

Kamprath-Reihe

Dipl.-Ing. Walter Wagner

Festigkeits- berechnungen im Apparate- und Rohrleitungsbau

6., überarbeitete Auflage

Vogel Buchverlag



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5	3.2.5	Berechnungsgrößen	27
Bedeutung der wichtigsten Formelzeichen	9	3.2.5.1	Berechnungsformel	27
1 Einleitung	13	3.2.5.2	Zuschlag c_1 zum Ausgleich der zulässigen Wanddicken- Unterschreitung	29
2 Allgemeine Analyse des mechanischen Verhaltens	14	3.2.5.3	Zuschlag c_2 für Korrosion bzw. Abnutzung	29
2.1 Spannungsanalyse	14	3.2.5.4	Berechnungsdruck p	29
2.1.1 Primäre Spannungen	14	3.2.5.5	Berechnungstemperatur	30
2.1.2 Sekundäre Spannungen	14	3.2.5.6	Zulässige Beanspruchung σ_{zul}	30
2.1.3 Spannungsspitzen	14	3.2.5.7	Festigkeitskennwert K	30
2.1.4 Vergleichsspannungen	14	3.2.5.8	Sicherheitsbeiwert S	30
2.2 Ermüdungs- und Spröbruchanalyse	15	3.2.5.9	Schweißnahtwertigkeit v_N	31
2.3 Spezielle Berechnungsmethoden	15	3.2.6	Prüfdruck für das einzelne Rohr	31
2.3.1 Stufenkörpermethode (SKM)	15	3.3	Berechnung von Abzweigungen	35
2.3.2 Methode der finiten Differenzen (FDM) sowie finiten Elemente (FEM)	15	3.3.1	Allgemeines Flächen- vergleichsverfahren	35
3 Festigkeitsberechnung	17	3.3.2	Bestimmung der tragenden Längen	35
3.1 Flüssigkeitsdruck	17	3.3.3	Druckbeaufschlagte und tragende Flächen	37
3.1.1 Druck aus Gewichtskraft	17	3.3.4	Verschwächungsfaktor	37
3.1.2 Druckkraft gegen gekrümmte Wände	18	3.3.5	Rohrleitungen mit schrägem Einzelabzweig	40
3.2 Berechnung von Rohren (Zylindern)	18	3.3.6	Rohrleitungen mit mehreren Ausschnitten oder Abzweigungen in Längsrichtung	41
3.2.1 Innendruckbeanspruchung	18	3.3.7	Rohrleitungen mit Ausschnitten oder Abzweigen mit einem Winkel zur Längsrichtung	42
3.2.1.1 Umfangsspannung	19	3.3.8	Rohrabzweigungen mit Verstärkungen	43
3.2.1.2 Längsspannung	19	3.4	Berechnung von Rohrbögen	45
3.2.1.3 Radialspannung	19	3.5	Berechnung von Segmentbögen	48
3.2.2 Vergleichsspannung	19	3.6	Berechnung von Rohrerweiterung	49
3.2.2.1 Gestaltänderungshypothese	20	3.7	Berechnung von Rohrabschlüssen	49
3.2.2.2 Schubspannungshypothese	20	3.7.1	Gewölbte Böden	49
3.2.2.3 Normalspannungshypothese	20	3.7.2	Ebene Scheibe	53
3.2.3 Mittlere Vergleichsspannung im Rohr (Zylinder)	20	3.8	Berechnung von kegelförmigen Reduzierstücken	55
3.2.3.1 Mittlere Umfangsspannung	20	3.8.1	Rohrkegel mit einem Kegelwinkel kleiner 70°	55
3.2.3.2 Mittlere Längsspannung	20	3.8.2	Rohrkegel mit einem Kegelwinkel größer 70°	56
3.2.3.3 Mittlere Vergleichsspannung	21	3.8.3	Kegelkrempe	56
3.2.4 Rechnerische Rohrwanddicke	23	3.9	Bauteile unter äußerem Überdruck	60
3.2.4.1 Abgrenzung des Geltungs- bereiches	23	3.9.1	Einbeulen von Rohrteilen	61
3.2.4.1.1 Spannungsvergleich	23	3.9.1.1	Rohre (Zylinder)	61
3.2.4.1.2 Berücksichtigung der Verformbarkeit der Werkstoffe	24			
3.2.4.1.3 Geltungsbereiche in den Regelwerken	26			

3.9.1.2	Böden	61	3.16.5	Gehäusekörper mit Abzweig	119
3.9.1.3	Sicherheitsfaktor	61	3.17	Balgkompensatoren	120
3.10	Veränderliche Innendruckbeanspruchung	62	3.18	Berechnung von Kunststoffbauteilen	121
3.10.1	Grenzlastspielzahlen	64	3.18.1	Kunststoffrohrleitungen	121
3.10.1.1	Abgrenzung	64	3.18.2	Kunststoff-Rechteckbehälter	122
3.10.2	Schwellende Innendruckbeanspruchung bei Rohren	66	4	Spezielle Hinweise für den	
3.10.3	Schwellende Innendruckbeanspruchung bei Abzweigen	66	4.1	Apparate- und Druckbehälterbau	125
3.10.4	Schwellfestigkeit bei gebogenen Rohren	68	4.1	Anwendungsgleichungen und -diagramme	125
3.10.5	Schwellfestigkeit bei höheren Temperaturen	68	4.2	Ausrüstung und Prüfung	148
3.10.6	Zulässige Beanspruchung bei Zeitschwingbruch	69	4.2.1	Berstsicherungen	148
3.10.7	Zulässige Beanspruchung bei Dauerbruch	69	4.2.1.1	Allgemeines	148
3.11	Druckstoß	69	4.2.1.2	Konstruktiver Aufbau	148
3.12	Primäre Zusatzbeanspruchungen	73	4.2.1.3	Bemessung von Berstsicherung und Zuleitung	148
3.13	Sekundäre Zusatzspannungen	73	4.2.1.4	Bemessung bei schnellem Druckanstieg	151
3.13.1	Beurteilung der sekundären Zusatzspannungen	73	4.2.2	Sicherheitsventile	151
3.14	Wärmespannungen	74	4.2.2.1	Allgemeines	151
3.14.1	Stationäre Wärmespannungen	74	4.2.2.2	Größenbemessung	152
3.14.2	Instationäre Wärmespannungen	76	4.2.2.3	Querschnitte, Leitungen, Einbau	154
3.14.2.1	Thermoschockspannung	76	4.2.2.4	Auswahlkriterien für Sicherheitsventile	155
3.14.2.2	Quasistationäre Wärmespannung	77	4.2.3	Öffnungen und Verschlüsse	160
3.14.3	Wärmespannungsrisse	78	4.2.4	Prüfung	161
3.14.4	Wärmespannungen und mechanische Spannungen	79	4.2.4.1	Prüfung vor Inbetriebnahme	161
3.15	Flanschverbindungen	81	4.2.4.2	Wiederkehrende Prüfungen	162
3.15.1	Äußere Kräfte	81	5	Werkstoffe	165
3.15.2	Schraubkraft	85	5.1	Rohre bzw. Zylinder und Bleche	165
3.15.3	Äußere Momente	86	5.1.1	Unlegierte Stähle	165
3.15.4	Flanschwiderstand	86	5.1.2	Warmfeste und hochwarmfeste Stähle	166
3.15.5	Kraft-Verformungs-Verhältnisse	88	5.1.3	Nichtrostende und säurebeständige Stähle	166
3.15.5.1	Verspannungsschaubild bei den verschiedenen Betriebszuständen	93	5.1.4	Hitzebeständige Stähle	167
3.15.6	Spezielle Betrachtungen zum Anwendungsbereich von It-Dichtungen in Rohrleitungs-Flanschverbindungen	99	5.1.5	Kaltzähe Stähle	168
3.15.6.1	Anwendungsbereich der It-Dichtungen	99	5.1.6	Druckwasserstoffbeständige Stähle	168
3.15.6.2	Dichtungskräfte	100	5.2	Flansche	169
3.16	Festigkeitsberechnungen von Gehäusen	114	5.3	Schrauben und Muttern	169
3.16.1	Kugelige Grundkörper ohne Ausschnitte	114	5.4	Thermoplastische Kunststoffe	169
3.16.2	Grundkörper mit Oval- bzw. Vierkantquerschnitten ohne Abzweig	115	5.4.1	Werkstoffeigenschaften von PE-HD (Polyethylen hoher Dichte)	169
3.16.3	Grundkörper mit ebenen Abflachungen	118	5.4.2	Werkstoffeigenschaften von PP (Polypropylen)	169
3.16.4	Tellerböden	118	5.4.3	Werkstoffeigenschaften von PVDF (Polyvinylidenfluorid)	170
			5.4.4	Die chemische Widerstandsfähigkeit von thermoplastischen Kunststoffen	170
			5.5	Zusammenstellung der wichtigsten Bestimmungsgleichungen für Rohrleitungselemente	197
				Literaturverzeichnis	201
				Stichwortverzeichnis	203