

Gruppe

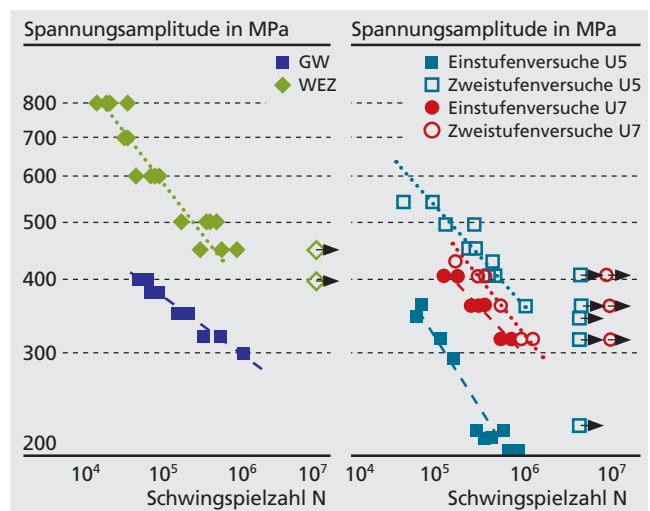
BRUCHMECHANIK, STRUKTURINTEGRITÄT

Dr. Igor Varfolomeev | Telefon +49 761 5142-210 | igor.varfolomeev@iwm.fraunhofer.de

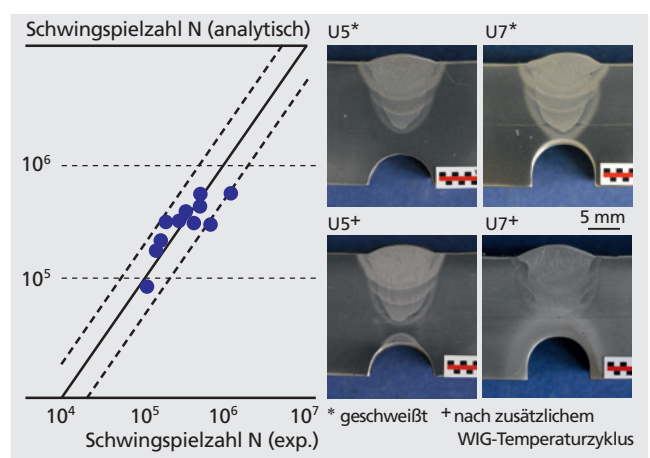
SCHWEISSVERBINDUNGEN: EINFLUSS LOKALER GEFÜGEEIGENSCHAFTEN AUF DIE ANRISSBILDUNG

Die Lebensdauer von Schweißverbindungen wird häufig durch die Anrissbildung in kritischen Bauteilbereichen bestimmt. Die Rissinitiierung wird durch das Zusammenspiel von Eigenspannungen, Verzügen, der Kerbwirkung und lokalen Werkstoffeigenschaften innerhalb einer Schweißnaht beeinflusst. In Versuchen an geschweißten Proben, die größtenteils idealisierte Bauteilgeometrien repräsentieren, wird häufig die Rissentstehung im Bereich des Nahtübergangs beobachtet, der gleichzeitig der Lage der Wärmeeinflusszone (WEZ) entspricht. Es stellen sich dabei mehrere essenzielle Fragen bezüglich der Übertragung von in Probenversuchen gewonnenen Erkenntnissen auf die Lebensdauerbewertung von Bauteilen: Ist die Rissbildung allein auf die Kerbwirkung zurückzuführen? Stellt die WEZ im Hinblick auf die Bauteilfestigkeit den schwächsten Bereich der Schweißnaht dar? Wie beeinflussen mehrmalige Temperaturzyklen beim Schweißen und insbesondere weitere Wärmeeinwirkungen, etwa eine Reparaturschweißung oder eine Wärmebehandlung, die lokalen Gefügeeigenschaften? Und wie beeinflussen diese Temperaturbeanspruchungen die Ermüdungsfestigkeit und das Versagensverhalten geschweißter Bauteile?

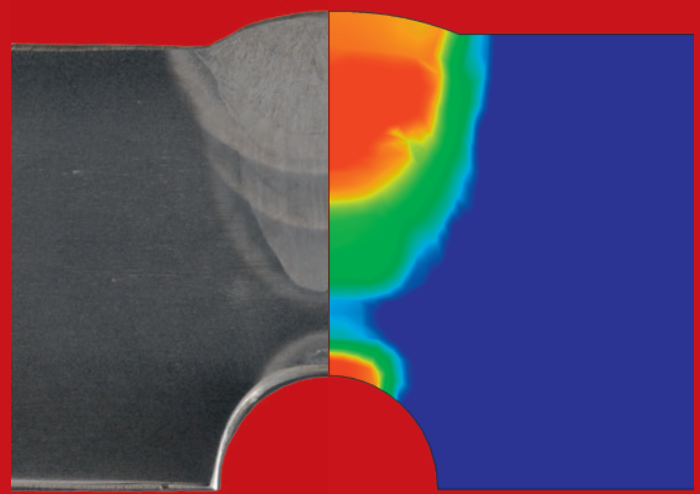
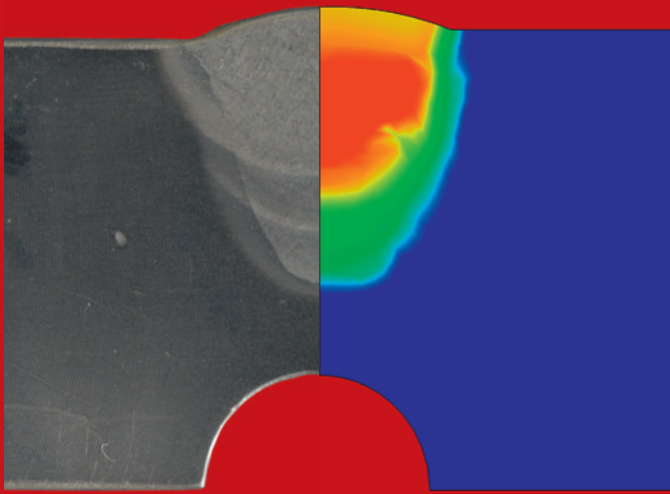
Die Beantwortung dieser Fragen sowie die Entwicklung eines Simulationstools zur Festigkeitsbewertung von mehrlagigen Schweißungen waren Ziele eines vom BMWi geförderten Vorhabens (IGF-Nr. 18242 BG), das gemeinsam vom Fraunhofer IWM und vom Lehrstuhl Füge- und Schweißtechnik an der BTU Cottbus bearbeitet wurde. Wichtige Bestandteile der Untersuchungen waren die experimentelle Charakterisierung verschiedener Gefügestände am Beispiel eines umwandelnden Baustahls, eine rechengestützte Gefügesimulation bei Vorliegen mehrerer Schweißlagen und bei einer anschließenden Wärmebehandlung. Außerdem sollten die Ergebnisse der Experimente und Simulationen in ein Bewertungskonzept überführt werden.



1 Wöhlerlinien an Umlaufbiegeproben aus dem Grundwerkstoff und der Wärmeeinflusszone (links) und Wöhlerlinien an gekerbten Biegeproben (rechts); mit Pfeilen sind Durchläufer gekennzeichnet.



2 Rechnerische Abschätzung der Lebensdauer für Zweistufenversuche an Biegeproben mit der U5-Kerbe (links), Gefügeverteilung in gekerbten Proben (rechts).



2 mm

3 Bewertung und Simulation von Gefügeveränderungen: Vergleich von Schliffbildern mit simulierten Festigkeitsverteilungen im Gefüge.

Werkstoffcharakterisierung

Das experimentelle Programm bestand aus Schwingfestigkeitsversuchen an gekerbten, dreilagig MAG-geschweißten Proben sowie an glatten Umlaufbiegeproben. Die Umlaufbiegeproben wurden zuerst aus dem Grundwerkstoff gefertigt; anschließend wurde in etwa der Hälfte der Proben eine simulierte Wärmeinflusszone eingebracht. Die Gefügeumwandlung des Grundwerkstoffs in die WEZ erfolgte kontrolliert in einer Gleeble-Anlage unter Berücksichtigung der Parameter des verwendeten MAG-Schweißverfahrens, inklusive der gemessenen Spitztemperatur und der Abkühlzeit. Abbildung 1 zeigt die an den Umlaufbiegeproben mit den beiden Gefügeständen ermittelten Wöhlerlinien. Dabei weist das WEZ-Gefüge eine deutlich höhere Ermüdungsfestigkeit als die des Grundwerkstoffs auf.

Gekerbte Schweißproben

Es wurden zunächst 20 mm dicke und 300 mm breite Platten mit einer U-förmigen Kerbe auf der unteren Seite und einer V-förmigen, 10 mm tiefen Kerbe auf der oberen Seite vorbereitet. Dabei betrug die Tiefe der U-Kerbe 5 oder 7 mm (U5- beziehungsweise U7-Proben). Anschließend wurden die V-Kerben mit drei MAG-Schweißlagen zugeschweißt und die Platten in 20 mm breite Einzelproben mit einer mittig positionierten U-Kerbe zertrennt. Die entsprechenden Proben wurden unter schwellender Biegebeanspruchung bis zur Anrissbildung geprüft, wobei sich die Kerbseite im zugbeanspruchten Bereich befand. Dadurch wurde die Rissentstehung am Nahtübergang, das heißt an einer Kerbe undefinierter Geometrie, unterdrückt.

Wie in Abbildung 2 ersichtlich, liegen im Kerbgrund der U5- und U7-Proben unterschiedliche Gefügestände – Grundwerkstoff für die U5- beziehungsweise WEZ für die U7-Probe – vor. Trotz

einer höheren Kerbwirkung ergibt sich für die letztere Probenform eine deutlich höhere Ermüdungsfestigkeit als für U5.

Neben einem direkten Vergleich zweier Gefügestände wurde der Einfluss einer möglichen während des Betriebszyklus auftretenden Gefügeumwandlung auf die Lebensdauer hin untersucht. Hierzu wurden zwei weitere Versuchsreihen, je an U5- und U7-Proben, analog zu den oben beschriebenen Versuchen, jedoch bis zirka $\frac{1}{2}$ Lebensdauer, durchgeführt. Anschließend wurde mit einem WIG-Brenner ein Temperaturzyklus an der Kerbseite aufgebracht, wodurch anstelle von Grundwerkstoff ein WEZ-Gefüge (U5) beziehungsweise ein größerer WEZ-Bereich (U7) entstanden ist, siehe Abbildung 2. Dies führte, trotz einer zuvor erfolgten Vorschädigung, zu einer signifikanten Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit im Vergleich zu den einstufigen Versuchen. Insbesondere für alle U5-Proben ergaben sich in der zweiten Versuchsstufe bei gleichbleibenden Spannungsamplituden ausschließlich Durchläufer. Erst nach einer zirka 1,5- bis 2-fachen Lasterhöhung traten eine weitere Schädigung und Brüche auf. Auch bei den U7-Proben wurde infolge des WIG-Zyklus eine zirka 2-fache Lebensdauererhöhung erzielt.

Lebensdauerbewertung

Als pragmatischer und mit vorliegenden Regelwerken kompatibler Weg zur Lebensdauerbewertung wurde zum einen eine auf die lokale Festigkeit des Schweißgefüges vorgenommene Skalierung von Wöhlerlinien und zum anderen die lineare Schadensakkumulationshypothese angenommen. Dabei ergab sich eine gute Übereinstimmung von in zweistufigen Versuchen an gekerbten Schweißproben gemessenen und analytisch berechneten Lebensdauern (Abbildung 2).

Sergii Moroz, Dr. Igor Varfolomeev