

**POLITECHNIKA**  **BIAŁOSTOCKA**

**WYDZIAŁ ZARZĄDZANIA**



**KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ**

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu:

**PODSTAWY TECHNIKI I TECHNOLOGII**

Kod przedmiotu: **ISO1123, INO1123**

Numer ćwiczenia: **9**

**Temat: Parametry struktury geometrycznej powierzchni**

Opracowanie:

mgr inż. Elżbieta Krawczyk-Dembicka

Białystok 2015

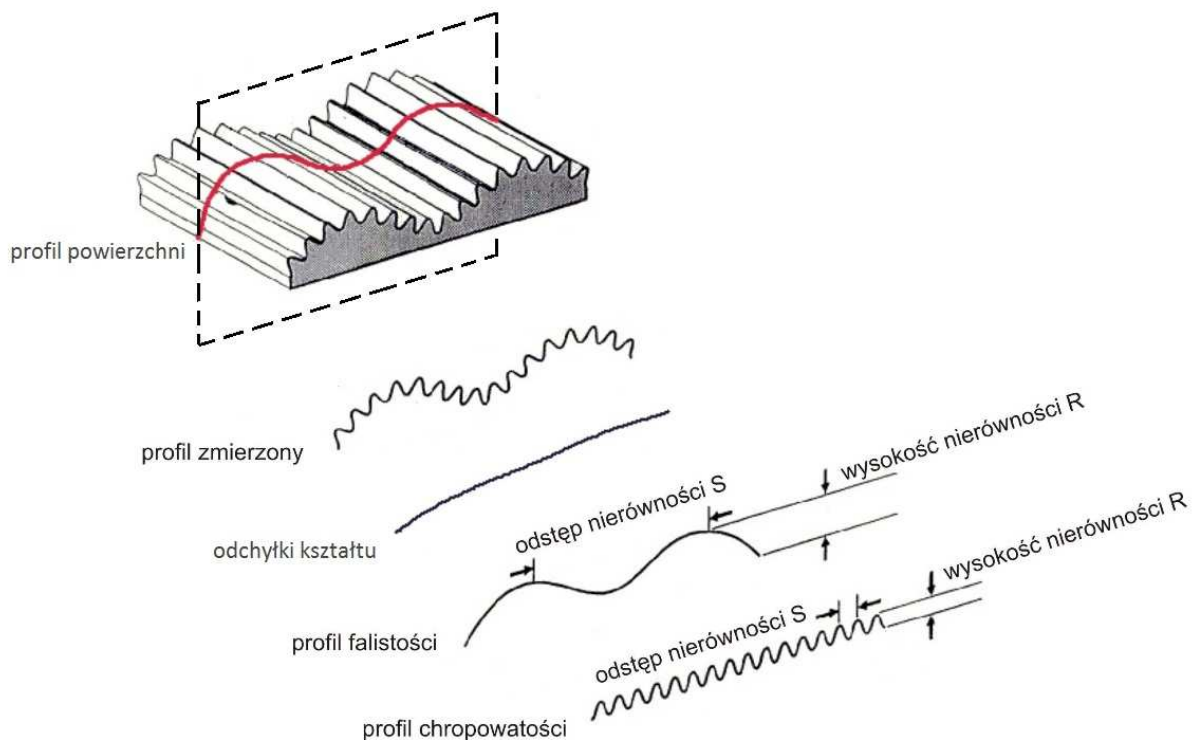
## 1. WPROWADZENIE

Struktura geometryczna powierzchni (SGP) jest jednym z ważniejszych czynników decydujących o jakości danej powierzchni. Określa ona zbiór wszystkich nakładających się na siebie nierówności, powstałych w wyniku procesów obróbki i zużycia materiału. Nierówności te mają zróżnicowane kształty, wymiary i położenie. Jakość powierzchni materiału w znaczący sposób wpływa na własności eksploatacyjne elementów maszyn, które wyrażają się m.in. poprzez: warunki tarcia na powierzchniach stykowych, naprężenia stykowe, wytrzymałość zmęczeniową, odporność na korozję, szczelność połączeń, powierzchniowe promieniowanie cieplne czy też własności magnetyczne. Braki produkcyjne w przygotowaniu powierzchni mogą prowadzić do uszkodzeń mechanicznych elementów maszyn takich jak pęknięcia zmęczeniowe, pęknięcia wywołane naprężeniami spowodowanymi korozją, zużycie ścierno-korozyjne, nadmierne ściernie zużycie, korozja, erozja itp. [1]

W strukturze geometrycznej powierzchni wyróżniamy następujące składowe (Rys. 1):

- **odchyłki (błędy) kształtu** – maksymalna dopuszczalna różnica pomiędzy rzeczywistym kształtem, a jego idealnym, prawidłowym odpowiednikiem;
- **falistość powierzchni** – nierówności o charakterze przypadkowym lub zbliżonym do postaci okresowej, których odstęp  $s$  znacznie przewyższają odstęp chropowatości powierzchni
- **chropowatość powierzchni** – zbiór nierówności powstających w wyniku obróbki, charakteryzujących się małym odstępem  $s$  między wierzchołkami o wysokości  $R$ .

Podział ten oparty jest na proporcjach wysokości i długości fali nierówności.



Rys. 1. Składowe struktury geometrycznej powierzchni

Falistość powierzchni jest określana w budowie maszyn jako błąd wykonawczy, powstający najczęściej na skutek wibracji w maszynach wytwórczych w czasie obróbki elementu. Falistość jest okresową nierównością, którą można opisać falą, przy czym strzałka fali jest mniejsza co najmniej 40 razy od długość fali. Elementy charakteryzujące się większą falistością uznawane są za braki produkcyjne. Pomiaru falistości powierzchni dokonuje się poprzez wyznaczenie średniej arytmetycznej pięciu największych odchyłeń na długości odcinka pomiarowego mierzonych w mikrometrach ( $1 \mu m = 10^{-6} m$ ).

W analizie profilu chropowatości powierzchni przyjmuje się, że stosunek odstępów nierówności  $s$  pomiędzy wierzchołkami o wysokości  $R$ , powinien być mniejszy niż 40.

$$\frac{s}{R} < 40$$

Wysokość nierówności może wynosić od angstromów ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10} m$ ) do milimetrów. Najczęściej przyjmuje się zakres od  $0,025 \mu m$  do  $1600 \mu m$ . Oddzielenia nierówności odpowiadających falistości i odchyłkom kształtu dokonuje się przez filtrację. Miara chropowatości powierzchni są jej parametry.

### ***Podstawowe pojęcia związane z SGP***

***Profil powierzchni*** – profil uzyskany przez przecięcie powierzchni przedmiotu określoną płaszczyzną (w praktyce zwykle wybiera się powierzchnię, której normalna jest równoległa do powierzchni przedmiotu i odpowiedniego kierunku).

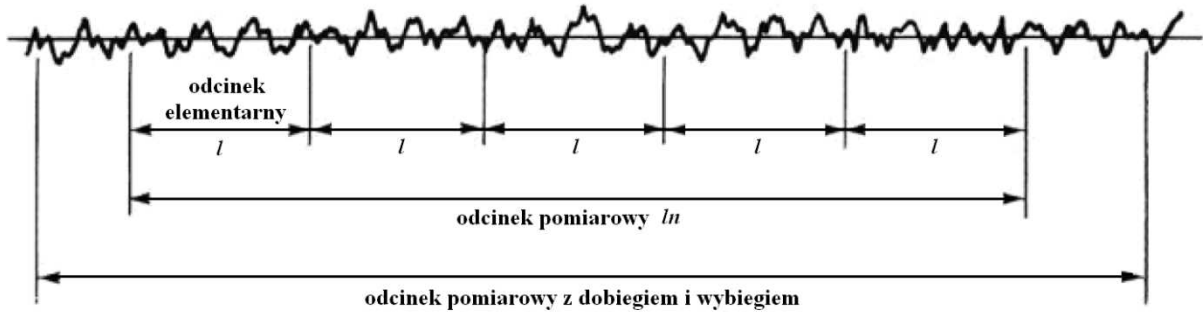
***Profil chropowatości*** – profil uzyskany z profilu powierzchni przez oddzielenie składowych długofalowych profilu (falistości i odchyłek kształtu) filtrem profilu  $\lambda_C$ . Filtr profilu  $\lambda_C$  wyznacza przejście od chropowatości do falistości. Profil chropowatości powstaje przez celową modyfikację profilu.

***Linia średnia profilu chropowatości  $m$***  – linia odpowiadająca składowym długofalowym profilu, które są tłumione filtrem profilu  $\lambda_C$ . Linia średnia dzieli profil chropowatości tak, że suma kwadratów odchyłeń profilu od tej linii jest minimalna.

***Odcinek elementarny  $lr$***  – znormalizowana długość w kierunku linii średniej, stosowana do identyfikacji nierówności charakteryzujących profil chropowatości. Odcinek elementarny profilu chropowatości  $lr$  jest liczbowo równy charakterystycznej długości fali filtru profilu  $\lambda_C$ .

***Odcinek pomiarowy  $ln$***  – długość w kierunku linii średniej stosowana do oceny profilu. Odcinek pomiarowy może zawierać jeden lub kilka odcinków elementarnych (zalecane jest 5), (Rys. 2).

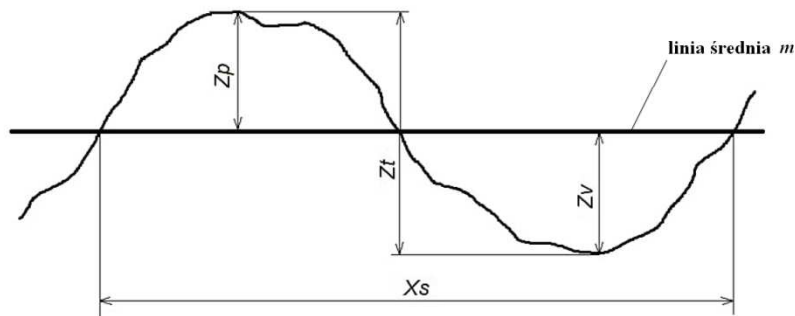
***Wzniesienie profilu*** – część profilu skierowana na zewnątrz (od materiału do otaczającego ośrodka), łącząca dwa sąsiednie punkty na przecięciu profilu linią średnią.



Rys. 2. Sposób wyznaczania odcinka pomiarowego

**Wgłębienie profilu** – część profilu skierowana do wewnątrz (od otaczającego ośrodka do materiału), łącząca dwa sąsiednie punkty na przecięciu profilu linią średnią.

**Element profilu** – wzniesienie i sąsiadujące z nim wgłębienie profilu (Rys. 3).



Rys. 3. Element profilu

**Wartość rzędnej  $Z(x)$**  – wysokość mierzonego profilu dla dowolnej współrzędnej  $x$ . Wysokość ma wartość ujemną, jeśli rzędna leży poniżej linii średniej, a wartość dodatnią powyżej linii średniej.

**Miejscowe nachylenie  $\frac{dz}{dx}$**  – nachylenie mierzonego profilu w przyjętym punkcie  $x_i$ .

**Wysokość wzniesienia profilu  $Z_p$**  – odległość od najwyższego punktu wzniesienia profilu do linii 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  $X_s$**  – odcinek linii średniej ograniczony przez element profilu.

**Długość materiałowa elementu profilu na poziomie  $c$   $MI(c)$**  – suma długości odcinków powstałych przez przecięcie elementu profilu linią równoległą do linii średniej na danym poziomie  $c$ .

**Podstawowe parametry chropowatości**

Parametry chropowatości odnoszą się do konkretnych cech profilu. Pełna charakterystyka powierzchni wymaga więc podania zbioru parametrów opisujących wysokość nierówności, ich kształt oraz odstępy między nimi. Parametrów tych można wyróżnić ponad trzydzieści, natomiast w codziennej praktyce stosowanych jest zaledwie kilka. Wśród podstawowych parametrów należy wymienić:

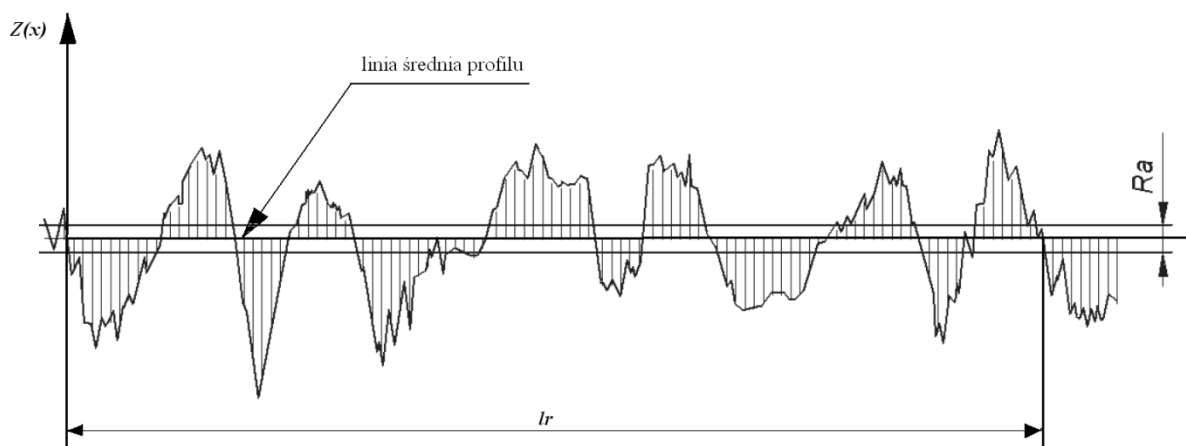
- średnią arytmetyczną rzędnych profilu chropowatości  **$Ra$**
- największą wysokość profilu chropowatości  **$Rz$**
- średnią szerokość rowków elementów profilu chropowatości  **$RSm$**
- udział materiałowy profilu chropowatości  **$Rmr$**

Parametr  **$Ra$**  stosuje się jako uprzywilejowany w stosunku do pozostałych parametrów. Zalecane długości odcinków elementarnych  $lr$  do pomiaru parametru chropowatości  $Ra$  podano w poniższej tabeli.

<b><math>Ra</math> [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b><math>lr</math> [mm]</b>
$\leq 0,025$	0,08
(0,025; 0,4)	0,25
(0,4; 3,2)	0,8
(3,2; 12,5)	2,5
(12,5; 100)	8,0
$> 100$	25,0

**Średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości  $Ra$**  – średnia arytmetyczna bezwzględnych wartości rzędnych  $Z(x)$  wewnątrz odcinka elementarnego  $lr$  (Rys. 4).

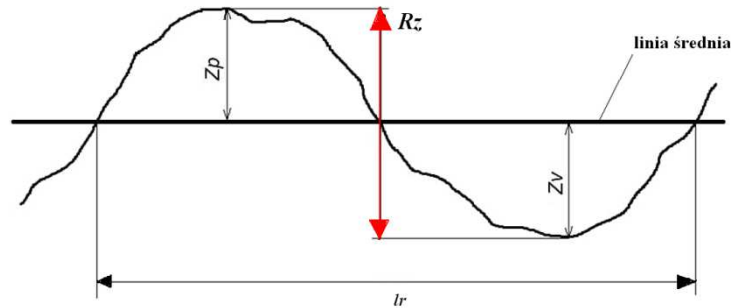
$$Ra = \frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z(x)| dx$$



Rys. 4. Zasada wyznaczania parametru  $Ra$

**Największa wysokość profilu chropowatości  $Rz$**  – suma wysokości najwyższego wzniesienia profilu  $Zp$  i głębokości najniższego wgłębienia profilu chropowatości  $Zv$  wewnątrz odcinka elementarnego  $lr$  (Rys. 5).

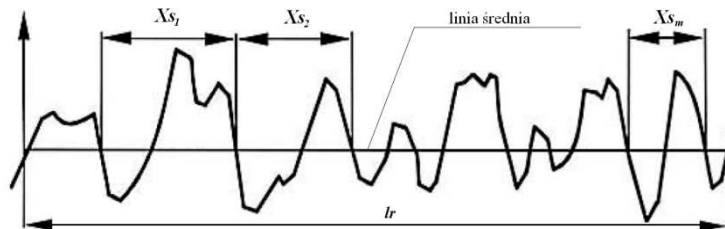
$$Rz = \sum_0^{lr} (Zp + Zv)$$



Rys. 5. Zasada wyznaczania parametru  $Rz$

**Średnia szerokość rowków elementów profilu chropowatości  $RSm$**  – średnia wartość szerokości elementów profilu  $Xs$  wewnątrz odcinka elementarnego  $lr$  (Rys. 6).

$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xs_i$$

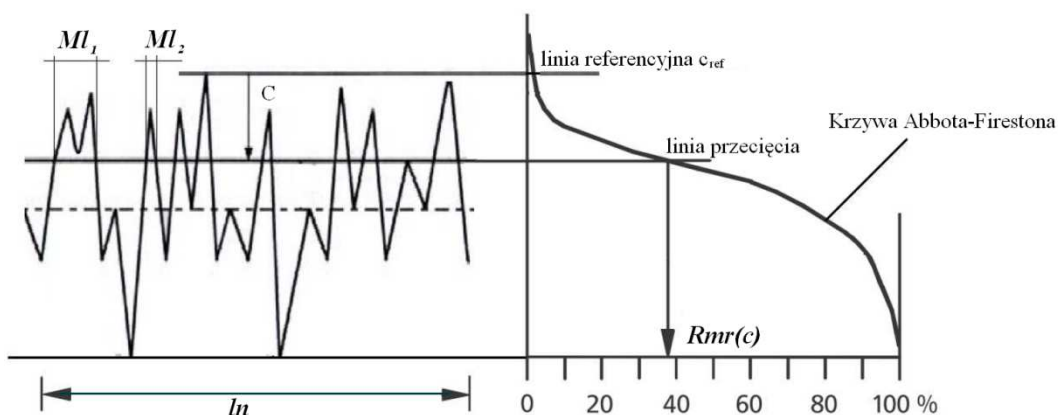


Rys. 6. Zasada wyznaczania parametru  $RSm$

**Udział materiałowy profilu chropowatości  $Rmr(c)$**  – udział materiałowy profilu chropowatości jest ilorazem długości materiałowych elementów profilu  $Ml(c)$  na zadanym poziomie  $c$  odcinka pomiarowego  $ln$  (rys. 7). Krzywa udziału materiałowego (*Krzywa Abbota-Firestona*) przedstawia udział materiałowy profilu jako funkcję wysokości cięcia.

$$Rmr(c) = \frac{Ml(c)}{ln}$$

$$Ml(c) = \sum_{i=1}^n Ml_i$$



Rys. 7. Zasada wyznaczania parametru  $Rmr(c)$

**Oznaczenia struktury geometrycznej powierzchni na rysunkach wg PN-EN ISO 4287:1999/A1:2012**

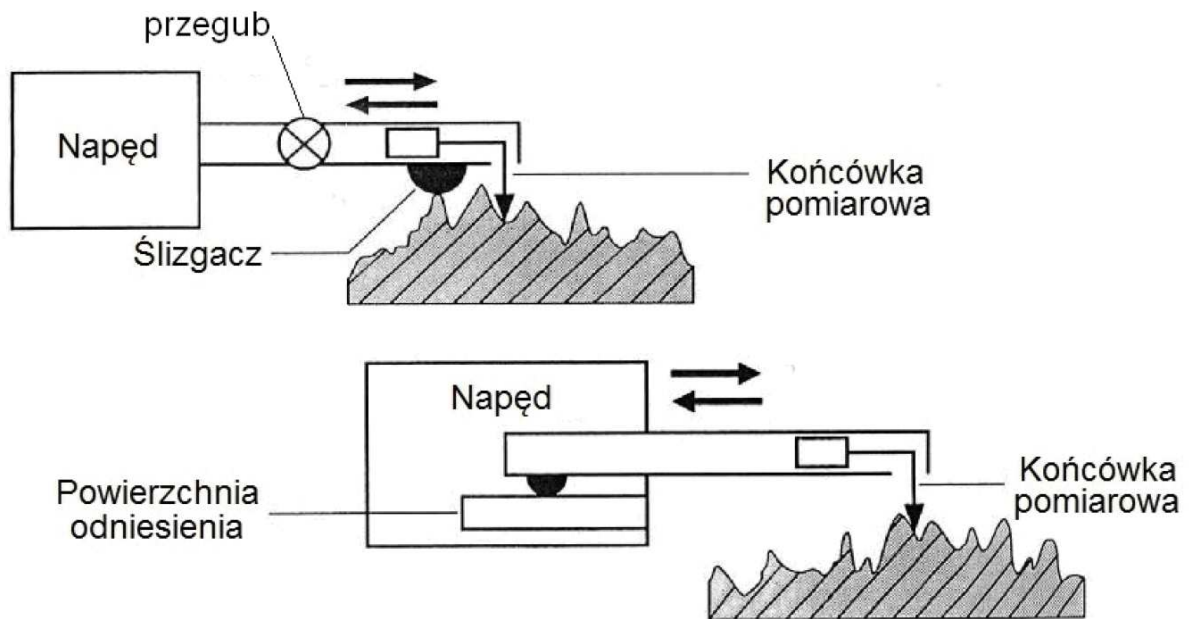
SYMBOL	OPIS																					
	<p>a – wartość chropowatości w <math>\mu\text{m}</math>, np. <math>Ra\ 0,63</math>                      b – inne wymagane wartości parametrów, np. <math>Rz\ 4</math>                      c – specyficzne wymagania dotyczące wykonania powierzchni, np. obrabiać cieplnie                      d – kierunkowość struktury geometrycznej powierzchni                      e – wartość nadatku na obróbkę                      x – litera pozwalająca na wprowadzanie danych, kiedy miejsce jest ograniczone</p>																					
	symbol podstawowy																					
	symbol oznaczający, że wymagane jest usunięcie materiału																					
	symbol oznaczający, że nie dopuszcza się usunięcia materiału																					
	symbol dotyczący zachowania takiej samej struktury na wszystkich powierzchniach																					
	wymagania dotyczące kierunków i symboli obróbki																					
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>=</td> <td>⊥</td> <td>X</td> <td>M</td> <td>C</td> <td>R</td> <td>P</td> </tr> <tr> <td>Równoległy*</td> <td>Prostopadły*</td> <td>Krzyżowy</td> <td>Wielokierunkowy</td> <td>Współśrodkowy</td> <td>Promieniowy</td> <td>Nieregularny</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		=	⊥	X	M	C	R	P	Równoległy*	Prostopadły*	Krzyżowy	Wielokierunkowy	Współśrodkowy	Promieniowy	Nieregularny							
=	⊥	X	M	C	R	P																
Równoległy*	Prostopadły*	Krzyżowy	Wielokierunkowy	Współśrodkowy	Promieniowy	Nieregularny																
<p>*)... do widoku płaszczyzny rzutowania, do której stosuje się symbol</p>																						

### *Pomiary chropowatości powierzchni*

Wśród metod pomiaru chropowatości powierzchni rozróżnia się metody liniowe i powierzchniowe. Metody liniowe polegające na badaniu profili powierzchni można podzielić na optyczne i mechaniczne (stykowe). Do metod powierzchniowych optycznych należy m.in. mikroskopia interferencyjna.

#### **Stykowe metody pomiaru SGP**

Zasada pomiaru stykowego SGP polega na przesuwaniu ze stałą prędkością głowicy z ostrzem odwzorowującym wzdłuż kierunku mierzonego profilu. Ostrze styka się z mierzoną powierzchnią badanego przedmiotu dzięki naciskowi pomiarowemu. Jego pionowe przemieszczenie przetwarzane jest na sygnał elektryczny, który następnie po wzmocnieniu może być poddany filtracji w celu oddzielenia niepożądanych składowych. Przy pomiarze chropowatości odfiltrowuje się falistość i błędy kształtu. Otrzymany sygnał pomiarowy można zarejestrować w postaci profilografu oraz przetworzyć w celu uzyskania wartości liczbowych parametrów chropowatości. Przyrządy wykorzystywane w badaniach stykowych noszą nazwę profilografometrów. Zasadę pomiaru stykowego przedstawiono na Rys. 8. W profilografometrach bazą odniesienia dla pionowych przemieszczeń ostrza pomiarowego jest najczęściej powierzchnia stykowa ślizgacza, który przesuwa się razem z nim wzdłuż mierzonej powierzchni. Takie rozwiązanie pełni jednocześnie funkcję mechanicznego filtra falistości i odchyłek kształtu.



Rys. 8. Zasada pomiaru metodą stykową SGP

Profilografometr HOMMEL TESTER T1000 jest urządzeniem przenośnym. Został zaprojektowany specjalnie dla potrzeb pomiarów warsztatowych lecz spełnia doskonale wymagania stawiane stacjonarnym stanowiskom pomiarowym. Na obudowie przyrządu



znajduje się wyświetlacz graficzny oraz klawiatura powlekana folią. Na wyświetlaczu prezentowane są wszystkie dane i wyniki pomiarów (parametry, profile). Za pomocą zintegrowanej drukarki można przedstawić wyniki pomiarów. Profilografometr HOMMEL TESTER T1000 jest przeznaczony do pomiaru:

- profilu chropowatości ( $R$ )
- profilu falistości ( $W$ )
- profilu pierwotnego ( $P$ )
- parametrów rdzenia chropowatości ( $R_k$ )
- parametrów metody motywów ( $WD_1$  i  $WD_2$ )

Parametry techniczne urządzenia:

- analogowy filtr RC (obliczany cyfrowo, [mm])
- cyfrowy filtr Gaussa 50% ( $M_1$ ) w [mm]
- podwójny filtr Gaussa ( $M_2$ ) do obliczeń parametrów krzywej udziału materiału
- krótkofalowe cut-off  $\lambda_s$ ;  $\lambda_c/\lambda_s$  do wyboru w stopniach (100, 300) i z filtra  $\lambda_f$
- odcinki pomiarowe  $ln$ : 1.25 / 4.0 / 12.5
- długości przesuwu  $lt$ : 0.48/1.5 / 4.8/15 mm lub wybierane dowolnie od 0.48 do 16 mm
- zakres pomiarowy: 80 $\mu$ m

## 2. CEL I ZAKRES ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z zasadami określania struktury geometrycznej powierzchni (SGP), zwłaszcza z zasadami wyznaczania parametrów chropowatości i technikami ich pomiaru.

Zakres ćwiczenia obejmuje dokonanie oceny chropowatości powierzchni i wykonanie jej pomiaru z wykorzystaniem profilografometru HOMMEL TESTER T1000 oraz określenie chropowatości z profilografu.

## 3. PRZEBIEG ĆWICZENIA

- 1) Porównanie badanej powierzchni z wzorcami chropowatości.
- 2) Wykonanie pomiaru parametrów chropowatości za pomocą profilografometru HOMMEL TESTER T1000.

3) Określenie parametrów chropowatości z profilogramu (wszystkie wyniki zapisać w tabeli):

a) na profilogramie zaznaczyć odcinek elementarny  $l_r$ , a następnie odczytać wartości 51 rzędnych profilu (mierzonych od linii średniej) na długości odcinka elementarnego;

b) obliczyć rzędną linii średniej  $m$  zgodnie ze wzorem:

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

c) zaznaczyć na profilogramie elementy profilu i odczytać ich wysokości  $Rz_i$ ;

d) odczytać wartości najwyższego wzniesienia  $Zp_{max}$  i najniższego wgłębienia  $Zv_{max}$ ;

e) obliczyć wartości parametrów  $Ra$  i  $Rz$

$$Rz = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Rz_i$$

f) zaznaczyć obliczone wartości na profilogramie ( $m$ ,  $Ra$ ,  $Rz$ ).

### Stanowisko pomiarowe



**Sprawozdanie powinno zawierać:**

1. Imiona, nazwiska, kierunek i rok studiów oraz nr grupy laboratoryjnej członków zespołu
2. Temat ćwiczenia
3. Datę wykonania ćwiczenia
4. Krótki opis stosowanej metody badawczej
5. Schemat stanowiska
6. Profilogram, wyniki wykonanych pomiarów i niezbędne rysunki
7. Wnioski z przeprowadzonego ćwiczenia

**Przykładowe pytania kontrolne:**

1. Podaj definicję profilu powierzchni, chropowatości powierzchni, odcinka elementarnego i odcinka pomiarowego.
2. Podaj definicję i sposób wyznaczania parametrów  $R_a$  i  $R_z$ .
3. Przedstaw oznaczenie struktury geometrycznej powierzchni na rysunkach.
4. Opisz metodę stykową pomiaru chropowatości.

**Przepisy BHP**

1. Prowadzący ćwiczenia laboratoryjne, przed przystąpieniem do ćwiczenia, zapoznaje studentów z obsługą stanowiska. Kontrolę przestrzegania przez studentów instrukcji BHP (przedstawioną na zajęciach wprowadzających) pełni prowadzący zajęcia.
2. Studenci obsługują stanowisko pod nadzorem prowadzącego.
3. Stanowiska niebezpieczne pod względem BHP obsługuje prowadzący, a w przypadku konieczności, po udzieleniu osobnego instruktażu, dopuszcza do obsługi stanowiska konieczną ilość studentów.
4. Studenci odbywający ćwiczenia zobowiązani są do zachowania maksymalnej ostrożności i uwagi przy obsłudze stanowiska i absolutnego stosowania się do zaleceń prowadzącego.
5. Podczas pobytu przy stanowisku laboratoryjnym zabrania się studentom wykonywania jakichkolwiek czynności, które nie są związane z realizowanym ćwiczeniem.

### Literatura przedmiotu

1. U. Fischer, M. Heinzler, F. Näher, H. Paetzold, R. Gomeringer, R. Kilgus, S. Oesterle, A. Stephan, oprac. merytor. wersji pol. J. Potrykus [tł. z niem.], *Poradnik mechanika*, Wydawnictwo REA, Warszawa 2014.
2. A. Górecki, *Technologia ogólna: podstawy technologii mechanicznych*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 2014.
3. A. Patejuk, M. Poniatowska, *Struktura geometryczna powierzchni kompozytów odlewniczych typu FeAl-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> po próbach tarcia*, *Archiwum Odlewnictwa*, 2006, Rocznik 6, Nr 18 (1/2), s. 381-386.
4. P. Pawlus, *Topografia powierzchni*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005.
5. PN-EN ISO 4287:1999/A1:2012 – Specyfikacja geometryczna wyrobów. Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa. Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni
6. S. Rudnik, *Metaloznawstwo*, WN PWN, Warszawa 1996.