

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen	XIII
11. Das Verhalten unter geänderten Betriebsbedingungen	1
11.1 Das Verhalten des Gitters und der Stufe	1
11.2 Die Charakteristik der Turbinenstufe	3
11.3 Das Kegelgesetz	6
11.4 Gesamtcharakteristik einer Turbinenschaufelung	12
11.5 Nachrechnung von Betriebszuständen von Turbinen	16
a) Eindimensionale Verfahren	16
b) Zweidimensionale Verfahren	22
11.6 Die Charakteristik der Verdichterstufe	24
11.7 Die Charakteristik des mehrstufigen Verdichters	29
11.8 Der Vorgang des Pumpens, die Pumpgrenze	32
11.9 Rotierende Abreißströmung	35
11.10 Berechnung von Kennfeldern mehrstufiger Verdichter	39
11.11 Abschätzung der Stabilitätsgrenze	41
Literatur	47
12. Regelung der Dampfturbinen	49
12.1 Regeleingriffe	49
12.2 Berechnung der Beharrungszustände	59
12.3 Wirkungsgrad in Funktion der Leistung	66
12.4 Energetischer Vergleich der Regelungsarten	72
12.5 Ausbildung und Bemessung der Regelventile	80
12.6 Zur Dynamik der Dampfturbinenregelung	88
12.7 Berechnung der Überdrehzahlen	91
Literatur	96
13. Regelung der Turbokompressoren	98
13.1 Regeleingriffe	98
13.2 Darstellungsweisen von Kennfeldern	103
13.3 Berechnung typischer Fälle der Verdichterregelung	107
a) Drehzahlregelung	107
b) Drosselregelung	107
c) Abblaseregelung	108
d) Umblaseregelung	109
e) Zwischenabblasen und Zwischenumblasen	110
f) Verdichter mit Zwischenkühlung	111
13.4 Regelung mit verstellbaren Leitschaufeln	111
13.5 Pumpverhütungsregelung	114
Literatur	121

14. Regelung der Gasturbinen	122
14.1 Regeleingriffe	122
14.2 Berechnung der Beharrungszustände	126
a) Allgemeines	126
b) Einwellige Anlage	131
c) Zweiwellige Anlage	133
14.3 Regelung mit verstellbarem Turbinenleitrad	137
14.4 Pumpverhütungsregelung	142
14.5 Zur Dynamik der Gasturbinenregelung	144
Literatur	148
15. Grundlagen der Festigkeitsrechnung	150
15.1 Einleitung	150
15.2 Beschreibung des Spannungszustandes, Vergleichsspannung	150
15.3 Elastisches Verhalten	152
15.4 Plastisches Verhalten	154
15.5 Viskoplastisches Verhalten (Kriechen)	156
15.6 Verfahren der finiten Elemente bei Elastizität	159
a) Allgemeines	159
b) Dreieckselement bei ebenem Spannungszustand	161
c) Dreieckselement bei ebenem Verformungszustand	166
d) Ringelement dreieckigen Querschnittes	167
e) Zusammenfügung der Elemente, Lösung	169
15.7 Verfahren der finiten Elemente bei Plastizität	172
15.8 Kriechen unter variablen Bedingungen	176
15.9 Zyklische Beanspruchung ohne Kriechen	180
15.10 Zyklische Beanspruchung mit Kriechen	186
15.11 Kerbeffekte	190
15.12 Bruchmechanik	194
15.13 Beurteilungskriterien, Sicherheitsfaktoren	199
a) Allgemeines	199
b) Statische Tragfähigkeitsgrenze	199
c) Zyklische Beanspruchung ohne Kriechen	201
d) Quasizyklische Beanspruchung mit Kriechen	203
Literatur	204
16. Festigkeit der Schaufelungen	206
16.1 Schaufelbeanspruchung durch Fliehkraft	206
16.2 Torsionsbeanspruchung von Laufschaufeln	211
16.3 Biegebeanspruchung der Schaufeln durch Strömungskräfte	213
16.4 Rückwirkung der Fliehkraft auf die Beanspruchung der freistehenden Schaufel durch Strömungskräfte	219
16.5 Beanspruchung des Schaufelpaketes durch Strömungskräfte	224
16.6 Wärmespannungen in Schaufeln	229
16.7 Viskoplastischer Spannungszustand in Schaufeln	232
16.8 Die Gestaltung der Schaufelbefestigung	234
16.9 Die Berechnung der Schaufelbefestigung	241
16.10 Die Gesamtbeanspruchung	246
Literatur	247

17. Festigkeit der Rotoren	248
17.1 Freitragender Ring	248
17.2 Radkranz mit Schaufeln, an Scheibe	249
17.3 Differentialgleichungen der rotierenden Scheibe bei elastischer Verformung	253
17.4 Scheibe gleicher Festigkeit	255
17.5 Scheibe konstanter Dicke	257
17.6 Scheibe hyperbolischen Profils	260
17.7 Scheibe beliebigen Profils	261
17.8 Die zylindrische Trommel	266
17.9 Die Berechnung der Schrumpfverbindungen	269
17.10 Ergänzendes zur Spannungsberechnung	272
17.11 Die Beurteilung des Spannungszustandes in Rotoren	276
17.12 Gestaltung von Rotoren	281
Literatur	290
18. Festigkeitsprobleme an stillstehenden Teilen	291
18.1 Allgemeines	291
18.2 Theorie dünner Rotationsschalen	291
18.3 Rotationssymmetrische dickwandige Bauteile	295
18.4 Horizontalflansch und Bolzen	300
18.5 Leitradzwischenböden	306
18.6 Heißgasführende Einsätze	307
Literatur	314
19. Temperatur- und Kühlungsprobleme	315
19.1 Grundgesetze der Wärmeleitung und des Wärmeüberganges	315
19.2 Empirische Unterlagen über Wärmeübergang	318
19.3 Wärmeübergang an Schaufeln	324
19.4 Strenge Lösungen der Wärmeleitungsgleichung	327
a) Stationäre Temperaturfelder	327
b) Instationäre Elementarlösungen	327
c) Allgemeinere instationäre Lösungen	329
19.5 Quasistationäre Berechnung instationärer Temperaturverteilungen	331
19.6 Eindimensionale Wärmeleitung in Stäben, Scheiben und Schalen	336
19.7 Eindimensionale Temperaturverteilung in Schaufeln und Laufradscheiben	340
19.8 Zweidimensionale Temperaturverteilung	347
19.9 Verfahren der finiten Elemente	352
19.10 Gekühlte Gasturbinen	356
19.11 Berechnung gekühlter Systeme	361
19.12 Temperaturkenngrößen gekühlter Schaufeln	364
19.13 Wärmedehnungen	366
19.14 Die Brennkammer	368
Literatur	373
20. Schwingungen von Schaufeln und Scheiben	375
20.1 Der einfache Schwinger	375
20.2 Rückführung des allgemeinen Falles des schwingenden Körpers auf den einfachen Schwinger	378
20.3 Gekoppelte Schwingungen	382

20.4	Differentialgleichungen des schwingenden Stabes	383
20.5	Lösung des Eigenwertproblems des schwingenden Stabes	385
20.6	DrehSchwingungen eines geraden Stabes	389
20.7	Bestimmung von Eigenfrequenzen nach der Energiemethode	391
20.8	Zusätzliche Effekte bei gedrungenen Stäben	395
20.9	Eigenfrequenzen von Schaufelpaketen und verjüngten Schaufeln	399
20.10	Der Einfluß der Fliehkraft auf die Eigenfrequenzen	405
20.11	Schwingungen stark verwundeter Schaufeln	409
20.12	Berechnung von Scheibenschwingungen mit Übertragungsmatrizen	416
20.13	Koppelschwingungen von Schaufeln und Scheibe	421
20.14	Schwingungsberechnung nach dem Verfahren der finiten Elemente	426
20.15	Experimentelle Untersuchung von Schaufelschwingungen	429
20.16	Schwingungsanregung und Spannungsamplitude bei einzeln schwingenden Schaufeln	434
20.17	Schwingungsanregung und Spannungsamplitude bei Paketschwingungen .	440
20.18	Größe der Erregungskräfte (der Stimulus)	443
20.19	Selbsterregung, stochastische Erregung, Stoßerregung	448
20.20	Die Dämpfung	452
20.21	Ergänzendes zur schwingungstechnischen Auslegung	455
	Literatur	458
12.	Dynamik des Läufers	461
21.1	Allgemeines	461
21.2	Laval-Rotor, elementare Theorie	462
21.3	Laval-Rotor in anisotrop elastischen Lagern	466
21.4	Laval-Rotor mit nicht drehsymmetrischer Welle	468
21.5	Mechanismen der Selbsterregung	471
a)	Allgemeines	471
b)	Innere Dämpfung	471
c)	Selbsterregung durch den Ölfilm	473
d)	Spalterregung	474
e)	Künstliche Dämpfung	476
21.6	Laval-Rotor bei beliebiger Lagerung und Spalterregung, Stabilitätsuntersuchung	477
21.7	Die kritischen Drehzahlen eines beliebigen drehsymmetrischen Läufers . .	482
21.8	Die Kreiselwirkung	485
21.9	Bestimmung kritischer Drehzahlen nach dem Verfahren von Stodola . .	488
21.10	Berechnung kritischer Drehzahlen nach dem Verfahren der finiten Elemente	492
21.11	Theorie der Stabilität und der Ausschläge schwingender Läufer	498
21.12	Die Spalterregung	503
21.13	Grundlagen der Lagertheorie	509
21.14	Rechenverfahren und Ergebnisse der Lagertheorie	513
21.15	Unterlagen über Axiallager	519
	Literatur	524
	Namen- und Sachverzeichnis	526

Inhaltsübersicht

Band I: Thermodynamisch-strömungstechnische Berechnung

1. Thermodynamische Grundlagen
2. Theorie der Arbeitsprozesse
3. Strömungstheoretische Grundlagen
4. Arbeitsverfahren thermischer Turbomaschinen
5. Elementare Theorien der Stufe
6. Das Schaufelgitter
7. Räumliche Strömung durch Turbomaschinen
8. Berechnungsunterlagen
9. Auslegung von Turbomaschinen
10. Wellendichtungen und Schubausgleich