

Erweitertes mathematisches Modell der Ermüdungsfestigkeit von Schweißverbindungen

Wilfried Kliemand

0. Einleitung

Für die Festigkeitsberechnung von Schweißverbindungen bei mehrachsiger schwingender Beanspruchung werden in den einschlägigen Berechnungsvorschriften des Maschinen- und Stahlbaus – auch international gesehen – die verschiedenartigsten Ansätze verwendet, die überwiegend modifizierte klassische Festigkeitshypothesen darstellen. Vergleiche mit Versuchsergebnissen zeigen jedoch, daß diese Ansätze nur ungenügend das wirkliche Festigkeitsverhalten beschreiben. Dies liegt darin begründet, da in Schweißverbindungen Inhomogenitäten des Werkstoffes und richtungsabhängig unterschiedliche mechanische Eigenschaften, gepaart mit komplizierten Spannungszuständen infolge unterschiedlicher, nicht exakt zu ermittelnder Kerbwirkung vorhanden sind. Ausgehend vom derzeitigen Erkenntnisstand und unter Verwendung vorhandener Versuchsergebnisse wird daher

– einschränkend auf eine phasengleiche und einstufige Beanspruchung – ein geschlossenes mathematisches Modell zur Beschreibung des Ermüdungsfestigkeitsverhaltens von Schweißverbindungen aufgestellt. Dabei werden die die Ermüdungsfestigkeit beeinflussenden Einflußfaktoren, wie Kerbempfindlichkeit des Werkstoffes und die auf die jeweilige Beanspruchungsrichtung bezogene Kerbwirkung berücksichtigt.

Grundlage dafür bilden die Ansätze für die einachsige Beanspruchung, welche die Grenzfunktionen für die zusammengesetzte und mehrachsige Beanspruchung darstellen. Dieses Modell erhebt keinen Anspruch auf eine metallphysikalische Beweisführung, sondern es wird lediglich empirisch aus den gesetzmäßigen Zusammenhängen der experimentell ermittelten Festigkeitswerte gewonnen.

Verwendete Kurzzeichen

Kurzzeichen	Einheit	Bedeutung
Index B	–	Bruch (festigkeit) ($\kappa = + 1$)
Index D	–	Dauer (festigkeit)
Index K	–	Schweißverbindung
Index W	–	Wechsel (festigkeit) ($\kappa = - 1$)
i	–	Logarithmus der Lastspielzahl
i_l	–	linker Grenzwert der Wöhlerlinie
i_l^*	–	linker Grenzwert der Wöhlerlinie bei stärkster Kerbwirkung
i_r	–	rechter Grenzwert der Wöhlerlinie
i_r^*	–	rechter Grenzwert der Wöhlerlinie bei stärkster Kerbwirkung
N	–	Lastspielzahl
σ	N/mm ²	Normalspannung
σ^*	N/mm ²	Normalspannung bei stärkster Kerbwirkung
σ_o	N/mm ²	Oberspannung
σ_u	N/mm ²	Unterspannung
σ_V	N/mm ²	Vergleichsspannung
τ	N/mm ²	Schubspannung
ν	–	Exponent als Funktion von φ_W und κ
κ	–	Spannungsverhältnis (σ_u/σ_o)
λ	–	Anpassungsfaktor als Funktion von κ
φ_W	–	reziproke Kerbwirkungszahl (σ_{WK}/σ_W)
φ_W^*	–	Kennwert der Kerbempfindlichkeit des Werkstoffes (σ_{WK}^*/σ_W)

1. Einachsige Beanspruchung

Aus der zurückliegenden Zeit sind einige mathematische Formulierungen zur Beschreibung des Zeit- und Dauerfestigkeitsverhaltens von ungekerbten und gekerbten Proben bei einachsiger Beanspruchung bekannt. Eine bemerkenswerte Arbeit stellt darunter die Theorie von Stüssi [1], [2] dar, welche vom Verfasser in [3] diskutiert und verbessert wurde. Sie bildet die Grundlage für das mathematische Modell bei zusammengesetzter und mehrachsiger Beanspruchung.

Die Dauerfestigkeit von Schweißverbindungen wird aus dem Dauerfestigkeitsverhalten des Grundwerkstoffes abgeleitet [3]. Sie stellt eine Funktion des Spannungsverhältnisses κ dar (1)

$$\sigma_{DK}(\kappa) = \left\{ \varphi_W + (1 - \varphi_W) \left[\frac{\sigma_D(\kappa)(1 + \kappa)}{2\sigma_B} \right] \frac{1}{\varphi_W^*} (1 - \varphi_W) \right\} \sigma_D(\kappa) \quad (1)$$

und berücksichtigt durch $\varphi_W = \sigma_{WK}/\sigma_W$ die Kerbwirkung der Schweißverbindung und durch φ_W^* die Kerbempfindlichkeit des Werkstoffes. Der Wert φ_W^* ist dabei der Quotient aus der Wechselfestigkeit einer Schweißverbindung mit stärkster Kerbwirkung (Kehlnaht senkrecht beansprucht) und der Wechselfestigkeit des Grundwerkstoffes.

Für den Grundwerkstoff ergibt sich mit $\varphi_W = 1,0$ nach Gl. (1)

$$\sigma_{DK}(\kappa) = \sigma_D(\kappa), \text{ wobei} \quad \sigma_D(\kappa) = \frac{\sigma_B}{c} (\pm \sqrt{4c\sigma_W + k^2} - k) \quad (2)$$

$$\text{und } c = (\sigma_W - \sigma_B)(1 - \kappa^2)$$

$$k = \sigma_B(1 - \kappa) + \sigma_W(1 + \kappa) \text{ ist.}$$

Die Zeitfestigkeit (Wöhlerlinie) wird als Funktion der Lastspielzahl ($i = \lg N$) beschrieben. Durch die Wahl einer Cosinusfunktion [3] wird erreicht, daß der linke Grenzwert der Wöhlerlinie bei i_{IK} mit horizontaler Tangente in den Spannungshorizont σ_B übergeht. Der rechte Grenzwert bei i_{rK} entspricht „annähernd“ dem asymptotischen Endwert der Dauerfestigkeit. Für die Wöhlerlinie der Wechselfestigkeit einer Schweißverbindung ergibt sich damit

$$\sigma_{oWK}(i) = \frac{\sigma_B + \sigma_{WK}}{2} + \frac{\sigma_B - \sigma_{WK}}{2} \cos \left[\frac{\pi}{i_{rK} - i_{lWK}} (i - i_{lWK}) \right] \quad (3)$$

und für den Grundwerkstoff mit $\sigma_{WK} = \sigma_W$, $i_{rK} = i_r$ und $i_{lWK} = i_{lW}$

$$\sigma_{oW}(i) = \frac{\sigma_B + \sigma_W}{2} + \frac{\sigma_B - \sigma_W}{2} \cos \left[\frac{\pi}{i_r - i_{lW}} (i - i_{lW}) \right] \quad (4)$$

Da der asymptotische Endwert der Dauerfestigkeit vom Werkstoff und der Kerbwirkung abhängig ist, wird der rechte Grenzwert der Wöhlerlinie einer Schweißverbindung i_{rK} durch eine Funktion (5) wie folgt ausgedrückt

$$i_{rK} = \frac{\varphi_W (i_r - i_{rK}^*) - \varphi_W^* i_r + i_{rK}^*}{1 - \varphi_W^*}, \quad (5)$$

wobei i_{rK}^* die Lastspielzahl für die Dauerfestigkeit einer Schweißverbindung mit stärkster Kerbwirkung (Kehlnaht senkrecht beansprucht) darstellt.

Die Zeitfestigkeit (Wöhlerlinie) für Spannungsverhältnisse $\kappa > -1$ wird analog der Wöhlerlinie der Wechselfestigkeit formuliert und lautet für eine Schweißverbindung

$$\sigma_{oK,\kappa}(i) = \frac{\sigma_B + \sigma_{DK,\kappa}}{2} + \frac{\sigma_B - \sigma_{DK,\kappa}}{2} \cos \left[\frac{\pi}{i_{rK} - i_{lK,\kappa}} (i - i_{lK,\kappa}) \right] \quad (6)$$

mit

$$i_{lK}(\kappa) = \pm \frac{1}{2} (i_{rK} - i_{lWK}) \sqrt{4 - (\kappa + 1)^2} + i_{rK} \quad (7)$$

Für den Grundwerkstoff ergeben sich die entsprechenden Ansätze mit $\sigma_{DK,\kappa} = \sigma_{D,\kappa}$, $i_{rK} = i_r$, $i_{lK,\kappa} = i_{l,\kappa}$ und $i_{lWK} = i_{lW}$.

Der Zusammenhang der Gleichungen (1) bis (7) ist im Bild 1 dargestellt.

Damit liegt ein geschlossenes mathematisches Modell für die einachsige Beanspruchung vor. Es ermöglicht aus nur zwei statistisch ermittelten Versuchswerten des Grundwerkstoffes im Bereich der Zeitfestigkeit bei $-1 < \kappa < +1$ und der Bruchfestigkeit σ_B die Grenzwerte σ_W aus Gl. (2) und i_{lW} aus Gl. (7) zu berechnen [3]. Ist nun die Wechselfestigkeit einer Schweißverbindung σ_{WK} und ein statistisch ermittelter Versuchswert im Zeitfestigkeitsbereich bekannt, so läßt sich der Grenzwert i_{lWK} aus Gl. (3) berechnen. Alle anderen Schweißverbindungen ergeben sich aus einem entsprechenden experimentell ermittelten Zeitfestigkeitswert und der Wechselfestigkeit nach Gl. (5). Mit Hilfe dieser Grenzwerte ist es möglich, den Festigkeitswert von Grundwerkstoff und aller Schweißverbindungen für beliebige Spannungsverhältnisse κ und beliebige Lastspielzahlen N rechnerisch zu ermitteln.

2. Zusammengesetzte Beanspruchung

Die Brauchbarkeit der klassischen Festigkeitshypothesen zur Beschreibung des Festigkeitsverhaltens von Grundwerkstoff und Schweißverbindungen bei zusammengesetzter Beanspruchung wurde von vielen Autoren untersucht. In [4] wird anhand von theoretischen Betrachtungen und anhand von Versuchsergebnissen nachgewiesen, daß die Versuchswerte bei kombinierter Torsions- und Biegebeanspruchung von verformbaren Werkstoffen bei statischer und reiner Wechselbelastung am besten durch die Gestaltsänderungsenergiehypothese

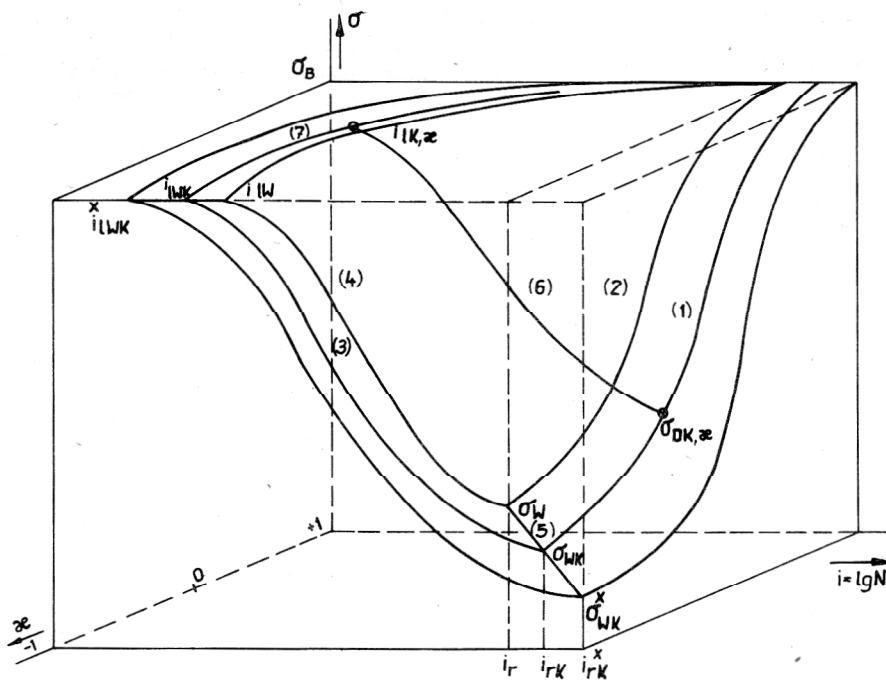


Bild 1
Zeit- und Dauerfestigkeit von Grundwerkstoff und
Schweißverbindungen bei einachsiger Beanspruchung

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sigma_D(\kappa) \quad (8)$$

beschrieben werden, wobei der zusammengesetzte Spannungszustand auf einen fiktiv einachsigen zurückgeführt wird. Quadriert man Gl. (8) und dividiert diese durch $\sigma_D^2(\kappa)$, so folgt

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_D(\kappa)}\right)^2 + 3\left(\frac{\tau}{\sigma_D(\kappa)}\right)^2 = 1 \quad (9.1)$$

und mit $\sigma_D(\kappa) = \sqrt{3} \tau_D(\kappa)$ ergibt sich

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_D(\kappa)}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_D(\kappa)}\right)^2 = 1 \quad (9.2)$$

Da Schweißverbindungen, wie der Vergleich mit Versuchsergebnissen zeigt, nicht durch die klassische Gestaltänderungsenergiehypothese beschrieben werden können, wird der Exponent 2 bei σ durch einen variablen Exponenten ν ersetzt [5] und es folgt

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_{DK}(\kappa)}\right)^{\nu_K} + \left(\frac{\tau}{\tau_{DK}(\kappa)}\right)^2 = 1 \quad (10)$$

Löst man die Gleichung nach σ auf, so ergibt sich, bezogen auf ein bestimmtes Spannungsverhältnis $\kappa_\sigma = \kappa_\tau$,

$$\sigma(\tau) = \sigma_{DK,\kappa} \sqrt[{\nu_K}]{1 - \left(\frac{\tau}{\tau_{DK,\kappa}}\right)^2} \quad (11)$$

Durch Untersuchungen des Festigkeitsverhaltens von stark gekerbten Stäben bei zusammengesetzter, statischer Beanspruchung wird von einigen Autoren nachgewiesen, daß für den Fall des Trennbruches die Hauptspannungshypothese gilt. Da ein Trennbruch aber einem spröden oder einem durch Kerbwirkung spannungsverfestigten Werkstoff eigen ist, hat diese Aussage auch Gültigkeit für den Fall des Trennbruches.

Somit ergibt sich für den Exponenten ν_K der Wert 1,0. Weitere Untersuchungen zeigen, daß bei reiner Wechselbeanspruchung von unterschiedlich gekerbten Schweißverbindungen der Exponent ν_K zwischen 1,0 und 2,0 schwankt. Außerdem ist aus der Auswertung der Versuchsergebnisse deutlich zu erkennen, daß eine Abhängigkeit des Exponenten ν_K vom Spannungsverhältnis κ und von der Kerbempfindlichkeit des Werkstoffes vorhanden ist.

Aus diesem Grund wird für den Exponenten ν_K folgende Funktion formuliert

$$\nu_K(\varphi_W, \kappa) = \frac{\varphi_W - \varphi_W^*}{1 - \varphi_W^*} (0,2\kappa + 0,8) + 1,2 - 0,2\kappa \quad (12)$$

Für den Grundwerkstoff ergibt sich mit $\varphi_W = 1,0$ für $\kappa = -1,0$ bis $\kappa = +1,0$ der Exponent $\nu_K = \nu = 2,0$, was der Gestaltänderungsenergiehypothese entspricht.

Die Funktion für die Schubspannung $\tau_{DK}(\kappa)$ einer Schweißverbindung und $\tau_D(\kappa)$ für den Grundwerkstoff wird analog Gl. (2) angesetzt. Sie lautet:

$$\tau_{DK}(\kappa) = \frac{\tau_{BK,\varphi_W}}{d} \left(\pm \sqrt{4d\tau_{WK,\varphi_W} + e^2} - e \right) \quad (13)$$

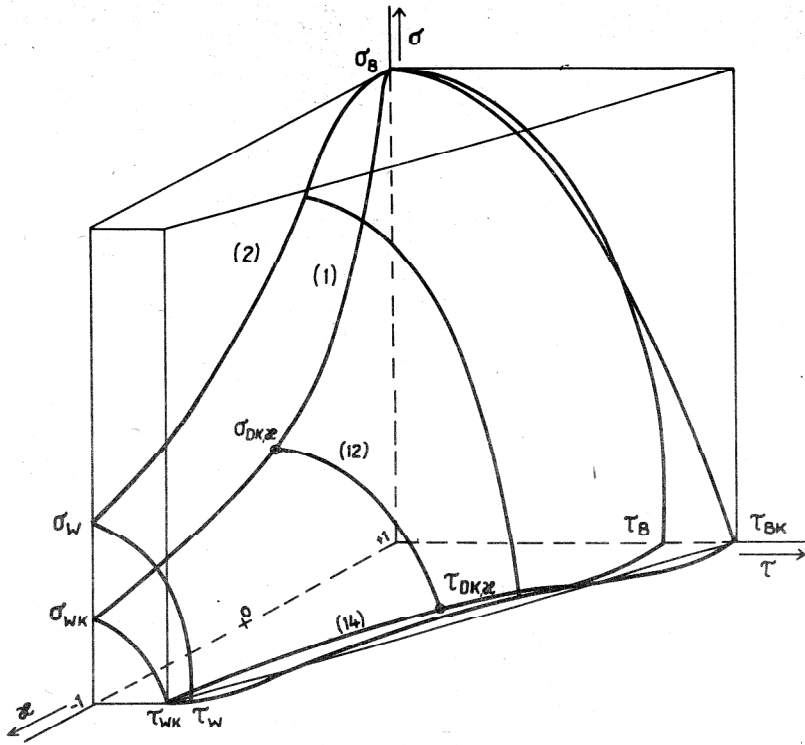
mit $d = (\tau_{WK,\varphi_W} - \tau_{BK,\varphi_W})(1 - \kappa^2)$ und

$$e = \tau_{BK,\varphi_W}(1 - \kappa) + \tau_{WK,\varphi_W}(1 + \kappa)$$

Wird für den Grundwerkstoff bei $\kappa = -1$ die Schubspannung $\tau_W = \sigma_W / \sqrt{3}$ und für eine Ringkehlnaht $\tau_{WK} =$

$\frac{\sigma_{WK}}{\sqrt{1,2}} = \frac{\varphi_W^* \sigma_W}{\sqrt{1,2}}$ gesetzt, so ergibt sich durch eine lineare Beziehung

Bild 2
Dauerfestigkeit von Grundwerkstoff und
Schweißverbindungen bei zusammengesetzter
Beanspruchung



$$\tau_{WK}(\varphi_W) = \sigma_W \left[\frac{1}{\sqrt{3}} + \frac{\varphi_W - 1}{\varphi_W^* - 1} \left(\frac{\varphi_W^*}{\sqrt{1,2}} - \frac{1}{\sqrt{3}} \right) \right] \quad (14)$$

Für die Schubspannung bei statischer Beanspruchung wird mit $\tau_B = \sigma_B/\sqrt{3}$ für den Grundwerkstoff und $\tau_{BK} = \sigma_B/\sqrt{2}$ für eine Ringkehlnaht als Grenzwerte folgende lineare Beziehung unter Berücksichtigung der Kerbempfindlichkeit des Werkstoffes formuliert [5]

$$\tau_{BK}(\varphi_W) = \sigma_B \left[\frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{\varphi_W - \varphi_W^*}{1 - \varphi_W^*} \left(\frac{1}{\sqrt{3}} - \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (15)$$

Mit diesen Gleichungen ist das Dauerfestigkeitsverhalten von Grundwerkstoff und Schweißverbindungen bei zusammengesetzter Beanspruchung unter der Voraussetzung eines gleichen Spannungsverhältnisses κ für σ und τ geschlossen mathematisch formuliert. Die Zusammenhänge sind im Bild 2 dargestellt. Die Formulierung der Zeitfestigkeit erfolgt analog Gl. (6) mit den entsprechenden Grenzwerten [5].

3. Mehrachsige Beanspruchung

Wie der Erkenntnisstand zeigt, sind die zur Zeit bekannten Hypothesen und Ansätze zur Beschreibung des Festigkeitsverhaltens von gekerbten Stäben bzw. Schweißverbindungen bei ebenen Spannungszuständen sehr unterschiedlich und damit unbefriedigend für eine allgemeingültige, geschlossene mathematische Beschreibung der Versuchsergebnisse. Sie stellen jeweils nur mit verschiedenen Korrekturfaktoren Teillösungen für spezielle Fälle dar und sind nicht in der Lage, das Festigkeitsverhalten der verschiedenartigsten Kerbfälle, wie sie bei Schweißverbindungen auftreten, funktional geschlossen zu beschreiben.

Da klare theoretische Vorstellungen fehlen [4] und auch metallphysikalische Lösungen wegen der Kompliziertheit des Problems in absehbarer Zeit nicht zu erwarten sind, wird ein Ansatz formuliert, der auf dem derzeitigen Erkenntnisstand aufbauend eine gute Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen ergibt [5].

Ausgehend von der Formulierung der Dauerfestigkeit von Schweißverbindungen bei zusammengesetzter Beanspruchung wird zur Beschreibung des Festigkeitsverhaltens bei ebenen Spannungszuständen folgender Ansatz aufgestellt (Bild 3):

$$\left(\frac{\sigma_x}{\sigma_{DK,x}(\kappa)} \right)^{\nu_{K,x}} + \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_{DK,y}(\kappa)} \right)^{\nu_{K,y}} - \lambda(\kappa) \frac{\sigma_x \sigma_y}{\sigma_{DK,x}(\kappa) \sigma_{DK,y}(\kappa)} + \left(\frac{\tau_{xy}}{\tau_{DK,xy}(\kappa)} \right)^2 = 1 \quad (16)$$

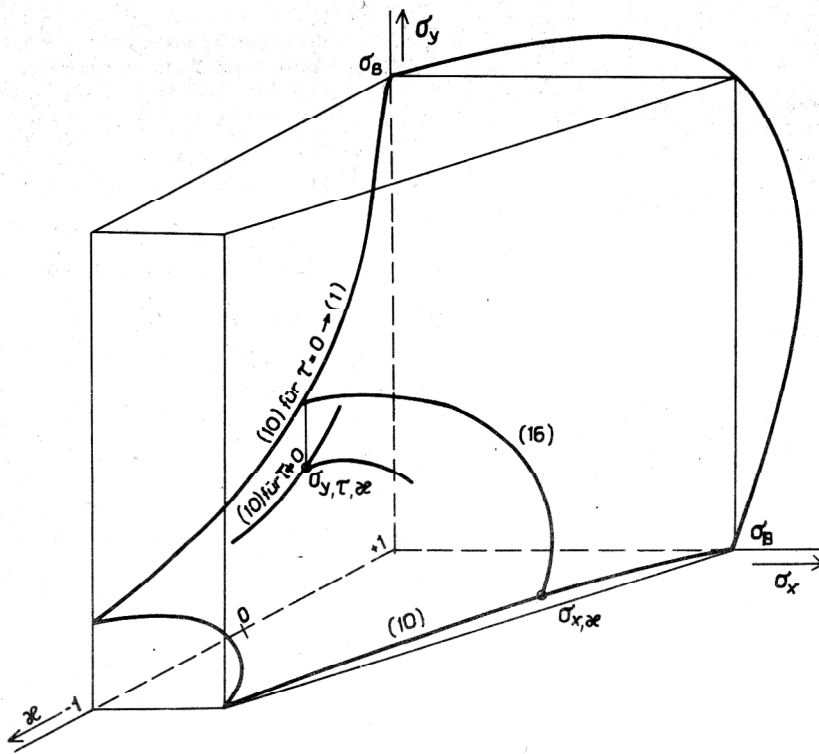
Mit λ als Funktion von κ_σ wird eine Anpassung an die Versuchsergebnisse erreicht (17).

$$\lambda(\kappa) = 0,075 \frac{\kappa_{\sigma_x} + \kappa_{\sigma_y}}{2} + 0,925 \quad (17)$$

Die Exponenten ν sind dabei auf die jeweilige Spannungsrichtung und auf die entsprechenden Spannungsverhältnisse bezogen und lauten gemäß Gl. (12):

$$\begin{aligned} &\nu_{K,x}(\varphi_{W,x}, \kappa_{\sigma_x}) \\ &= \frac{\varphi_{W,x} - \varphi_W^*}{1 - \varphi_W^*} (0,2 \kappa_{\sigma_x} + 0,8) + 1,2 - 0,2 \kappa_{\sigma_x} \end{aligned} \quad (12.1)$$

Bild 3
Dauerfestigkeit von Schweißverbindungen
für den ebenen Spannungszustand



$$\nu_{K,y}(\varphi_{W,y}, \kappa_{\sigma_y}) = \frac{\varphi_{W,y} - \varphi_W^*}{1 - \varphi_W^*} (0,2 \kappa_{\sigma_y} + 0,8) + 1,2 - 0,2 \kappa_{\sigma_y} \quad (12.2)$$

Mit $\varphi_W = 1,0$ (Grundwerkstoff) und $\kappa_{\sigma_x} = \kappa_{\sigma_y} = +1,0$ ergibt sich $\nu_K = 2,0$ und $\lambda = 1,0$ und damit die Gestaltänderungsenergiehypothese, deren Gültigkeit für einen isotropen bzw. quasisisotropen Werkstoff bei statischer Beanspruchung nachgewiesen wurde.

Die Auflösung der unentwickelten Funktion (16) z. B. nach σ_y ($\sigma_y > 0$) für $\sigma_x > 0 = \text{const.}$ und $\tau = \text{const.}$ erfolgt mittels des Iterationsverfahrens nach Newton.

$$\begin{aligned} \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_{DK,y}(\kappa)} \right) &= \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_{DK,x}(\kappa)} \right)^{\nu_{K,x}} - \lambda(\kappa) \frac{\sigma_x \sigma_y}{\sigma_{DK,x}(\kappa) \sigma_{DK,y}(\kappa)} \\ &+ \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_{DK,y}(\kappa)} \right)^{\nu_{K,y}} + \left(\frac{\tau_{xy}}{\tau_{DK,xy}(\kappa)} \right)^2 - 1 \end{aligned} \quad (18.1)$$

Die erste Ableitung lautet:

$$\left(\frac{\sigma_y}{\sigma_{DK,y}(\kappa)} \right) = \nu_{K,y} \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_{DK,y}(\kappa)} \right)^{\nu_{K,y}-1} - \lambda(\kappa) \frac{\sigma_x}{\sigma_{DK,x}(\kappa)} \quad (18.2)$$

und es ist

$$\left(\frac{\sigma_y}{\sigma_{DK,y}(\kappa)} \right)_{n+1} = \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_{DK,y}(\kappa)} \right)_n - \frac{f \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_{DK,y}(\kappa)} \right)_n}{f' \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_{DK,y}(\kappa)} \right)_n} \quad (18.3)$$

Damit liegt ein Ansatz vor (Gl. 16, Bild 3), der das Festigkeitsverhalten von Grundwerkstoff und alle Arten von Schweißverbindungen beim mehrachsigen, zusammengesetzten und einachsigen Spannungszustand für statische und dynamische Beanspruchung beschreibt. Der Ansatz für den zusammengesetzten bzw. einachsigen Spannungszustand ergibt sich dabei durch Nullsetzen der entsprechenden Spannungskomponenten. Ein Vergleich mit Versuchsergebnissen [5] zeigt eine recht gute Übereinstimmung der nach diesen Gleichungen berechneten Werten mit den experimentell ermittelten.

4. Zusammenfassung

Das in [3] und [5] angegebene mathematische Modell wird durch einige Ansätze erweitert. Zur Beschreibung des Festigkeitsverhaltens von Schweißverbindungen bei statischer und dynamischer Beanspruchung wird die klassische Gestaltänderungsenergiehypothese durch Exponenten $\nu \neq 2$ und durch einen Anpassungsfaktor λ modifiziert. Durch Nullsetzen der entsprechenden Spannungskomponenten läßt sich der ebene Spannungszustand in einen zusammengesetzten und einachsigen zurückführen. Der Vergleich der nach diesen Ansätzen berechneten Kurven mit Versuchsergebnissen zeigt eine recht gute Übereinstimmung. Diese Ansätze sind somit geeignet, den Versuchsaufwand zur Ermittlung der Ermüdungsfestigkeit von Grundwerkstoff und Schweißverbindungen stark zu reduzieren und sie können weiterhin zur Berechnung und zum Nachweis der Festigkeitswerte für Berechnungsvorschriften dienen.

LITERATUR

- [1] Stüssi, F.: Die Theorie der Dauerfestigkeit und die Versuche von August Wöhler. Mitteilungen der T. K. V. S. B. Nr. 13, Verlag V. S. B. Zürich 1955.
- [2] Stüssi, F.: Der Einfluß von Kerben auf die Ermüdungsfestigkeit. Sonderdruck aus dem zwanzigsten Band der „Abhandlungen“, Zürich 1960.
- [3] Kliemand, W.: Beitrag zur Theorie der Dauer- und Zeitfestigkeit. Dissertation A, TU Dresden 1967.
- [4] Dietmann, H.: Festigkeitsberechnung bei mehrachsiger Schwingbeanspruchung. Konstruktion 25 (1973) 5, S. 181 – 189.
- [5] Kliemand, W.: Mathematisches Modell zur Beschreibung der Ermüdungsfestigkeit von Schweißverbindungen bei mehrachsiger Schwingbeanspruchung. Dissertation B, TH Karl-Marx-Stadt 1978.

Anschrift des Verfassers:

Dr. sc. techn. Wilfried Kliemand
Technische Hochschule
Sektion Fertigungsprozess und
Fertigungsmittel
9010 Karl-Marx-Stadt
PSF 964

Fortsetzung von Seite 4

befindliche Wissenschaftsgebiet einarbeiten wollen oder, die als Ingenieure in ihrem Tätigkeitsbereich über die Anwendungsmöglichkeiten der Bruchmechanik zu befinden haben, begrüßt, daß jetzt eine zusammenfassende Monographie über die Grundlagen und die Anwendungsgebiete der Bruchmechanik in deutscher Sprache vorliegt.

Das Buch von K.-H. Schwalbe besteht aus zwei relativ selbständigen Teilen. Der Teil A behandelt ausführlich die verschiedenen Konzepte der linear-elastischen Bruchmechanik und der Fließbruchmechanik. In sieben Abschnitte gegliedert, werden folgende Schwerpunkte erörtert:

- Grundlagen der Mechanik am Riß;
- Experimentelle Befunde zur plastischen Zone;
- Rißausbreitung bei monotoner Beanspruchung;
- Bruchbedingungen außerhalb des Gültigkeitsbereiches der linear elastischen Bruchmechanik;
- Rißausbreitung bei schwingender Beanspruchung;
- Zusammenfassende Systematik der wichtigsten Einflußgrößen auf die Rißausbreitung;
- Berechnung der Rißausbreitung.

Besonders zu begrüßen ist die Tatsache, daß in viel stärkerem Maße als in der bisherigen Literatur die Problematik des stabilen Rißwachstums betont wird. Für monotone und für schwingende Beanspruchungen werden die Zusammenhänge zwischen den mikroskopischen und den makroskopischen Erscheinungen der stabilen Rißausbreitung beschrieben und die Aussagen verglichen.

Ausführlich werden die verschiedenen Einflüsse auf die Rißausbreitung bei zyklischen Beanspruchungen erläutert wie z. B. der Einfluß des Spannungsverhältnisses, des Werkstoffes, der Probendicke, der Umgebung und der Versuchsfrequenz, der Temperatur, der Mehrstufigkeit der Belastung u.a.m.

Der Teil B der Monographie enthält die anwendungsorientierten Aspekte der Bruchmechanik. Dieser Teil ist in 9 Kapitel untergliedert und zeigt folgende Schwerpunkte:

- Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung der Bruchmechanik;
- Ermittlung der Lebensdauer angerissener Teile;
- Risse an Kerben;
- Verhalten von teilweise durchgehenden Rissen;
- Druckbehälter;
- Dünnwandige Bauteile mit Versteifungen;
- Schweißverbindungen;
- Ermittlung der Korrekturfunktion für die Spannungsintensität;
- Durchführung bruchmechanischer Versuche.

Die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Anwendung bruchmechanischer Analysen wird in Verbindung mit den möglichen Anwendungskonzepten ausführlich diskutiert. Die Darlegungen zur Lebensdauer angerissener Bauteile und zur Bewertung von Kerben mit Rissen werden wegen ihrer Aktualität besondere Aufmerksamkeit finden. Die exemplarische Darstellung der Vorgehensweise an solchen Konstruktionselementen und -aggregaten, bei denen sich der Einsatz bruchmechanischer Methoden als notwendig erwiesen hat, um eine größere Sicherheit bei ihrer Bewertung zu erhalten, wird der praktisch tätige Ingenieur sehr begrüßen. Die beschriebenen bruchmechanischen Versuche mit den Schwerpunkten Rißlängenmessmethoden, Ermittlung von R-Kurven, K_{Ic} -Ermittlung, J_{Ic} -Ermittlung, Bestimmung kritischer COD-Werte, ist im Vergleich zur Darstellung der Bestimmung von Korrekturfunktionen für Spannungsintensitäten sehr ausführlich behandelt. Der Rezensent hätte sich für das Buch noch eine größere Ausgewogenheit zwischen den Darlegungen zu den metallphysikalischen Grundlagen, den Werkstoffprüfmethoden und den Modellen

der Festkörpermechanik gewünscht. Die Ableitung festkörpermechanischer Modelle und ihrer analytischen oder numerischen Berechnung ist nur andeutungsweise zu finden, so daß der hieran interessierte Leser sich mit den angegebenen Literaturhinweisen begnügen muß.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß die vorliegende Monographie mit 875 Angaben über wesentliche Literaturquellen ein wichtiges Arbeitsmittel für Forschung, Lehre und Praxis darstellt und allen, die auf dem Gebiet der Bruchmechanik arbeiten, empfohlen werden kann. Die Ausklammerung solcher zunehmend an Bedeutung gewinnender Forschungen wie dynamische Rißausbreitung und Rißarretierung oder analytische und numerische Lösungsmethoden erscheint im Sinne der Begrenzung des Umfangs der vorliegenden Monographie verständlich.

Johannes Altenbach

Schlechte, E.: Festigkeitslehre für Bauingenieure, 4. überarbeitete Auflage. VEB Verlag für Bauwesen Berlin 1981, 264 Seiten, 217 Bilder, 20 Tabellen, 17 x 24,5 cm, Leinen.

Dieses Lehrbuch fand bereits in der 1. Auflage vielseitige Anerkennung bei Studenten und Hochschullehrern, aber auch bei in der Praxis tätigen Bauingenieuren, da es sich durch wissenschaftliche Gründlichkeit und Praxisbezogenheit auszeichnet. Die rasche Aufeinanderfolge einer 2. und 3. Auflage unterstreichen diese Anerkennung nachdrücklich. Wenn sich der Autor dennoch entschloß, die vorliegende 4. Auflage durchgehend zu überarbeiten, so sprechen dafür vor allem methodische Gesichtspunkte.

In der DDR wurden schrittweise für die Grundstudienrichtungen des Ingenieurstudiums lehrplanbezogene Fachbücher entwickelt, die durch das Ministerium für Hoch- und Fachschulwesen bei entsprechender Qualität bezüglich der fachwissenschaftlichen und fachmethodischen Gestaltung als „Lehrbücher für die Ausbildung an Universitäten und Hochschulen der DDR“ anerkannt werden. Bei diesen anerkannten Hochschullehrbüchern geht es auch um eine gute inhaltliche Abstimmung mit anderen Lehrbüchern. Für die Festigkeitslehre gibt es besonders enge Bezüge zu den Lehrgebieten „Technische Mechanik“ und „Baustatik“, die im Studiengang der Festigkeitslehre unmittelbar vor- oder nachgelagert sind. Dieses Anliegen ist mit der jetzt vorliegenden 4. Auflage gut gelungen.

Wer das Inhaltsverzeichnis mit den früheren Ausgaben vergleicht, wird feststellen, daß im Sinne des ausgeprägten Lehrbuchcharakters besonders die Grundlagen verstärkt und dafür auf einige spezielle Ausführungen verzichtet wurde.

Das Buch ist in 17 Kapitel untergliedert. Kapitel 1 enthält die allgemeine Aufgabenstellung der Festigkeitslehre und die wichtigsten Aufgabenstellungen für eine Elementartheorie. Die Kapitel 2 bis 5 gehören den Grundgleichungen für die Spannungen, die Verformungen, das Elastizitätsgesetz sowie den Fragen der Belastungen der Werkstoffeigenschaften und Werkstoffkennwerte und der Sicherheit. In Ergänzung der zur Zeit noch weitgehend ange-