



2 Podstawy konstrukcji maszyn

Wydawnictwo WNT



2 Podstawy konstrukcji maszyn

Autorzy

Marek Bijak-Żochowski

Marek Dietrich

Tadeusz Kacperski

Jacek Stupnicki

Józef Szala

Jan Witkowski

2 Podstawy konstrukcji maszyn

pod redakcją
Marka Dietricha

Wydawnictwo WNT 

Redaktor wydania III: *Marek Kośnik*

Wydawca: *Karol Zawadzki*

Projekt okładki i stron tytułowych: *Grafos*

Ilustracja na okładce: *Ishmeriev/iStock*

Skład i łamanie: *Małgorzata Broszkiewicz*

Książka, którą nabyłeś, jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw jakie im przysługują. Jej zawartość możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym. Ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. A kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty.

Szanujmy cudzą własność i prawo.

Więcej na www.legalnakultura.pl

Polska Izba Książki

Wydanie pierwsze ukazało się w czterech tomach publikowanych w latach 1986–1991 nakładem Państwowego Wydawnictwa Naukowego.

Copyright © by Wydawnictwo WNT

Warszawa 1999, 2015

Copyright © by Wydawnictwo Naukowe PWN SA

Warszawa 2017

ISBN 978-83-01-19121-4 (t. 1–3)

ISBN 978-83-01-19118-4 (t. 2)

Wydanie III – 1 dodruk (PWN)

Warszawa 2017

Wydawnictwo Naukowe PWN SA

02-460 Warszawa, ul. Gottlieba Daimlera 2

tel. 22 69 54 321, faks 22 69 54 288

infolinia 801 33 33 88

e-mail: pwn@pwn.com.pl; reklama@pwn.pl

www.pwn.pl

Druk i oprawa: OSDW Azymut Sp. z o.o.

Spis treści

1. Połączenia nierozłączne – 11

Józef Szala

- 1.1. Charakterystyka i klasyfikacja połączeń nierozłącznych – 11
- 1.2. Połączenia spawane – 11
 - 1.2.1. Uwagi ogólne – 11
 - 1.2.2. Rodzaje spawania – 12
 - 1.2.3. Rodzaje spoin i złączy spawanych – 15
 - 1.2.4. Odształcenia i naprężenia spawalnicze – 20
 - 1.2.5. Uwagi o spawalności metali – 21
 - 1.2.6. Obliczenia spoin obciążonych statycznie – 22
 - 1.2.7. Obliczenia spoin przy zmiennych obciążeniach – 30
 - 1.2.8. Zasady oznaczania spoin – 42
 - 1.2.9. Przykłady zastosowań połączeń spawanych – 43
- 1.3. Połączenia zgrzewane – 48
 - 1.3.1. Charakterystyka i rodzaje zgrzewania – 48
 - 1.3.2. Uwagi o zgrzewalności metali – 51
 - 1.3.3. Obliczenia połączeń zgrzewanych – 52
- 1.4. Połączenia lutowane – 57
 - 1.4.1. Charakterystyka połączeń lutowanych – 57
 - 1.4.2. Lutowanie miękkie – 58
 - 1.4.3. Lutowanie twarde – 60
- 1.5. Połączenia klejone – 63
 - 1.5.1. Charakterystyka połączeń klejonych – 63
 - 1.5.2. Obliczenia połączeń klejonych – 64
- 1.6. Połączenia nitowe – 67
 - 1.6.1. Charakterystyka procesu nitowania – 67
 - 1.6.2. Rodzaje nitów i ich zastosowanie – 68
 - 1.6.3. Wymiary, wykonanie i oznaczenie nitów – 70
 - 1.6.4. Rodzaje połączeń nitowych i zasady rozmieszczania nitów w połączeniu – 71
 - 1.6.5. Obliczanie połączeń nitowych – 74
- Bibliografia – 76

2. Połączenia rozłączne – 77

Jan Witkowski

- 2.1. Wstęp – 77
- 2.2. Połączenia gwintowe – 81
 - 2.2.1. Zasada uzyskiwania zdolności przenoszenia obciążeń – 81
 - 2.2.2. Rozkłady obciążeń gwintu – 94
 - 2.2.3. Obciążenia śrub – 103
 - 2.2.4. Nośność połączeń gwintowych, gwintu i śrub – 110
- 2.3. Połączenia kształtowe – 118
 - 2.3.1. Zasada kształtowego przenoszenia obciążeń – 118
 - 2.3.2. Obciążenia elementów – 124
- 2.4. Połączenia wciskowe – 135
 - 2.4.1. Zasada ciernego przenoszenia obciążeń – 135
 - 2.4.2. Wytrzymałość elementów połączeń wciskowych – 137
- 2.5. Wybrane wskazówki konstrukcyjne – 141
 - 2.5.1. Wskazówki racjonalnego kształtowania elementów połączeń gwintowych – 141
 - 2.5.2. Niektóre możliwości racjonalizacji geometrii elementów połączeń kształtowych – 145
 - 2.5.3. Kształtowanie elementów połączeń wciskowych – 146
 - 2.5.4. Uwagi końcowe – 147
- Bibliografia – 160

3. Konstrukcje nośne – 161

Marek Bijak-Żochowski

- 3.1. Ustroje jednowymiarowe – 161
 - 3.1.1. Ustroje ciągnowe – 161
 - 3.1.1.1. Zastosowanie i budowa ustrojów ciągnowych – 161
 - 3.1.1.2. Zagadnienia związane z obliczaniem konstrukcji ciągnowych – 167
 - 3.1.1.3. Statyka ciągną wiotkiego jednoprzelotowego – 168
 - 3.1.2. Konstrukcje kratowe – 175
 - 3.1.2.1. Zastosowanie i budowa konstrukcji kratowych – 175
 - 3.1.2.2. Statyka konstrukcji kratowych – 182
 - 3.1.2.3. Dobór sztywności elementów kratownicy. Problemy stateczności – 196
 - 3.1.3. Ramy – 203
 - 3.1.3.1. Zastosowanie i budowa ram – 203
 - 3.1.3.2. Statyka ram – 207
- 3.2. Konstrukcje cienkościenne – 212
 - 3.2.1. Zastosowanie, budowa i podział konstrukcji cienkościennych – 212
 - 3.2.2. Tarcze kołowe obciążone osiowosymetrycznie – 216
 - 3.2.2.1. Zastosowanie tarcz kołowych, ich rodzaje i budowa. Przenoszone obciążenia – 217
 - 3.2.2.2. Metody analizy wytrzymałościowej tarcz kołowych – 218
 - 3.2.3. Płyty i powłoki – 224
 - 3.2.3.1. Podstawowe przypadki zginania płyt – 224
 - 3.2.3.2. Powłoki obrotowe obciążone osiowosymetrycznie – 228
 - 3.2.3.3. Wprowadzenie sił skupionych w płyty (tarcze) i powłoki – 235
 - 3.2.3.4. Niektóre zagadnienia stateczności płyt i powłok – 238
 - 3.2.4. Pręty cienkościennie – 243

- 3.2.4.1. Konstrukcja, zastosowanie, model pracy – 243
- 3.2.4.2. Zginanie pręta o przekroju otwartym – 244
- 3.2.4.3. Praca prętów cienkościennych o przekrojach zamkniętych – 246
- 3.2.4.4. Wprowadzenie obciążeń skupionych w pręty cienkościenne – 247
- 3.2.4.5. Stateczność prętów cienkościennych – 248
- 3.2.5. Cienkościennie ustroje złożone – 250
- 3.2.5.1. Konstrukcja, zastosowanie, wyidealizowany model pracy – 250
- 3.2.5.2. Płaskie ustroje półskorupowe – 254
- 3.2.5.3. Przestrzenne ustroje półskorupowe – 257
- Bibliografia – 259

4. Korpusy – 261

Tadeusz Kacperski

- 4.1. Sztywność korpusów – 261
- 4.2. Rozkład naprężeń i odkształceń w zginanych belkach żeliwnych – 264
- 4.3. Zginanie korpusów o kształcie belek zakrzywionych – 265
- 4.3.1. Korpusy o osi słabo zakrzywionej – 266
- 4.3.2. Korpusy o osi silnie zakrzywionej – 266
- 4.4. Korpusy obciążone momentem skręcającym – 270
- 4.4.1. Skręcanie korpusów o przekrojach nieokrągłych – 270
- 4.4.2. Skręcanie korpusów o przekrojach otwartych złożonych z wąskich prostokątów – 270
- 4.4.3. Skręcanie korpusów o dowolnych przekrojach zamkniętych – 277
- 4.5. Wyokrąglenia wewnętrznych krawędzi odlewów – 279
- 4.6. Uźebrowania odlewów – 282
- 4.7. Kształtowanie korpusów żeliwnych. Zalecenia ogólne – 287
- 4.7.1. Kształtowanie ścian odlewów – 288
- 4.7.2. Kształtowanie połączeń ścian odlewów – 290
- 4.7.3. Racjonalne przekroje i kształty – 292
- 4.8. Korpusy spawane z materiałów stalowych – 294
- 4.9. Konstrukcja korpusów stalowych – 295
- 4.10. Konstrukcja korpusów z żeliwa ciągliwego – 296
- 4.11. Konstrukcja korpusów z żeliwa sferoidalnego – 297
- 4.12. Konstrukcja korpusów ze stopów lekkich – 297
- 4.12.1. Odlewy ze stopów aluminium – 297
- 4.12.2. Odlewy ze stopów magnezu – 299
- Bibliografia – 299

5. Elementy podatne – 300

Marek Dietrich

- 5.1. Ogólne wiadomości o elementach podatnych – 300
- 5.2. Sprężyny – 304
- 5.2.1. Materiały używane na sprężyny – 304
- 5.2.2. Drażki skrętne – 305
- 5.2.3. Sprężyny śrubowe walcowe – 308
- 5.2.4. Sprężyny zginane (resory) – 318
- 5.2.5. Sprężyny talerzowe – 322
- 5.2.6. Sprężyny pierścieniowe – 323

- 5.2.7. Sprężyny skrętne – 324
- 5.2.8. Układy sprężyn – 326
- 5.3. Elementy z materiałów podatnych – 330
- 5.3.1. Materiały podatne (elastomery) – 330
- 5.3.2. Konstrukcja gumowych (elastomerowych) elementów podatnych – 333
- 5.4. Gazowe elementy podatne – 336
- Bibliografia – 338

6. Trybologia – 339

Jacek Stupnicki

- 6.1. Wstęp – 339
- 6.1.1. Współczesne zainteresowania trybologią – 339
- 6.2. Elementy problemu trybologicznego – 341
- 6.2.1. Właściwości powierzchni powstałych w wyniku obróbki mechanicznej metali – 342
- 6.2.1.1. Cechy geometryczne powierzchni – 343
- 6.2.1.2. Inne cechy warstwy wierzchniej – 354
- 6.2.2. Właściwości powierzchni tworzyw sztucznych – 355
- 6.2.3. Właściwości smarów – 355
- 6.2.3.1. Lepkość smaru – 356
- 6.2.3.2. Wpływ temperatury smaru na lepkość – 357
- 6.2.3.3. Wpływ ciśnienia na lepkość smaru – 357
- 6.2.3.4. Ścisłość i rozszerzalność termiczna smaru – 359
- 6.2.3.5. Klasyfikacja olejów według Society of Automotive Engineers (SAE) – 360
- 6.2.3.6. Nienewtonowskie właściwości smarów – 360
- 6.2.3.7. Pomiar lepkości smarów – 361
- 6.2.3.8. Inne cechy smarów – 367
- 6.2.3.9. Dodatki do smarów – 369
- 6.2.4. Rzeczywista powierzchnia kontaktu – 369
- 6.3. Tarcie – 370
- 6.3.1. Współczesne badania tarcia – 372
- 6.3.2. Hipotezy tarcia oparte na obserwacji zjawisk kontaktu – 377
- 6.3.2.1. Adhezyjna teoria tarcia – 377
- 6.3.2.2. Opory ruchu w wyniku bruzdowania – 380
- 6.3.2.3. Molekularno-mechaniczna teoria tarcia (Kragielskiego) [8] – 381
- 6.3.3. Składanie i rozkładanie sił tarcia, tarcie izotropowe i anizotropowe – 384
- 6.4. Mechanika ruchu tocznego – 390
- 6.4.1. Rozkłady nacisków na powierzchni kontaktu, naprężenia kontaktowe – 391
- 6.4.2. Czyste toczenie – 393
- 6.4.2.1. Współczynnik oporów ruchu przy toczeniu [4] – 393
- 6.4.2.2. Toczenie z mikropoślizgami na powierzchni kontaktu – 395
- 6.4.2.3. Toczenie z mikropoślizgami wymuszonymi geometrią układu – 398
- 6.5. Zużycie maszyn – 401
- 6.5.1. Zużycie adhezyjne – 402
- 6.5.2. Zużycie ściernie – 406
- 6.5.3. Zużycie korozyjne – 407
- 6.5.4. Zużycie zmęczeniowe – 408
- 6.5.5. Zużycie erozyjne – 410
- 6.5.6. Badania zużycia powierzchni – 412

- 6.5.7. Zapobieganie zużyciu powierzchni – 412
- 6.6. Smarowanie – 413
- 6.6.1. Teoria hydrodynamicznego smarowania – 413
- 6.6.2. Teoria hydrostatycznego smarowania – 424
- 6.6.3. Smarowanie elastohydrodynamiczne – 429
- Bibliografia – 433

7. Łożyska i łożyskowanie – 435

Jacek Stupnicki

- 7.1. Łożyska smarowane smarami stałymi – 436
- 7.2. Łożyska samosmarujące – 438
- 7.3. Łożyska hydrostatyczne – 439
- 7.4. Łożyska hydrodynamiczne – 441
- 7.4.1. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych łożysk ślizgowych hydrodynamicznych – 444
- 7.5. Łożyska toczne – 447
- 7.5.1. Podstawy doboru łożysk tocznych – 449
- 7.5.2. Łożyskowanie wałów – 451
- 7.5.3. Uszczelnianie łożysk – 453
- Bibliografia – 454

8. Osie i wały – 455

Józef Szala

- 8.1. Wiadomości wstępne – 455
- 8.1.1. Pojęcia podstawowe i klasyfikacja – 455
- 8.1.2. Przebieg konstruowania – 457
- 8.1.3. Dobór materiału – 457
- 8.2. Obliczenia wstępne – 458
- 8.2.1. Obciążenia osi i wałów – 459
- 8.2.2. Obliczenia wstępne osi – 461
- 8.2.3. Obliczenia wstępne wałów – 462
- 8.2.4. Uwagi końcowe – 467
- 8.3. Sztywność wałów prostych – 468
- 8.3.1. Sztywność giętna wałów gładkich – 468
- 8.3.2. Sztywność giętna wałów kształtowych – 471
- 8.3.3. Sztywność skrętna – 482
- 8.4. Drgania wałów – 482
- 8.4.1. Uwagi wstępne – 482
- 8.4.2. Drgania giętne – 484
- 8.4.3. Drgania skrętne – 489
- 8.4.4. Uwagi końcowe – 492
- 8.5. Zalecenia konstrukcyjne – 492
- 8.5.1. Uwagi wstępne – 492
- 8.5.2. Czopy łożyskowe – 493
- 8.5.3. Czopy elementów osadzanych na wałach – 494
- 8.5.4. Przejścia i powierzchnie oporowe – 494
- Bibliografia – 495

9. Mechanizmy śrubowe – 496

Jan Witkowski

- 9.1. Wstęp – 496
 - 9.2. Kinetostatyka mechanizmów śrubowych – 497
 - 9.2.1. Kinematyka ruchowego połączenia śrubowego – 497
 - 9.2.2. Geometria ruchowego połączenia śrubowego – 501
 - 9.2.3. Statyka ruchowego połączenia śrubowego – 505
 - 9.2.4. Sprawność ruchowego połączenia śrubowego – 507
 - 9.3. Mechanizmy śrubowe. Zastosowanie – 509
 - 9.3.1. Śruby pociągowe – 509
 - 9.3.2. Mechanizmy warsztatowe i podnośniki – 513
 - 9.3.3. Mechanizmy pomocnicze i regulacyjne – 524
 - 9.3.4. Uwagi końcowe – 526
- Bibliografia – 528

10. Przewody rurowe i zawory – 529

Tadeusz Kacperski

- 10.1. Przewody rurowe – 529
 - 10.1.1. Charakterystyka ogólna – 529
 - 10.1.2. Obliczanie pola czynnego przekroju przewodu rurowego – 530
 - 10.1.3. Ciśnienia odnoszące się do przewodu rurowego i armatury – 532
 - 10.1.4. Temperatury odnoszące się do przewodu rurowego i armatury – 534
 - 10.1.5. Obliczanie grubości ścianki cienkościennego przewodu rurowego obciążonego ciśnieniem wewnętrznym – 535
 - 10.1.6. Obliczanie grubości ścianki rury grubościennej obciążonej ciśnieniem wewnętrznym – 540
 - 10.1.7. Złącza rurowe — rodzaje, obliczenia – 540
 - 10.1.8. Opory przepływu cieczy w przewodach i zaworach – 552
 - 10.2. Zawory – 559
 - 10.2.1. Charakterystyka i rodzaje zaworów – 559
 - 10.2.2. Schematy konstrukcyjne zaworów zaporowych – 561
 - 10.2.3. Kształtowanie zaworu – 562
 - 10.2.4. Powierzchnie zamykające – 564
 - 10.2.5. Warunki pracy zaworu – 567
 - 10.2.6. Obliczanie mechanizmu sterowniczego – 570
 - 10.2.7. Obliczenia wytrzymałościowe korpusu zaworu – 572
 - 10.2.8. Konstrukcja połączenia grzybka z wrzecionem – 577
 - 10.2.9. Dławnice wrzecion – 578
 - 10.2.10. Grzybek odciążający – 580
 - 10.2.11. Konstrukcja zaworów grzybkowych zaporowych – 581
 - 10.2.12. Zawory zasuwowe – 583
 - 10.2.13. Zawory bezpieczeństwa – 586
 - 10.2.14. Zawory zwrotne – 589
 - 10.2.15. Zawory rozdzielcze – 590
 - 10.2.16. Materiały stosowane w budowie zaworów – 592
- Bibliografia – 593

Skorowidz – 594