Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 37 (1982)

Artikel: Ermüdungsrisse in Schweisskonstruktionen
Autor: Nowikow, J.A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-28903

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 05.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Ermüdungsrisse in Schweisskonstruktionen

Fatigue Cracks in Welded Steel Structures

Fissures dues à la fatigue dans les constructions métalliques soudées

J.A. NOWIKOW
Kandidat der techn. Wissenschaften
Moskauer Bauingenieur-Institut
Moskau, UdSSR

ZUSAMMENFASSUNG
Die Dauerhaftigkeit geschweisster Metallkonstruktionen wird in erster Linie durch das Auftreten von Ermüdungsrissen vermindert. Es wurde festgestellt, dass die Beständigkeit gegen Ermüdungsrisse in den verschiedenen Zonen von Schweissverbindungen nicht identisch ist. Die wesentlichen Einflussgrössen sind der Wärmeenergiewert des Schweissbogens, die Art der Eigenspannungen infolge Schweissens sowie die mechanischen Eigenschaften des Materials.

SUMMARY
One of the principal causes of strength reduction in welded steel structures is the occurrence of fatigue cracking. It has been shown that the resistance, with respect to fatigue cracking, varies according to different zones of welded joints. This is dependent on the amount of thermal energy introduced during welding and fixed by both the resulting level of residual stresses, and the mechanical properties of the material.

RESUME
Une des principales causes de diminution de la durabilité des constructions métalliques soudées réside dans l'apparition de fissures dues à la fatigue. On a constaté que la résistance vis-à-vis de fissures dues à la fatigue varie selon les différentes zones des assemblages soudés. Elle dépend de l'énergie thermique dégagée lors du soudage et est fixée par la valeur des contraintes résiduelles et par les propriétés mécaniques des matériaux.

1. EINLEITUNG

In der Praxis finden geschweisste Metallkonstruktionen eine vielseitige Verwendung : in Konstruktionen von Industrie- und Gesellschaftsbauten, in Brückenkränen, an Baggern und an anderen Ingenieurbauten.

Eine grosse Gefahr für das normale Funktionieren dieser Konstruktionen stellen Ermüdungsrisse dar, deren Entstehen durch technologische Defekte gefördert werden. Ungenügender Einbrand, Schlackeeinschlüsse sowie andere Defekte und deren Entwicklung haben einen grossen Einfluss auf die Lebensdauer dieser Konstruktionen.

Ungeachtet der Wichtigkeit der Erfoschung der Wachstumsbedingungen von Ermüdungsrissen gibt es wenig experimentelle Untersuchungen auf diesem Gebiet und ihre Resultate sind in der Mehrzahl widersprechend.

Maddox [1] meint nach der Untersuchungen des Risswachstums im Material der Schweissnaht und in der Zone der thermischen Einwirkung, dass die Entwicklungsgeschwindigkeit der Ermüdungsrisse in der Hauptsache von den Festigkeitseigenschaften abhängt.

Walton und Ellison [2] verbinden im Gegensatz zu Maddox den Prozess der Verbreitung der Risse mit dem Einfluss von Eigenspannungen, die vom Schweissen herrühren.

2. EXPERIMENT

Das Hauptziel der vorliegenden Untersuchungen besteht in der Erforschung des Einflusses der Festigkeitseigenschaften des Materials und der Grösse der Schweisseigenspannungen auf die Ermüdungsfestigkeit von Schweissverbindungen in Metallkonstruktionen.

Forschungsobjekte waren Schweissverbindungen aus niedriggekohltem und niedriglegiertem Stahl. Die Wärmezufuhr wurde beim Schweissen von Platten (600 x 145 x 12 mm) durch Varierung der Stromstärke verändert.

Zyklische Prüfungen der Platten wurden unter annähernd pulsierenden Bedingungen bei verschiedener Belastung durchgeführt.

Das Wachstum der Risse wurde visuell, mit Hilfe eines Mikroskops der Auflösung 2,5 x, festgestellt.

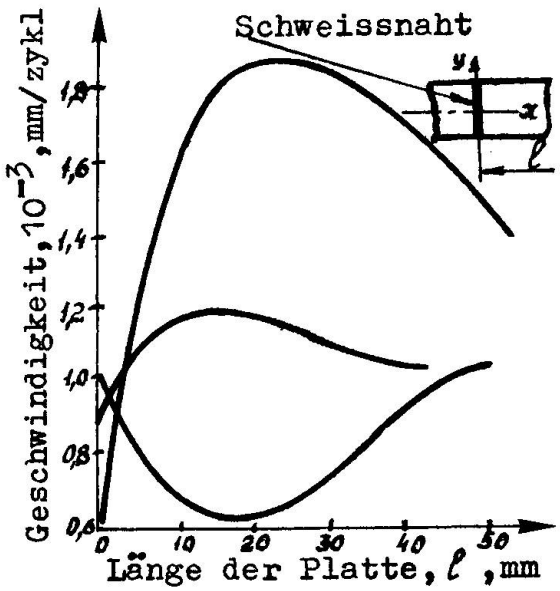
Die Resultate der Prüfungen wurden in Graphiken der Abhängigkeit der Gesamtlänge der Risse 2 a, welche sich von zwei Seiten der Platte ausbreiteten, und von der Prüfungsdauer N dargestellt. Mit Hilfe dieser Figuren wurden sodann die mittleren und Augenblicksgeschwindigkeiten des Risswachstums auf Zerstörungsdiagrammen in Abhängigkeit von der Differenz des Spannungsintensitätskoeffizienten ΔK dargestellt, welche nach der Formel von Garny [3] berechnet wurden.

3. BESPRECHUNG

Die Versuchsresultate zeigten, dass in allen Fällen die Risse ungefähr in der gleichen Zeit entstanden. Die Periode der Rissentstehung N_3 überschritt nicht 15 % der gesamten Lebensdauer.

Die Entwicklung der sichtbaren Risse verlief nicht gleichmässig. Bei den Platten, die bei geringerer Wärmezufuhr hergestellt wurden, war die gefährlichste Stelle für die Entstehung von Ermüdungsrissen die Zone der thermischen Einwirkung

Bild 1



(Bild 1). Das angeschmolzene Metall der Schweissnaht dagegen wies erhöhte Beständigkeit gegenüber Ermüdungsrissen auf.

Die Erhöhung der Stromstärke beim Schweissen führt zu einer Abnahme der mittleren Geschwindigkeit des Risswachstums in der Zone der thermischen Einwirkung und zur Vergrösserung der Geschwindigkeit der Rissentwicklung in der Mitte der Naht. Man kann sagen, dass die Zerstörung von geschweissten Metallkonstruktionen, welche bei grosser Wärmezufuhr hergestellt wurden, höchstwahrscheinlich an der Naht oder im Hauptmetall erfolgt.

Der Vergleich der mittleren Wachstumsgeschwindigkeiten (Bild 1), der Festigkeitseigenschaften (Bild 2) und der Schweisseigenspannungen (Bild 3) zeigte, dass in den Platten, die bei geringerer Wärmezufuhr hergestellt wurden, die Senkung der mittleren Rissausbreitungsgeschwindigkeit im Metall der Naht durch erhöhte Materialeigenschaften in diesen Punkten bedingt wird. Die Schweissspannungen erreichten in der Zone der Schweissnaht ihren grössten Wert. Mit der Entfernung von der Symmetrieachse nehmen die Festigkeitseigenschaften etwas ab, in der gleichen Zeit behalten die Schweissspannungen ihren hohen Wert. Das führt zu einer Zunahme der Rissausbreitungsgeschwindigkeiten in der Zone der thermischen Einwirkung in unmittelbarer Nähe der Naht.

Die Vergrösserung der Schweissstromstärke führt zu einer Verminderung der Fliessgrenze des angeschmolzenen Metalls der Naht. Im Zusammenhang damit wachsen die mittleren Rissgeschwindigkeiten im Material der Schweissnaht ungeachtet dessen, dass die Schweisseigenspannungen beim Schweissen mit höherer Energie des Lichtbogens abnehmen.

In der Zone der thermischen Einwirkung wird das Schweissen bei hohen Stromstärken von einer gleichmässigen Verteilung der Restspannungen und einer Verbesserung der mechnischen Eigenschaften begleitet. Das führt zur Verringerung der Rissgeschwindigkeiten in der Zone der thermischen Einwirkung, was eine Verlängerung der Lebensdauer der Platten bei Entwicklung der Risse in unmittelbarer Nähe der Naht gewährleistet.

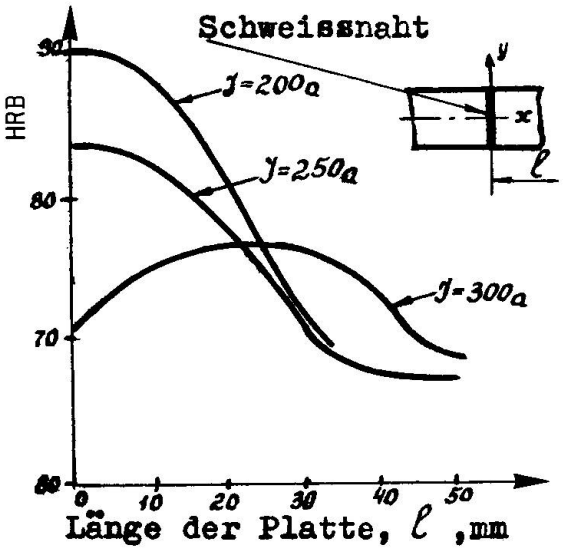


Bild 2

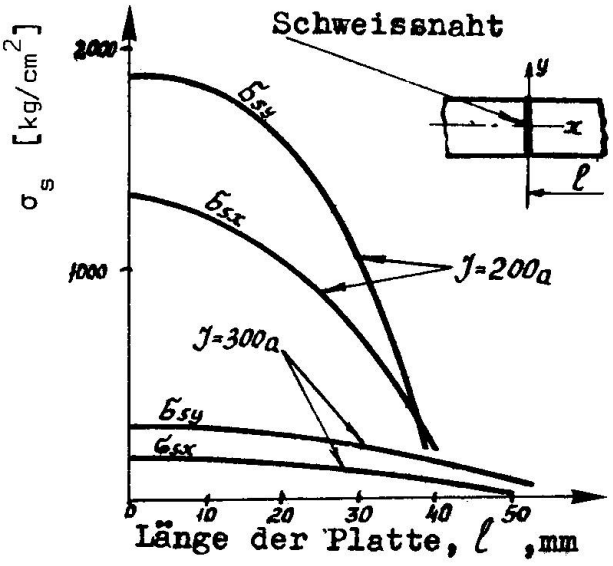


Bild 3

Auf diese Art und Weise kann man durch Veränderung der Schweissstromstärke (Wärmezufuhr) die schwächste Stelle in Schweissverbindungen in bezug auf Rissbildung verschieben. Durch das Benutzen der Graphiken der Abhängigkeit der mittleren Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Ermüdungsrissen, welche für verschiedene Stellen der Schweissverbindung konstruiert wurden, kann man die optimalen Schweissverhältnisse ermitteln, welche die gleiche Festigkeit der geschweissten Elemente in Schweissverbindungen auf Rissbildung gewährleisten (Bild 4).

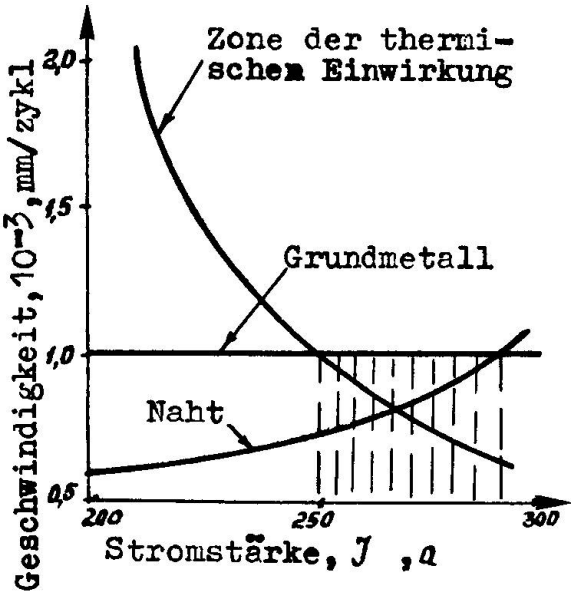


Bild 4

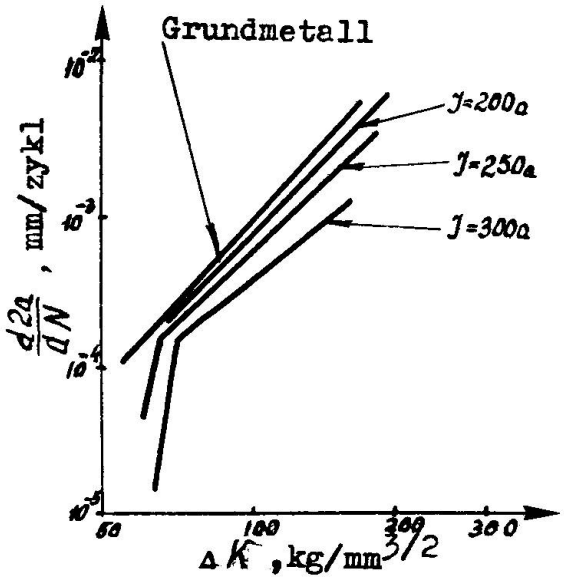


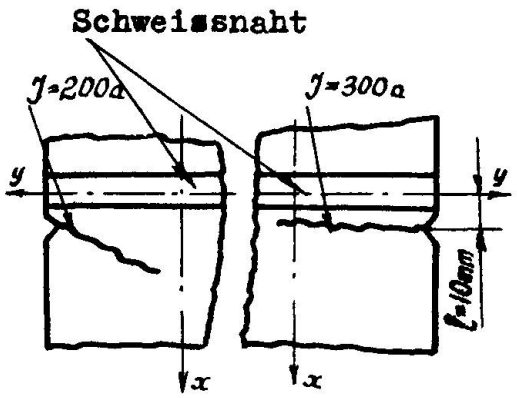
Bild 5

Die Untersuchung der Zerstörungsdiagramme d2a/dN - ΔK (Bild 5) zeigte, dass man den Prozess der Ausbreitung von Ermüdungsrissen in drei Etappen einteilen kann : in eine langsame, eine beschleunigte und eine intensive.

Die Phase der langsamen Rissausbreitung ist durch einen steileren Neigungswinkel der Graphik d2a/dN - ΔK gekennzeichnet und ihre Ausdehnung hängt von der Fliessgrenze des Materials und vom Niveau der äusseren Belastung unter Berücksichtigung der Schweissspannungen ab [4]. Je grösser der Wert von σ_f und je weniger die Summe der Spannungen σ und σ_s, um so grösser ist die Ausdehnung der Anfangsetappe.

In den zwei anderen Etappen (der beschleunigten und der intensiven) kann man die Entwicklung der Risse durch das Gesetz von Paris : $d2a/dN = C(\Delta K)^n$ beschreiben. Der Neigungswinkel der Graphik d2a/dN - ΔK auf den Zerstörungsdiagrammen für diese Phasen, der zahlenmässig durch den Koeffizienten n ausgedrückt wird, verändert sich etwas für die Zone der thermischen Einwirkung mit der Vergrösserung der Wärmezufuhr. Es wurde festgestellt [4], dass sich der Wert von n verringert. Dies hängt mit dem Wachstum der Fliessgrenze des Materials zusammen. Für das angeschmolzene Metall der Naht wird die umgekehrte Abhängigkeit beobachtet.

Bild 6



Die Erforschung der Trajektorien der Risse in den Platten, die bei verschiedenen Schweissverhältnissen hergestellt wurden, bestätigte, dass das Wachstum der Ermüdungsrisse auf die Schweisseigenspannungen einwirkt (Bild 6). Es wurde festgestellt, dass die Bewegungsrichtungen der Risse ungefähr senkrecht zu den Hauptzugspannungen standen. Holl und Kichara gelangten für spröde Zerstörungen zu einer analogen Schlussfolgerung [5]. Die grösste Abweichung der Trajektorien betrug ungefähr 10 mm und wurde in den Platten beobachtet, welche mit grosser Wärmezufuhr (grosse Schweisseigenspannungen) hergestellt wurden.

In den Platten, die bei hohen Stromstärken geschweisst wurden, entwickelten sich die Ermüdungsrisse praktisch ohne von der geradlinigen Richtung abzuweichen. Das kann man durch den wesentlich geringeren Einfluss der Schweissspannungen auf das Risswachstum erklären.

4. SCHLUSSFOLGERUNGEN

1. In Schweissverbindungen aus niedriggekohltem und niedriglegiertem Stahl kann man das Risswachstum in drei Etappen einteilen : in eine langsame, eine beschleunigte und eine intensive, welche durch den Neigungswinkel im Zerstörungsdiagramm charakterisiert sind.

   Die Dauer der Phase des langsamen Wachstums hängt vom Verhältnis der statischen Festigkeit des Metalls und der Belastung ab. Je grösser dieses Verhältnis, desto länger ist die Dauer dieser Phase. Bei kleinen Verhältnissen kann die Phase des langsamen Wachstums fehlen.

   Während der beschleunigten und der intensiven Etappe des Risswachstums wird die Geschwindigkeit in der Hauptsache von der Differenz des Spannungsintensitätskoeffizienten kontrolliert. In diesen Abschnitten kann die Rissausbreitung durch das Gesetz von Paris beschrieben werden.

   Die Parameter n und C werden von den mechanischen Eigenschaften des Stahls bestimmt. C ist auch von der Grösse der Spannung abhängig.

2. Die Rissbeständigkeit der verschiedenen Zonen der Schweissverbindung ist nicht gleich und hängt von den mechanischen Eigenschaften des Materials und von der Verteilung der Schweisseigenspannung ab. Auf die Beständigkeit gegenüber Ermüdungsrissen hat die Wärmzufuhr beim Schweissen einen wesentlichen Einfluss. Durch das Verändern der Schweissverhältnisse kann man eine gleichfeste Verbindung bei allgemeiner Erhöhung der Lebensdauer erreichen.

3. Die Kinetik und die Trajektorie des Risswachstums in Schweissverbindungen hängt von der Grösse und Verteilung der Schweisseigenspannungen ab. Zugspannungen vergrössern und Druckspannungen verringern die Risswachstumsgeschwindigkeit. Risse entstehen vorwiegend senkrecht zur Hauptzugspannung.

BEZEICHNUNGEN

2a	: Gesamtlänge der Risse
N	: Anzahl Lastwechsel
d2a/dN	: Augenblicksgeschwindigkeit der Risse
ΔK	: Differenz des Spannungsintensitätskoeffizienten
n, C	: Parameter des Gesetzes von Paris

LITERATUR

[1] MADDOX, S. : Fatigue Crack Propagation in Weld Metal and HAZ, Metal Construction and British Welding Journal, 1970.

[2] WALTON, D., ELLISON, E. : Entstehung und Verbreitung von Ermüdungsrisse, International Metal, Rec, 1972.

[3] GARNY, T. : Der Einfluss der mittleren Spannung und der Fliessgrenze auf die Verbreitung von Rissen im Stahl, Metal Construction and British Welding Journal, 1969.

[4] NOWIKOW, Ju.A., SOTEEW, W.S. : Der Einfluss vorhergehender Deformation auf die Entwicklung von Ermüdungsrissen in der Umgebung der Naht einer Schweissverbindung, Swarothnoe proiswodstwo, 1976.

[5] HOLL, G., KICHARA, C. : Spröde Zerstörungen geschweisster Konstruktionen, Maschinostroenie, 1974.