

SPIS TREŚCI

Rozdział I. WIADOMOSCI OGOLNE

A. Zakres nauk technologicznych	1
B. Zarys historyczny powstawania nauki o skrawaniu metali	2
1. Okres feudalizmu	2
2. Okres kapitalizmu	4
3. Okres współistnienia socjalizmu i kapitalizmu	9
a. Związek Radziecki 9 — b. Kraje zachodnie 10 — c. Polska 11	
C. Pojęcia podstawowe obróbki skrawaniem	13
1. Określenie obróbki skrawaniem	13
2. Klasyfikacja obróbki skrawaniem	14
3. Kinematyka skrawania	17
D. Materiały na ostrza skrawające	19
1. Znaczenie znajomości materiałów narzędziowych	19
2. Węgłowe stale narzędziowe	21
a. Skład chemiczny i gatunki 21 — b. Obróbka cieplna narzędziowych stali węglowych 21 — c. Zastosowanie węglowych stali narzędziowych 24	
3. Niskostopowe stale narzędziowe	25
a. Skład chemiczny i gatunki 25 — b. Opis właściwości i obróbka cieplna 26 — c. Typowe zastosowania 27	
4. Stale szybko tnące	29
a. Gatunki i składniki stopowe stali szybko tnącej 29 — b. Obróbka cieplna stali szybko tnącej 30 — c. Właściwości stali szybko tnącej i zakres zastosowania 32	
5. Spiekane węgliki metali	35
a. Wytwarzanie, skład chemiczny i gatunki spiekanych węglików metali 35 — b. Właściwości mechaniczno-wytrzymałościowe oraz fizykalno-chemiczne węglików spiekanych 37 — c. Właściwości użytkowe i zastosowanie węglików spiekanych 43	
6. Spiekane tlenki metali	45
a. Wiadomości ogólne o tlenkach spiekanych 45 — b. Właściwości fizykalne i wytrzymałościowe tlenków spiekanych 46 — c. Właściwości użytkowe i zastosowanie tlenków spiekanych 47	
7. Wpływ sposobu łączenia ostrza z częścią chwytową oraz ostrzenia na właściwości ostrzy skrawających	49
a. Ogólna charakterystyka sposobów łączenia ostrzy 49 — b. Wpływ sposobu łączenia na sztywność ostrza 50 — c. Wpływ sposobu łączenia na wewnętrzne naprężenia ostrza 51 — d. Wpływ sposobu ostrzenia na zmiany właściwości materiału ostrza 53	

SKRAWANIE NARZĘDZIAMI JEDNOOSTRZOWYMI

Rozdział II. TOCZENIE WRAZ Z ZARYSEM TEORII SKRAWANIA

A. Ostrze skrawające	54
1. Opis ostrza i pojęcia podstawowe	54
2. Podstawowy układ odniesienia ostrza	55
a. Przekrój główny i pomocniczy 55 — b. Podłużny i poprzeczny przekrój ostrza 57	
3. Układ ustawczy ostrza	60
a. Przesunięcia równoległe 60 — b. Skręcenie narzędzia 61 — c. Przesunięcie i skręcenie narzędzia 61	
4. Wpływ kąta pochylenia krawędzi skrawającej na kąty natarcia i przyłożenia w układzie ustawczym	61
5. Rodzaje ostrzy	
B. Kinematyka toczenia i warunki skrawania przy toczeniu	63
1. Odmiany toczenia	63
2. Szybkość skrawania	65
3. Powierzchnia obrabiana, obrobiona i powierzchnia skrawania	66
4. Elementy geometryczne warstwy skrawanej i części ostrza biorącej udział w skrawaniu	66
5. Kąty ostrza w czasie skrawania	69
6. Czas maszynowy	70
7. Wydajność skrawania przy toczeniu	71
C. Proces tworzenia się wióra i zjawiska mu współtowarzyszące	71
1. Wytrzymałościowa analogia procesu skrawania	71
2. Rodzaje wiórów	74
3. Metody badań procesu tworzenia się wióra	76
4. Etapy tworzenia się wióra i jego budowa	77
5. Narost na ostrzu	80
6. Spęczanie wióra wstęgowego	84
7. Zwijanie i spływ wiórów wstęgowych	88
8. Wpływ cieczy chłodząco-smarujących na proces skrawania	91
D. Opór skrawania przy toczeniu	93
1. Opór skrawania, siły skrawania i jej składowe	93
2. Pomiary składowych sił skrawania	96
3. Wpływ różnych czynników na opór skrawania	101
a. Czynniki związane z ostrzem skrawającym 101 — b. Wpływ materiału obrabianego 105 — c. Wpływ warunków skrawania 107	
4. Obliczanie siły skrawania	113
a. Metodyka obliczania sił skrawania 113 — b. Wzory szczegółowe i tablice wielkości stałych oraz mnożników poprawkowych 114 — c. Opór właściwy skrawania 115	
5. Zmienność sił skrawania w wyniku uderzeń i drgań	126
a. Współczynnik dynamiczności 126 — b. Klasyfikacja i przyczyny powstawania drgań w obróbce skrawaniem 127 — c. Wpływ warunków skrawania na drgania i sposoby zwalczania drgań samowzbudnych 133	
E. Praca skrawania i ciepło w procesie skrawania	134
1. Praca i moc skrawania	134
a. Praca właściwa skrawania i jej składowe 134 — b. Moc skrawania i jej obliczanie 137	
2. Powstawanie i rozchodzenie się ciepła	137
3. Rozkład temperatur w procesie skrawania	139

4. Metody pomiaru temperatur w procesie skrawania	140
a. Ogólna charakterystyka sposobów określania temperatury 140 — b. Metody określania temperatury nie oparte o zasadę pomiaru siły termoelektrycznej 140 — c. Metody pomiaru temperatury oparte o zasadę pomiaru siły termoelektrycznej 142	
5. Wpływ różnych czynników na temperaturę skrawania	146
a. Wpływ materiału obrabianego na temperaturę skrawania 146 — b. Wpływ narzędzia 147 — c. Wpływ warunków skrawania 149 — d. Ilościowe ujęcie zależności temperatury skrawania od warunków skrawania 152	
F. Zużycie i trwałość ostrza	152
1. Ogólne wiadomości o tarcu i ścieraniu	152
a. Istota i skutki tarcia 152 — b. Ścieranie i jego charakterystyka 153	
2. Tarcie i ścieranie w procesie skrawania	155
a. Specyficzne cechy tarcia i ścierania w czasie skrawania 155 — b. Parametry geometryczne zużycia 156 — c. Zależność zużycia ostrza od warunków obróbki 158	
3. Stopień ostrza i kryteria stopienia	162
a. Definicja stopienia ostrza i okresu jego trwałości 162 — b. Kryteria stopienia ostrza 164	
4. Wpływ różnych czynników na trwałość ostrza i okresową szybkość skrawania	167
a. Zależność trwałości ostrza od szybkości skrawania 167 — b. Wpływ materiału obrabianego na okresową szybkość skrawania 169 — c. Wpływ narzędzia 172 — d. Wpływ warunków skrawania i obróbki 177 — e. Obliczanie okresowej szybkości skrawania 184	
5. Metody badania trwałości ostrza	187
a. Metoda naturalnego zużycia 187 — b. Metoda toczenia promieniowego 188 — c. Metody intensywności zużycia 189 — d. Metoda radioaktywnych izotopów 190	
G. Powierzchnia obrobiona	191
1. Powstawanie powierzchni obrobionej i warstwy podpowierzchniowej...	191
2. Utwardzenie warstwy podpowierzchniowej	193
3. Naprężenia ostateczne w warstwie podpowierzchniowej i ich zależność od niektórych czynników	195
a. Naprężenia ostateczne i ich znaczenie 195 — b. Rodzaje naprężeń ostatecznych pierwszego rodzaju przytoczeniu 196 — c. Proces powstawania naprężeń ostatecznych 197 — d. Wpływ niektórych czynników na naprężenia ostateczne 199	
4. Chropowatość powierzchni i jej zależność od niektórych warunków skrawania	200
a. Klasyfikacja czynników wpływających na gładkość powierzchni 200 — b. Czynniki wywierające wpływ geometryczny przy toczeniu z kątem przystawienia pomocniczej krawędzi skrawającej $\alpha_1 > 0$ 201 — c. Wpływ czynników geometrycznych przy toczeniu narzędziem z kątem przystawienia pomocniczej krawędzi skrawającej $\alpha_1 = 0$ 206 — d. Czynniki wywierające wpływ fizyczny 209 — e. Wyznaczanie warunków skrawania zapewniających wymaganą gładkość powierzchni 213	
H. Skrawalność metali	218
1. Pojęcie skrawalności	218
a. Ogólne pojęcie skrawalności 218 — b. Wskaźniki skrawalności 218	
2. Określanie skrawalności	219
a. Warunki określania skrawalności 219 — b. Skrawalność optymalna 219 — c. Metody i warunki wykonywania częściowych i skróconych prób skrawalności 220	
3. Czynniki wpływające na skrawalność stali i żeliwa	222
a. Czynniki wpływające na skrawalność w etapie przygotowania materiału i jego obróbki 222 — b. Skrawalność stali 223 — c. Skrawalność żeliwa 225	

I. Wysokowydajne skrawanie metali	226
1. Wiadomości ogólne o wysokowydajnym skrawaniu	226
a. Zarys historyczny 226 — b. Wydajność skrawania i wydajność produkcji 227 —	
c. Charakterystyka i określenia metod obróbki wysokowydajnej 229	
2. Szybkościowe skrawanie metali	230
3. Toczenie dużymi posuwami nożem typu Kolesowa	231
4. Ekonomiczne zakresy stosowania skrawania szybkościowego i toczenia	
dużymi posuwami	232
J. Dobór warunków skrawania przy toczeniu	235
1. Czynniki wpływające na dobór warunków skrawania	235
2. Wyprowadzenie i analiza wzorów na ekonomiczny okres trwałości ostrza	
i okres trwałości największej wydajności	241
3. Ogólne zasady doboru warunków skrawania przy toczeniu	245
a. Ogólne zasady doboru warunków skrawania uzależnionych od zalecanego	
okresu trwałości ostrza 245 — b. zasada równoczesności pełnego wykorzystania	
obrabiarki i narzędzia 249	
4. Tok doboru warunków skrawania	250
a. Podział nadatku na obróbkę na przejścia wstępne i wykańczające 250 —	
b. Tok doboru warunków skrawania przejść wstępnych i kształtujących 251 —	
c. Tok doboru warunków skrawania przejść wykańczających 252	
5. Pomoce przy doborze warunków skrawania	253
a. Dokładność projektowania warunków skrawania 253. — b. Tablice warunków	
krawania 255 — c. Suwaki specjalne 255 — d. Nomogramy 256	

Rozdział III. STRUGANIE

A. Kinematyka strugania, elementy geometryczne ostrza i warstwy skrawanej	259
1. Kinematyka i odmiany strugania	259
a. Ogólna charakterystyka strugania 259 — b. Kinetyka strugania poprzecz-	
nego 260 — c. Obliczanie czasu maszynowego przy struganiu 263	
2. Geometria ostrza i warstwy skrawanej	263
B. Zależności fizykalno-technologiczne strugania	264
1. Opór skrawania i moc skrawania	264
a. Ogólna charakterystyka oporu skrawania 264 — b. Badanie oporów skrawania	
przy struganiu 265 — c. Moc skrawania 267	
2. Trwałość ostrza i okresowa szybkość skrawania	267
3. Gładkość powierzchni	268
C. Dobór warunków skrawania przy struganiu	269
1. Ograniczenia obróbkowe przy struganiu	269
2. Tok doboru warunków skrawania przy struganiu	270
3. Wysokowydajne strugania	270
a. Struganie dwustronne 270 — b. Zastosowanie węglików spiekanych i obróbka	
materiałów trudno obrabialnych 271 — c. Struganie dużymi posuwami 272	

SKRAWANIE NARZĘDZIAMI WIEŁOOSTRZOWYMI

Rozdział IV. PRZECIĄGANIE

A. Kinematyka i odmiany przeciągania	274
1. Ogólna charakterystyka i odmiany przeciągania	274
2. Czas maszynowy przeciągania	275
B. Geometria ostrza i warstwy skrawanej	276
1. Geometria ostrza przeciągacza	276

2. Geometria warstwy skrawanej	279
a. Kształt warstwy skrawanej 279 — b. Geometria warstwy skrawanej 280	
C. Zależności fizykalno-technologiczne przeciągania	282
1. Proces tworzenia się wióra przy przeciąganiu	282
2. Opór i moc skrawania przy przeciąganiu	283
3. Trwałość ostrza i okresowa szybkość skrawania	288
a. Proces zużycia ostrza i dopuszczalna wielkość stopienia 288 — b. Okresowa szybkość skrawania 289	
4. Gładkość powierzchni	293
D. Dobór warunków skrawania i zwiększanie wydajności przeciągania	296
1. Tok doboru warunków skrawania	296
2. Zwiększenie wydajności przeciągania	296
Rozdział V. WIERCENIE, POGŁĘBIANIE I ROZWIERCANIE	
A. Wiercenie	298
1. Kinematyka wiercenia	298
a. Określenie i odmiany wiercenia 298 — b. Szybkość skrawania i warstwa skrawana 299 — c. Czas maszynowy wiercenia 301	
2. Ostrza wiertła	302
a. Parametry geometryczne i odmiany ostrzy 302 — b. Odmiany ostrzy wiertła i zalecane wartości parametrów ostrza 304 — c. Kształtowanie ostrza wiertła krętego 307 — d. Ostrze wiertła w czasie skrawania 315	
3. Opór skrawania przy wierceniu i powiercaniu	318
a. Opór skrawania i jego składowe 318 — b. Pomiary oporu skrawania przy wierceniu 320 — c. Czynniki wpływające na opór skrawania przy wierceniu 322 — d. Obliczanie sił skrawania przy wierceniu i powiercaniu 327 — e. Moc skrawania przy wierceniu 328	
4. Zużycie i trwałość ostrza	330
a. Objawy zużycia i kryterium stopienia wiertła 330 — b. Trwałość wiertła i okresowa szybkość skrawania 334 — c. Wpływ niektórych czynników na okresową szybkość skrawania przy wierceniu 336 — d. Obliczanie okresowej szybkości skrawania przy wierceniu 342	
5. Dokładność wiercenia	345
a. Znaczenie dokładności wiercenia 345 — b. Gładkość powierzchni wierconych otworów 346 — c. Dokładność wymiarowo-kształtowa 347	
6. Dobór warunków skrawania i zwiększenie wydajności skrawania przy wierceniu	349
a. Ogólne wytyczne doboru warunków skrawania przy wierceniu 349 — b. Ograniczenia w doborze posuwu 350 — c. Kierunki zwiększenia wydajności wiercenia 354	
B. Pogłębianie i rozwiercanie zgrubne	354
1. Ogólna charakterystyka pogłębiania i rozwiercania zgrubnego	354
2. Geometria ostrza i warunki skrawania	355
a. Budowa rozwiertaka zdzieraka i pogłębiacza 355 — b. Warunki skrawania 356	
3. Opór skrawania i trwałość ostrza	357
a. Opór skrawania 357 — b. Zużycie i trwałość ostrzy oraz okresowa szybkość skrawania 358	
4. Dobór warunków skrawania dla pogłębiania i rozwiercania zgrubnego	360
C. Rozwiercanie wykańczające	362
1. Ogólna charakterystyka rozwiercania wykańczającego	362

2. Opis rozziertaka wykańczaka oraz warunki skrawania	362
a. Opis rozziertaka 362 — b. Warunki skrawania 365	
3. Opór skrawania i trwałość ostrza przy rozziertaniu	365
a. Opór skrawania i moc skrawania 365 — b. Trwałość ostrza i okresowa szybkość skrawania 367	
4. Dobór warunków skrawania dla rozziertania wykańczającego	369
a. Dobór warunków skrawania 369 — b. Możliwości zwiększania wydajności rozziertania 371	

Rozdział VI. FREZOWANIE

A. Ogólna charakterystyka frezowania	372
1. Odmiany frezowania	372
2. Szybkość ruchu narzędzia i materiału obrabianego	373
B. Frezowanie walcowe	375
1. Opis ostrzy frezów walcowych	375
2. Parametry warstwy skrawanej i warunki skrawania	379
a. Geometria warstwy skrawanej 379 — b. Czas maszynowy frezowania walcowego 384	
3. Opór i moc skrawania	385
a. Rozkład sił skrawania przy frezowaniu walcowym 385 — b. Równomierność sił skrawania przy frezowaniu walcowym 387 — c. Czynniki oddziaływające na opór skrawania przy frezowaniu walcowym 389 — d. Obliczanie sił i mocy skrawania 393	
4. Zużycie i trwałość ostrza	399
a. Zużycie ostrzy 399 — b. Temperatura skrawania przy frezowaniu walcowym 402 — c. Wpływ niektórych warunków skrawania na okresową szybkość skrawania 403 — d. Obliczanie okresowej szybkości skrawania 405	
5. Gładkość powierzchni	409
a. Mikronierówność jako odwzorowanie geometryczne 409 — b. Inne czynniki wpływające na gładkość powierzchni 411	
6. Zwiększenie wydajności i dobór warunków frezowania walcowego	413
a. Drogi zwiększenia wydajności skrawania przy frezowaniu walcowym 413 — b. Metodyka doboru warunków skrawania przy frezowaniu walcowym 415	
C. Frezowanie czołowe	417
1. Odmiany frezowania czołowego i warunki skrawania	417
a. odmiany frezowania czołowego 417 — b. Parametry warstwy skrawanej 418 c. Obliczanie czasu maszynowego przy frezowaniu czołowym 419 — d. Ostrza frezów czołowych 421	
2. Opór i moc skrawania frezowania czołowego	423
a. Składowe siły skrawania 423 — b. Statystyczno-doświadczalne wzory do obliczania obwodowej siły i mocy skrawania 424 — c. Badania rzeczywistego przebiegu obwodowej siły skrawania 425 — d. Wpływ niektórych czynników na obwodową siłę skrawania 427	
3. Zużycie i trwałość ostrza	431
a. Proces zużycia i zależność trwałości ostrza od niektórych warunków skrawania 431 — b. Obliczanie okresowej szybkości skrawania 437	
4. Gładkość powierzchni przy frezowaniu czołowym	438
a. Mikrogeometria powierzchni 438 — b. Struktura warstwy podpowierzchniowej przy frezowaniu czołowym 440	
5. Zwiększanie wydajności i dobór warunków skrawania	442

Rozdział VII. OBROBKA UZĘBIEN

1. Ogólna charakterystyka obróbki uzębień	444
2. Dłutowanie (struganie) obwiedniowe	446
a. Narzędzia i kinematyka skrawania 446 — b. Warunki skrawania 447 — c. Obliczanie siły i mocy skrawania 448 — d. Zużycie i trwałość ostrzy przy dłutowaniu obwiedniowym 448 — e. Dobór warunków skrawania 449	
3. Frezowanie kształtowe modułowymi frezami tarczowymi	451
a. Opis narzędzia 451 — b. Czas maszynowy i warunki skrawania 451 — c. Moc skrawania 452	
4. Frezowanie obwiedniowe uzębień frezami ślimakowymi	453
a. Kinematyka skrawania i parametry warstwy skrawanej 453 — b. Zależności fizykalno-technologiczne 454 — c. Dobór warunków skrawania 457	

Rozdział VIII. GWINTOWANIE

1. Toczenie gwintów	459
a. Narzędzia do toczenia gwintów 459 — b. Warunki skrawania 461 — c. Siła i moc skrawania oraz okresowa szybkość skrawania 462	
2. Gwintowanie gwintownikami i narzynkami	464
a. Opis gwintownika i narzynki 464 — b. Warunki skrawania 466 — c. Zależności fizykalno-technologiczne skrawania 469	
3. Gwintowanie frezami na frezarce	478
4. Szybkościowe frezowanie gwintów głowicami nożowymi	481
a. Kinematyka szybkościowego frezowania gwintów i geometria ostrzy 481 — b. Warunki i zależności skrawania 483 — c. Dobór warunków skrawania i zakres zastosowania szybkościowego gwintowania 484	

SKRAWANIE NARZĘDZIAMI O NIEOZNACZONEJ LICZBIE OSTRZY

Rozdział IX. SZLIFOWANIE

A. Ogólna charakterystyka obróbki ścierniej	485
1. Cechy szczególne obróbki ścierniej i szlifowania	485
2. Odmiany kinematyczne szlifowania	487
3. Czas maszynowy szlifowania	490
B. Narzędzia ścierne do szlifowania	492
1. Ogólna charakterystyka narzędzi ściernych do szlifowania	492
2. Rodzaje ścierniwa (materiałów ściernych)	493
a. Elektrokorund 493 — b. Karborund (węglik krzemu SiC) 494 — c. Węglik boru i diament 494	
3. Ziarna ścierniwa	495
a. Wymiary i kształt ziaren 495 — b. Ziarnistość 496	
4. Spoivo	497
5. Twardość ściernicy	498
6. Struktura, porowatość i spoistość ściernicy	499
a. Wiadomości podstawowe 499 — b. Ściernice wielkoporowe 501	
7. Kształt i wymiary ściernicy	502
C. Proces skrawania przy szlifowaniu	503
1. Charakterystyka skrawania pojedynczym ostrzem	503
a. Parametry geometryczne ostrza i warstwy skrawanej 503 — b. Kąt ψ i długość drogi pracy ostrza L_p w różnych odmianach szlifowania 505	
2. Charakterystyka pracy ściernicą	508
a. Liczba ostrzy (ziarn) na powierzchni ściernicy i odstęp między ziarnami 508 — b. Liczba ziarn równocześnie skrawających 510 — c. Średnia grubość warstwy skrawanej ściernicą 511 — d. Średnia grubość warstwy skrawanej pojedynczym ostrzem 512	

3. Proces skrawania przy szlifowaniu i zjawiska współtowarzyszące	514
a. Powstawanie wiórów przy szlifowaniu 514 — b. Szybkość odkształceń i temperatura skrawania przy szlifowaniu 516	
D. Zależności fizykalno-technologiczne przy szlifowaniu	518
1. Siły i moc skrawania	518
a. Składowe siły skrawania 518 — b. Teoretyczne równanie obwodowej siły skrawania 520 — c. Analiza otrzymanych wzorów teoretycznych i wzory empiryczne 521	
2. Zużycie i trwałość ściernic	522
a. Proces zużycia się ściernic 522 — b. Okres trwałości ostrza i okresowa szybkość przedmiotu 523	
3. Gładkość powierzchni i struktura warstwy podpowierzchniowej	526
a. Mikronierówności powierzchni obrabianej 526 — b. Właściwości warstwy podpowierzchniowej obrobionej szlifowaniem 532	
E. Zwiększanie wydajności i dobór warunków szlifowania	536
1. Metody wysokowydajnego szlifowania	536
a. Parametry wpływające na wydajność skrawania przy szlifowaniu 536 — b. Charakterystyka metod wysokowydajnego szlifowania 536	
2. Dobór warunków skrawania przy szlifowaniu	539
a. Ekonomiczne podstawy doboru skrawania przy szlifowaniu 539 — b. Zasady doboru ściernicy 541 — c. Dobór warunków skrawania i tok doboru 543	
Rozdział X. WYGŁADZAJĄCA OBRÓBKA ŚCIERNA	
A. Gładzenie (obciąganie)	544
1. Kinematyka gładzenia	544
2. Obliczanie czasu maszynowego gładzenia	546
3. Proces gładzenia	546
4. Zakres zastosowania i dobór parametrów gładzenia	547
B. Dogładzanie oscylacyjne	549
1. Kinematyka i odmiany dogładzania	549
2. Narzędzia do dogładzania oscylacyjnego	550
3. Zakres zastosowania i dobór warunków dogładzania oscylacyjnego	551
C. Docieranie	553
1. Określenie docierania i jego odmiany	553
2. Materiały ściernie, pasty i docieraki	553
3. Zastosowanie i dobór warunków docierania	555
D. Polerowanie ściernie	556
1. Określenie, istota i odmiany polerowania	556
2. Dobór warunków polerowania ściernego	557
E. Wyglądanie strumieniowo-ściernie	559
Spis literatury	562