



INSTRUKCJA DO ZAJĘĆ LABORATORYJNYCH

Laboratorium z przedmiotu: Podstawy metrologii	Kod przedmiotu: KS02138
Temat: Pomiar chropowatości powierzchni	Nr ćwiczenia: 4
	Kierunek: Zarządzanie i inżynieria produkcji

Cel ćwiczenia

Pogłębienie wiadomości nt. parametrów opisujących cechy profilu chropowatości oraz praktyczne zapoznanie się z oceną chropowatości przy pomocy porównawczych wzorców chropowatości.

Wyposażenie stanowiska

Narzędzia pomiarowe: wzorce chropowatości, instrukcja do zajęć laboratoryjnych.

Zakres ćwiczenia

Określenie chropowatości powierzchni przez porównanie z wzorcami chropowatości.

Sprawozdanie z ćwiczeń

Wykonanie sprawozdania na podstawie załączonego do instrukcji formularza.

LITERATURA

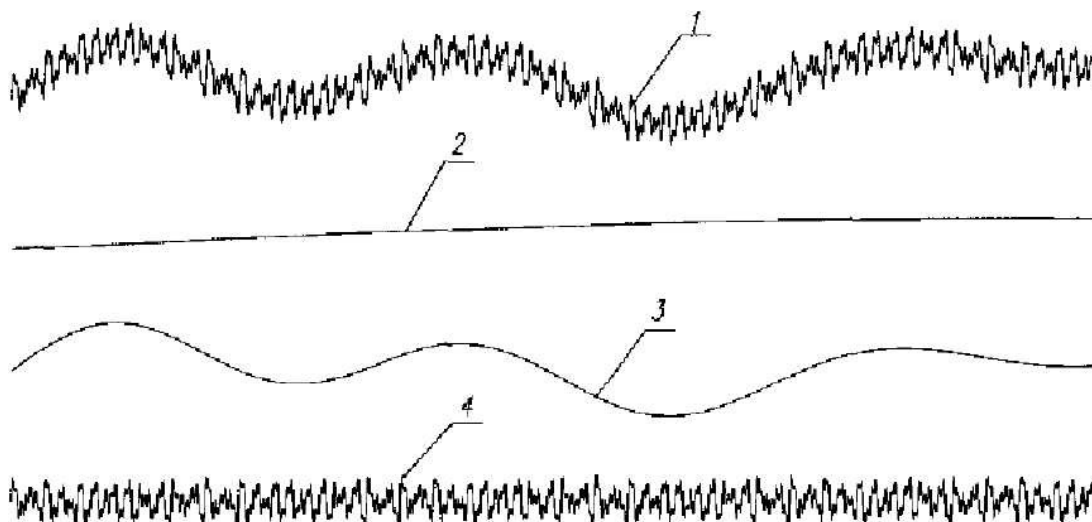
1. Humienny Z.: Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS), WNT Warszawa 2004;
2. Jakubiec W., Malinowski J.: Metrologia wielkości geometrycznych, WNT Warszawa 2004;
3. Kolman R.: Technika pomiarów warsztatowych, PWSZ, Warszawa 1969;
4. Adamczak S., Miko E.: Kompleksowe pomiary chropowatości powierzchni walcowych obrobionych na frezarce CNC X Krajowa, I Międzynarodowa Konferencja Metrologia w technikach wytwarzania, Kraków 2003;
5. Górecka R., Polański Z.: Metrologia warstwy wierzchnie. WNT. Warszawa 1983;
6. Nowich B.: Struktura geometryczna. Chropowatość i falistość powierzchni, WNT, Warszawa 1992;
7. Łukianowicz C.: Podstawy pomiarów nierówności powierzchni metodami rozpraszania światła. WUPK, Koszalin 2001;
8. PN-EN 1370:2001 Odlewnictwo — Badanie chropowatości powierzchni za pomocą wzorców wzrokowo-dotykowych;
9. PN-EN ISO 1302-2002 (U) Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) — Oznaczanie struktur geometrycznej powierzchni w dokumentacjach technicznych wyrobów;
10. PN-91/M-04301 Tribologia — Terminologia podstawowa.

Opracował: dr inż. Łukasz Dragun	Sprawdził: dr hab. inż. Jerzy Jaroszewicz
Politechnika Białostocka 2020	

1. PODSTAWY TEORETYCZNE

Zbiór wszystkich nierówności powierzchni nazywa się strukturą geometryczną powierzchni. Strukturę geometryczną powierzchni analizuje się najczęściej w przekrojach płaszczyzną prostopadłą do powierzchni, zwanych profilami powierzchni. W przypadku występowania kierunkowości struktury typowym jest wykorzystanie tzw. profilu poprzecznego, czyli leżącego w płaszczyźnie prostopadłej do śladów obróbki.

Pomiary profilu powierzchni wykonuje się względem profilu odniesienia realizowanego przez prowadnice przyrządu. Po wy poziomowaniu profilu, tzn. oddzieleniu z profilu odwzorowanego nachylenia wynikającego z braku równoległości powierzchni przedmiotu do linii pomiaru oraz z odchyłek kształtu otrzymuje się tzw. profil pierwotny. Profil ten zwykle rozdziela się na profile falistości i chropowatości. Zarówno dla profilu pierwotnego, jak i dla profili chropowatości i falistości definiuje się charakteryzujące je parametry. Umowny podział profilu odwzorowanego na profil kształtu, falistości i chropowatości przedstawiono na Rys. 1. Wydzielanie z profilu powierzchni profili falistości i chropowatości może być realizowane na wiele sposobów.



Rys. 1. Umowny podział profilu powierzchni (1) na profil kształtu (2), falistości (3) i chropowatości (4) [2]

Chropowatość powierzchni to cecha powierzchni ciała stałego, oznacza rozpoznawalne optyczne lub wyczuwalne mechanicznie nierówności powierzchni, niewynikające z jej kształtu, lecz przynajmniej o jeden rząd wielkości drobniejsze. Chropowatość w przeciwieństwie do innej podobnej cechy – falistości powierzchni, jest pojęciem odnoszącym się do nierówności o relatywnie małych odległościach wierzchołków. Wielkość chropowatości powierzchni zależy od rodzaju materiału i przede wszystkim od rodzaju jego obróbki.

W budowie maszyn stosuje się dwa parametry (stosuje się więcej parametrów – te dwa można uznać za podstawowe) określające.

Średnie arytmetyczne odchylenie profilu od linii średniej – R_a

$$R_a = \sum \frac{y_n}{n} \quad (1)$$

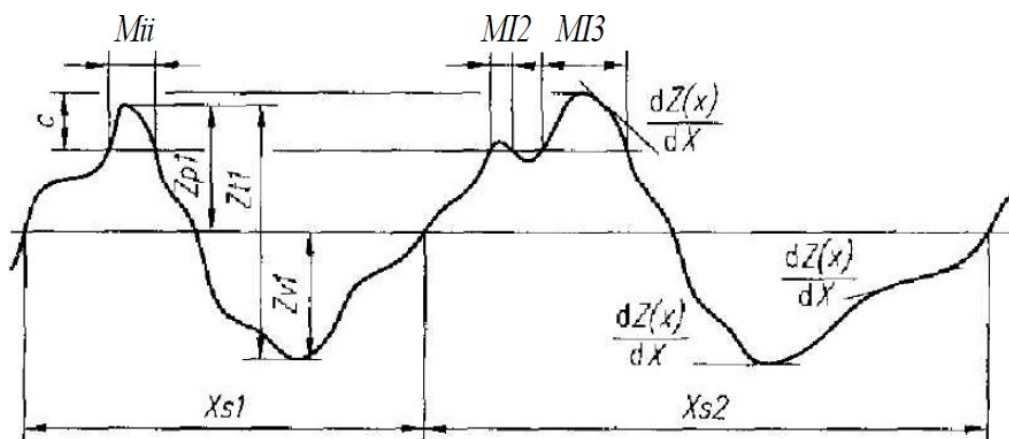
Linia średnia jest teoretyczną linią, przy której suma kwadratów odległości wzniesień i zagłębień jest najmniejsza. Pomiaru dokonuje się na odcinku elementarnym Le określanym przez Polską Normę. Długość odcinka elementarnego zależy od wartości parametru chropowatości i może być równa jednej z sześciu wartości wyrażonych w milimetrach: 25; 8; 2,5; 0,8; 0,25; 0,08.

Wysokość chropowatości według dziesięciu punktów profilu - Rz

Średnia arytmetyczna wysokość pięciu najwyższych wzniesień ponad linię średnią pomniejszona o średnią pięciu najniższych wgłębień poniżej linii średniej.

$$Rz = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5}{5} - \frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5}{5} \quad (2)$$

Chropowatość mierzona jest specjalnymi urządzeniami pomiarowymi zwanymi profilometrami. Większość z produkowanych obecnie urządzeń jest w stanie zmierzyć obydwa parametry.



Rys. 2 Schemat do definicji parametrów profilu powierzchni [2]

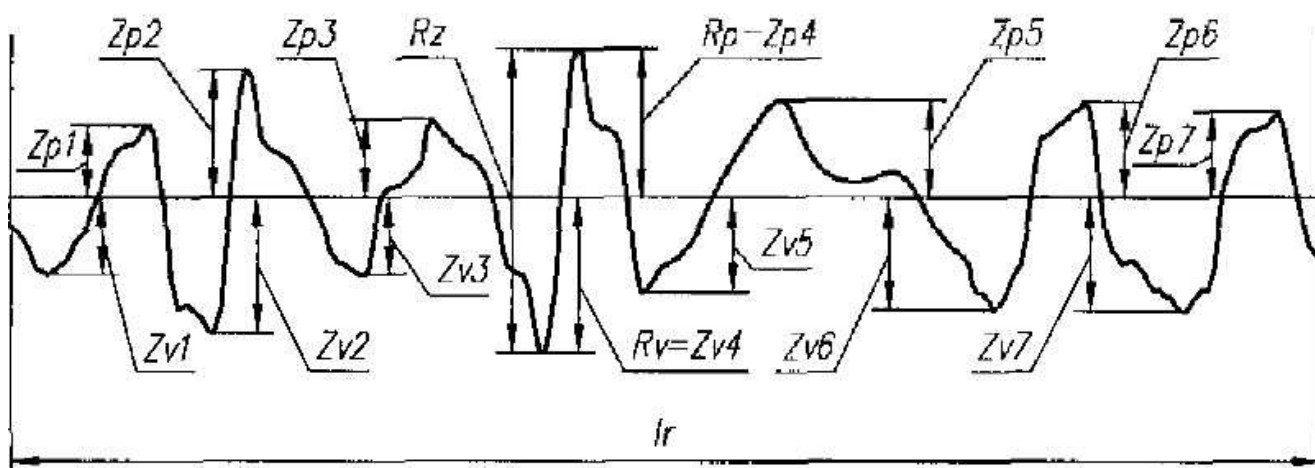
- **profil powierzchni** — profil uzyskany przez przecięcie powierzchni przedmiotu określoną płaszczyzną.
- **profil odwzorowany** — miejsce geometryczne punktów środka wierzchołka ostrza odwzorowującego o **idealnym** kształcie geometrycznym (stożkowym z wierzchołkiem kulistym) i wymiarach nominalnych, przemieszczającego się po powierzchni w płaszczyźnie przekroju,
- **profil odniesienia** — linia odwzorowująca przesuwanie się czujnika wzdłuż płaszczyzny przekroju wzdłużnego prowadnicy,
- **profil całkowity** — cyfrowa postać profilu odwzorowanego względem profilu odniesienia, z przyporządkowanymi wzajemnie współrzędnymi pionowymi i poziomymi,
- **filtr profilu** — filtr który wyodrębnia (oddziela) składowe krótkofalowe lub długofalowe profilu powierzchni,
- **filtr profilu L** — filtr, który wyznacza przejście od chropowatości do składowych o jeszcze mniejszych długościach fal występujących na powierzchni,
- **filtr profilu Xc** — filtr, który wyznacza przejście od chropowatości do falistości,
- **filtr profilu Xf** — filtr, który wyznacza przejście od falistości do składowych o jeszcze większych długościach fal występujących na powierzchni,
- **profil pierwotny** — **profil** całkowity po zastosowaniu filtra As który oddziela składowe o długościach fal krótszych niż chropowatość powierzchni,
- **profil chropowatości** — **profil** uzyskany z profilu pierwotnego przez oddzielenie składowych **długofalowych** profilu filtrem $\lambda\alpha$,
- **profil falistości** — profil uzyskany z profilu pierwotnego przez kolejne zastosowanie filtrów profilu Λ / oddzielającego długofalowo składowe profilu (o długościach fal dłuższych niż falistość) i A_c oddzielającego krótkofalowe składowe profilu (chropowatość),
- **odcinek elementarny** l_p (profilu pierwotnego), l_r (profilu chropowatości), l_w (profilu falistości) długość odcinka linii średniej stosowanej do identyfikacji nierówności charakteryzujących oceniany profil

- **odcinek pomiarowy l_n** — długość odcinka linii średniej stosowana do oceny profilu,
- **odcinek odwzorowania l_t** — całkowita długość odcinka profilu, zmierzonego za pomocą przyrządu,
- **linia średni profilu pierwotnego** linia wyznaczona przez dopasowanie nominalnego kształtu do profilu pierwotnego metodą najmniejszych kwadratów,
- **linia średnia profilu chropowatości** to linia odpowiadająca składowym długofalowym profilu, które są tłumione filtrem profilu A_c ,
- **linia średnia profilu falistości** to linia odpowiadająca składowym długofalowym profilu, które są tłumione filtrem profilu A_f
- **wzniesienie (wgłębienie) profilu** — część ocenianego profilu skierowana na zewnątrz (do wewnątrz) materiału, łącząca dwa sąsiednie punkty przecięcia profilu z linią średnią,
- **element profilu** — wzniesienie i sąsiadujące z nim wgłębienie profilu,
- **wartość rzędnej $Z(x)$** — wysokość mierzonego profilu dla zadanej współrzędnej x ,
- **miejscowe nachylenie** — nachylenie mierzonego profilu w przyjętym punkcie x ,
- **wysokość wzniesienia profilu Z_p** — odległość od najwyższego punktu wzniesienia profilu do unii średniej,
- **głębokość wgłębienia profilu Z_v** — odległość od najniższego punktu wgłębienia profilu do linii średniej,
- **różnica wysokości elementu profilu Z_t** — suma wysokości wzniesienia i głębokości wgłębienia jednego elementu profilu,
- **szerokość elementu profilu X_s** — długość odcinka unii średniej ograniczonego przez element profilu,
- **długość materiałowa elementu profilu na poziomie c , $MI(c)$** — suma długości odcinków powstałych przez przecięcie elementu profilu i linią równoległą do linii średniej na zadanym poziomie c .

2. PARAMETRY PROFILU, CHROPOWATOŚCI I FALISTOŚCI POWIERZCHNI

Większość parametrów jest zdefiniowana na długości odcinka elementarnego l_r . Wzory definicyjne dotyczą najczęściej równocześnie parametrów profilu, chropowatości i falistości. W niektórych przypadkach wzory definiujące parametry profilu, chropowatości i falistości powierzchni podano na przykładzie parametru chropowatości powierzchni.

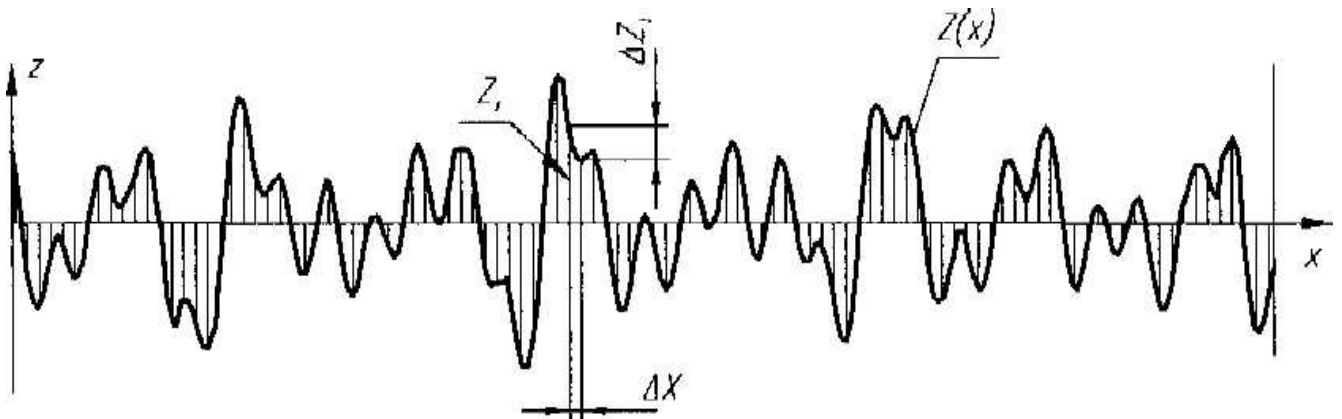
a) parametry pionowe



Rys. 3 Schemat do definicji parametrów R_p , R_v , R_z [2]

- **P_p , R_p , W_p** — wysokość najwyższego wzniesienia profilu — wysokość najwyższego wzniesienia profilu Z_p wewnątrz odcinka elementarnego l_r ,
- **P_v , R_v , W_v** — głębokość najniższego wgłębienia profilu — głębokość najniższego wgłębienia profilu Z_v wewnątrz odcinka elementarnego l_r ,

- **Pz, Rz, Wz** — największa wysokość profilu — suma wysokości najwyższego wzniesienia profilu Z_p i głębokości najniższego wgłębienia profilu Z_v wewnątrz odcinka elementarnego l_r ,
- **Pc, Rc, We** — średnia wysokość elementów profilu
- średnia wartość wysokości elementów profilu Z_t wewnątrz odcinka elementarnego l_r
- **Pt, Rt, Wt** — całkowita wysokość profilu — suma wysokości najwyższego wzniesienia profilu Z_p i głębokości najgłębszego wgłębienia profilu Z_v wewnątrz odcinka pomiarowego l_n ,
- **PaRa, Wa** — średnia arytmetyczna rzędnych profilu — średnia arytmetyczna bezwzględnych wartości rzędnych $Z(x)$ wewnątrz odcinka elementarnego l_r ,



Rys. 4 Schemat do definicji parametrów R_a , R_q , R_{sk} , R_{hi} [2]

- P_{qt} R_q , W_q — średnia kwadratowa rzędnych profilu — średnia kwadratowa wartości rzędnych $Z(x)$ wewnątrz odcinka elementarnego,

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z^2(x) dx} \approx \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^2} \quad (3)$$

- P_{sk} , R_{sk} , W_{sk} — współczynnik asymetrii profilu — iloraz średniej wartości trzeciej potęgi rzędnych $Z(x)$ i trzeciej potęgi odpowiedniego parametru P_q , R_q lub W_q wewnątrz odcinka elementarnego,

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \left[\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z^3(x)| dx \right] \approx \frac{1}{R_q^3} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_i^3| \quad (4)$$

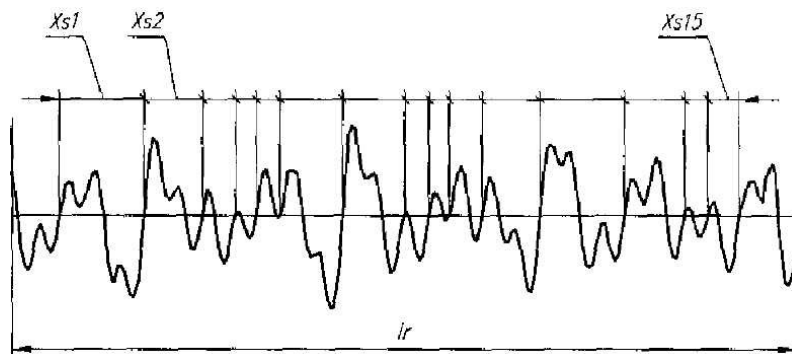
- P_{ku} , R_{ku} , W_{ku} — współczynnik spłaszczenia profilu — iloraz średniej wartości czwartej potęgi rzędnych $Z(x)$ i trzeciej potęgi odpowiedniego parametru P_q , R_q lub W_q wewnątrz odcinka elementarnego,

$$R_{ku} = \frac{1}{R_q^4} \left[\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z^4(x) dx \right] \approx \frac{1}{R_q^4} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i^4 \quad (5)$$

Jeśli wysokości rzędnych profilu potraktować jako realizacje zmiennej losowej to parametry R_a , R_q , R_{sk} i R_{ku} są znanymi ze statystyki matematycznej momentami empirycznymi tej zmiennej losowej.

b) parametry poziome

Parametry poziome nazywa się niekiedy parametrami odległościowymi lub parametrami odstępów.



Rys. 5 Schemat do definicji parametru RSm [2]

— PSm, RSm, WSm — średnia szerokość elementów profilu — wartość średnia szerokości elementów profilu Xs wewnątrz odcinka elementarnego.

$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xs_i \quad (6)$$

c) parametry mieszane

Parametry mieszane są nazywane niekiedy hybrydowymi.

— PAq, RAq, WAq — średni kwadratowy wznios profilu — wartość średniej kwadratowej miejscowych wzniosów profilu ΔZ_i wewnątrz odcinka elementarnego.

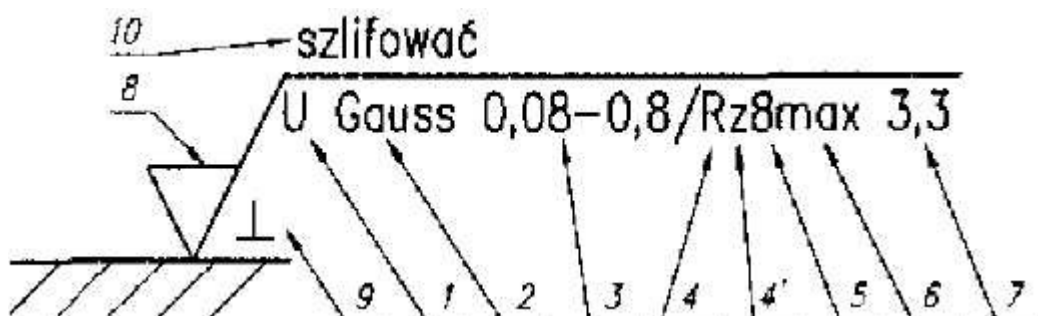
$$R\Delta q = \sqrt{\frac{1}{lr} \int_0^{lr} \left(\frac{dZ}{dX} \right)^2 dx} \approx \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta Z_i}{\Delta X} \right)^2} \quad (7)$$

3. OZNACZANIE CHROPOWATOŚCI I FALISTOŚCI POWIERZCHNIN NA RYSUNKACH TECHNICZNYCH

Zgodnie z PN-EN ISO 1302:2002 oznaczenie struktury geometrycznej powierzchni w dokumentacji technicznej wyrobu może składać się z następujących elementów (Rys. 6):

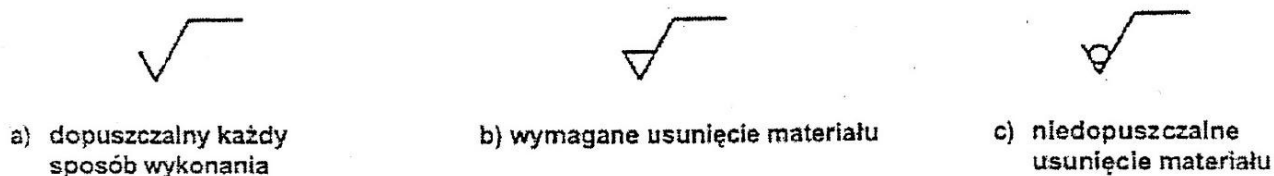
- 1 - oznaczenia górnej U lub/oraz dolnej L granicy wymagania,
- 2 - typu filtra — obecnie podstawowym filtrem jest filtr Gaussa, można spotkać się również z filtrem 2RC, 3 - pasmo przenoszenia filtra krótko- i długofalowego,
- 4 - oznaczenie parametru chropowatości (R), falistości (W) lub profilu (P), 4' - wartość parametru,
- 5 - odcinek pomiarowy w postaci liczby odcinków elementarnych (jeśli stosowano parametry motywów odcinek pomiarowy jest podawany między dwiema ukośnymi kreskami z przodu symboli struktury geometrycznej powierzchni),
- 6 - interpretacja granicy wymagania,
- 7 - wartość graniczna parametru w mikrometrach,
- 8 - sposób uzyskania odpowiednich właściwości powierzchni (w przykładzie: wymagane usunięcie

materiału), 9 - symbol graficzny kierunku struktury geometrycznej powierzchni,
 10 - sposób obróbki



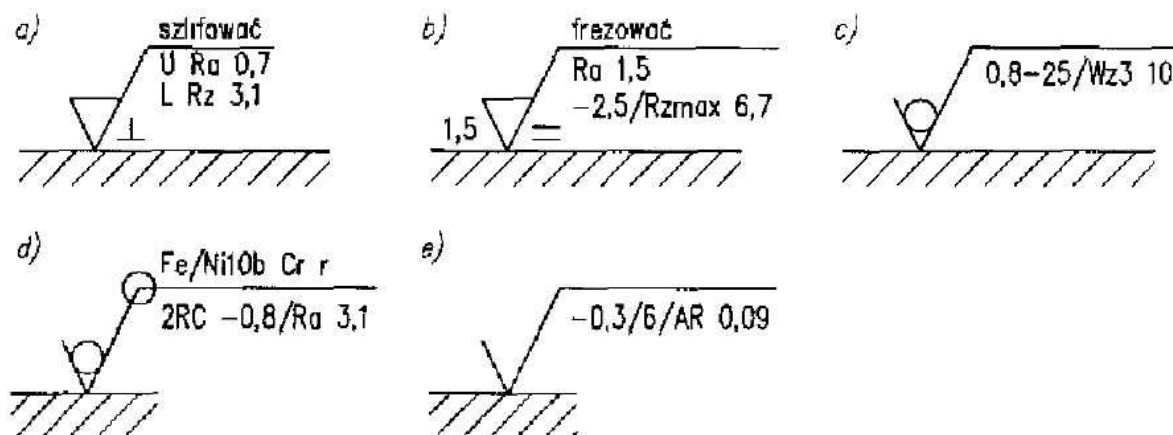
Rys. 6. Ogólne oznaczenie chropowatości powierzchni [2]

Sam znak chropowatości może mieć trzy różne postaci (Rys.7).



Rys. 7 Znaki chropowatości, które wskazują na sposób uzyskania odpowiedniej chropowatości

Na Rys. 8 przedstawione zostały przykładowe oznaczenia chropowatości powierzchni.



Rys. 8. Przykłady oznaczeń odnośnie struktury geometrycznej powierzchni [2]

Wymaganie odnośnie chropowatości powierzchni określa się, podając maksymalną wartość parametru albo przedział wartości parametru. Typowym przypadkiem jest podawanie wartości maksymalnej, a dla jednoznaczności, jeśli granice są zdefiniowane za pomocą różnych parametrów, przez umieszczenie litery U przed wartością maksymalną. Wartość minimalną określa się podając przed wartością liczbową literę L. Jeśli dwa różne parametry nie mają dodatkowych oznaczeń literowych to odpowiada to górnej granicy zapisanej za pomocą dwóch różnych parametrów. Przedział wartości podaje się, wpisując większą wartość liczbową parametru nad wartością mniejszą. Długość odcinka elementarnego podaje się jedynie wtedy, gdy nie odpowiada ona podanej w normie dla danej wartości parametru chropowatości. Oprócz podawania oznaczenia na liniach oznaczających powierzchnie przedmiotu stosuje się zbiorcze oznaczanie chropowatości powierzchni. Oznaczenie zbiorcze zaleca się umieszczać na rysunku obok tabliczki rysunkowej. Dotyczy ono wszystkich powierzchni przedmiotu. Jeżeli obok oznaczenia zbiorczego jest podany w nawiasie ogólny symbol chropowatości powierzchni

albo jeden lub kilka znaków chropowatości, oznacza to, że niektóre powierzchnie mają chropowatość różną od podanej w rysunku oznaczenia zbiorczego. Dopuszcza się również podawanie oznaczenia jednakowej chropowatości powierzchni na wszystkich odcinkach elementarnych, powołując się na oznaczenie literowe powierzchni.

4. POMIARY CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI

a) porównanie z wzorcami chropowatości

Metoda ta polega na porównaniu chropowatości powierzchni przedmiotów z chropowatością wzorców za pomocą komparatorów optycznych względnie pneumatycznych, lub bez użycia przyrządów pomocniczych. Bezpośrednią wzrokowo-dotykową ocenę przez porównanie z wzorcem można stosować dla powierzchni o wysokości nierówności R_a większej od około $0,2 \mu\text{m}$. Przy niższej wartości parametru R_a konieczne staje się zastosowanie mikroskopu o rozdwojonej osi optycznej (komparatora optycznego).

Wzorce chropowatości są najbardziej znanym sposobem kontroli wymagań gładkościowych w odniesieniu do powierzchni metalowych. Aby jednak można było posługiwać się nimi muszą być spełnione następujące warunki:

- wzorzec i porównywany z nim przedmiot powinny być wykonane z takiego samego lub podobnego materiału,
- kształt obu porównywanych powierzchni powinien być zbliżony,
- sposób obróbki obu porównywanych powierzchni powinien być taki sam, a wzajemne usytuowanie powierzchni wzorca i przedmiotu w trakcie ich porównywania takie, aby układ śladów obróbki na obu powierzchniach był zgodny co do kierunku. Przed oceną należy starannie oczyścić zarówno powierzchnię wzorca, jak i powierzchnię z nim porównywaną. Porównanie bezpośrednie metodą wzrokowo-dotykową należy przeprowadzać w stałych warunkach zewnętrznych takich samych dla obu powierzchni. Najpierw dokonuje się porównania wzrokowego obserwując jednocześnie obie powierzchnie, a następnie porównania dotykowego przez kilkakrotne przesuwanie paznokciem (lub miękkiej blaszki o stępionych krawędziach) na przemian po obu powierzchniach ze stałą prędkością rzędu $3 \div 5 \text{ cm/s}$. Należy przy tym pamiętać, że równoczesne posługiwanie się wzrokiem i dotykiem prowadzi do błędów w ocenie. Dokładniejsze wyniki uzyskuje się przystosowaniu metody dotykowej, umożliwiającej teoretycznie wyczuwanie zmian w wysokości chropowatości badanych powierzchni rzędu $0,1 \div 0,2 \mu\text{m}$.



Rys. 9. Wzorce chropowatości

Dokładniejszymi znacznie są metody stykowe oraz optyczne, które ze względu na zasadę pomiaru dzielimy

a) optyczne

- metodę przekroju świetlnego,
- metodę interferencyjną,

b) stykowe

POMIARY STYKOWE

Zasada pomiaru stykowego chropowatości polega na przesuwaniu ze stałą prędkością wzdłuż kierunku mierzonego profilu głowicy z ostrzem zwanym potocznie "igłą" odwzorowującą. Podczas nacisku ostrze styka się z powierzchnią mierzonego przedmiotu. Pionowe jego przemieszczenie przetwarzane jest na sygnał elektryczny, który następnie po wzmocnieniu może zostać poddany filtracji w celu oddzielenia niepożądanych składowych. Podczas pomiaru chropowatości odfiltrowuje się falistość oraz błędy kształtu. Otrzymany sygnał pomiarowy można uzyskać np. w postaci profilogramu. Urządzenia do pomiaru chropowatości powierzchni noszą nazwę profilografometrów (Rys.10).



Rys.10. HOMMEL TESTER T1000 - profilografometr

5. PRZEBIEG ĆWICZENIA

1. Oceń średnie arytmetyczne odchylenie profilu chropowatości R_a dla wskazanych powierzchni posługując się wzorcami chropowatości.
2. Wypełnić cztery tabele dla czterech oddzielnych próbek dostarczonych przez prowadzącego zajęcia.
3. Wykonać rysunki techniczne na papierze milimetrowym otrzymanych elementów z prawidłowymi oznaczeniami chropowatości powierzchni (*zachowując pozostałe zasady wykonywania rysunku technicznego*).
4. Przeprowadzenie dyskusji oraz szczegółowej analizy i interpretacji otrzymanych wyników.

6. SPRAWOZDANIE Z ZAJĘĆ



POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA

WYDZIAŁ INŻYNIERII ZARZĄDZANIA

KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ

SPRAWOZDANIE Z ZAJĘĆ LABORATORYJNYCH Z PRZEDMIOTU

Podstawy metrologii

Kod przedmiotu: **KS02138**

<input type="checkbox"/> studia stacjonarne	Ćwiczenie nr			
Temat:				
Nazwisko i imię	Rok ak.	Grupa	Data wykonania	Ocena
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

Prowadzący: dr inż. Łukasz Dragun

Podpis prowadzącego:

7. WYNIKI POMIARÓW BEZPOŚREDNICH

a) WYDRUKI Z PROFILOGRAFOMETRU.

b) ANALIZA NIEPEWNOŚCI POMIARÓW, WNIOSKI KOŃCOWE, BIBLIOGRAFIA.

WYMAGANIA BHP

Warunkiem przystąpienia do praktycznej realizacji ćwiczenia jest zapoznanie się z instrukcją BHP i instrukcją przeciw pożarową oraz przestrzeganie zasad w nich zawartych. Wybrane urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym mogą posiadać instrukcje stanowiskowe. Przed rozpoczęciem pracy należy zapoznać się z instrukcjami stanowiskowymi wskazanymi przez prowadzącego.

W trakcie zajęć laboratoryjnych należy przestrzegać następujących zasad.

- ◆ Sprawdzić, czy urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym są w stanie kompletnym, nie wskazującym na fizyczne uszkodzenie.
- ◆ Sprawdzić prawidłowość podłączonych urządzeń w obecności prowadzącego.
- ◆ Załączenie napięcia do układu pomiarowego może się odbywać po wyrażeniu zgody przez prowadzącego.
- ◆ Przyrządy pomiarowe należy ustawić w sposób zapewniający stałą obserwację, bez konieczności nachylania się nad innymi elementami układu znajdującymi się pod napięciem.
- ◆ Zabronione jest dokonywanie jakichkolwiek przełączeń oraz wymiana elementów składowych stanowiska pod napięciem.
- ◆ Zmiana konfiguracji stanowiska i połączeń w badanym układzie może się odbywać wyłącznie w porozumieniu z prowadzącym zajęcia.
- ◆ W przypadku zaniku napięcia zasilającego należy niezwłocznie wyłączyć wszystkie urządzenia.
- ◆ Stwierdzone wszelkie braki w wyposażeniu stanowiska oraz nieprawidłowości w funkcjonowaniu sprzętu należy przekazywać prowadzącemu zajęcia.
- ◆ Zabrania się samodzielnego włączania, manipulowania i korzystania z urządzeń nie należących do danego ćwiczenia.
- ◆ W przypadku wystąpienia porażenia prądem elektrycznym należy niezwłocznie wyłączyć zasilanie stanowisk laboratoryjnych za pomocą wyłącznika bezpieczeństwa, dostępnego na każdej tablicy rozdzielczej w laboratorium. Przed odłączeniem napięcia nie dotykać porażonego.