



Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Koninie

**Edward Pająk**

# **OBRÓBKA UBYTKOWA**

**Technologia obróbki wiórowej, ścierniej i erozyjnej  
oraz systemów mikroelektromechanicznych**

**Konin 2016**

Tytuł  
Obróbka ubytkowa  
Technologia obróbki wiórowej, ścierniej i erozyjnej oraz systemów mikroelektromechanicznych

Autor  
Edward Pająk

Recenzent  
prof. zw. dr hab. inż. Leon Kukielka

Rada Wydawnicza  
prof. zw. dr hab. Mirosław Pawlak – przewodniczący,  
dr Jakub Bielak – redaktor naczelny, prof. nadzw. dr hab. Jakub Bartoszewski,  
dr inż. Robert Cieślak, prof. nadzw. dr hab. Maciej Tomczak,  
prof. nadzw. dr hab. Ewa Waniek-Klimczak, dr Artur Zimny

Redakcja i korekta  
Maria Sierakowska

Projekt okładki  
Agnieszka Jankowska

Skład i łamanie  
Piotr Bajak  
Gabriela Michalak

Druk i oprawa  
Sowa – Druk na Życzenie [www.sowadruk.pl](http://www.sowadruk.pl) tel. 022 431-81-40

**ISBN 978-83-65038-17-3**

© Copyright by Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Koninie



Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Koninie  
ul. kard. S. Wyszyńskiego 3C, 62-510 Konin  
tel. 63-249-72-08(09)  
e-mail: [wydawnictwo@konin.edu.pl](mailto:wydawnictwo@konin.edu.pl)

## SPIS TREŚCI

### CZĘŚĆ I

#### TECHNOLOGIA OBRÓBKI UBYTKOWEJ ORAZ WYTWARZANIA MIKROSYSTEMÓW

1. WPROWADZENIE.....	9
2. KLASYFIKACJA TECHNIK WYTWARZANIA .....	16
3. POJĘCIA PODSTAWOWE Z ZAKRESU OBRÓBK SKRAWANIEM .....	24
4. OBRÓBKA SKRAWANIEM.....	31
4.1. MECHANIZM OBRÓBK SKRAWANIEM .....	31
4.2. SIŁY I MOC W PROCESIE SKRAWANIA .....	37
4.3. CIEPŁO W PROCESIE SKRAWANIA .....	41
4.4. DRGANIA W PROCESIE SKRAWANIA .....	45
4.5. NARZĘDZIA SKRAWAJĄCE .....	48
4.5.1. GEOMETRIA OSTRZA .....	48
4.5.2. MATERIAŁY NARZĘDZIOWE .....	52
4.5.3. ZUŻYCIE I TRWAŁOŚĆ OSTRZA NARZĘDZIA .....	61
5. OBRÓBKA ŚCIERNA .....	66
5.1. WPROWADZENIE .....	66
5.2. MATERIAŁY I NARZĘDZIA ŚCIERNE .....	69
5.3. PRZYGOTOWANIE NARZĘDZI ŚCIERNYCH DO EKSPLOATACJI .....	79
6. OBRÓBKA EROZYJNA .....	84
6.1. WPROWADZENIE .....	84
6.2. OBRÓBKA ELEKTROCHEMICZNA .....	85
6.3. OBRÓBKA ELEKTROEROZYJNA .....	94
6.4. OBRÓBKA STRUMIENIOWO-EROZYJNA .....	100
6.4.1. OBRÓBKA LASEROWA .....	101

6.4.2. OBRÓBKA ELEKTRONOWA.....	111
6.4.3. OBRÓBKA PLAZMOWA .....	114
6.4.4. OBRÓBKA STRUMIENIEM WODY .....	116
6.5. OBRÓBKA HYBRYDOWA .....	121
7. TECHNOLOGIE WYTWARZANIA MIKROELEMENTÓW I MIKROUKŁADÓW .....	128
7.1. WPROWADZENIE – INTERNET RZECZY .....	128
7.2. SYSTEMY MIKROELEKTROMECHANICZNE – MEMS .....	133
7.3. WYTWARZANIE SYSTEMÓW ELEKTROMECHANICZNYCH .....	136
7.3.1. TECHNOLOGIA WYTWARZANIA UKŁADÓW MIKROELEKTRONICZNYCH ..	140
7.3.1.1. Technologia wytwarzania płytek podłożowych .....	142
7.3.1.2. Proces epitaksji i maskowania .....	148
7.3.1.3. Litografia .....	151
7.3.1.4. Domieszkowanie i montaż układu .....	156
7.3.1.5. Organizacja pracy fabryki półprzewodników .....	159
7.3.2. TECHNOLOGIA WYTWARZANIA MIKROSYSTEMÓW .....	161
7.3.2.1. Mikroobróbka powierzchniowa (surface micromachining).....	163
7.3.2.2. Mikroobróbka objętościowa (bulk micromachining) .....	165
7.3.2.3. Procesy LIGA (lithographic galvanofarming abforming).....	170
7.3.2.4. Montaż mikrosystemów.....	172

## **CZĘŚĆ II**

### **PODSTAWOWE TECHNIKI WYTWARZANIA**

8. WPROWADZENIE.....	177
9. TOCZENIE.....	186
10. WYTACZANIE.....	204
11. FREZOWANIE.....	209
12. OBRÓBKA OTWORÓW – WIERCENIE, ROZWIERCANIE, POGŁĘBIANIE, GWINTOWANIE.....	223
13. INNE METODY OBRÓBKI SKRAWANIEM .....	248

13.1. STRUGANIE I DŁUTOWANIE .....	248
13.2. PRZECIĄGANIE I PRZEPYCHANIE .....	253
13.3. OBRÓBKA KÓŁ ZĘBATYCH .....	257
13.4. PRZECINANIE MATERIAŁÓW .....	265
14. SZLIFOWANIE .....	271
14.1. SZLIFOWANIE WAŁKÓW .....	271
14.2. SZLIFOWANIE OTWORÓW .....	275
14.3. SZLIFOWANIE PŁASZCZYZN .....	277
14.4. OBRÓBKA PRECYZYJNA (BARDZO DOKŁADNA) .....	280
14.4.1. GŁADZENIE (HONOWANIE) .....	280
14.4.2. DOGŁADZANIE OSCYLACYJNE (SUPERFINISH) .....	282
14.4.3. DOCIERANIE I POLEROWANIE .....	284
14.4.4. WYGŁADZANIE ROTACYJNE I WIBRACYJNE .....	286
15. OBRÓBKA RĘCZNA .....	288

### **CZĘŚĆ III**

#### **STEROWANIE NUMERYCZNE OBRABIAREK I URZĄDZEŃ**

16. OBRABIARKI STEROWANE NUMERYCZNIE.....	295
17. BUDOWA PROGRAMU DLA OBRABIAREK STEROWANYCH NUMERYCZNIE .....	309
18. METODY PROGRAMOWANIA OBRABIAREK STEROWANYCH NUMERYCZNIE .....	316
19. SYSTEMY PRODUKCYJNE .....	321

<b>SPIS LITERATURY .....</b>	<b>327</b>
------------------------------	------------

<b>SPIS TABEL .....</b>	<b>331</b>
-------------------------	------------

<b>SPIS RYSUNKÓW .....</b>	<b>333</b>
----------------------------	------------