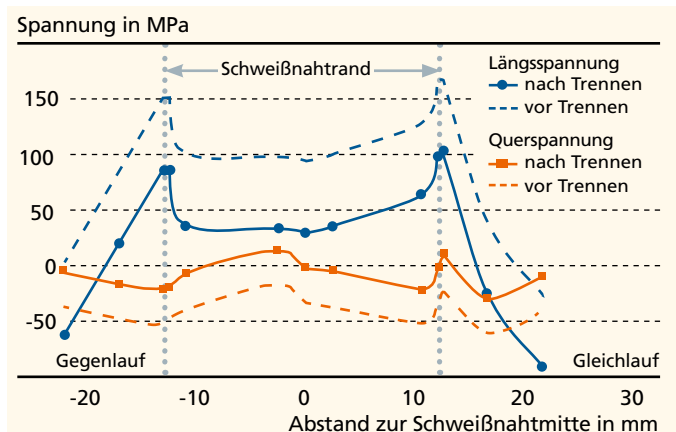


EIGENSPANNUNGSBEWERTUNG REIBRÜHRGESCHWEISSTER RAUMFAHRT-KOMPONENTEN

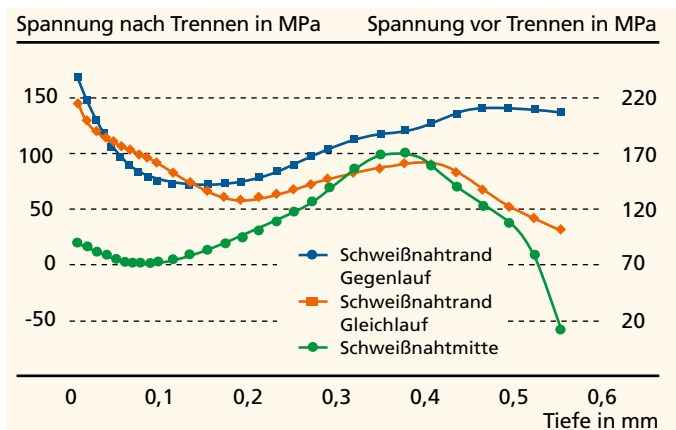
Dr. Wulf Pfeiffer | Telefon +49 761 5142-166 | wulf.pfeiffer@iw.fraunhofer.de

Reibrührschweißen (engl. friction stir welding, FSW) findet als Fügemethode für hochfeste Aluminiumlegierungen zunehmend Beachtung im Flugzeugbau und in der Raumfahrt. Geringere Verzüge und geringere thermisch bedingte Festigkeitsbeeinflussungen im Vergleich zum Schmelzbadschweißen sind die wesentlichen Gründe dafür. Bei diesem Verfahren taucht ein rotierender Pin unter hoher Kraft in die zu verbindenden Komponenten ein. Dabei wird das Material durch Reibung erwärmt und zähplastisch verformt. Mit fortschreitendem lateralem Vorschub vermengt sich das Material der Fügepartner durch einen extrusionsähnlichen Prozess und bildet eine Naht. Obwohl die im Prozess entstehenden Temperaturen wesentlich geringer sind als beim Schmelzbadschweißen, entstehen thermisch und verformungsbedingte Eigenspannungen im Material. Sie können sich ungünstig auf das Ermüdungsverhalten, das Risswachstum und den Widerstand gegen Spannungsrisskorrosion des Werkstoffs auswirken und müssen in der Auslegung der Bauteile berücksichtigt werden.

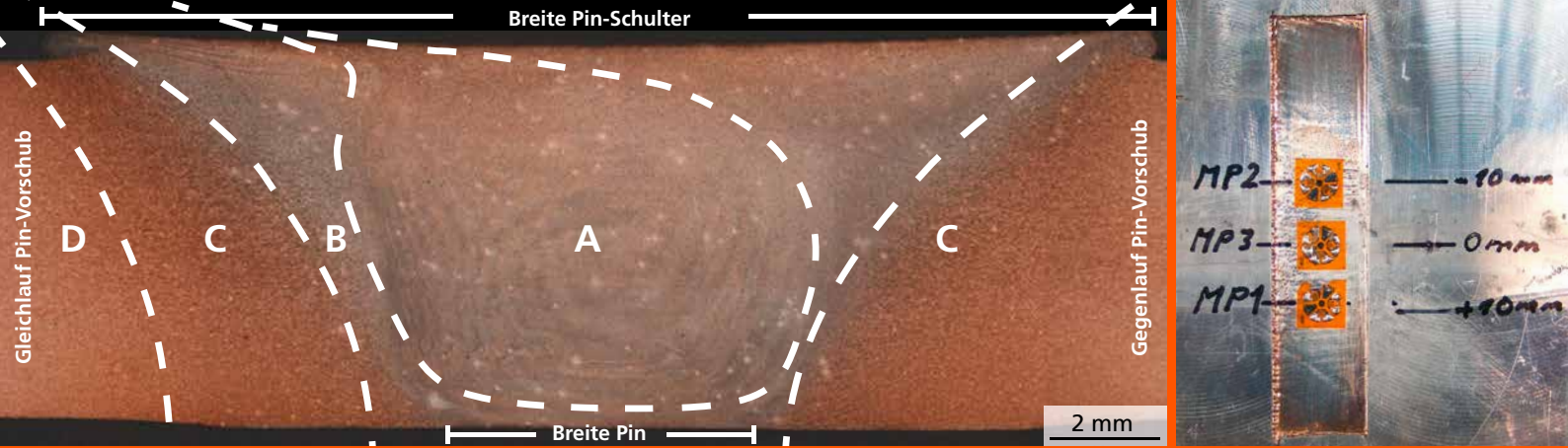
Für Eigenspannungs- und Festigkeitsanalysen werden verständlicherweise keine kompletten Bauteile herangezogen, sondern bevorzugt Probekörper, die wiederum aus größeren, bauteilnahen Komponenten entnommen werden. Für die Optimierung der Fertigungsprozesse werden bevorzugt Probeschweißungen an geometrisch einfacheren, ebenen Komponenten durchgeführt. Damit stellt sich die Frage, ob der Eigenspannungszustand in den Komponenten und Probekörpern dem Eigenspannungszustand im Bauteil nahe kommt, oder zumindest eine konservative Bewertung des Eigenspannungseinflusses ermöglicht.



1 Röntgenographisch ermittelte oberflächennahe Eigenspannungsverteilungen vor und nach Korrektur der Spannungsumlagerung durch Heraustrennen der Probe.



2 Mittels Bohrlochverfahren ermittelte Tiefenverteilungen der Längsspannungen in Schweißgutmitte und am Übergang zur Wärmeeinflusszone. Die rechte Ordinate berücksichtigt die Spannungsumlagerung beim Heraustrennen der Probe.



Querschliff durch eine FSW-Naht mit unterschiedlich beeinflussten Bereichen (8 mm-Blech, Legierung AA 2219)
 © MT Aerospace (links). Probe mit elektrochemisch präparierter Messspur für die röntgenographische
 Eigenspannungsermittlung und DMS-Rosetten für das Bohrlochverfahren (rechts).

Ökonomische Ermittlung von Eigenspannungen

Das Fraunhofer IWM nutzt zur Eigenspannungsanalyse verschiedene zerstörungsfreie, teilzerstörende und zerstörende Verfahren. Beim Reibrührschweißen sind Eigenspannungen in Randschichtbereichen für die oben genannten Schädigungsprozesse relevant. Oberflächennahe Eigenspannungen werden bevorzugt mittels zerstörungsfreier röntgenographischer Beugungsanalysen bestimmt. Die Tiefenverteilungen in der Randschicht können jedoch ökonomischer mit dem inkrementellen Bohrlochverfahren ermittelt werden. Um mögliche laterale und zur Tiefe vorliegende Spannungsmaxima aufzudecken, wurden deshalb die Oberflächen-Eigenspannungsverteilungen röntgenographisch ermittelt und an den Orten maximaler Eigenspannungen zusätzlich Tiefenverteilungen per Bohrlochverfahren gemessen.

Die Entnahme von Probekörpern aus großvolumigen, bauteilnahen Komponenten kann zur Umlagerung weitreichender Eigenspannungsfelder führen. Um einen für das Bauteil relevanten Eigenspannungszustand angeben zu können, wurden mittels Dehnmessstreifen Eigenspannungsumlagerungen ermittelt, die bei der Entnahme der Komponenten und der weiteren Verkleinerung zu Probekörpern auftraten. Da ausschließlich elastische Dehnungen auftraten, konnten die an diesen Probekörpern ermittelten Eigenspannungsverteilungen um den Einfluss der Umlagerung korrigiert werden.

Bewertung der Beanspruchungen quer und längs zur Schweißnaht

Wie in Abbildung 1 zu erkennen ist, führt das Heraustrennen von Proben aus größeren Komponenten zu nicht zu vernach-

lässigenden Eigenspannungsumlagerungen. Die Längseigenspannungen der Probe sind gegenüber dem Bauteil erheblich in Richtung Druckeigenspannungen, die Quereigenspannung geringfügig in Richtung Zugeigenspannungen verschoben. Die Tiefenverteilungen der Längseigenspannungen in Abbildung 2 zeigen, dass in der Schweißnahtmitte die maximalen Eigenspannungen unter der Oberfläche liegen. Sie können im nicht zerlegten Bauteil fast Streckgrenzhöhe erreichen. Die Kombination aus Bohrlochmethode und röntgenographischer Eigenspannungsermittlung bietet demnach eine ökonomische Methode zur Lokalisierung von Spannungsmaxima.

Hinsichtlich der Bewertung der Eigenspannungen auf beispielsweise das Risswachstumsverhalten in einem reibrührgeschweißten Bauteil ist festzuhalten, dass Eigenspannungsermittlungen an Probekörpern zu einer konservativeren Bewertung führen, wenn die Betriebsbeanspruchung quer zur Schweißnaht vorliegt. Aussagen zum Verhalten parallel zur Schweißnaht verlangen eine Berücksichtigung der Eigenspannungsumlagerung bei der Probenextraktion.

Dr. Wulf Pfeiffer