

Spis treści

Przedmowa	11
CZĘŚĆ I	
Ogólne podstawy inżynierii powierzchni	13
1. Pojęcie inżynierii powierzchni	14
1.1. Etymologia inżynierii powierzchni	14
1.2. Inżynieria powierzchni w Polsce	16
1.3. Zakres tematyczny pojęcia inżynierii powierzchni	17
Literatura	18
2. Historia rozwoju inżynierii powierzchni	19
2.1. Ogólne prawidłowości rozwoju	19
2.2. Historia rozwoju metalowych materiałów konstrukcyjnych	19
2.3. Historia rozwoju technik uszlachetniania powierzchniowego materiałów konstrukcyjnych	23
Literatura	31
3. Powierzchnia ciała stałego	32
3.1. Znaczenie powierzchni	32
3.2. Pojęcie geometryczne powierzchni	33
3.3. Pojęcie mechaniczne powierzchni	33
3.4. Pojęcie fizykochemiczne powierzchni	35
3.4.1. Faza	35
3.4.2. Powierzchnia międzyfazowa – powierzchnia fizyczna	36
3.4.3. Energia powierzchniowa	37
Literatura	42
4. Warstwy powierzchniowe	43
Literatura	46
5. Warstwa wierzchnia	47
5.1. Rozwój pojęć związanych z warstwą wierzchnią	47
5.2. Kształtowanie warstwy wierzchniej	50
5.3. Budowa warstwy wierzchniej	54
5.3.1. Modele uproszczone warstwy wierzchniej	54
5.3.2. Model rozwinięty warstwy wierzchniej	58
5.4. Ogólna charakterystyka warstwy wierzchniej powstałej po obróbce skrawaniem	61

5.5.	Opis fizyczny warstwy wierzchniej	64
5.6.	Umocnienie i osłabienie warstwy wierzchniej	65
5.7.	Potencjalne właściwości warstwy wierzchniej	66
5.7.1.	Parametry geometryczne warstwy wierzchniej	68
5.7.1.1.	Struktura stereometryczna powierzchni	68
5.7.1.2.	Nierówność powierzchni	69
5.7.1.3.	Wady struktury stereometrycznej powierzchni	73
5.7.2.	Parametry geometryczno-fizykochemiczne warstwy wierzchniej	75
5.7.2.1.	Emisyjność	75
5.7.2.2.	Odbijalność (refleksyjność)	79
5.7.3.	Parametry fizykochemiczne warstwy wierzchniej	79
5.7.3.1.	Charakterystyka ogólna	79
5.7.3.2.	Struktura metalograficzna	80
5.7.3.3.	Twardość	81
5.7.3.4.	Kruchość	83
5.7.3.5.	Naprężenia własne	84
5.7.3.6.	Absorbpcja	95
5.7.3.7.	Adsorpcja	96
5.7.3.8.	Rozpuszczalność	104
5.7.3.9.	Dyfuzja	106
5.7.3.10.	Adhezja	112
5.7.3.11.	Kataliza	116
5.8.	Eksplatacyjne właściwości warstwy wierzchniej	121
5.8.1.	Właściwości wytrzymałościowe	122
5.8.1.1.	Ogólna charakterystyka	122
5.8.1.2.	Wytrzymałość zmęczeniowa	123
5.8.2.	Właściwości tribologiczne	132
5.8.2.1.	Rodzaje podstawowych właściwości tribologicznych	132
5.8.2.2.	Tarcie i jego rodzaje	132
5.8.2.3.	Tarcie ślizgowe	136
5.8.2.4.	Tarcie toczne	137
5.8.2.5.	Rola powierzchni w procesie tarcia	138
5.8.2.6.	Ciepłne efekty tarcia	139
5.8.2.7.	Smarowanie	140
5.8.2.8.	Zużycie tribologiczne i jego rodzaje	143
5.8.2.9.	Czynniki wpływające na zużycie tribologiczne	153
5.8.2.10.	Selektywne przenoszenie (bezzużyciowe tarcie)	157
5.8.2.11.	Ograniczanie zużycia tribologicznego	159
5.8.3.	Właściwości antykorozyjne	161
5.8.4.	Właściwości dekoracyjne	163
5.9.	Znaczenie warstwy wierzchniej	163
	Literatura	164

6.	Powłoki	168
6.1.	Pojęcie powłoki	168
6.2.	Budowa powłoki	169
6.3.	Rodzaje powłok	170
6.3.1.	Podział powłok pod względem materiału powłokowego	170
6.3.1.1.	Powłoki metalowe	170
6.3.1.2.	Powłoki niemetalowe	171
6.3.2.	Podział powłok pod względem przeznaczenia	176
6.3.2.1.	Powłoki ochronne	176
6.3.2.2.	Powłoki dekoracyjne	178
6.3.2.3.	Powłoki ochronno-dekoracyjne	179
6.3.2.4.	Powłoki techniczne	179
6.3.3.	Podział powłok pod względem sposobu wytwarzania	182

6.3.3.1.	Powłoki galwaniczne.....	182
6.3.3.2.	Powłoki zanurzeniowe.....	184
6.3.3.3.	Powłoki natryskowe.....	187
6.3.3.4.	Powłoki platerowe.....	189
6.3.3.5.	Powłoki krystalizacyjne.....	191
6.4.	Potencjalne właściwości powłok.....	191
6.4.1.	Parametry geometryczne powłok.....	191
6.4.1.1.	Grubość.....	191
6.4.1.2.	Struktura stereometryczna powierzchni.....	192
6.4.1.3.	Nierówność powierzchni.....	193
6.4.1.4.	Wady struktury stereometrycznej.....	193
6.4.2.	Parametry geometryczno-fizykochemiczne powłok.....	193
6.4.3.	Parametry fizykochemiczne powłok.....	194
6.4.3.1.	Charakterystyka ogólna.....	194
6.4.3.2.	Struktura powłok metalowych.....	195
6.4.3.3.	Napężenia własne.....	197
6.4.3.4.	Przyczepność.....	198
6.4.3.5.	Twardość.....	199
6.4.3.6.	Plastyczność i elastyczność.....	200
6.4.3.7.	Właściwości elektryczne.....	200
6.4.3.8.	Właściwości magnetyczne.....	201
6.5.	Eksploatacyjne właściwości powłok.....	201
6.5.1.	Właściwości antykorozyjne.....	201
6.5.1.1.	Korozja i jej rodzaje.....	201
6.5.1.2.	Odporność korozyjna.....	204
6.5.1.3.	Porowatość.....	205
6.5.1.4.	Pęcznienie.....	207
6.5.1.5.	Przepuszczalność.....	208
6.5.2.	Właściwości dekoracyjne.....	209
6.5.2.1.	Wygląd zewnętrzny.....	209
6.5.2.2.	Barwa.....	210
6.5.2.3.	Połysk.....	211
6.5.2.4.	Zdolność krycia.....	212
6.5.2.4.	Specyficzne właściwości dekoracyjne.....	213
6.6.	Znaczenie i kierunki rozwoju powłok.....	213
	Literatura.....	219

CZĘŚĆ II

Najnowsze techniki wytwarzania warstw powierzchniowych

223

1.	Wytwarzanie technologicznych warstw powierzchniowych	224
1.1.	Metody wytwarzania technologicznych warstw powierzchniowych.....	224
1.1.1.	Metody mechaniczne.....	224
1.1.2.	Metody cieplno-mechaniczne.....	227
1.1.3.	Metody cieplne.....	228
1.1.4.	Metody cieplno-chemiczne.....	230
1.1.5.	Metody elektrochemiczne i chemiczne.....	231
1.1.6.	Metody fizyczne.....	234
1.2.	Technologia i technika wytwarzania warstw powierzchniowych.....	235
1.2.1.	Podział technik wytwarzania technologicznych warstw powierzchniowych.....	235
1.2.2.	Ogólne tendencje rozwoju technik wytwarzania technologicznych warstw powierzchniowych.....	238
	Literatura.....	239

2.	Techniki elektronowe	241
2.1.	Powstanie i rozwój technik elektronowych.....	241
2.2.	Podstawy fizyczne działania urządzeń elektronowych.....	243
2.2.1.	Emisja elektronów.....	243
2.2.2.	Emisja termoelektronowa.....	243
2.2.3.	Wykorzystanie plazmy jako źródła elektronów.....	244
2.2.4.	Przyspieszanie elektronów.....	245
2.2.5.	Sterowanie wiązką elektronową.....	246
2.3.	Nagrzewnice elektronowe.....	248
2.3.1.	Wyrzutnie elektronowe.....	248
2.3.1.1.	Wyrzutnie termoemisyjne.....	249
2.3.1.2.	Wyrzutnie plazmoemisyjne.....	250
2.3.2.	Budowa nagrzewnic elektronowych.....	251
2.3.3.	Rodzaje wiązek i rastrów.....	252
2.4.	Podstawy fizyczne oddziaływania wiązki elektronowej na materiał.....	254
2.4.1.	Mechanizm oddziaływania wiązki elektronowej na materiał.....	254
2.4.2.	Sprawność grzania elektronowego.....	258
2.4.3.	Szybkość nagrzewania i chłodzenia.....	260
2.5.	Technologie elektronowe.....	262
2.5.1.	Technologie bezprzetopieniowe.....	265
2.5.1.1.	Wyżarzanie i odpuszczanie.....	265
2.5.1.2.	Hartowanie bezprzetopieniowe.....	266
2.5.2.	Technologie przetopieniowe.....	274
2.5.2.1.	Nadtapianie.....	274
2.5.2.2.	Stopowanie.....	279
2.5.2.3.	Natapianie.....	280
2.5.3.	Technologie odparowaniowe.....	282
2.5.4.	Zastosowanie nagrzewania elektronowego w inżynierii powierzchni.....	282
	Literatura.....	287

3.	Techniki laserowe	292
3.1.	Rozwój technik laserowych.....	292
3.2.	Podstawy fizyczne działania laserów.....	294
3.2.1.	Emisja spontaniczna i wymuszona.....	294
3.2.2.	Akcja laserowa.....	297
3.2.2.1.	Inwersja obsadzeń poziomów energetycznych.....	297
3.2.2.2.	Rezonator optyczny.....	299
3.2.3.	Wiązki laserowe jedno- i wielomodowe.....	303
3.3.	Lasery i nagrzewnice laserowe.....	306
3.3.1.	Ogólna budowa laserów.....	306
3.3.2.	Lasery molekularne CO ₂	307
3.3.2.1.	Ogólna charakterystyka.....	307
3.3.2.2.	Lasery o powolnym przepływie podłużnym (lasery chłodzone dyfuzyjnie).....	308
3.3.2.3.	Lasery przepływowe o szybkim przepływie podłużnym.....	310
3.3.2.4.	Lasery przepływowe o przepływie poprzecznym.....	311
3.3.3.	Lasery stałe Nd-YAG.....	312
3.3.4.	Praca ciągła i impulsowa laserów.....	312
3.3.5.	Obrabiarki i nagrzewnice laserowe.....	314
3.4.	Podstawy fizyczne nagrzewania laserowego.....	317
3.4.1.	Właściwości promieniowania laserowego.....	317
3.4.2.	Rola absorpcji powierzchni w procesie nagrzewania laserowego.....	317
3.4.3.	Głębokość wnikania fotonów w materiał.....	320
3.4.4.	Stopnie nagrzewania laserowego.....	322
3.4.5.	Rozkład temperatury w nagrzewanym laserowo materiale.....	325
3.4.6.	Sterowanie wiązką laserową.....	331

3.5.	Technologie laserowe	334
3.5.1.	Technologie bezprzetopieniowe	336
3.5.1.1.	Wyzarzanie i odpuszczanie, podgrzewanie	336
3.5.1.2.	Hartowanie bezprzetopieniowe	338
3.5.1.3.	Oczyszczanie powierzchni	346
3.5.2.	Technologie przetopieniowe	346
3.5.2.1.	Nadtapianie	346
3.5.2.2.	Stopowanie	355
3.5.2.3.	Natapianie	364
3.5.3.	Technologie odparowaniowe	368
3.5.3.1.	Odparowanie czyste	368
3.5.3.2.	Utwardzanie detonacyjne	368
3.5.4.	Technologie laserowego wytwarzania cienkich i twardych powłok	371
3.5.4.1.	Wytwarzanie powłok metodą wtopieniowego stopowania gazowego	371
3.5.4.2.	Wytwarzanie powłok metodą odparowania czystego	372
3.5.4.3.	Pirolityczne i fotochemiczne wytwarzanie powłok	373
3.5.4.4.	Chemiczne wytwarzanie powłok (LCVD)	375
3.6.	Zastosowanie nagrzewania laserowego w inżynierii powierzchni	375
	Literatura	379

4. Techniki implantacyjne (implantacja jonów) 392

4.1.	Powstanie i rozwój technologii implantacji jonów	392
4.2.	Implantacja jonów a technologie jonowe i plazmowe	393
4.3.	Podstawy fizyczne implantacji jonów	394
4.3.1.	Ciągła implantacja jonów	394
4.3.2.	Impulsowa implantacja jonów	401
4.4.	Implantatory jonów	402
4.4.1.	Ciągłe implantatory jonów	402
4.4.2.	Impulsowe implantatory jonów	414
4.5.	Metody implantacji	416
4.6.	Modyfikacja właściwości materiałów implantowanych	420
4.6.1.	Właściwości tribologiczne materiałów implantowanych	422
4.6.2.	Właściwości wytrzymałościowe materiałów implantowanych	429
4.6.3.	Twardość i adhezja materiałów implantowanych	431
4.6.4.	Odporność korozyjna materiałów implantowanych	433
4.7.	Zastosowanie technologii implantacyjnych	434
4.6.	Zalety i wady technologii implantacyjnych	441
	Literatura	442

5. Techniki jarzeniowe i techniki osadzania próżniowego metodami chemicznymi CVD 449

5.1.	Pojęcie i rozwój technik jarzeniowych	449
5.2.	Fizykochemiczne podstawy obróbek jarzeniowych	450
5.2.1.	Wyładowanie jarzeniowe	450
5.2.2.	Oddziaływanie jonów z metalami	460
5.2.2.1.	Rozpylanie jonowe	460
5.2.2.2.	Rola rozpylania jonowego w obróbkach jarzeniowych	463
5.2.3.	Chemisorpcja w obróbkach jarzeniowych	466
5.3.	Piece jarzeniowe	470
5.4.	Techniki jarzeniowe	477
5.4.1.	Azotowanie jarzeniowe	477
5.4.2.	Borowanie jarzeniowe	481
5.5.	Metody CVD	484
	Literatura	493

6.	Techniki osadzania próżniowego metodami fizycznymi – techniki PVD	497
6.1.	Rzeczony technik PVD	497
6.2.	Metody PVD	499
6.2.1.	Ogólna charakterystyka	499
6.2.2.	Podział metod PVD	501
6.2.3.	Omówienie ważniejszych metod PVD	507
6.2.3.1.	Metody wykorzystujące jednoczesne odparowanie substratu z całej powierzchni lustra cieczy	507
6.2.3.2.	Metody wykorzystujące odparowanie miejscowe	509
6.2.3.3.	Metody wykorzystujące rozpylanie bezpośrednie	511
6.2.3.4.	Metody wykorzystujące osadzanie z wiązek jonów	515
6.3.	Urządzenia do osadzania powłok metodami PVD	515
6.4.	Powłoki osadzone metodami PVD	523
6.4.1.	Materiały powłokowe	523
6.4.2.	Rodzaje powłok	528
6.4.2.1.	Wiadomości ogólne	528
6.4.2.2.	Podział powłok	529
6.4.3.	Sterowanie strukturą i właściwościami powłok	532
6.4.3.1.	Wiadomości ogólne	532
6.4.3.2.	Modele osadzania powłok	532
6.4.4.	Przygotowanie podłoża pod powłoki	535
6.4.4.1.	Wymagania stawiane pokrywanej powierzchni	535
6.4.4.2.	Oczyszczanie wstępne	535
6.4.4.3.	Oczyszczanie ostateczne (jonowe)	536
6.5.	Właściwości eksploatacyjne powłok osadzanych metodami PVD	539
6.5.1.	Ogólna charakterystyka	539
6.5.2.	Właściwości dekoracyjne	541
6.5.3.	Właściwości tribologiczne	543
6.5.3.1.	Pokrywanie narzędzi i części maszyn	543
6.5.3.2.	Właściwości eksploatacyjne narzędzi	544
6.5.4.	Właściwości antykorozyjne	547
6.5.5.	Właściwości optyczne i elektryczne	548
	Literatura	550