

# Ermüdungsrisse in Schweisskonstruktionen

Autor(en): **Nowikow, J.A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte**

Band (Jahr): **37 (1982)**

PDF erstellt am: **15.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-28903>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



## **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 Ermüdungsrisen 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 Brückenkranen, 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 Erforschung der Wachstumsbedingungen von Ermüdungsrissen gibt es wenig experimentelle Untersuchungen auf diesem Gebiet und ihre Resultate sind in der Mehrzahl widersprechend.

Maddox [1] meint nach den 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 herühren.

## 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 Variation 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  $2a$ , 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  $\Delta K$  dargestellt, welche nach der Formel von Garry [3] berechnet wurden.

## 3. BESPRECHUNG

Die Versuchsergebnisse 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

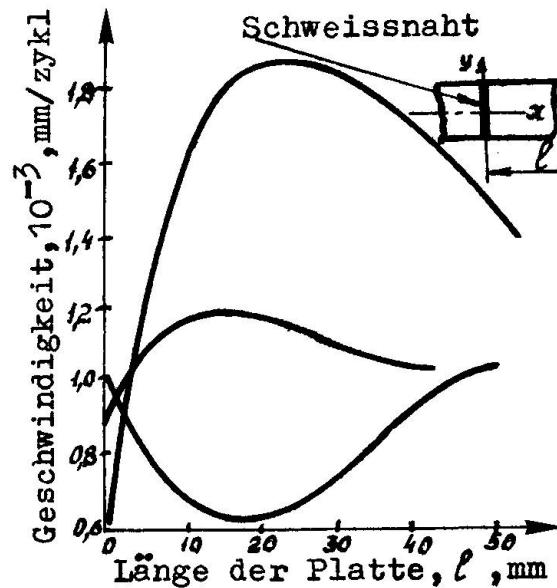


Bild 1

(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 Schweisseigenstressungen (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 Schweissstressungen 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 Schweissstressungen 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 Schweisseigenstressungen 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 mechanischen 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.

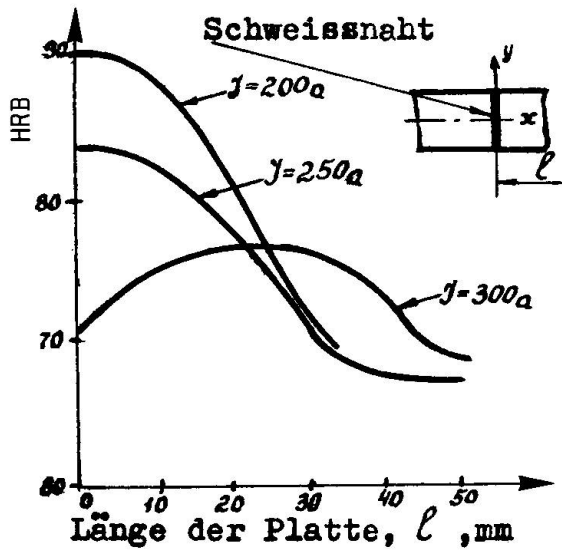


Bild 2

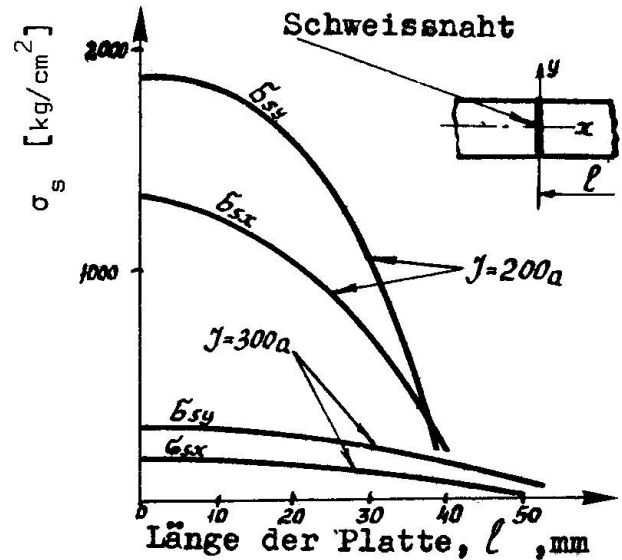


Bild 3

Auf diese Art und Weise kann man durch Veränderung der Schweisstromstärke (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).

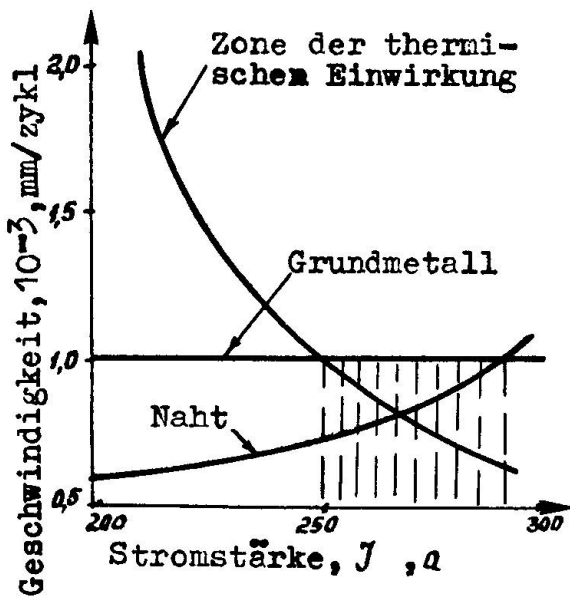


Bild 4

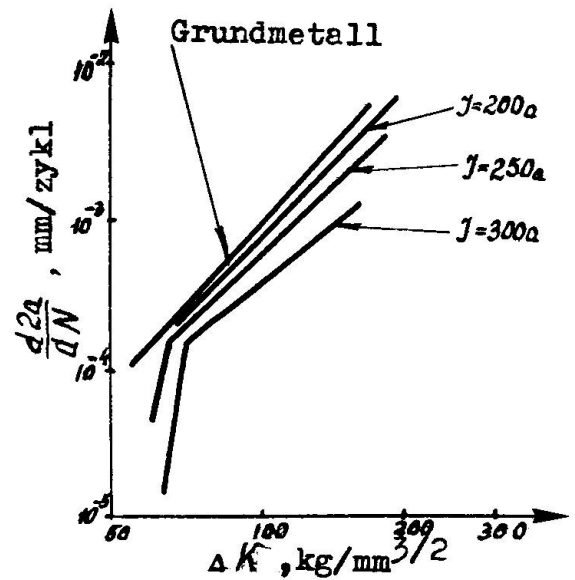


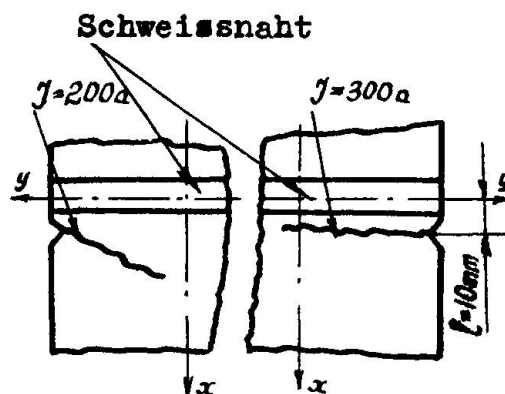
Bild 5

Die Untersuchung der Zerstörungsdiagramme  $d2a/dN - \Delta K$  (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  $d2a/dN - \Delta K$  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  $\sigma_f$  und je weniger die Summe der Spannungen  $\sigma$  und  $\sigma_s$ , 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  $d2a/dN - \Delta K$  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 Schweisseigenstressen 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 Schweisseigenstressen) 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 Wärmezufuhr beim Schweiessen 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
$\Delta K$	: 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 Ermüdungsrissen, International Metal, Rec, 1972.
- [3] GARNY, T. : Der Einfluss der mittleren Spannung und der Fließsgrenze 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.