

SPIS TREŚCI

WSTĘP	11
ROZDZIAŁ 1. PERSPEKTYWICZNE ZADANIA BADAWCZE TRIBOLOGII	13
ROZDZIAŁ 2. PODSTAWY TRIBOLOGII	21
ANALIZA SYSTEMOWA ZJAWISK TRIBOLOGICZNYCH	23
MODELOWANIE I PROGNOZOWANIE W TRIBOLOGII	32
Modele tribologiczne	32
Teoria podobieństwa w tribologii	56
Prognozowanie trwałości par ślizgowych	67
Termodynamika procesów tarcowych	83
WARSTWA WIERZCHNIA ELEMENTÓW TRĄCYCH	103
Mikrogeometria powierzchni	103
Budowa i własności warstwy wierzchniej	123
Dyfuzyjne przenoszenie materii do warstwy wierzchniej skojarzeń ciernych	139
Badania eksploatacyjnej warstwy wierzchniej	147
FORMY ZUŻYWANIA	154
Zużycie wodorowe	154
Zużycie przez fretting	180
Zmęczenie powierzchniowe – pitting	194
Zacieranie	207
MIKROTRIBOLOGIA I NANOTRIBOLOGIA	234
Techniki badawcze	234
Badania mikro/nanomechaniczne	236
Badania mikro/nanotribologiczne	240
Zastosowania	244
BIOTRIBOLOGIA	247
Problemy biotribologii stawów człowieka w prostych przykładach obliczeniowych	247
Kierunki badań w zakresie biotribologii	247
Momenty skręcające w różnych przekrojach kości	251
Problemy hydromechaniki i wyciskania mazi stawowej	253
Problemy związane ze zużyciem biotribologicznym	254
Procesy zmian zwyrodnieniowych	257

ROZDZIAŁ 3. BADANIA EKSPERYMENTALNE TARCIA I ZUŻYCIA ...	261
 PODZIAŁ ZUŻYCIA Z UWAGI NA SPOSÓB DETEKCJI	263
Koncepcja podziału zużycia z punktu widzenia sposobu przejawiania się i detekcji	275
 ŁAŃCUCH EKSPERYMENTALNYCH BADAŃ TRIBOLOGICZNYCH	282
Badania eksploatacyjne i zbliżone	283
Badania systemów modelowych	283
 SYSTEMATYZACJA TESTOWYCH BADAŃ TRIBOLOGICZNYCH	285
Rodzaje tribologicznych zadań badawczych	285
Systemowa analiza węzła tarcia jako obiektu badań tribologicznych	286
Kryteria systematyzacji metod i urządzeń do badania tarcia i zużycia. Aplikacja analizy morfologicznej Zwicky'ego do badania sytuacji tribologicznych	291
Badania morfologiczne modelowych sytuacji tribologicznych	293
Koncepcja systemu badań tribologicznych – model matematyczny	297
Identyfikacja eksperymentalnych metod testowania tarcia i zużycia – macierz dla węzłów modelowych i rzeczywistych	299
Określenie podstawowych potrzeb badawczych – macierz realizacji SBT	301
 METODY I URZĄDZENIA TESTOWE DO BADANIA TARCIA I ZUŻYCIA	306
Aparat czterokulowy	307
Maszyny badawcze ze skojarzeniem rolka–klocek	311
Urządzenie typu wałek–klocki pryzmatyczne	316
Urządzenia z parą kół zębarych jako testowym węzłem tarcia	319
Zespół testujący – łożysko toczne	323
Urządzenie ze skojarzeniem trzpień–tarcza (kula–tarcza)	324
Urządzenie ze skojarzeniem trzy wałeczki–stożek	327
Urządzenie do badania ścieralności	328
 METODY IDENTYFIKACJI CHARAKTERYSTYK TRIBOLOGICZNYCH	333
 POMIAR CIŚNIENIA PRZY SMAROWANIU ELASTOHYDRODYNAMICZNYM ...	340
Rozkłady ciśnienia rejestrowane przy czystym toczeniu	340
Rozkłady ciśnienia rejestrowane przy toczeniu z poślizgiem	342
Rozkłady ciśnienia rejestrowane przy skąpym smarowaniu	343
 WPŁYW CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI I JEJ STRUKTURY KIEROWANEJ NA TRWAŁOŚĆ WARSTWY SMAROWEJ	345
Modelowanie styku nierówności przy tarciu mieszanym	345
Eksperymentalne metody identyfikacji grubości warstwy smarowej w styku skoncentrowanym elementów chropowatych	352

ROZDZIAŁ 4. MATERIAŁY I OBRÓBKA POWIERZCHNIOWA ELEMENTÓW WĘZŁÓW TARCIA	369
KLASYCZNE MATERIAŁY ŁOŻYSKOWE	371
Stopy łożyskowe	372
Białe metale na bazie cyny i ołowiu	372
Stopy miedzi – brązy cynowe i ołowiowe	373
Stopy aluminium	374
Stopy aluminium–cyna	374
Stopy aluminium z dodatkiem krzemu	375
Stopy aluminium z dodatkiem cynku	375
Porównanie własności stopów łożyskowych	376
Taśmy bimetalowe	377
Materiały wielowarstwowe	378
Zastosowanie wielowarstwowych materiałów łożyskowych	381
ŚLIZGOWE ŁOŻYSKA BEZOBSŁUGOWE	384
Materiały na łożyska bezobsługowe	384
Trwałość łożysk bezobsługowych	387
Temperatura pracy łożysk bezobsługowych	389
Wytyczne konstrukcyjne dla łożysk bezobsługowych	390
REGENERACYJNE KOMPOZYTY METALOŻYWICZNE	392
Wprowadzenie	392
Podstawowe składniki kompozytów metalożywicznych opartych na tworzywach wielkocząsteczkowych	393
Rodzaje żywic stosowanych jako baza materiałów kompozytowych	394
Rodzaje utwardzaczy i rozcieńczalników stosowanych do żywic epoksydowych	396
Charakterystyka napelnaczy	397
Właściwości tribologiczne kompozytów	400
MATERIAŁY ELASTOMEROWE	405
MATERIAŁY CERAMICZNE	414
Obciążalność mechaniczna skojarzeń ceramicznych	419
MATERIAŁY UTWARDZANE POWIERZCHNIOWO	421
Badania materiałów utwardzanych powierzchniowo	421
Właściwości tribologiczne materiałów utwardzanych powierzchniowo	423
STAN OBECNY I KIERUNKI ROZWOJU TECHNOLOGII PRZECIWZUŻYCIOWYCH	427
Powierzchniowe warstwy przeciwzużyciowe	427
Bardzo twarde materiały powłokowe	430
Budowa bardzo twardych powłok przeciwzużyciowych	432
Połączenie powłoki z podłożem	434
System powłoka–podłoże	435
Wybrane przykłady właściwości tribologicznych powłok przeciwzużyciowych	437
Transfer technologii przeciwzużyciowych do gospodarki	441

ZWIĘKSZENIE TRWAŁOŚCI ELEMENTÓW MASZYN PRZECZASOWANIE	
DOBÓR MATERIAŁÓW	444
Przykłady zastosowania nowego gatunku żeliwa sferoidalnego	444
Zastosowanie nowych stali do nawęglania	448
Zastosowanie nowej stali o podwyższonej odporności korozyjnej	450
 ROZDZIAŁ 5. ŚRODKI SMAROWE	 453
WŁASNOŚCI OLEJÓW SILNIKOWYCH	455
Identyfikacja własności olejów silnikowych	456
Systemy klasyfikacji olejów silnikowych	459
Dobór olejów silnikowych	465
WŁASNOŚCI OLEJÓW PRZEKŁADNIOWYCH	468
Klasyfikacje lepkościowe	468
Klasyfikacja jakościowa	469
Metody oceny olejów	472
WŁASNOŚĆ SMARÓW PŁASTYCZNYCH	477
Budowa smarów plastycznych	477
Charakterystyka jakościowa smarów plastycznych	478
Wytyczne doboru smarów plastycznych	485
KWASY TŁUSZCZOWE JAKO DODATKI SMAROWE	487
Adsorpcja kwasów tłuszczowych	488
Chemisorpcja kwasów tłuszczowych	492
Wpływ kwasów tłuszczowych na wielkość zużycia tribologicznego	494
Tribomieszanie a tribologiczne właściwości kwasów tłuszczowych – mechanizm anionorodnikowy	497
DIAGNOSTYKA EKSPLOATOWANEGO OLEJU	506
Starzenie olejów smarowych	507
Możliwości diagnozowania jakości oleju	509
Ocena stanu oleju na podstawie badań laboratoryjnych	513
Nowe metody oceny stanu oleju w eksploatacji	516
WŁASNOŚCI DIELEKTRYCZNE JAKO SYMPTOMY DIAGNOSTYCZNE PROCESU STARZENIA OLEJÓW SMAROWYCH	527
Własności dielektryczne i ich hipotetyczny związek ze stanem zużycia olejów smarowych	527
Badania własności dielektrycznych zużytych olejów smarowych	530
CZAS EKSPLOATACJI OLEJU	545
Nieawaryjnościowy model czasu eksploatacji oleju	545
Ocena zasadności indywidualizowania okresów użytkowania oleju	548
 ROZDZIAŁ 6. TRIBOTECHNIKA WĘZŁÓW TARCIA	 551
ŁOŻYSKA ZE SMAROWANIEM HYDROSTATYCZNYM	553
Obliczanie podstawowych parametrów łożysk hydrostatycznych	554
Konstrukcja podstawowych typów łożysk hydrostatycznych	563

POPRZECZNE ŁOŻYSKA ŚLIZGOWE	572
Obliczanie wielkości charakteryzujących poprzeczne łożyska ślizgowe	572
SMAROWANIE ŁOŻYSK TOCZNYCH	582
Dobór lepkości środków smarujących	583
Smarowanie łożysk tocznych smarami plastycznymi	586
Czynniki decydujące o warunkach pracy smaru plastycznego w łożyskach tocznych	587
Wytyczne wyboru smaru plastycznego do smarowania łożysk tocznych	591
Trwałość eksploatacyjna smarów plastycznych	593
Napełnianie łożysk tocznych smarem plastycznym	594
Wzajemna mieszalność smarów plastycznych	594
Smarowanie łożysk tocznych olejami	595
Czynniki decydujące o wyborze gatunku oleju	595
Okresy smarowania łożysk tocznych olejami	596
Uszczelnianie łożysk	599
Smarowanie smarem stałym	601
SMAROWANIE PRZEKŁADNI ZĘBATYCH	602
Zasady doboru środka smarowego do przekładni zębatych	602
Zalecenia doboru lepkości oleju do przekładni zębatych	603
Dobór lepkości oleju do przekładni ślimakowych	611
Metody zasilania węzłów tarcia przekładni środkiem smarowym	614
Granice smarowania zanurzeniowego	622
SMAROWANIE MASZYN SMARAMI PLASTYCZNYMI	630
Urządzenia do podawania smaru	630
Wyznaczanie podstawowych parametrów przy budowie układów smarowniczych	638
ŁOŻYSKA MECHANIZMÓW PRECYZYJNYCH	653
Stosowane metody obliczeniowe	653
Warunki tarcia i smarowania w łożysku	660
Wyznaczanie oporów ruchu	667
Łożyska toczne	676
POLIMEROWE ŁOŻYSKA ŚLIZGOWE	683
Materiały ślizgowe	683
Przegląd rozwiązań konstrukcyjnych łożysk ślizgowych	687
Obliczenia łożysk	689

ROZDZIAŁ 7. TRIBOTECHNIKA W PROCESACH TECHNOLOGICZNYCH 701

CIECZE TECHNOLOGICZNE W OBRÓBCE SKRAWANIEM	703
Krajowe oleje emulgujące i ich zastosowania	706
Smarowanie w przeróbce plastycznej	708
Specyfika tarcia w obróbce plastycznej	709
Wymagania stawiane smarom technologicznym do procesów obróbki plastycznej na zimno	710

Wymagania stawiane smarom technologicznym do procesów kucia na gorąco	713
Receptury smarów do procesów obróbki na gorąco	716
Metody badań i kryteria oceny własności smarów technologicznych	717
Metody testowania smarów technologicznych przeznaczonych do procesów tłoczenia blach	717
Metody testowania smarów do procesów objętościowej obróbki plastycznej na gorąco. Kucie matrycowe, prasowanie	717
Metody nanoszenia smarów technologicznych	719
Metody nanoszenia smarów przy kuciu	721
AUTORZY	725