

**Schweißspannungen
und Formänderungen
an stabartigen Bauteilen
Berechnung und Bewertung**

von H. Hänsch

1.	Bedeutung und Einordnung von Schweißeigenspannungen	7
1.1.	Ziel und Abgrenzung	7
1.2.	Definitionen, Begriffe und Klassifizierung	8
1.3.	Bedeutung für die Praxis	13
2.	Grundlagen der Entstehung und Berechnung von Eigenspannungen	17
2.1.	Physikalische Grundlagen	17
2.1.1.	Wärmephysikalische Eigenschaften des Werkstoffs	17
2.1.2.	Mechanische Eigenschaften des Werkstoffs	19
2.1.3.	Metallurgische Einflüsse beim Schweißen	19
2.1.4.	Temperaturfeld beim Schweißen	20
2.1.5.	Wärmeeintrag beim Schmelzschweißen	21
2.2.	Entstehungs- und Berechnungsgrundlagen	24
2.2.1.	Längsspannungen (Zwängungsspannungen)	24
2.2.2.	Querspannungen (Zwängungsspannungen)	33
2.2.3.	Reaktionsspannungen	35
2.2.4.	Umlagerungsspannungen	37
2.3.	Berechnungsmethoden der Forschung	39
2.3.1.	Verfahren auf elastischer Berechnungsgrundlage	40
2.3.2.	Verfahren auf elastisch-plastischer Berechnungsgrundlage	41
2.3.2.1.	Stabfasermodell für Stäbe mit Längsnaht	41
2.3.2.2.	Methode der finiten Elemente	43
2.3.2.3.	EDV-Programme	44
3.	Längsspannungen und -verformungen (-schrumpfungen) von Längsnähten (Verkürzungen, Krümmungen)	45
3.1.	Praktikable Berechnungsansätze	45
3.1.1.	Eigenspannungsquellenverfahren	45
3.1.2.	Temperatur-Energie-Methode	47
3.1.3.	Schrumpfkraftverfahren	54
3.2.	Eigenspannungsfelder, Versuchs- und Rechenergebnisse	61
3.2.1.	Einfachsymmetrische T-Querschnitte (Rechenergebnisse)	64
3.2.2.	Einfachsymmetrische I-Querschnitte	67
3.2.3.	Kastenquerschnitte	81
3.2.4.	Rohrquerschnitte	83
4.	Querspannungen und -verformungen (-schrumpfungen) von Quernähten (Verkürzungen, Knicke, Krümmungen)	85
4.1.	Zwängungsspannungen	85
4.2.	Querverformungen	90
4.2.1.	Axiale Längenänderungen	91
4.2.2.	Außermittige Querschrumpfung (Winkeländerung, Krümmung)	97
4.2.3.	Biegeverformungen (Krümmungen) beim Schweißen unter Last	101
4.3.	Reaktionsspannungen	106

5.	Einfluß der Eigenspannungen auf die Tragfähigkeit mechanisch beanspruchter Konstruktionen	116
5.1.	Einordnung in Beanspruchungs- und Konstruktionsfälle	122
5.2.	Einfluß auf die statische Festigkeit	122
5.3.	Einfluß auf das Ermüdungsverhalten	126
5.3.1.	Ungünstige Wirkung von Zugeigenspannungen	129
5.3.2.	Günstige Wirkung von Druckeigenspannungen	130
5.4.	Einfluß auf die Stabilität	134
6.	Praktische Maßnahmen	152
6.1.	Konstruktive Maßnahmen	152
6.1.1.	Dicke und Anzahl der Schweißnähte	152
6.1.2.	Querschnittsgestaltung und Anordnung der Schweißnähte	153
6.1.3.	Querschnittsgestaltung von Druckgliedern	154
6.1.4.	Überschweißen von Stumpfnähten durch Kehlnähte	155
6.1.5.	Kehlnahtkreuzungen	156
6.2.	Technologische Maßnahmen	157
6.2.1.	Spannungsminderung während der Fertigung	157
6.2.2.	Vermeidung von Krümmungen	158
6.2.3.	Schweißfolge an Stegblechussteifungen	159
6.2.4.	Schweißfolge bei Montagestößen	160
6.2.5.	Nachträglicher Spannungsabbau	161
6.2.5.1.	Spannungsarmglühen	161
6.2.5.2.	Normalglühen	161
6.2.5.3.	Induktive Wärmebehandlung	163
6.2.5.4.	Spannungsabbau durch Relaxation	164
	Literaturverzeichnis	165
	Anhang 1: Berechnungsbeispiel zu den Abschnitten 3.1. und 4.2.2. Krümmungsberechnung für außermittige Längs- und Querschumpfung	177
	Anhang 2: EDV-Programme zur Ermittlung von Spannungen und Verformungen beim Schweißen an stabartigen Bauteilen (Auswahl aus [200])	189
	Sachwörterverzeichnis	191