

Vergleichende Untersuchungen zur Rißkeimbildung an geschweißten ultrafesten Stählen bei einstufiger und mehrstufiger Belastung

von H. - D. Steffens und H. Knösel

Abstract

Reported are the results of investigations into the initiation of cracks of TIG-welded 18 Ni maraging steel (grade 250). There are two different techniques available for investigating the initiation of fatigue cracks. The first involves observing the microcracks by optical microscopy, the second involves proving the crack nucleation by transmission electron microscopy. Fatigue cracks usually occur near the fusion line in the weld metal. In this region active slip bands and coarse slip steps are observed. Condensation of the plastic stresses within these bands promotes fatigue crack nucleation. At first the microcrack propagates within slip systems, afterwards perpendicular to the load direction.

1. Einleitung

Die martensitahärtbaren Stähle der Gruppe NiCoMo 18 8 5 lassen sich befriedigend verschweißen. Die dynamischen Festigkeitseigenschaften der Schweißverbindungen sind bisher wenig bekannt. In dem vorliegenden Bericht wird über das Rißbildungsverhalten von geschweißten Verbindungen bei ein- und mehrstufiger Beanspruchung berichtet.

2. Werkstoffe und Elektroden

Versuchswerkstoffe der genannten Gruppe wurden mit nahezu artgleichem Zusatzwerkstoff WIG-verschweißt, der lediglich höhere Gehalte an Co und Mo sowie Ti und Al aufweist. Ein ausreichender Gehalt der die Aushärtung bewirkenden Elemente war gesichert.

3. Versuchsaufbau und -durchführung

In den Ermüdungsversuchen auf einer servohydraulischen Schwingprüfanlage mit geschlossenem Regelkreis ließen sich reproduzierbare Prüfungen mit einstufigen sinusförmigen sowie geblockten und randomisierten Last-Zeit-Abläufen vornehmen.

Flachproben mit den Abmessungen 7 x 30 x 200 mm wurden in einer Vier-Punkt-Biegeeinrichtung belastet, um eine eindeutige Beanspruchungsart im Schweißnaht- und im wärmebeeinflussten Bereich zu gewährleisten. Die Stirnflächen sowie Probenober- und -unterseite wurden poliert und leicht angeätzt.

Alle Versuche erfolgten jeweils bei konstanten Lastamplituden im Zeitfestigkeitsbereich.

Nach jeweils definierten Lastwechselzahlen wurde ein Abdruck des metallografischen Gefügebildes im gefährdeten Bereich angefertigt. Mit dieser Technik war es möglich, den Gefügestand zu konservieren und einer späteren elektronenoptischen Prüfung zugänglich zu machen. Ort und Zeit der Anrißbildung konnten genau erfaßt werden.

4. Versuchsergebnisse

Die Mikrorißbildung ließ sich auch lichtoptisch beobachten. Da-

nach bildeten sich erste Anrisse im Schweißgut in Nahtmitte nahe der Schmelzgrenze, Bild 1. Diese Mikrorisse, Bild 2, die an Stellen starker plastischer Verformungen in lokalen Bereichen entstanden und etwa 10 μ m lang sind, breiteten sich zunächst über einige Kristallite in Gleitebenen mit der größten Schubspannung aus. Im anschließenden Stadium erfolgte der Rißfortschritt senkrecht zur Beanspruchungsrichtung. Er verlief bevorzugt zwischen den Kristalliten des dendritisch erstarrten Schweißgutes, Bild 3.

Aufschlüsse über den Mechanismus der Mikrorißbildung gestatteten die nachfolgenden elektronenoptischen Untersuchungen. Erste Rißkeime, die sich zunächst nur unbedeutend ausbreiteten, entwickelten sich stets in den Vertiefungen von Ermüdungsgleitbändern an der Probenoberfläche, Bild 4. Diese Rißkeime wuchsen bei weiterer Schwingbelastung vereinzelt zu Mikrorissen an. Die Ermüdungsgleitbänder und groben Gleitstufen, Bild 5, lassen sich auf Versetzungsbewegungen in Gleitebenen zurückführen, die in großen Gleitstufen zu extrem hohen Spannungskonzentrationen und zur Rißkeimbildung führten.

Für die mehrstufige Beanspruchung wurde der standardisierte Betriebsfestigkeitsversuch mit Normverteilung gewählt, der eine gute Reproduzierbarkeit gewährleistete. Die Rißkeimbildung erfolgte wie bei den einstufigen Versuchen. Das Anwachsen zu einem Mikroriß und dem folgenden technischen Anriß wurde von den höheren Laststufen des Kollektivs stärker beeinflusst als von den niedrigen.

5. Zusammenfassung

Bei fehlerfreien Schweißverbindungen des untersuchten Werkstoffs bilden sich erste Mikrorisse stets im Schweißgut nahe der Schmelzgrenze. Die Rißkeime entwickeln sich in Ermüdungsgleitbändern und an groben Gleitstufen. Bei weiterer Beanspruchung steigt die Rißkeimdichte so weit an, daß sich einige Rißkeime zu Mikrorissen mit nachfolgendem Anriß vereinigen können.

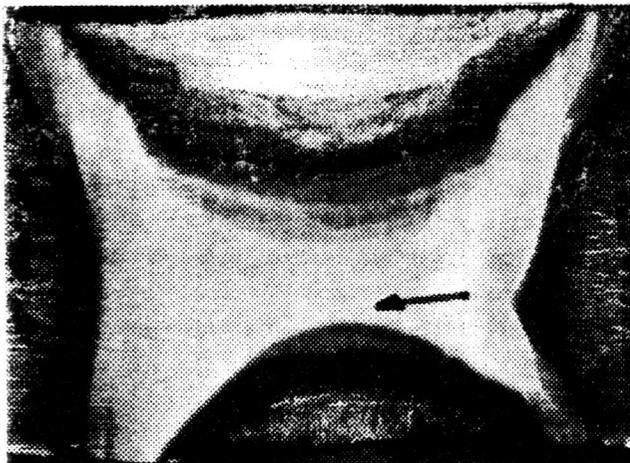


Bild 1: Schweißnahtübersicht, X 2 NiCoMo 18 8 5
 WIG-verschweißt,
 6,5 : 1
 Ätzg.: NiCoMo-Ätzung
 (Pfeil markiert Ribbildungsbereich)

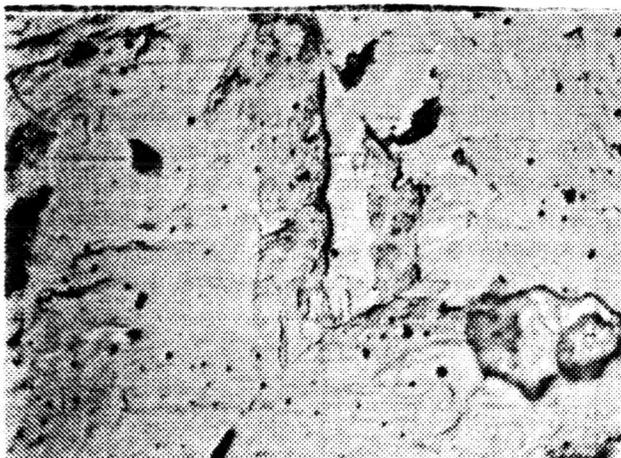


Bild 2: Mikrorisse (lichtoptisch)

1000:1



Bild 3: Ribwachstum entlang der Dendriten
 500 : 1

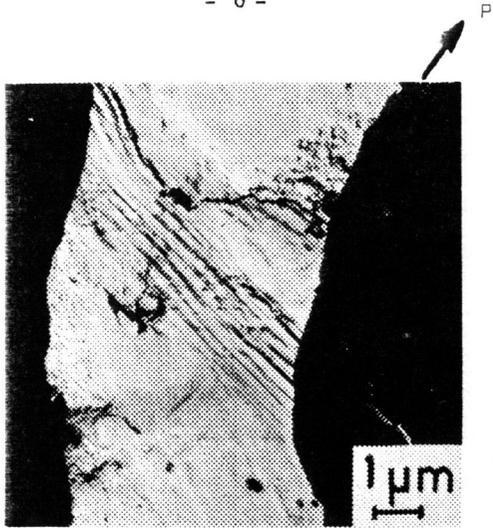


Bild 4: Ermüdungsgleitband mit Rißkeimen
(Chromabdruck)

6000 : 1

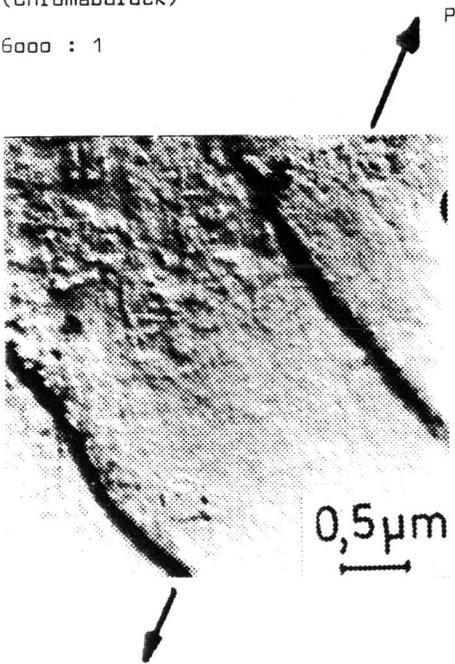


Bild 5: Grobe Gleitstufe (Chromabdruck)

19.000 : 1