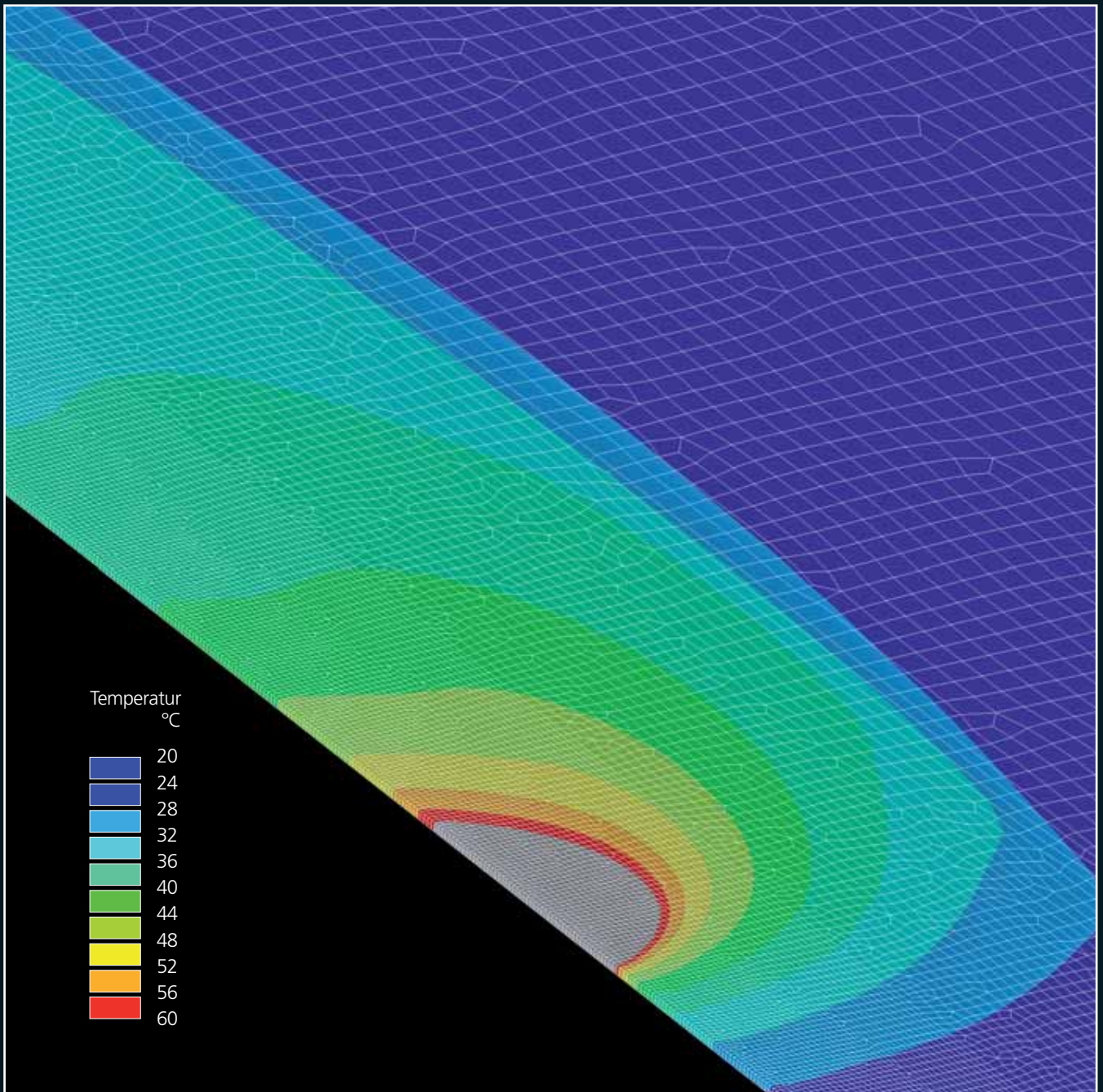


report ifs

AUSGABE 1. HJ 2008



HIGHLIGHTS

Anwendungsnahe Schweißsimulation

Kleben von Aluminium-Druckguss

Eigenspannungsstabilität bei zügiger
und zyklischer Beanspruchung



Der Bachelor kommt

Dass das nicht mehr aufzuhalten ist, war uns ja schon seit längerem klar. Im WS 2008/2009 startet der Bachelor Maschinenbau, der Master voraussichtlich zum WS 2010/2011 an unserer Carolo-

Wilhelmina. An der Fakultät für Maschinenbau wird es drei Bachelorstudiengänge (Maschinenbau, Bio- und Chemieingenieurwesen und Wirtschaftsingenieurwesen) geben. Bei den Masterstudiengängen kommen zu den drei aufgeführten Bachelorstudiengängen, die auch als Masterstudiengänge weitergeführt werden, noch der Master Luft- und Raumfahrttechnik sowie Kraftfahrzeugtechnik hinzu. Für die vom ifs erbrachte Lehre bedeutet dies, dass die Vorlesungen Werkstofftechnologie I als Pflichtfach und Fügetechnik als Wahlpflichtfach in den Bachelorstudiengängen erhalten bleiben. Die Werkstofftechnologie II wie auch alle anderen vertiefenden ifs-Vorlesungen werden nun im Master angeboten. Kritisch ist hier zu sehen, ob durch die Teilung in fünf Masterstudiengänge mit wiederum einer Vielzahl von Vertiefungsrichtungen, das Fächerangebot noch von genügend Studierenden wahrgenommen wird.

Doch der Bachelor hat auch seine guten Seiten. So gibt es zukünftig Module, die aus Vorlesungen, Übungen und Laboren bestehen und so die Möglichkeit geben, auch verstärkt fallorientiert die Lehrinhalte zu vermitteln. Insgesamt sind wir davon überzeugt, dass wir auch zukünftig ein qualitativ hochwertiges und anerkanntes Studium anbieten werden und die Marke TU Braunschweig ihren hohen Stellenwert weiter ausbaut.

Geschäftsführender Leiter
Uni.-Prof. Dr.-Ing. Prof. h. c. Klaus Dilger

AKTUELLES

> EINFLUSS VON OBERFLÄCHENKONTAMINATIONEN

KLEBEN VON ALUMINIUM-DRUCKGUSS

Der Trend zum Leichtbau ist in allen Bereichen der Verkehrstechnik ungebrochen und im Fokus der Entwicklungen steht neben Stahl der Werkstoff Aluminium. Durch den Einsatz dieses Leichtmetalls kann eine Reduzierung des Fahrzeuggewichts und damit eine Minimierung des Kraftstoffverbrauchs sowie der Abgasemissionen erreicht werden. In Verbindung damit expandiert auch der Industriezweig Aluminium-Gusslegierungen weiter. Für die Realisierung von innovativen, modularen Druckguss-Bauteilen, z. B. im Bereich des Fahrzeugbaus, nimmt das Interesse und der Bedarf an klebtechnischen Fügeverfahren immer mehr zu. Wird für dünnwandige Bauteile statt der bisher üblichen Schmelzschweißverfahren die Klebtechnik eingesetzt, spielen Wärmeverzug und aufgeprägte Eigenspannungen keine Rolle

mehr. Ein weiterer Vorteil des Klebens ist die problemlose Herstellung von Mischverbindungen, die geringe Kerbwirkung, die hohe dynamische Festigkeit sowie die flächige Krafteinleitung, die eine hohe Werkstoffausnutzung ermöglicht. Neben den im Allgemeinen beim Kleben von Aluminiumlegierungen erforderlichen Maßnahmen, wie der notwendigen Vorbehandlung zur Verbesserung der Haftungseigenschaften und der Korrosionsbeständigkeit der Oberfläche, ergeben sich beim Kleben von Aluminium-Druckgussbauteilen weitere kritische Randbedingungen. Diese sind insbesondere der Einfluss von Trennstoffen und die Bildung der Gushaut. Das Kleben von Aluminium-Knetlegierungen ist bereits Stand der Technik. Je nach Anforderungsniveau werden dazu die Randschichten abgetragen und an-

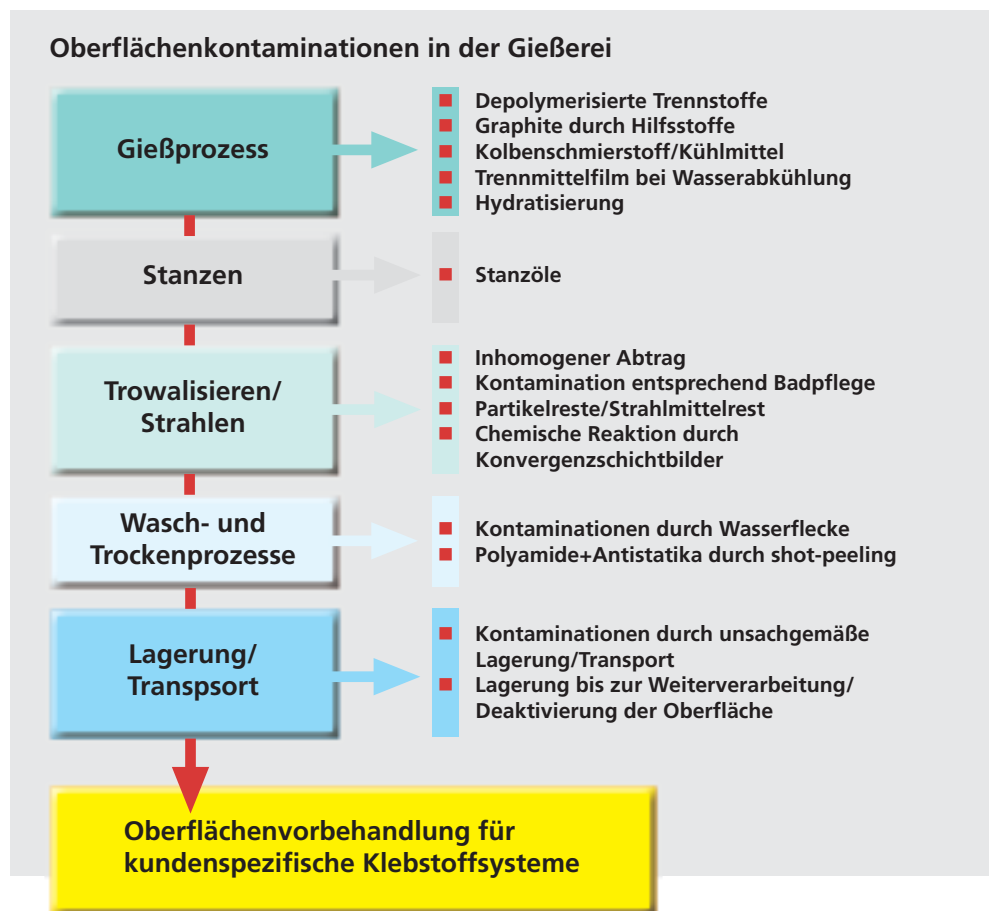
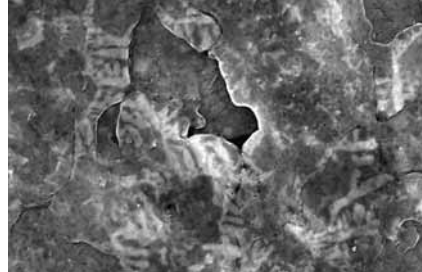
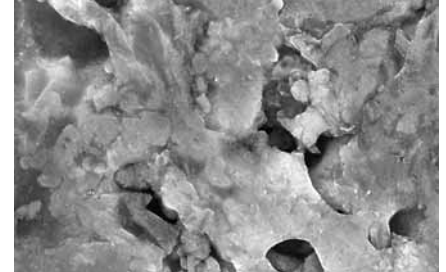


Abb. 1: Übersicht der wichtigsten Kontaminationsquellen in einer Druckgießerei

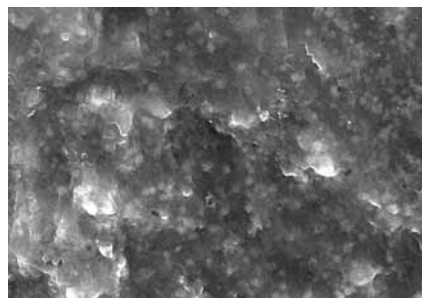
schließend gezielt passiviert beziehungsweise modifiziert. Auf Gusslegierungen versagt diese Vorgehensweise weitestgehend, da die Gussoberflächen fertigungsbedingt sehr inhomogen auf einen nasschemischen Beizangriff reagieren und sich auch anschließend nicht homogen auf nasschemischem Wege passivieren lassen. Dabei stellt die durch den Druckguss-Prozess definierte Oberflächenstruktur ein entscheidendes Hemmnis dar. In Abbildung 1 sind mögliche Kontaminationsquellen in Abhängigkeit der Prozesskette in einer Gießerei dargestellt.



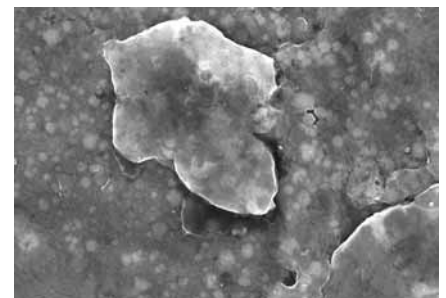
wassermischbarer Trennstoff



ölbasierter Trennstoff



pulverförmiger Trennstoff



gasförmiger Trennstoff

Abb. 2: Ausbildung der Oberflächenstruktur in Abhängigkeit vom eingesetzten Trennstoff

Neben vielen anderen Einflussgrößen kommt es durch den Einsatz konventioneller Trennmittel zu einem Übertrag des Trennstoffes auf die Bauteiloberfläche und einer Einarbeitung unter die Oberfläche. Beim Gießprozess werden diese Trennmittelreste undefiniert chemisch verändert und sind als Untergrund für Klebprozesse somit ungeeignet. Daher sind Nach- und Vorbehandlungsprozesse der Bauteile erforderlich. Diese lassen sich grob in mechanische Verfahren (z. B. Strahlen, Schleifen, Fräsen), nass-chemische Methoden (z. B. Dekapieren, Passivieren), mechanisch/nasschemische Verfahren (Gleitschleifen bzw. Trowalisieren) und trockenchemische Plasma- und Laserverfahren untergliedern. Außerdem ist die Gussteiloberfläche durch sekundäre Verschmutzungen aus den nachfolgenden Verarbeitungsschritten wie Stanzen, Trowalisieren, Waschen, Verpackung und Transport in Bezug auf einen fertigungssicheren Haftungsaufbau undefiniert. Die Verunreinigungen bestimmen aber die chemischen Voraussetzungen der Oberfläche für einen alterungsbeständigen Adhäsionsverbund

mit dem Klebstoff. In Versuchen wurde der Einfluss des Trennstoffes auf die Oberflächenmorphologie und -topographie untersucht. Hierbei wurde festgestellt, dass die unterschiedlichen Trennstoffarten zu unterschiedlichen Erstarrungen des Druckgusses führen und somit verschiedene Oberflächenstrukturen entstehen, die über eine mögliche Nachmigration von Trennstoff einen Einfluss auf die Klebeignung haben können. In Abbildung 2 sind beispielhaft vier Oberflächenstrukturen dargestellt.

kleinste Kontaminationen mit Kohlenstoff lokal nachgewiesen werden. Durch eine optimierte Auswertungsroutine kann die prozentuale Kohlenstoffbelegung zusätzlich statistisch ausgewertet und in eine Schichtdicke umgerechnet werden (Abbildung 3).

Umfassende Untersuchungen zu dieser Thematik werden in den AiF-Projekten „Beurteilung und Optimierung der Fertigungsschritte in der Gießerei zur Herstellung klebgeeigneter Aluminium-Druckgussbauteile“ und „Wirksamkeit von Verfahren zur

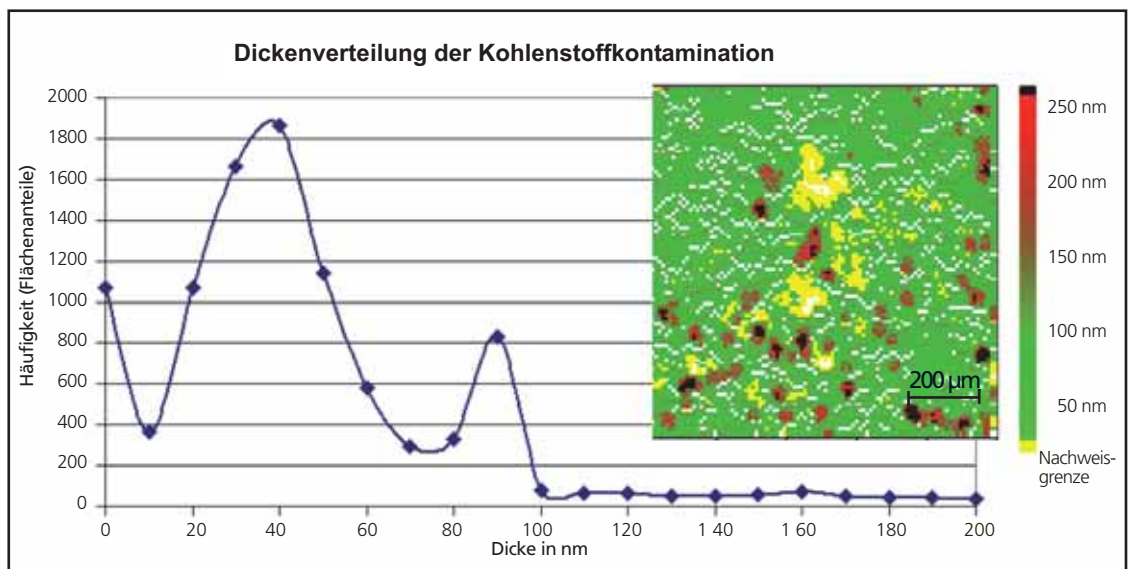


Abb. 3: Nachweis der Trennstoffbelegung mit Hilfe der Mikrosonde

Zum Nachweis der Trennstoffbelegung auf der Bauteiloberfläche wurde außerdem die Elektronenstrahlmikrosonde (ESMA) qualifiziert. Mit dieser Analysenmethode können auf Grund einer Nachweisgrenze im ppm-Bereich und einer Ortsauflösung von 1-3 µm

Entfernung von Trennstoffen auf Aluminium-Druckgussbauteilen“ erfolgen.

Ansprechpartner:
 Dr.-Ing. Helge Pries
h.pries@tu-bs.de
 Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Stefan Böhm
s.boehm@tu-bs.de

> VERZUGSBERECHNUNGEN AN KOMPLEXEN STRUKTUREN

ANWENDUNGSNAHE SCHWEISSIMULATION

Fügeverfahren haben heute als wesentliche Elemente einer modularisierten Fertigung eine große Bedeutung. Immer kürzere Entwicklungszyklen und eine starke Konkurrenz werden zukünftig die sichere Beherrschung einer rechnerischen Bauteilauslegung und die Integration der Fügeprozesssimulation in die Fertigungsplanung für verschiedene Branchen zu einer unbedingten Voraussetzung machen.

Fertigungstechnisch sind hierbei die durch den Schweißprozess entstehenden Verzüge von besonderer Bedeutung. Für eine rechnerische Festigkeitsbewertung ist hingegen die Kenntnis der aus einer inhomogenen Bauteilerwärmung und -abkühlung resultierenden Schweißeigenspannungen notwendig. Der Finite-Elemente-Methode kommt hierbei in der technischen Anwendung eine herausragende Bedeutung zu.

Die Schweißsimulation wird häufig als eine Kombination gekoppelter Einzelsimulationen aufgefasst [1] und in die Bereiche Prozess-, Werkstoff- und Struktursimulation unterteilt. Die Struktursimulation dient der Berechnung des Eigenspannungs- und Verzugzustandes aufgrund der in die Fügeteile eingebrachten Wärme. Sie erfolgt im Wesentlichen auf der Grundlage der aus der Werkstoffsimulation folgenden mechanischen Werkstoffkennwerte in Form einer elastisch-plastischen Strukturberechnung. Die Eigenschaften des verwendeten Werkstoffes und deren Abhängigkeit von der Temperatur sind dabei entscheidende Größen für die Modellierung des Schweißprozesses. Die Sensibilität des Berechnungsergebnisses in Bezug auf die Werkstoffkennwerte ist, speziell hinsichtlich der Auswirkung auf komplexe Strukturen, noch weitgehend unbekannt.

Die Modellierung des eigentlichen Schweißprozesses hat die Ermittlung der Schmelzzonengeometrie (Abb. 1) und der Wärmeverteilung (Abb. 2), aber auch des Prozesswirkungsgrades und der Prozessstabilität zum Ziel. Zur Vorhersage des Wärmeeintrags in den Werkstoff werden häufig sogenannte Wärmeleitmodelle verwendet. Diese bringen durch die geschickte Definition einer Ersatzwärmequelle einen experimentell an verschiedenen Stellen des Bauteils oder der Probe ermittelten Temperatur-Zeit-Verlauf mit einer Berechnung in Einklang (Abb. 3).

Prozessmodelle existieren zwar für mehrere Schweißprozesse, finden jedoch aufgrund ihrer großen Komplexität bisher kaum Anwendung in der Schweißsimulation.

Bei vielen Stählen sind Gefügeumwandlungen und dadurch bedingte Spannungen zu berücksichtigen. Die Gefügevorhersage erfolgt heute im Wesentlichen durch geeignete Gefügekinetiken oder aber auf der Grundlage empirischer Modelle.

Ein großes Problem in der praktischen Anwendung auf reale Schweißkonstruktionen ergibt sich durch die bei komplexeren Strukturen stark ansteigenden Berechnungszeiten aufgrund der großen Temperatur- und damit auch Verformungs-

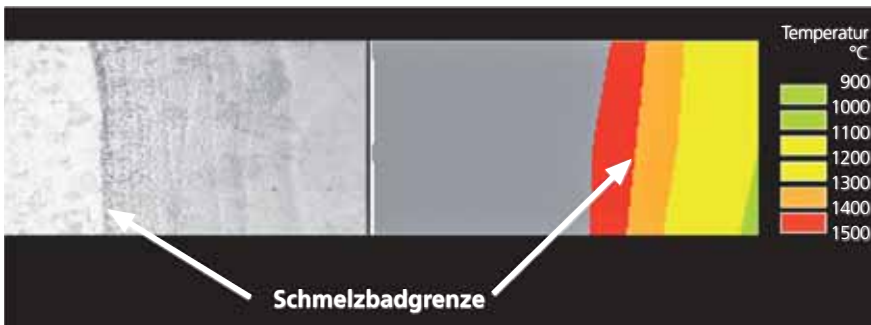


Abb. 1: Vergleich der Schmelzzonengeometrie eines Querschliffes mit der Berechnung

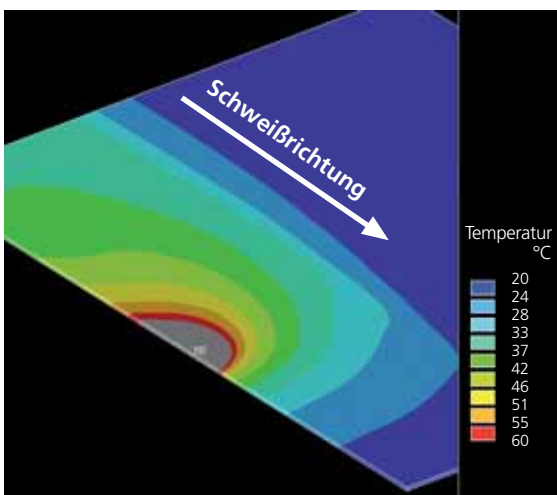


Abb. 2: Temperaturfeld bei einer Schweißung (Halbmodell)

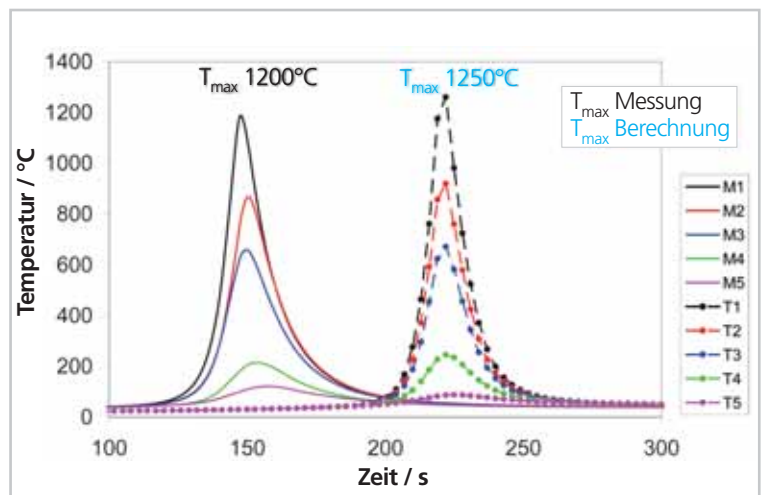


Abb. 3: Temperatur-Zeit-Verläufe aus Messung und Berechnung (zeitlich verschoben)

gradienten im Bereich der hochoberhitzten Naht- und Wärmeeinflusszone. Die bisher zur Verfügung stehenden Methoden zur Simulation großer Strukturen nehmen zum Teil extreme Vereinfachungen vor und sind nicht ausreichend validiert [2; 3].

Weiterhin finden aufgrund der Komplexität auch Berechnungen mit mehreren oder mehrlagigen Schweißnähten kaum Anwendung. Auch die Abbildung von wichtigen Produktionsrandbedingungen, wie sie z. B. durch ein Heften der Bauteile entstehen, bereiten häufig Probleme.

Im Rahmen eines von der FOSTA geförderten Forschungsvorhabens (AiF-Nr. 15273 N/1) werden zur Zeit am *ifs* Untersuchungen durchgeführt, deren Ziel die Entwicklung bzw. Erweiterung, Anwendung und Validierung neuer und bestehender Rechenmethoden zur Verzugsberechnung beim Schweißen komplexer Strukturen (Abb. 4) ist. Berücksichtigt werden auch häufig auftretende Prozessschritte und -randbedingungen.

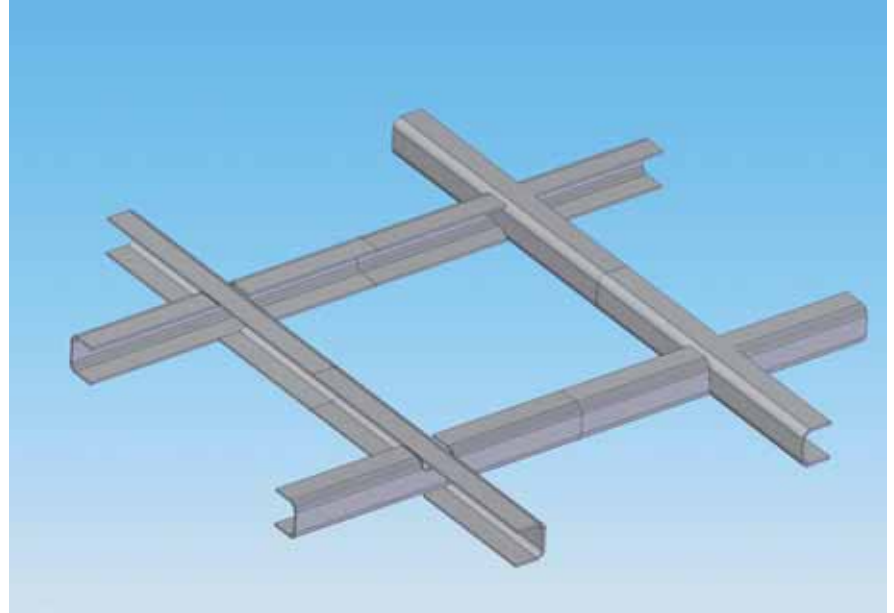


Abb. 4: Geschweißte Rahmenstruktur aus vier Profilknoten mit mehreren Schweißnähten

Durch die Bewertung und Erhöhung der Vorhersagegenauigkeit von Verzugsberechnungen für das Schweißen komplexer Baugruppen aus umwandelndem Stahl wird ein wesentlicher Fortschritt erreicht, da sich die überwiegende Anzahl wissenschaftlicher Untersuchungen bisher auf experimentelle Arbeiten auf der Basis von Kleinproben beschränken.

[1] Radaj, D.: „Simulation von Temperaturfeld, Eigenspannungen und Verzug beim Schweißen“, DSV-Berichte Band 214, DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf

[2] Dong, Y., J.K. Hong, C.L. Tsai, P. Dong: „Finite Element Modelling of Residual Stresses in Austenitic Stainless Steel Pipe Girth Welds“, Welding Journal Research Supplement, Vol. 76, No. 10 (1997), S. 442s-449s

[3] Kaßner, M., H. Wohlfahrt: „Verzugs- und Eigenspannungsberechnung an geschweißten Bauteilstrukturen mit der Methode der Finiten Elemente“, DVS-Berichte Bd. 194, DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf 1998, S. 27-34

Ansprechpartner:
Dipl.-Ing. Martin Vogt
martin.vogt@tu-bs.de
Dipl.-Ing. Markus Urner
m.urner@tu-bs.de

> SCHWINGBEANSPRUCHTE SCHWEISSVERBINDUNGEN AUS HOCHFESTEN STÄHLEN

EIGENSPANNUNGSSTABILITÄT BEI ZÜGIGER UND ZYKLISCHER BEANSPRUCHUNG

Als Eigenspannungen werden Spannungen bezeichnet, die innerhalb eines temperaturgradientenfreien Körpers ohne Einwirkung äußerer Kräfte oder Momente vorliegen. Eigenspannungen entstehen prinzipiell bei allen mechanischen, thermischen und thermomechanischen Werkstoffbehandlungen als Folge inhomogener elastisch-plastischer Verformung oder allotroper Phasenumwandlungen. In der Praxis hat sich die Bezeichnung der Eigenspannungen nach dem sie erzeugenden Bearbeitungs- bzw. Behandlungsverfahren durchgesetzt. Demgemäß unterscheidet man z. B. Umformeigenspannungen, Wärmebehandlungseigenspannungen, Schweißeigenspannungen usw..

Schweißeigenspannungen beruhen auf den unter Einwirkung eines instationären Tem-

peraturfeldes nach dem eigentlichen Schweißvorgang inhomogen auftretenden plastischen Verformungen und Phasenumwandlungen. Darauf weisen die in Abb. 1 gezeigten Oberflächen- und Tiefenverteilungen der Längs- und Quereigenspannungen in einer WIG-Blindnahtschweißung eines vergüteten Feinkornbaustahls S960QL hin. Man erkennt, dass bei relativ großem Schweißnahtquerschnitt und damit Umwandlungsquerschnitt die in der Nähe der Streckgrenze angesiedelten Querzugeigenspannungen auf eine sehr schmale Oberflächenschicht beschränkt sind, während die Nebenmaxima der Längseigenspannungen über den gesamten untersuchten Tiefenbereich weitgehend konstant bleiben können.

Eigenspannungen werden häufig fälsch-

licherweise Mittelspannungen gleichgesetzt. Der fundamentale Unterschied besteht jedoch darin, dass der Einfluss von Eigenspannungen auf das Festigkeitsverhalten von Werkstoffen von deren Stabilität bei der jeweiligen Beanspruchungsart abhängt. Verschiedene Untersuchungen zum Eigenspannungseinfluss auf die Dauerschwingfestigkeit haben gezeigt, dass mit steigender Spannungsamplitude und Lastspielzahl die Bedeutung des Eigenspannungszustandes aufgrund des zunehmenden Eigenspannungsabbaus kleiner wird. Die Ansichten über die Bedeutung von Eigenspannungen in Schweißbauteilen sind nach wie vor höchst unterschiedlich. So findet man vielfältige Beispiele, bei denen den Schweißeigenspannungen eine geringe Bedeutung z. B. für die Festigkeit beige-

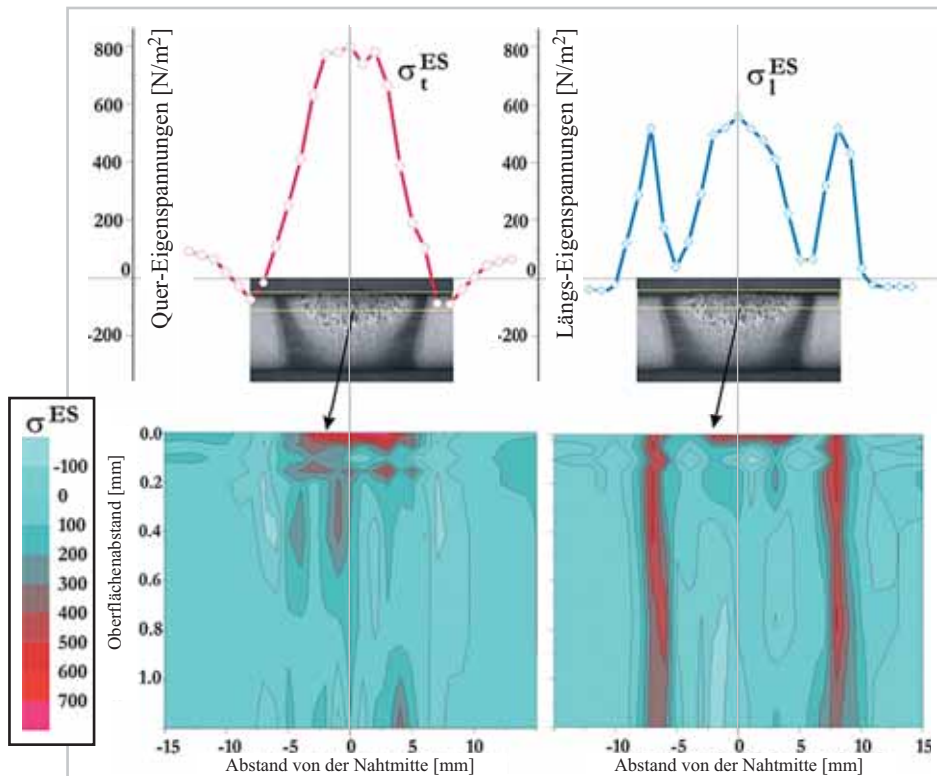


Abb. 1: Oberflächeneigenspannungen (oben) und Eigenspannungstiefenverteilungen (unten) um eine WIG-Blindnahtschweißung in einem vergüteten S960QL.

messen wird, aber auch solche, die deren Einfluss als außerordentlich hoch einschätzen.

Unter Betriebsbedingungen werden den vorhandenen Eigenspannungen die auftretenden Lastspannungen überlagert, sodass die rechnerische Summe aus Last- und Eigenspannungen lokal die Fließgrenze je

nach Vorzeichen der Eigenspannungen früher oder später erreicht, als dies ohne Eigenspannungen der Fall wäre. Da die Eigenspannungen als elastische Spannungen die Fließgrenze selbst nicht überschreiten können, führt dieser Vorgang mit steigenden Lastspannungen zu einem kontinuierlichen Eigenspannungsabbau, der

abgeschlossen ist, wenn die Lastspannung selbst die Fließgrenze erreicht (Abb. 2). Trotz eines gewachsenen Kenntnisstandes über die Entstehungsursachen von Eigenspannungen in Schweißverbindungen besteht bezüglich der Frage, in welcher Form und in welchem Umfang Schweißeigenspannungen für die Festigkeit einer Schweißkonstruktion vor allem bei schwingender Beanspruchung ihre Berücksichtigung finden sollen, nach wie vor große Unsicherheit.

In Versuchen an verschiedenen schweißbaren Bau- und Feinkornbaustählen in einem von der DFG geförderten Projekt soll die Charakteristik des Eigenspannungsabbaus unter schwingender Beanspruchung in Abhängigkeit von Werkstofffestigkeit, Ausgangshöhe der Schweißeigenspannungen, Spannungsamplitude und Mittelspannung untersucht werden. Es wird angestrebt, aus den erarbeiteten experimentellen Befunden ein Vorhersagemodell für den Eigenspannungsabbau unter kombinierter quasistatischer und zyklischer Beanspruchung für Schweißverbindungen zu entwickeln.

Ansprechpartner:
 Dr.-Ing. Thomas Nitschke-Pagel
t.pagel@tu-bs.de
 Dipl.-Ing. Majid Farajian
m.farajian@tu-bs.de

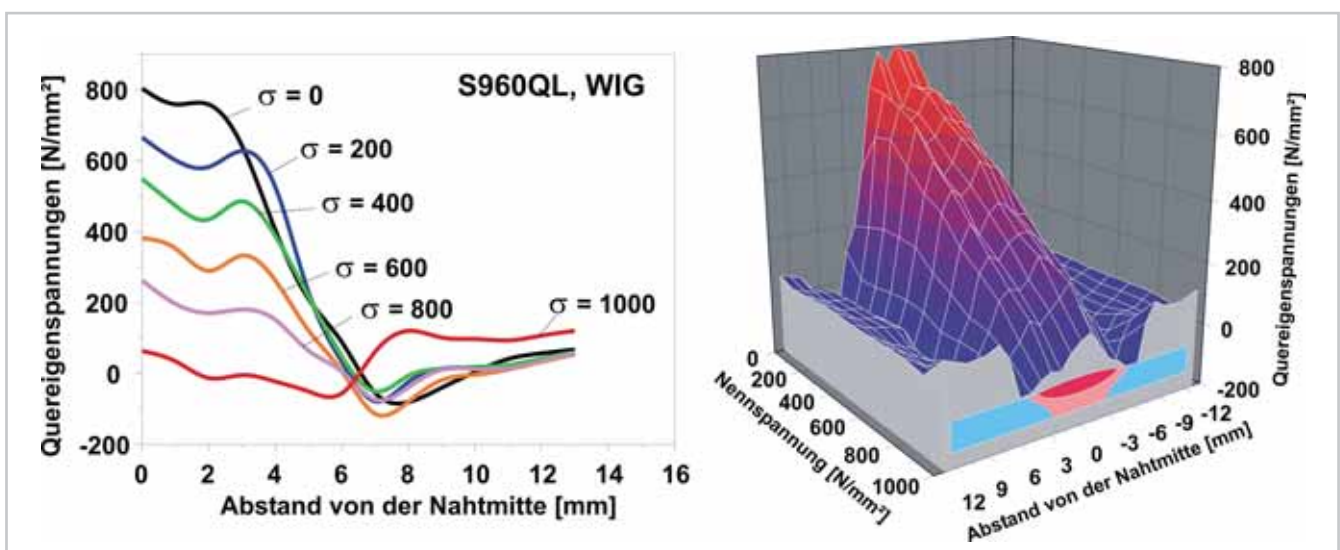


Abb. 2: Quereigenspannungsverteilungen um eine WIG-geschweißte Naht in einer Probe aus S960QL nach Zugbeanspruchungen in verschiedenen Laststufen.

IMPRESSUM

Herausgeber Institut für Füge- und Schweißtechnik **Verantwortlich** Prof. Dr.-Ing. K. Dilger **Redaktion** Dipl.-Ing. G. Hemken
Grafik B. Wolfrum **Anschrift** Langer Kamp 8, D-38106 Braunschweig **E-mail** ifs-bs@tu-braunschweig.de **www** ifs.tu-braunschweig.de