stałą  $a$  twardościomierza należy zmierzyć indywidualnie dla każdego aparatu. Zwykle  $a=0,3$ .

**3.5. Centrowanie mikrotwardościomierza.** Po wywzorcowaniu skal i określeniu wartości jednej działki elementarnej należy przystąpić do regulowania, czyli tzw. centrowania mikrotwardościomierza.

Na stoliku przedmiotowym mikroskopu należy umieścić próbkę i umocować ją zaciskiem. Następnie przez pokręcenie pokrętła mikrometru należy opuścić stolik tak, aby w okularze zniknęła skala pionowa, a ukazała się struktura badanej próbki z widocznymi na jej tle dwiema skrzyżowanymi liniami i skalą poziomą. Obraz miejsca wybranego do wykonania odcisku należy (przez przesuwanie stolika przedmiotowego) doprowadzić do środka pola widzenia, czyli dokładnie na przecięcie się linii nastawnych okularu (rys. Z1-2a). Z kolei przez pokręcenie pokrętła mikrometru należy zbliżyć próbkę do obiektu. W pewnej chwili obraz próbki niknie i pojawia się skala pionowa, która przy dalszym kręceniu pokrętła mikrometru zaczyna się przesuwać. Po przesunięciu jej, np. o 5 kresek (co odpowiada obciążeniu 10 N), należy odczekać 30 s i cofnąć, aż do ponownego pojawienia się obrazu próbki. Jeżeli twardościomierz nie był wycentrowany, odcisk 1 nie będzie widoczny w środku pola widzenia, lecz z boku (rys. Z1-2b). Teraz za pomocą śrub regulujących okulary należy przesunąć środek pola widzenia tak, by obraz wyko-

nanego odcisku znalazł się na przecięciu linii nastawnych (rys. Z1-2c). Następnie należy stolik przedmiotowy przesunąć tak, aby ponownie wybrane miejsce znalazło się w środku pola widzenia (rys. Z1-2d) i wykonać powtórnie odcisk. Wykonany odcisk 2 powinien znaleźć się w wybranym miejscu na środku pola widzenia (rys. Z1-2a). Jeżeli w dalszym ciągu występuje odchyłka, centrowanie należy powtórzyć. Po przeprowadzeniu skalowania i regulowania twardościomierza należy sprawdzić, czy kreska zerowa skali pionowej znajduje się dokładnie na przecięciu linii nastawnych.



Rys. Z1-2. Centrowanie twardościomierza

**4. Przygotowanie szlifu próbki badanego materiału.** Powierzchnia badanej próbki metalowej powinna być płaska i starannie wypolerowana przed trawieniem.

Polerowanie przez ścieranie powoduje rozmazanie warstw powierzchniowych i powstanie błonki zwanej *warstwą Beilby'ego* mającej inne własności fizyczne niż znajdujący się pod nią, będący przedmiotem badania, materiał. Unikać więc należy polerowania mechanicznego, zaleca się stosowanie polerowania elektrolitycznego. Polerowanie i trawienie elektrolityczne usuwa *warstwą Beilby'ego* i podnosi dokładność pomiaru mikrotwardości.

Ze względów technicznych dopuszcza się jednak stosowanie polerowania mechanicznego i następującego po nim trawienia chemicznego.

W przypadku polerowania mechanicznego próbkę należy przed ostatecznym wytrawieniem co najmniej 2 razy wstępnie trawić i polerować.

Przy podawaniu pomiarów mikrotwardości każdorazowo należy określić sposób przygotowania powierzchni szlifu.

## 5. Sposób pomiaru

**5.1. Postanowienia ogólne.** Wielkość obciążenia pomiarowego dobiera się w zależności od wymiarów, własności i położenia ziarna badanego składnika lub od grubości badanego materiału. Jeśli ba-

danym materiałem jest folia lub cienki drut, albo cienkie warstwy uzyskane np. przez powierzchniową obróbkę cieplną, to przy wykonywaniu pomiarów kierować się należy następującymi zasadami:

a) wielkość obciążenia i miejsce pomiaru należy tak dobrać, aby odcisk znalazł się w odległości równej co najmniej jednej do dwóch długości przekątnej odcisku od brzegu ziarna; zaleca się obierać miejsce pomiaru w środku ziarna;

b) obciążenie powinno być tak dobrane, aby w badanym ziarnie nie tworzyły się pęknięcia wskutek działania nacisku oraz aby ziarno nie odrywało się od podłoża;

c) obciążenie powinno być przy spełnieniu poprzednio podanych warunków możliwie największe, gdyż przy większych odciskach otrzymuje się mniejsze błędy pomiarowe odczytu długości przekątnej;

d) pomiar mikrotwardości należy wykonywać co najmniej na trzech ziarnach tego samego rodzaju, a następnie z otrzymanych wyników obliczyć średnią wartość arytmetyczną.

Zaleca się stosować zależnie od stopnia twardości mierzonego składnika strukturalnego obciążenia 5; 10; 20 N albo 10; 20; 50 N lub 20; 50 i 100 N.

## 5.2. Pomiar

**5.2.1. Wykonanie odcisku ostrosłupa w metalu badanym.** Na stoliku przedmiotowym mikroskopu należy ustawić i umocować badaną próbkę. Po opuszczeniu stolika i wybraniu odpowiedniego miejsca należy wykonać przy założonym obciążeniu odcisk.

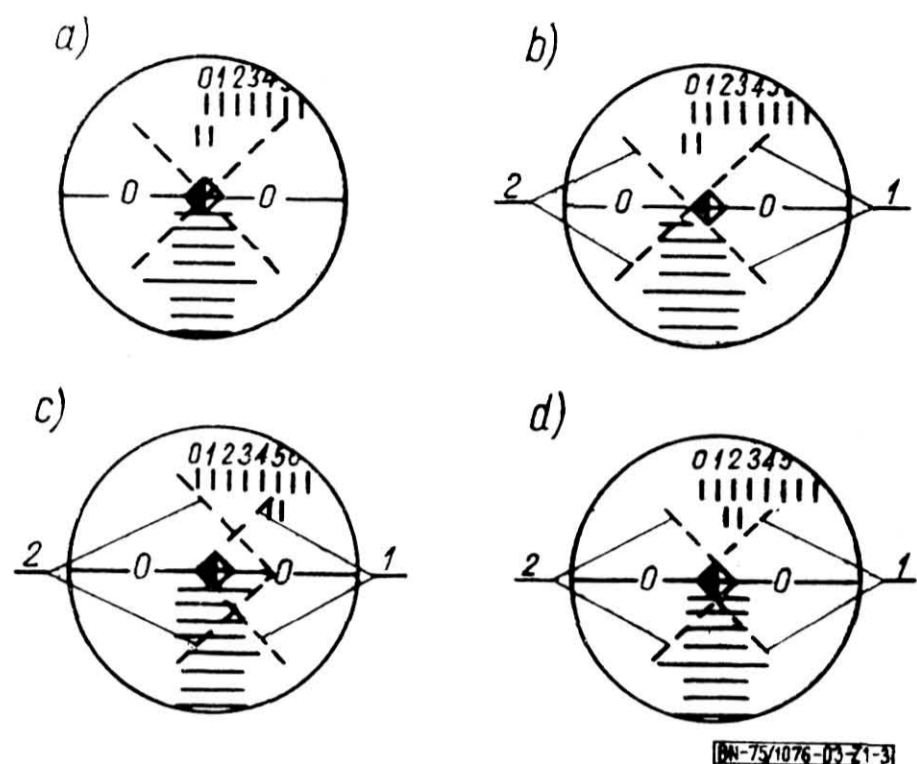
Sposób wykonania odcisku — wg Załącznika 1 rys. Z1-3. Czas wciskania ostrosłupa diamentowego bez względu na wielkość obciążenia powinien wynosić 30 s.

**5.2.2. Pomiar wielkości przekątnej.** Po wykonaniu odcisku należy przeprowadzić pomiar jego przekątnej. W polu widzenia okularu widocznym będzie obraz podany na rys. Z1-3a.

Przesuwając stolik mikroskopu należy próbkę umieścić w ten sposób, aby lewy wierzchołek krawędzi odcisku został linią nastawną 1 (rys. Z1-3b). Następnie przez pokręcenie bębna mikrometru okularu należy przesunąć linię nastawną na prawo poza obraz odcisku (rys. Z1-3c) i odprowadzić ją z prawej strony aż do objęcia przez nią prawego wierzchołka krawędzi odcisku (rys. Z1-3d).

Odczyt wykonuje się najpierw na skali poziomej okularu, np. 2 (rys. Z1-3d), a następnie na skali bębna mikrometru okularu, np. 22. W tym przypadku długość przekątnej w działkach elementarnych wynosi 222. Wynik ten zapisuje się w tablicy.

Znając wartość jednej działki elementarnej można w tablicy wpisać wielkość przekątnej w mikrometrach.



Rys. Z1-3. Obrazy widoczne w okularze twardościomierza po operacji wykonania odcisku

Przy pomiarach mikrotwardości należy wykonać minimum po trzy odciski przy jednakowym obciążeniu i z wielkości tych obliczyć wartość średnią arytmetyczną. Zaleca się stosować w miarę możliwości zwiększoną liczbę odcisków rzędu 4÷5 dla każdego z obciążeń.

Odcisk nr	Obciążenie P N	Wielkość d przekątnej odcisku		Średnia wielkość przekątnej odcisku $d_{sr}$
		działek	$\mu\text{m}$	
1	20	222	66,6	66,0
2	20	220	66,0	
3	20	218	65,4	
4	50	252	75,2	76,2
5	50	254	76,2	
6	50	259	77,7	
7	100	300	90,0	88,1
8	100	289	86,7	
9	100	292	87,6	

Po wykonaniu odcisków przy jednym obciążeniu należy wykonać odciski jeszcze co najmniej przy dwóch innych obciążeniach np. 10, 20 i 50 N zależnie od spodziewanej twardości materiału (wg 5.1) i obliczyć dla nich wielkość przekątnych. Mając te dane można przystąpić do opracowania wyników pomiaru wyznaczenia mikrotwardości.

## 6. Obliczanie wyników

**6.1. Postanowienia ogólne.** Wynik stanowią trzy wartości średnie z co najmniej trzech odcisków dla każdego z trzech obciążeń (np. 5, 10, 20 N lub 10, 20 i 50 N).

Przekątną średnią oznacza się przez  $d_{sr}$  pisząc w oznaczeniu wielkość obciążenia w gramach. Przykład:  $d_{sr 20}$  oznacza się średnią przekątną odcisku otrzymanego pod obciążeniem 20 N.

**6.2. Wykreślne przedstawienie wyników pomiaru mikrotwardości.** Wykreślne przedstawienie wyników należy podawać w podwójnym układzie logarytmicznym na wykresach określających:

a) zmianę wielkości przekątnej odcisku  $d_{sr}$  w funkcji wielkości obciążenia  $P$ , pod którym odcisk został wykonany ( $d_{sr}=f(P)$ , tzw. *prosta Meyera*),

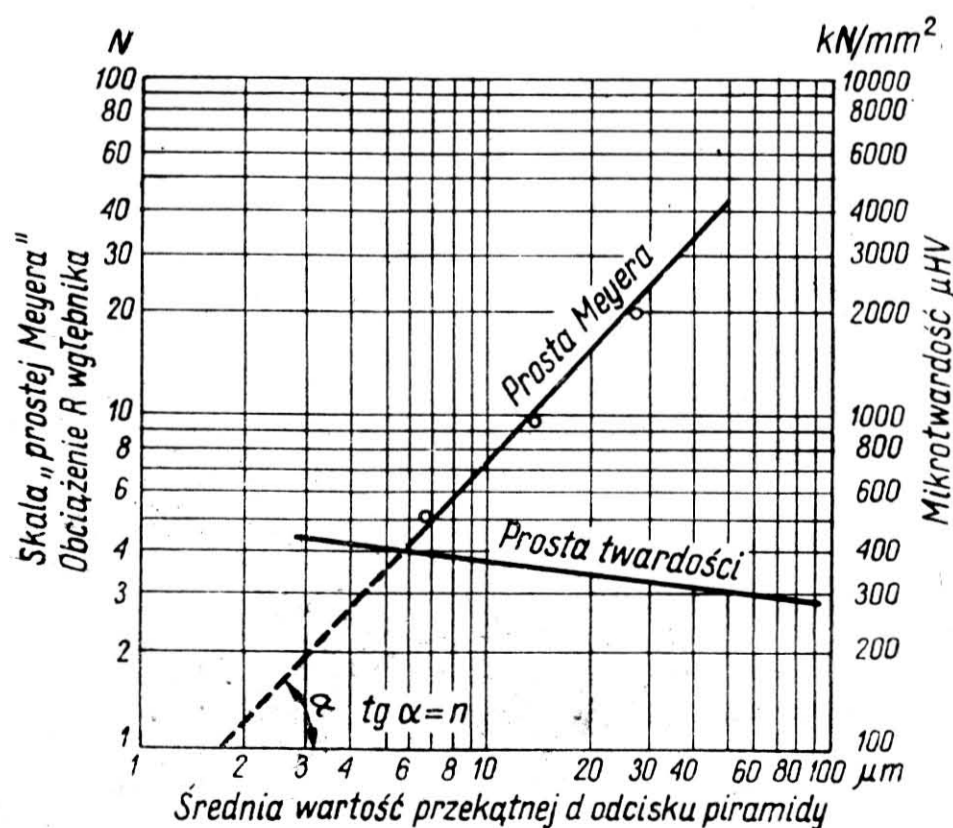
b) zmianę mikrotwardości  $\mu HV$  w  $\text{kN/mm}^2$  w funkcji wielkości przekątnej  $d_{sr}$  ( $\mu HV=f(d_{sr})$  — tzw. *prosta twardości*).

W celu uproszczenia obie zależności wykreśla się na jednym wykresie, na którym na osi odciętych nanosi się wielkość  $d_{sr}$ , a na osi rzędnych — obciążenie wgłębnika  $P$  w N i mikrotwardość  $\mu HV$  w  $\text{kN/mm}^2$ .

Na rys. Z1-4 przedstawiono w naturalnej wielkości siatkę wykresów w układzie podwójnie logarytmicznym.

**6.3. Wykreślne przedstawienie zależności  $d_{sr} = f(P)$ .** Według skali podanych na rys. Z1-4 na wykres nanosi się wyrażone w mikrometrach uzyskane w pomiarach średnie wartości przekątnych odcisków ( $d_{sr}$ ), np.  $d_{sr 5}$ ,  $d_{sr 10}$  i  $d_{sr 20}$  otrzymane przy obciążeniach  $P$  wgłębnika równych 5, 10 i 20 N. Przecięcia odciętych ( $d_{sr}$ ) i rzędnych ( $P$ ) dają punkty, przez które poprowadzić należy prostą. Prosta ta nosi nazwę *prostej Meyera*.

Punkty zwykle nie układają się dokładnie wzdłuż linii prostej. Kreśląc *prostą Meyera* należy interpelować pomiędzy punktami otrzymanymi z pomiarów.



BN-75/1076-03-Z1-4

Rys. Z1-4. Wspólna skala dla wykresów zależności  $d_{sr} = f(P)$  i  $\mu HV = f(d_{sr})$

**6.4. Określenie współczynnika kierunkowego prostej Meyera czyli tzw. wykładnika  $n$ .** Współczynnik kierunkowy prostej obliczać można:

a) analitycznie dobierając do obliczeń współrzędne ( $P_{sr}$ ) dwóch dowolnych punktów prostej,

b) wykreślnie obliczając z wykresu kąt  $\alpha$  krzywej Meyera i znajdując wartość jego tangensa — gdyż  $\text{tg } \alpha = n$  (rys. Z1-4).

**6.5. Obliczenie mikrotwardości  $\mu HV$  i wykreślenie zależności  $\mu HV = f(d_{sr})$ , tzw. prostej twardości.** Wielkość mikrotwardości zależy od wielkości nacisku wywieranego na wgłębnik.

Wielkość mikrotwardości  $\mu HV$  w  $\text{kN/mm}^2$  pod danym obciążeniem  $P$  w N oblicza się ze wzoru

$$\mu HV_p = 1854 \frac{P}{d^2}$$

Za pomocą krzywej Meyera oblicza się dla trzech wielkości przekątnych  $d$ , np.  $d_1 = 5 \mu\text{m}$ ,  $d_2 = 10 \mu\text{m}$  i  $d_3 = 20 \mu\text{m}$ , wartości odpowiadających im obciążeń  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ . Otrzymane wartości  $P$  podstawione do wzoru  $\mu HV = 1854 \frac{P}{d^2}$  dają trzy kolejne wartości mikrotwardości  $\mu HV_{p1}$ ,  $\mu HV_{p2}$  i  $\mu HV_{p3}$  w  $\text{kN/mm}^2$ .

Wielkości przekątnych  $d_1$ ,  $d_2$  i  $d_3$  oraz wartości  $\mu HV_{p1}$ ,  $\mu HV_{p2}$  i  $\mu HV_{p3}$  dają w układzie  $d - \mu HV$  trzy punkty. Punkty te wytyczają prostą twardości (rys. Z1-4). Warunki kreślenia prostej twardości są analogiczne do warunków wykreślenia prostej Meyera (6.4).

Za pomocą prostej twardości można dla dowolnej wartości przekątnej określić mikrotwardość danego składnika strukturalnego.

Mikrotwardość danego przedmiotu lub składnika strukturalnego może być jednocześnie oznaczona jedynie trzema następującymi grupami twardości:

a) wykreślne w układzie podwójnie logarytmicznym — *prostymi Meyera*  $d_{sr} = f(P)$  i twardości  $\mu HV = f(d_{sr})$ .

b) trzema wartościami mikrotwardości odpowiadającymi trzem różnymi wartościami przekątnych odcisków, np.  $\mu HV$  ( $5 \mu\text{m}$ ),  $\mu HV$  ( $10 \mu\text{m}$ ) i  $\mu HV$  ( $20 \mu\text{m}$ ).

c) wykładnikiem  $n$  i jedną wartością mikrotwardości dla dowolnej wartości przekątnej  $d$ , np.  $\mu HV$  ( $20 \mu\text{m}$ ).

Wszelkie inne oznaczenia mikrotwardości są niewłaściwe. W szczególności oznaczenie mikrotwardości w formie, np.  $\mu HV = 560 \text{ kN/mm}^2$ , jest nie wystarczające i nie określa jednoznacznie mikrotwardości badanego składnika.

Wyników uzyskanych przy stosowaniu twardościomierza Hanemanna nie można porównywać z wynikami uzyskanymi przy użyciu twardościomierza Vickersa.

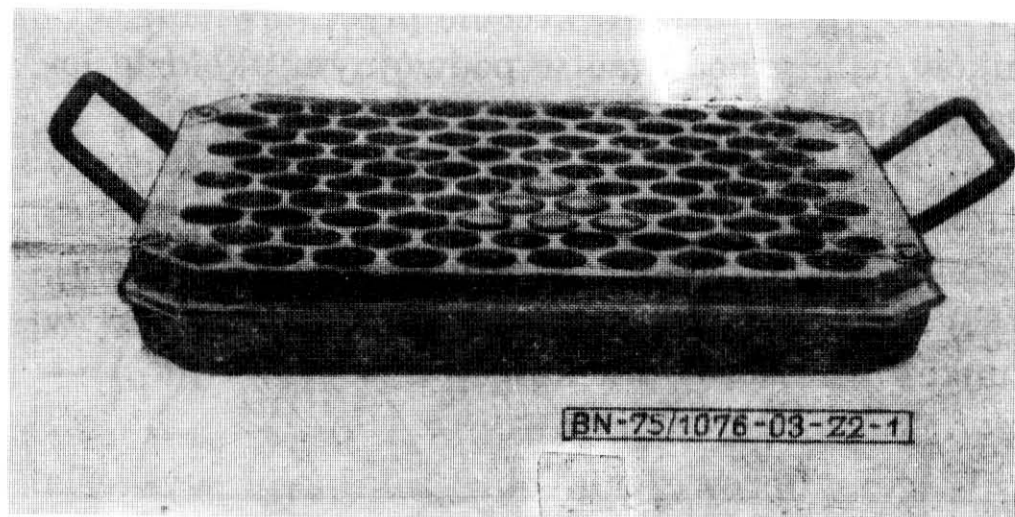
## BADANIE PRZYCZEPNOŚCI

Do przygotowania próbek i przeciwpróbek za pomocą piaskowania zaleca się stosowanie przyrządu zgodnie z rys. Z2-1. Umożliwia on opiaskowanie w jednakowych warunkach całej serii badanych próbek.

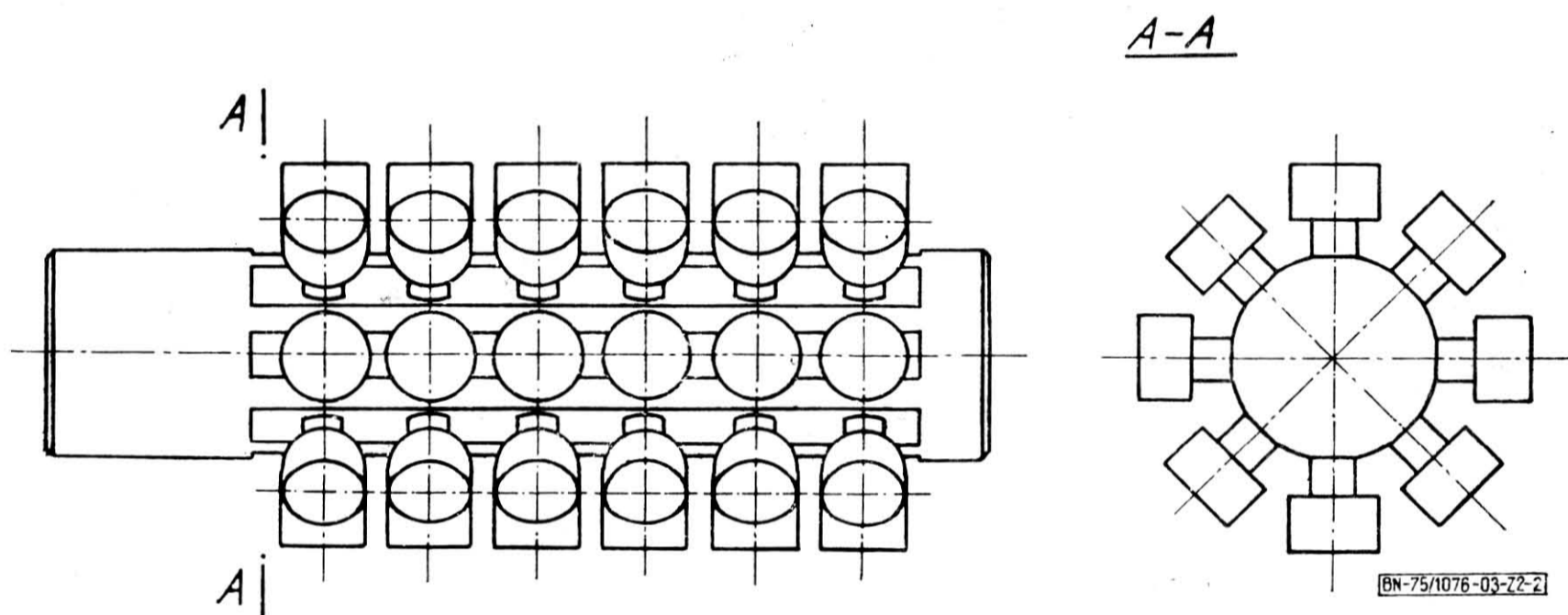
Do natryskiwania zaleca się stosować przyrząd pokazany na rys. Z2-2. Przyrząd umożliwia w prosty sposób natryskanie w jednakowych, założonych warunkach wszystkich próbek. Również do klejenia próbek z przeciwpróbkami wskazane jest używanie przyrządu zapewniającego stały docisk klejonych powierzchni i współosiowość próbek z przeciwpróbkami.

Do odrywania konieczne jest stosowanie przyrządu pokazanego na rys. Z2-3. Kulisty przegub

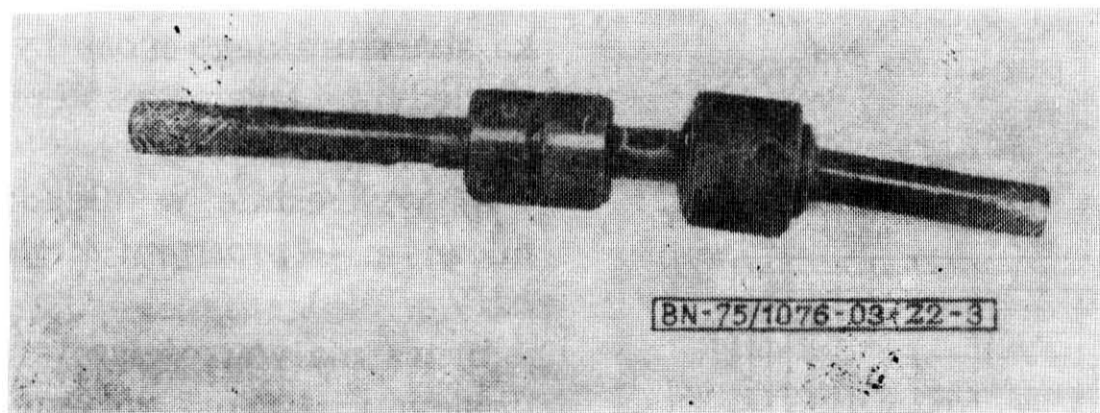
w tym przyrządzie zapewnia zawsze prostokątność obciążenia do natryskanej powierzchni.



Rys. Z2-1



Rys. Z2-2



Rys. Z2-3

## INFORMACJE DODATKOWE

1. Instytucja opracowująca normę — Instytut Mechaniki Precyzyjnej — Warszawa.

### 2. Istotne zmiany w stosunku do BN-67/1076-03

- zaktualizowano i skrócono tekst normy,
- wprowadzono uzupełnienia wyjaśniające,
- przeniesiono Normy związane do Informacji dodatkowych.

### 3. Normy i dokumenty związane

PN-76/H-04623 Ochrona przed korozją. Pomiar grubości powłok metalowych i konwersyjnych metodami nieniszczącymi

PN-73/M-04251 Struktura, geometryczna powierzchni. Chropowatość powierzchni. Określenia podstawowe i parametry Instrukcja POM poz. 3, 165/1 oraz 3, 166/1.

### 4. Zalecenia międzynarodowe — brak.

5. Autorzy projektu normy — mgr inż. Jerzy Brennek, mgr inż. Janusz Kanieski, dr inż. Zbigniew Kowalski, dr inż. Witold Milewski, Instytut Mechaniki Precyzyjnej.

6. Wydanie 4 — stan aktualny: listopad 1983 — uaktualniono normy związane oraz wprowadzono zmianę 1 — Biuletyn PKNMiJ nr 6-7/1980.