



Technische
Universität
Braunschweig

Institut für Füge- und
Schweißtechnik

ifs



report

5. Jahrgang | Ausgabe 1 | Juni 2010



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

Aktuelle Entwicklungen am ifs – Zukunftsaussichten

Sowohl die öffentliche Förderung als auch die bilaterale Forschung mit Unternehmen steigern sich seit über einem Jahr von Höhepunkt zu Höhepunkt. Darüber hinaus befinden sich etliche koordinierte Forschungsprogramme von Forschergruppen über Sonderforschungsbereiche bis hin zur Exzellenzinitiative unter Beteiligung des ifs in Vorbereitung.

Dies ist einerseits sehr schön, andererseits sind derzeit alle Mitarbeiter in hohem Maße gefordert. Wenn man jedoch die aktuelle Entwicklung in Wirtschaft und Politik betrachtet, ist es fragwürdig, ob auch noch in ein bis zwei Jahren ähnlich gute Voraussetzungen vorhanden sind. Aus diesem Grund ist es notwendig, heute alle Chancen zu nutzen, um die Zukunft zu sichern.

Mit dem jetzt erreichten hohen Niveau und der inzwischen hervorragenden Ausstattung am ifs sowie den gut ausgebildeten und hoch motivierten Mitarbeitern wird es uns gelingen, diese Herausforderung zu meistern. Eine Reduzierung der Belastung kann im Gegenteil sogar positiv sein, um Kreativität zu fördern und neue Kräfte zu schöpfen.

In diesem Sinne steht uns eine spannende Zukunft bevor, der wir mit Zuversicht entgegensehen.

Eigenstressabbau bei schwingbeanspruchten Schweißverbindungen aus hochfesten Stählen

Trotz eines gewachsenen Kenntnisstandes über die Entstehungsursachen von Eigenstressungen in Schweißverbindungen besteht immer noch die Frage, in welcher Form und in welchem Umfang Schweißstressungen für die Festigkeit einer Schweißkonstruktion, vor allem bei schwingender Beanspruchung, ihre Berücksichtigung finden sollen.

In einem von der DFG geförderten Projekt wurden umfangreiche Eigenstressmessungen in verschiedenen Bau- und Feinkornbaustählen – S235JRG2, S355J2G3, P460NL1, S690QL, S960QL und S1100QL – in Form von Klein- und Bauteilproben durchgeführt. Die Untersuchungen haben gezeigt:

- Mit zunehmender Streckgrenze nehmen die Schweißstressungen zu. Die Punkte, an denen die Eigenstressungen maximal sind, treffen nicht mit den Orten der größten Spannungskonzentration (Schweißnahtübergang) zusammen. (Bild 1).
- Die Maximalwerte der Eigenstressungen in kleinen Proben sind in der Regel deutlich geringer als die Streckgrenze. In Bauteil-

proben wurden vereinzelt Eigenstressungen vom Betrag der Streckgrenze des Grundwerkstoffes gemessen.

- Das Verhältnis Eigenstressung / Streckgrenze steigt also mit der Erhöhung der Streckgrenze. Dieses Verhältnis kann bei Bauteilen Werte von bis zu 0,8 erreichen.
- Eigenstressmessungen mittels Neutronenbeugung (Bild 2, unten) haben gezeigt, dass die höchsten Quereigenstressungen nur an der Oberfläche auftreten. In tieferen Schichten ($z = -1,7$ bis $z = -4,3$ mm) liegen demgegenüber Querdruckeigenstressungen vor. Die beidseitig der Schweißnaht auftretenden Längszug-eigenstressungen, die durch die Phasenumwandlungen in der Naht hervorgerufen werden, sind bis in größere Tiefen hinein relativ stabil.

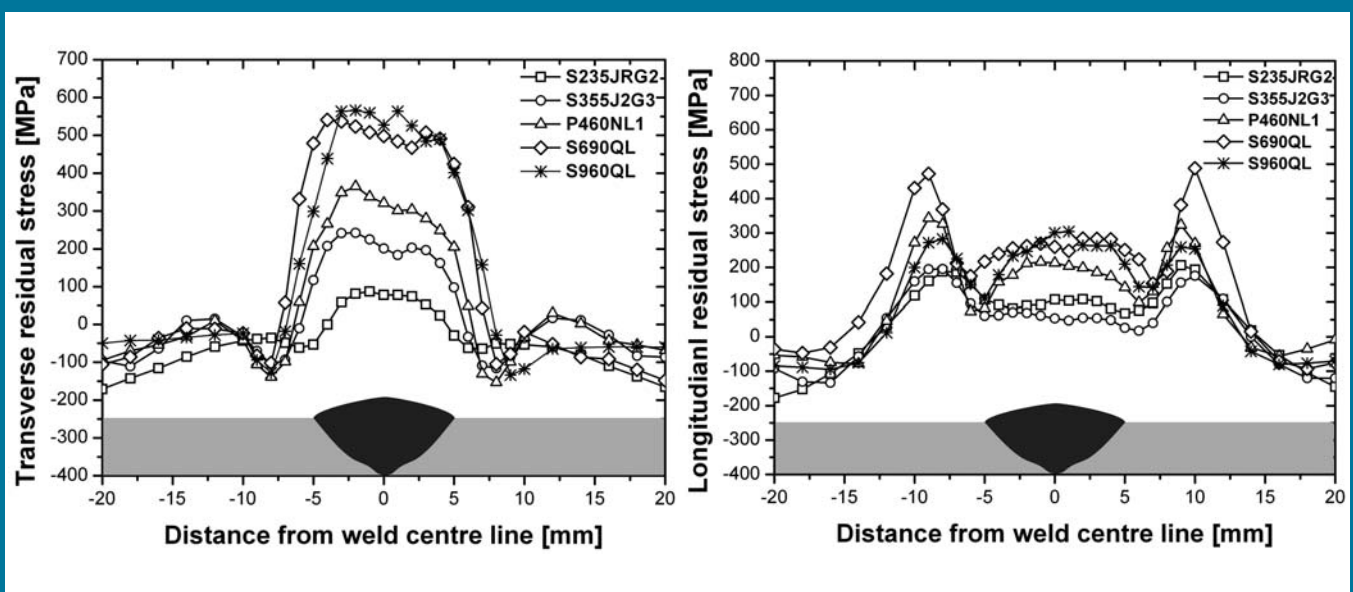


Bild 1 Mittelwertverläufe (15 bis 20 Proben pro Werkstoff) von Eigenstressmessungen in verschiedenen Bau- und Feinkornbaustählen. Quereigenstressung (links) und Längseigenstressung (rechts).

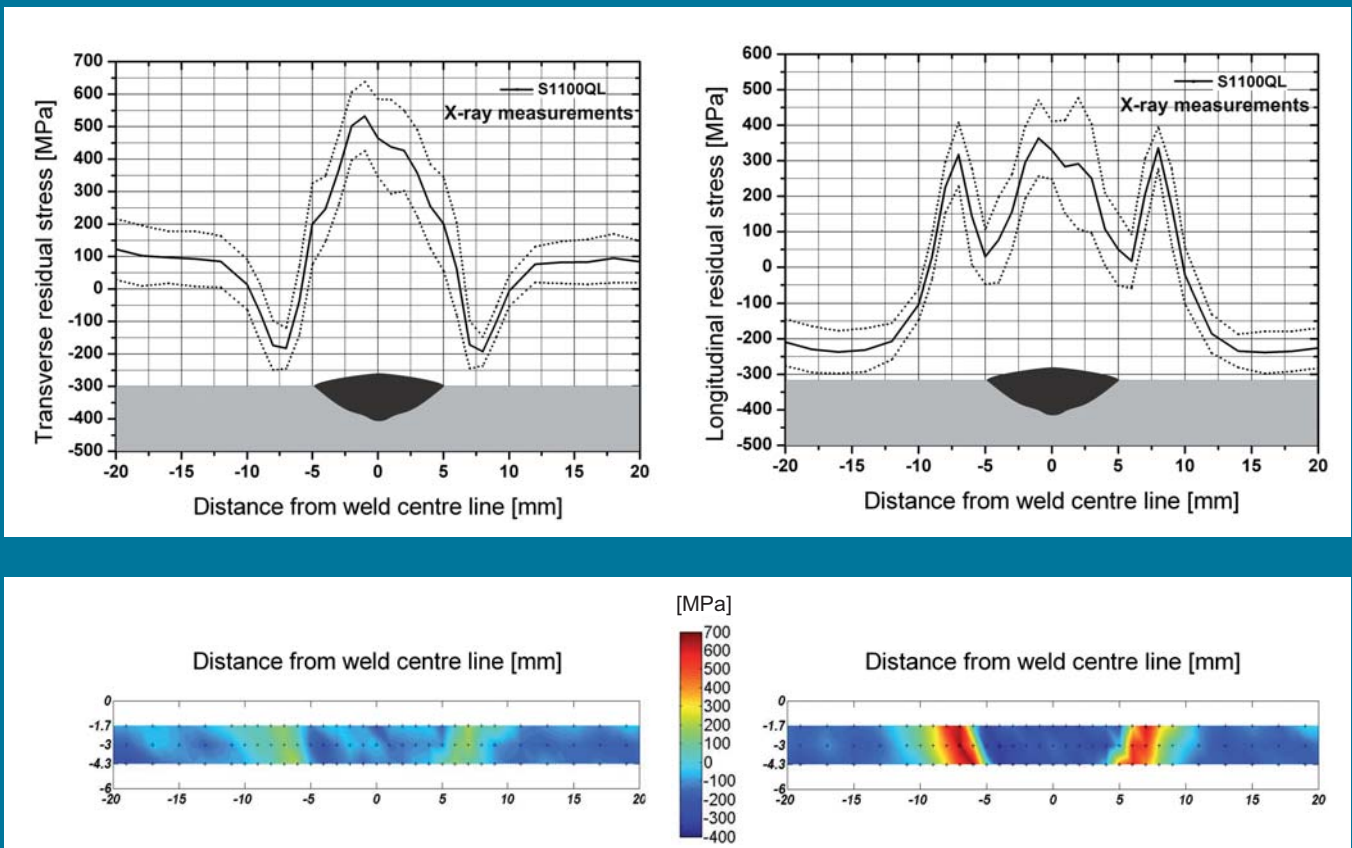


Bild 2 Mittelwert der Eigenspannungsmessungen in S1100QL mit Streuband in 15 Proben mittels Röntgenographie (oben), Eigenspannungsfeldmessungen in S1100QL mittels Neutronenbeugung (unten)

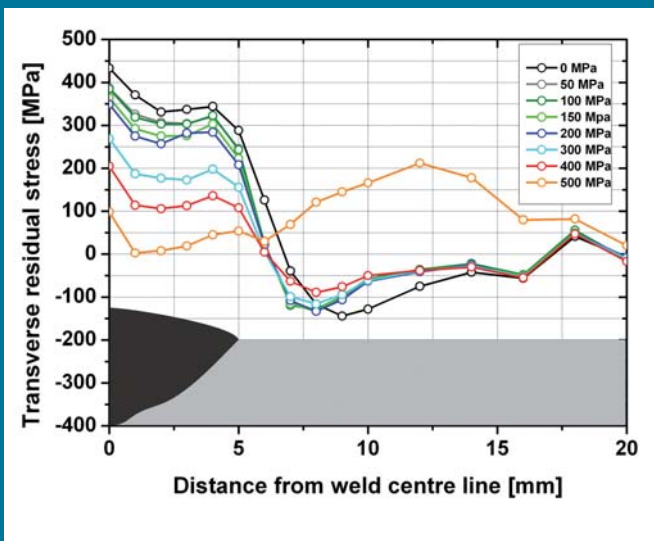


Bild 3 Quereigenspannungsabbau in P460NL1 unter quasistatischer Belastung

- Der Eigenspannungsabbau unter quasistatischer Zug- und Druckbelastung findet kontinuierlich statt. Die Relaxation der Zugeigenspannungen unter Druckbelastung setzt jedoch mit Verzögerung und nicht kontinuierlich wie unter Zugbeanspruchung ein (Bild 3).
- In allen Fällen findet innerhalb des ersten Lastzyklus der größte Eigenspannungsabbau statt. Die Relaxation ist sogar auf die erste Hälfte des ersten Lastzyklus begrenzt. Danach bleiben die Eigenspannungen entweder stabil oder werden mit einer deutlich niedrigeren Rate bis zum Bruch abgebaut.
- Unter zyklischer Beanspruchung liegen bei allen Werkstoffen nach dem ersten Lastwechsel bereits relativ stabile Eigenspannungen vor. Dies ist darauf zurückzuführen, dass am Nahtübergang bei den niedrigfesten Stählen praktisch kein und bei den hochfesten Stählen im Vergleich zur Streckgrenze ebenfalls nur sehr geringe Zugeigenspannungen vorzufinden sind und daher ein Abbau nicht erwartet werden kann (Bild 4).

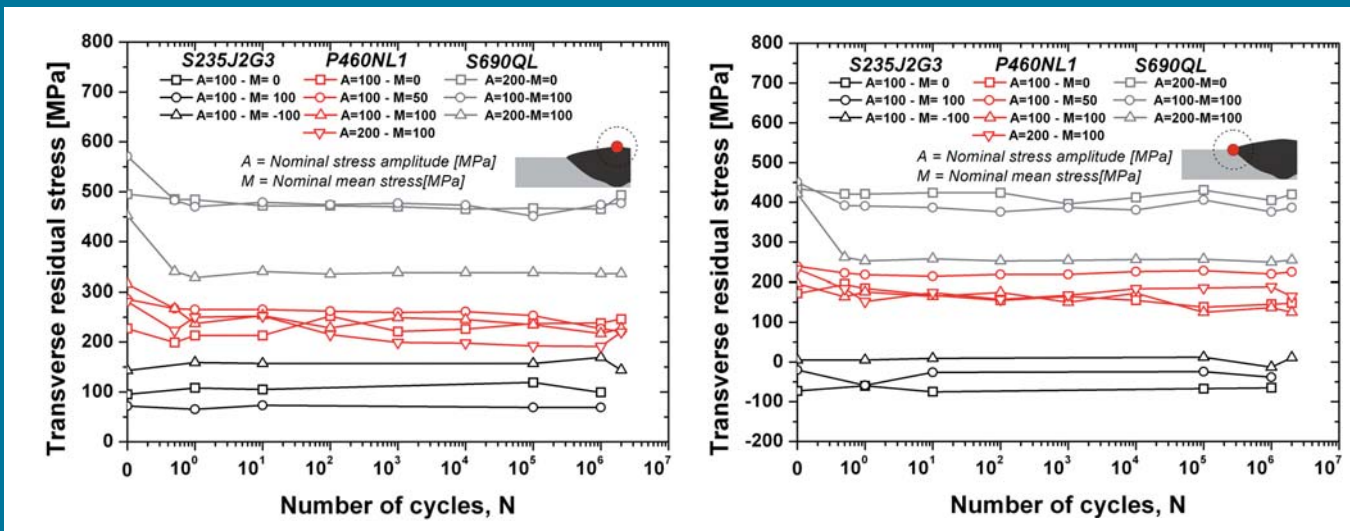


Bild 4 Quereigenspannungsabbau in der Schweißnahtmitte (links) und am Schweißnahtübergang (rechts) in verschiedenen Stählen unter verschiedenen Belastungen (High cycle fatigue)

Der Einfluss von Schweißeigenspannungen wird heutzutage in den aktuellen Bemessungsregeln werkstoffunabhängig berücksichtigt. Die bestehenden Unklarheiten und Unsicherheiten bei der Bewertung des Eigenspannungseinflusses auf die Bauteilsicherheit führen zu sehr konservativen Annahmen.

Es wurde in diesem Projekt gezeigt, dass ein differenzierter Blick gegenüber dem Eigenspannungszustand und dessen Verhalten unter Belastung erforderlich ist, um die daraus abzuleitende strukturelle Zuverlässigkeit abschätzen zu können.



Eine eigenspannungsfreie geschweißte Struktur ist physikalisch unmöglich und deshalb technisch nicht realisierbar. Die stets nur teilweise mögliche nachträgliche Verringerung von Eigenspannungen durch Nachbehandlungen ist in der Regel eine teure und zeitaufwendige Maßnahme.

Da Ingenieure und Konstrukteure für die Sicherheit der Bauteile und Strukturen verantwortlich sind, ist es von großem Interesse, die bestehenden Kenntnislücken hinsichtlich der Bedeutung von Schweißeigenspannungen und deren Verhalten auf Bauteile zu beseitigen.

Das vorgestellte Projekt wurde über eine dreijährige Laufzeit von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt und finanziell gefördert. Die Autoren danken der DFG für die großzügige Unterstützung.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Majid Farajian
m.farajian@tu-bs.de

Dr.-Ing. Thomas Nitschke-Pagel
t.pagel@tu-bs.de

Der Campus Forschungsflughafen und das „Bürgernahe Flugzeug“ am ifs

Am 06. November 2009 wurde mit einer feierlichen Veranstaltung der Campus Forschungsflughafen in Braunschweig eröffnet.

Im Rahmen dieser Institution werden insgesamt 13 Hochschulinstitute in den nächsten Jahren internationale Forschung im Bereich Luftfahrt betreiben. Unter diesen Instituten befindet sich auch das ifs, das im ersten gemeinsamen Projekt unter dem Titel „Bürgernahe Flugzeug“ mit einem Arbeitspaket zum Thema innovative Rumpfschalenkonzepte vertreten ist.

Das Bürgernahe Flugzeug beschreibt neuartige Konzepte (siehe Bild 1) in den Bereichen Flugverkehrsführung, Strömungsmechanik, Antriebstechnologie und Rumpfstruktur. Langfristig sollen Strategien für kurzstart- und landefähige Verkehrsflugzeuge entwickelt werden, die eine direkte Vernetzung von Metropolen bei einem geringen Flächenbedarf für Flugfelder ermöglichen sollen.

Das am ifs bearbeitete Teilprojekt beschäftigt sich mit intelligenten Leichtbauweisen und Flugzeugstrukturen, die sowohl neuartige

Leichtbau (IFL) sowie das Institut für Statik und Dynamik der Leibniz-Universität Hannover (ISD).

Die Anforderungen an solche Strukturen sind vielfältig. Es müssen sowohl die statische und dynamische Tragfähigkeit unter verschiedenen Belastungsmodi, der Faktor Leichtbau, als auch Aspekte wie Krafteinleitung, thermische und akustische Isolation, Schadenstoleranz, Wartbarkeit und Reparaturfähigkeit berücksichtigt werden.

Diese vielseitigen Anforderungen lassen sich nur durch den Einsatz verschiedenster Materialien erfüllen. Der damit verbundene Materialmix und die Möglichkeit zur optimierten Ausnutzung von Faserverbundwerkstoffen machen für die Herstellung der Struktur insbesondere die Fügetechnologie Kleben attraktiv. Das ifs beschäftigt sich mit der Entwicklung innovativer Konzepte und Technologien in den folgenden Bereichen:

- Optimierte Verfahren für wirtschaftliche Prozessierung und Fertigung der Rumpfstruktur
- Herstell- und Einsetzbarkeit lösbarer Klebverbindungen im Luftfahrtumfeld zur Verbesserung der Wart- und Reparierbarkeit
- Auswahl und Prozessierung geeigneter Materialien für einen Sandwich-Schaumkern
- Oberflächenvorbereitungsmethoden für Multimaterial-Sandwiches
- Verbesserte Eigenschaften mechanischer Fügeverbindungen durch Einsatz der Klebtechnik (Hybridfügen), siehe Bild 3

Konkrete Arbeitsbereiche sind beispielsweise das in-situ Schäumen von hochtemperaturbeständigen Schäumen sehr geringer Dichte, die Untersuchung verschiedener mechanischer Strahlverfahren zur Vorbehandlung sowie das Kleben mit Hochtemperaturthermoplasten.

Neben den Arbeiten am ifs werden außerdem die Möglichkeiten zur Simulation solcher Hybrid-Verbundwerkstoffe betrachtet. Dafür ist die Untersuchung und Simulation der Gesamtstruktur und des Schädigungsverhaltens insbesondere in hoch beanspruchten Bereichen entscheidend. Des Weiteren gilt es, Berechnungsmethoden und entsprechende Modelle zur Auslegung der Krafteinleitungsbereiche für die Verbindung der Sandwichelemente zu entwickeln.

Am Ende des Projektes soll ein full-scale Demonstratormodell einer Rumpfschale mit den entsprechenden Anforderungen einem dynamischen Langzeittest unterzogen werden, um somit die Simulationsergebnisse und das Gesamtkonzept überprüfen zu können.



Bild 1: Konzept Bürgernahe Flugzeug

Konzepte zur Funktionsintegration als auch innovative Ansätze für Krafteinleitung und Schadenserkennung ermöglichen. Projektpartner in Braunschweig sind das Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik des DLR (DLR-FA), das Institut für Flugzeugbau- und

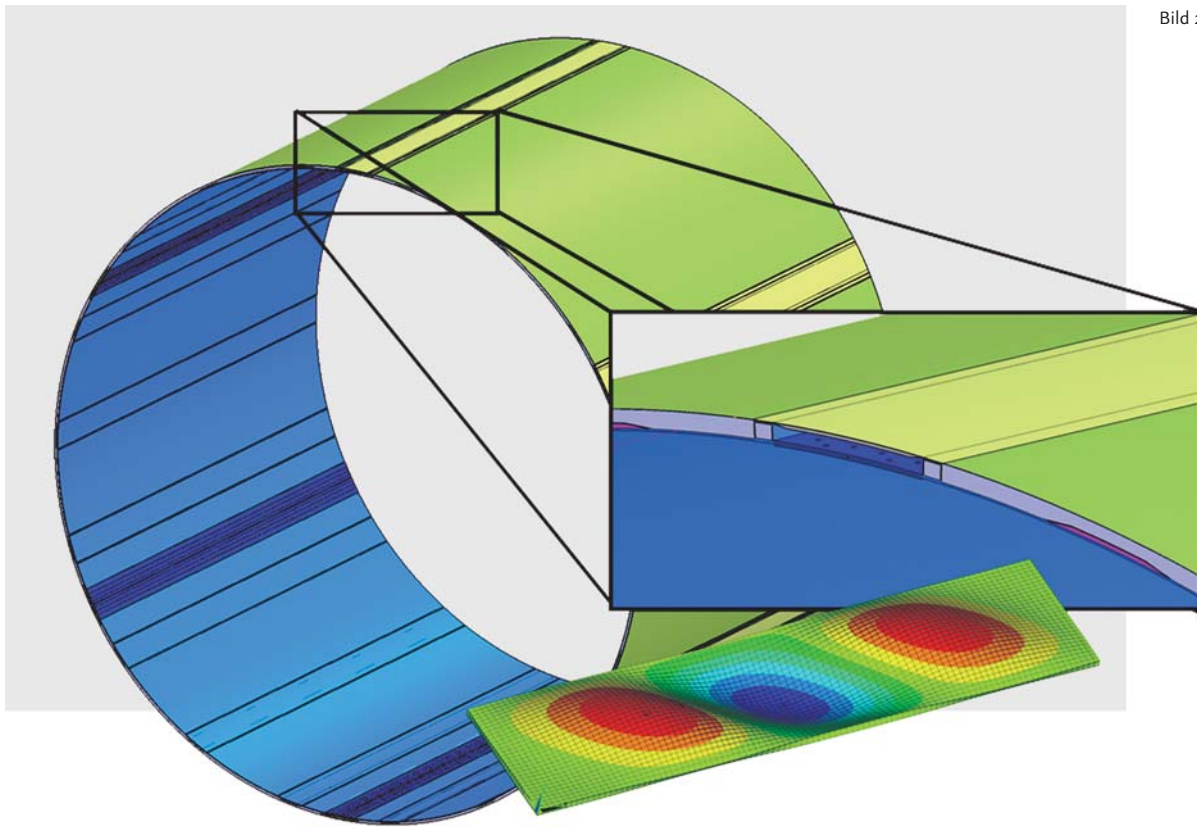


Bild 2 Schematische Darstellung der Rumpfstruktur, Belastung auf Beulen – FE Simulation [Quelle: IFL]

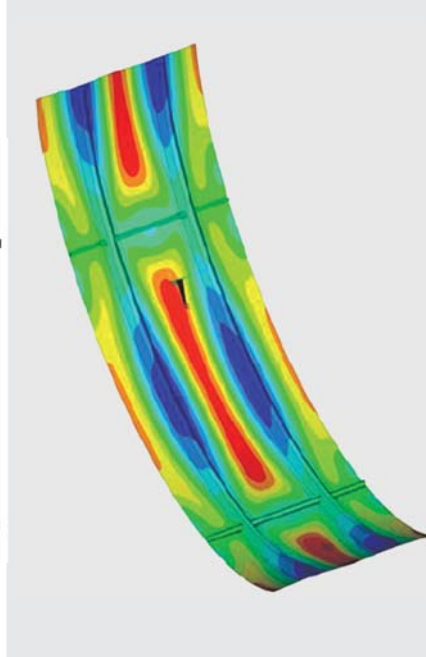
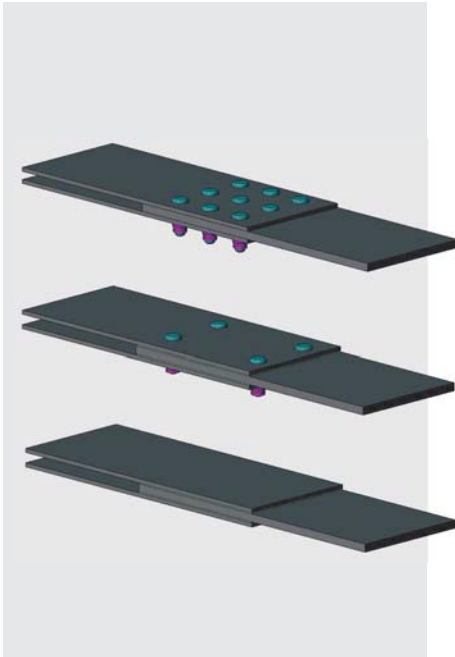
Darstellung erster Ergebnisse

Innovative Hybrid-Sandwichstruktur

Als Grundlage für die Auslegung und erste Dimensionierung der Struktur wurde eine Musterstruktur für eine Rumpfschale entwickelt, die aus einer die Hauptlast tragenden CFK-Innenhaut, einem Kern aus einem sehr leichten Strukturschaum und einer dünnen Aluminium-Außenhaut besteht. Eine schematische Darstellung der Struktur zeigen Bild 2 und Bild 4.

Diese Struktur hat gegenüber einer konventionellen Struktur aus Aluminium oder Faserverbundkunststoff einige entscheidende Vorteile:

- Durch den Schaumkern entsteht ein deutlich größeres Flächen trägheitsmoment der Rumpfstruktur bei gleichzeitig nur geringer Gewichtszunahme. Dadurch lässt sich ein drastisch verbessertes Steifigkeit-Gewicht Verhältnis realisieren.
- Das Sandwich ermöglicht die Integration von Stringern (Längsversteifungselemente) in die Außenhaut.
- Durch weniger Stringer reduzieren sich der Fertigungsaufwand und die Anzahl der Querstöße.
- Aluminium-Außenhaut und Schaumkern schützen die CFK-Innenhaut vor Impact-Schäden (z.B. Vogelschlag, Unfälle beim Beladen des Flugzeugs).
- In der dünnen Aluminium-Außenhaut sind Schäden besser detektierbar als in einer CFK-Rumpfschale.
- Gute Reparaturmöglichkeiten durch Ersetzen von Schaumsegmenten.
- Durch die außen aufgeklebten Schaum-Aluminium-Verbunde besteht die Möglichkeit eine außen niefreie Struktur zu erzeugen. Dies führt zu verbesserten aerodynamischen Eigenschaften.
- Die Aluminiumhaut trägt sekundär mit und erfüllt zahlreiche weitere Funktionen wie z. B.: Blitzschutz, Feuchtebarriere, Oxidationsschutz, Lackierfähigkeit etc.



Aktuelle Forschungstätigkeiten

Derzeit beschäftigt sich das ifs mit der Möglichkeit zur optimierten Prozessierung der dargestellten Sandwichschale. Dabei wird zum einen die Möglichkeit untersucht, die Klebverbindung zwischen Aluminium und Schaum lokal lösbar zu gestalten, um die Reparaturfähigkeit nach Impact Schäden herzustellen. Zum anderen beschäftigen sich laufende Untersuchungen damit, den Schaumkern in-situ in der Struktur herzustellen und direkt an die Schalen anzubinden.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Stefan Kreling
s.kreling@tu-bs.de

Dr.-Ing. Michael Frauenhofer
m.frauenhofer@tu-bs.de

Bild 3 Durch Einsatz einer Klebverbindung können insbesondere in den Lasteinleitungsbereichen Verbindungselemente eingespart werden [Quelle: ISD-Hannover]

Bild 4 FE-Simulation eines Hautschalenelementes mit Spanten [Quelle: IFL]



Qualitätssicherung bei der Handapplikation von Kleb- und Dichtstoffen mit Hilfe intelligenter Auftragspistolen

Strukturelles Kleben wird immer öfter in der Automobilindustrie eingesetzt und verdrängt herkömmliche Fügeverfahren.

Diesen Wandel vollziehen auch andere Industriezweige. Neben dem automatisierten Auftrag besitzt der manuelle Handauftrag einen großen Stellenwert.

Er ist eine der am häufigsten eingesetzten Auftragstechniken. Einsatz findet der Handauftrag unter anderem im Prototypenbau, in der Einzel- oder Kleinserienfertigung, im Schienenfahrzeugbau, Flugzeugbau und im Handwerk. Bild 1 zeigt eine typische Klebstoff-Handapplikation.



Bild 1 Klebstoffapplikation [Quelle: Sika]

Der handauftragende Werker benötigt ein spezifisches Fachwissen, um die Qualitätsstandards einzuhalten. Applikationsfehler können sowohl zu optischen Mängeln, als auch zur Verringerung der Festigkeit und zum vorzeitigen Versagen führen. Demnach ist der Fügeprozess sicherheitsrelevant.

Aktuelle Handauftragseinheiten fördern den Klebstoff mit einem konstanten Durchfluss. Die Geschwindigkeit des Auftrages beeinflusst in großem Maße die Raupendicke.

Der Werker allein kontrolliert die Menge und den Applikationsort der Kleb- oder Dichtstoffe. Aus diesem Grund sind nur geübte und erfahrene Werker in der Lage, eine annähernd konstante Raupen zu applizieren. Eine Änderung des zu applizierenden Mediums verändert das Auftragsverhalten. Dies kann zu weiteren Problemen wie z. B. Über-/Unterdosierungen führen. Die große Fehlerhäufigkeit beim Dosieren von Kleb- und Dichtstoffen verursacht vor allem bei mittelständischen Unternehmen überhöhte Produktionskosten.

Überdosierungen führen zu Verschmutzungen von Werkzeug und Werkstück und erfordern eine Nachbearbeitung. Zum Reinigen der Werkzeuge und Werkstücke müssen dann vielfach Lösungsmittel eingesetzt werden, die sowohl unter Umweltaspekten als auch unter physiologischen Gesichtspunkten oftmals sehr bedenklich sind. Darüber hinaus verursachen Lösungsmittel hohe Kosten für die Anschaffung und die fachgerechte Entsorgung, so dass Verschmutzungen auch aus wirtschaftlichen Gründen unbedingt vermieden werden sollten. Unterdosierungen führen zu Undichtigkeiten und Festigkeitsverlusten der Klebung. Dem Aspekt der Qualitätssicherung beim Handauftrag, der auch im industriellen Umfeld eine immer größere Relevanz erfährt, muss eine gesonderte Bedeutung zugemessen werden, da es zurzeit keine industrielle Methode gibt, Klebungen noch während des manuellen Applikationsprozesses zu prüfen. Diese Lücke schließt der geschwindigkeitsproportionale Handauftrag.

Sensorsysteme und Mikrocomputer bestimmen den Ort und die Geschwindigkeit der Handauftragseinheit und den nötigen Durchfluss, um eine optimale Raupe zu erzeugen. Der Applikationsort, den weiterhin der Werker vorgibt, wird mit einem Sollwert verglichen und Abweichungen dokumentiert. Eine vollständige Überprüfung der Qualität der Applikation erfolgt noch während des eigentlichen Prozesses.

Die Folge ist eine Qualitätssteigerung des Handauftrages und eine Reproduzierbarkeit der Fügung. Die Technologie basiert darauf, dass ein Inertialsystem bestehend aus drei einachsigen Beschleunigungssensoren und drei Drehratensensoren (z. B. Gyroskope oder Faserkreisel) ggf. auch mit zusätzlichen Magnetfeldsensoren durch zusätzliche gerichtete Strahlung (Laserstrahlung) Größen wie Abstand, Position, Raumwinkel oder Orientierung oder einer ihrer Änderungsgrößen bestimmen kann. Hierbei wird der gerichtete Strahl dem Inertialsystem nachgeführt. Ein Mikroprozessor berechnet aus diesen Messwerten die Geschwindigkeit und den Ort des Handapplikators. Einen Beispielarbeitsplatz zeigt Bild 2.

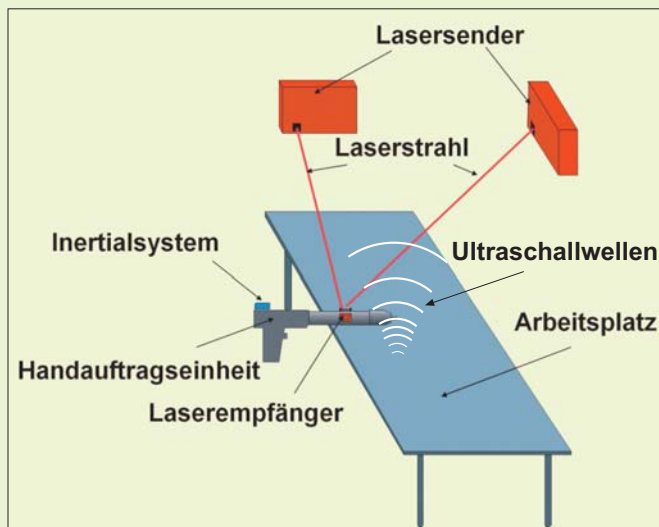


Bild 2 Arbeitsplatz

Das Geschwindigkeitssignal wird einer Excenter-Rotations-Verdrängerpumpe zugeführt, Bild 3. Diese ist in der Lage, ausreichend schnell auf Geschwindigkeitsänderungen des Werkers, bzw. des Handapplikators zu reagieren.



Bild 3 Unbeheizte Handauftragseinheit

Die Pumpe passt den Durchfluss auf die Geschwindigkeit an und erzeugt Klebstoffraupen mit einem konstanten Querschnitt. Diese Klebstoffraupe ist – unabhängig von der Geschwindigkeit des Werkers – immer reproduzierbar. Die Position der Raupe kann dabei erfasst und protokolliert werden. Ein Applikationssystem, welches mit dieser Technologie ausgestattet ist, erfüllt auch bei einer Handapplikation höchste Qualitätsstandards und ermöglicht eine Prozessdokumentation, die von internationalen Normen gefordert wird.

Die geschwindigkeitsproportionale Handauftragstechnologie ist sowohl für Fass- und Kartuschenentleerung, sowie für 1K und 2K erhältlich. Die Excenter-Rotations-Verdrängerpumpe sichert eine scherarme Förderung aller Medien. Neben einer Qualitätssteigerung durch einen Medien- und Werkerunabhängigen Prozess, führt eine deutliche Prozessgeschwindigkeitssteigerung und somit Durchsatz-erhöhung zu einer besseren Wirtschaftlichkeit der Handapplikation.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. (FH) Mark Hellmanns
m.hellmanns@tu-bs.de

Dr.-Ing. Michael Frauenhofer
m.frauenhofer@tu-bs.de

zurück geblickt . . .

DVS – FOSTA Forschungskolloquium

Schweißbedingter Verzug – Möglichkeiten der Vorausberechnung

Die Veranstaltung wurde am 22. April 2010 von der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. (FOSTA) und dem *ifs* ausgerichtet. Die Industrieunternehmen sowie eine Mehrzahl der 80 Teilnehmer hatten einen deutlichen Bedarf an praxistauglichen Methoden zur Schweißsimulation an komplexen Baugruppen formuliert.

Eine frühzeitige und rechnerische Ermittlung des Schweißverzugs in der Konstruktionsphase besitzt ein hohes Potential, durch eine Optimierung von Fertigungsabläufen Einsparungen zu erreichen. Die verfügbaren Methoden sind zwar im Bereich der Forschung weit entwickelt, werden aber in der Praxis nur vereinzelt angewendet.

Speziell für komplexe Strukturen verhindern die stark ansteigenden Berechnungszeiten einen Einsatz.

Um diese Anforderungen zur Nutzung der Schweißsimulation zu erfüllen, wurden umfangreiche Forschungsaktivitäten initiiert. In dem Verbundprojekt „Anwendungsnahe Schweißsimulation komplexer Bauteile“ mit vier Teilprojekten haben die beteiligten Forschungsstellen im Zeitraum von 2007 - 2010 rechnerische und experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Die Entwicklung und Qualifizierung von Methoden zur Rechenzeitreduzierung war somit auch ein

Hauptziel dieser Forschungsarbeiten. Zusätzlich wurden verschiedene Problemstellungen wie z. B. Fragen der Spanntechnik und des Heftens sowie der Sensibilität von Berechnungsergebnissen betrachtet.

Alle rechnerischen Arbeiten sind mit Hilfe experimenteller Daten aus Versuchen mit Probekörpern und Bauteilstrukturen unterschiedlicher Komplexität abgesichert worden. Damit sind die Möglichkeiten und Anwendungsgrenzen der rechnerischen Verzugbestimmung der einzelnen Konzepte ermittelt.

MaVo

Glückwünsche zur Promotion

Michael Frauenhofer

„Schnellhärtung struktureller Verbundklebungen mittels elektromagnetischer Wechselfelder“



Referenten: Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger
Prof. Dr.-Ing. Arno Kwade

Danksagung

Stefan Böhm



Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Stefan Böhm, seit Juli 2009 Universitätsprofessor an der TU Braunschweig, Lehrstuhl für Aufbau- und Verbindungstechnik, hat zum 01.04.2010 einen Ruf an das Institut für Produktionstechnik und Logistik (IPL) der Universität Kassel angenommen. Prof. Böhm wird in Kassel auf dem Fachgebiet Trennende und Fügende Fertigungsverfahren forschen und lehren.

Nachdem er seit 2003 als Juniorprofessor das neugeschaffene Fachgebiet Mikrofügen am *ifs* aufgebaut hatte, hat er zahlreiche Funktionen am Institut und an der Universität übernommen, wie z. B. die Leitung der Promotionskommission der Fakultät für Maschinenbau.

Für sein tatkräftiges und erfolgreiches Engagement für das *ifs* sprechen der Institutsleiter Prof. Dilger sowie alle Mitstreiter Dank und Anerkennung aus.

Die neuen Ansprechpartner für die von Prof. Böhm betreuten Fachgebiete sind:

Klebtechnik	Dr. Frauenhofer
Stahltechnik	Dr. Pries
Mikrofügen	Prof. Dilger

GrHe



Technische Universität Braunschweig
Institut für Füge- und Schweißtechnik
Geschäftsführender Leiter
Universitätsprofessor Dr.-Ing. K. Dilger

Langer Kamp 8
38106 Braunschweig
Deutschland

Tel. +49 (0) 531 391-7820
Fax +49 (0) 531 391-5834

E-Mail: ifs-bs@tu-braunschweig.de
www.ifs.tu-braunschweig.de

IMPRESSUM

Herausgeber: Institut für Füge- und Schweißtechnik
Verantwortlich: K. Dilger
Redaktion: G. Hemken
Grafik: B. Wolfrum