

BERICHTE

aus der Stahlanwendungsforschung

Steel Application Research **Reports**



Ausgabe / Edition 2/2015

Inhalt / Content

Neue Forschungsberichte

New Research Reports:

- P 834** Schraubenverbindungen im Stahl- und Verbundbau
Bolted connections in steel and composite buildings
- P 751** Tragfähigkeit von geschweißten Knoten
Load bearing capacity of welded T-joints
- P 875** MSG-Dickdrahtschweißen von unlegierten Stählen
Thick-wire gas metal arc welding of unalloyed steels
- P 820** Solarabsorber in Stahlbauweise
Solar absorbers in steel design
- P 838** Hybridschweißverfahren für hochfeste Feinkornbaustähle
Hybrid welding process for high strength fine grain steels
- P 922** Eigenspannungen und Kaltrissicherheit in geschweißten Konstruktionen
Residual stress and cold cracking resistance in welded constructions
- P 830** Schädigung beim Scherschneiden
Damage of the sheared edge

Nachlesen / Read up:

Neue Forschungsanträge - Bilanz 2015 des Kuratoriums der FOSTA / New research proposals - End result 2015 of Advisory Council of FOSTA

Vorankündigungen von Veranstaltungen / Preview of conferences



Innovation zum anfassen: Feuerverzinkte Stahl- und Verbundbrücken auf dem Innovationstag des BMWi

Mit einer Leistungsschau "im Grünen" präsentierten sich am 11. Juni 2015 rd. 300 Aussteller unterschiedlichster Branchen auf dem 22. Innovationstag Mittelstand des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) in Berlin.

Die Stahlindustrie und die Verzinkungsindustrie stellten ihre innovativen Forschungsergebnisse zum Einsatz der Feuerverzinkung im Stahl- und Verbundbrückenbau mit Hilfe von Großexponaten und umfangreichem Informationsmaterial aus. Auf diesem Weg konnten den Besuchern aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft die Vorzüge dieser nachhaltigen Bauweise praxisnah verdeutlicht werden.

Matthias Machnig, Staatssekretär im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, diskutierte mit Forschern und Industrievertretern über den Einsatz von feuerverzinkten Stahl- und Verbundbrücken als Lösung der aktuellen Herausforderungen im Brückenbau. Er zeigte sich beeindruckt von den wirtschaftlichen Vorzügen dieser Bauweise.

Es wurde deutlich, dass die verzinkte Ausführung von Brücken bereits bei den Erstkosten wirtschaftlicher als herkömmliche Beschichtungen sein kann. Die Lebenszykluskosten dieser Bauwerke können

Fortsetzung auf Seite 14 / continued on page 14



Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V.
Research Association for Steel Application

AF Mitglied

Neue Forschungsberichte

Untersuchung von Schraubenverbindungen im Stahl- und Verbundbau zur Schaffung von Regeln für die numerische Bemessung des baulichen Brandschutzes im Hochbau (P 834)

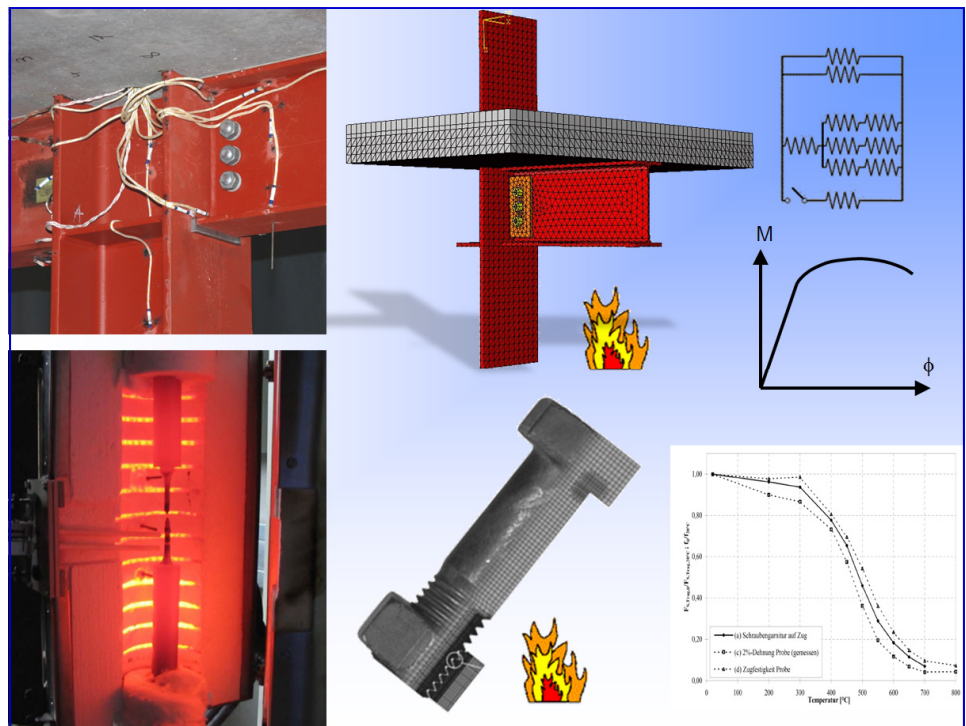
Im vorliegenden Forschungsprojekt werden Anschlüsse im Stahl- und Verbundbau mit hochfesten Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 im Brandfall untersucht. Mit Einführung der Komponentenmethode ist es heute möglich, Gesamttragwerke bei Raumtemperatur unter Berücksichtigung des Anschlussverhaltens zu simulieren. Im Brandfall ist dies bislang nicht möglich, da zum einen eine Umsetzung der Komponentenmethode oder eines vergleichbaren numerischen Modells für den Brandfall fehlt und zum anderen bislang keine validierten Materialgesetze für hochfeste Schrauben im Brandfall zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund werden auf Basis von Versuchsreihen zunächst Materialkennwerte für hochfeste Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 während und nach einem Brand entwickelt. Darunter fällt sowohl die Untersuchung des reinen Schraubenmaterials mittels stationärer und instationärer Warmzugversuche als auch die Untersuchung von Schraubengarnituren in Zug- und Abscherversuchen. Bei letzteren hat neben dem Material auch die Schraubengeometrie einen großen Einfluss auf das Verhalten.

Im Rahmen der Untersuchungen zeigt sich, dass die Schrauben im Temperaturbereich bis 420°C durch das übliche Gewindeabstreifen versagen. Im Temperaturbereich von 420°C bis 650°C versagen die Schrauben hingegen infolge eines Risses im Gewindegrund. Es kann gezeigt werden, dass dieser Riss auf flüssigmetallinduzierte Spannungsrisskorrosion (LME) zurückzuführen ist. Oberhalb von 650°C versagen die Schrauben infolge von Flankenbiegung. Als Ergebnis der Materialuntersuchungen stehen damit zukünftig validierte Materialkennwerte für die Modellierung von Schrauben innerhalb von Anschlussimulationen zur Verfügung, welche die verschiedenen Versagensformen bei unterschiedlichen Temperaturen berücksichtigen. Zusätzlich werden thermische und mechanisch numerische Modelle entwickelt, mit denen das Verhalten von Kopfplatten und Fahnenblehanschlüssen im Stahl- und Verbundbau beschrieben werden kann. Die Modelle werden durch Brandversuche an zwei hochbauüblichen Anschlüssen

New Research Reports

Assessment of bolted connections in steel and composite buildings as basis for the design of fire safe structures (P 834)

In this research project, investigations in the behaviour of connections in steel and composite structures with grade 10.9 high strength bolts in fire are conducted. Recently, a global approach in analysing the behaviour of buildings, taking into account the whole structure including connection behaviour, is becoming suitable for practical application at ambient temperature. In fire situation this is not the case because the component method for the design of connections is not valid for elevated temperatures. In addition there are no validated material properties for grade 10.9 high strength bolts in fire available. The first aim of this project is to determine material properties for these high strength bolts during and after fire. For this reason material tests with fixed and transient temperatures, as well as tests with axially and transversally loaded bolts are conducted.



The investigations show that at temperatures up to 420°C bolts fail by stripping of the thread, which is usual at ambient temperatures. At temperatures between 420°C and 650°C the bolts fail due to a crack in the root of the thread. This failure is caused by liquid metal embrittlement (LME). Above temperatures of about 650°C, bolts fail by stripping bending of the thread. So the results of this part of the project are validated temperature and time dependent material and bolt properties, which take into account these different failure modes at different temperatures. In the second part of the project thermal and mechanical numerical models

validiert. Innerhalb der Versuche und der numerischen Modelle wird dabei ein Temperaturfeld berücksichtigt, welches auf der Einheits-Temperaturzeitkurve und einer typischen Brandschutzbeschichtung durch einen dämmschichtbildenden Anstrich basiert. Es werden ein Kopfplattenanschluss im Stahlbau und ein Fahnenblechanschluss im Verbundbau untersucht. Im Falle des Fahnenblechanschlusses wird bei Raumtemperatur davon ausgegangen, dass es sich um einen gelenkigen Anschluss handelt. Es wird gezeigt, dass sich eine Momenten Tragfähigkeit im Brandfall einstellen kann, sofern dem vorzeitigen Versagen der durchlaufenden Bewehrung vorgebeugt wird. Für die beiden Anschlussarten werden schließlich auf Basis der Komponentenmethode vereinfachte Federmodelle entwickelt, mit denen Steifigkeit und Tragfähigkeit der Anschlüsse im Brandfall ermittelt werden können.

Zusammenfassend ist es zukünftig möglich, auf Basis von validierten Schraubeneigenschaften mittels Finite-Elemente- oder Federmodellen das Verhalten von Anschlüssen im Brandfall zu beschreiben und in Tragwerksberechnungen zu berücksichtigen.

Das IGF-Vorhaben 16586 N der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Das Vorhaben wurde an der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover vom Institut für Stahlbau und an der Technischen Universität Darmstadt vom Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik durchgeführt.

Der Abschlussbericht umfasst 482 Seiten und enthält 464 Abbildungen und Tabellen.

Schutzgebühr: € 46,00 inkl. MWSt. zzgl. Versandkosten, ISBN 978-3-942541-47-3

Dr. Gregor Nüsse M.Sc.

Bestimmung der Tragfähigkeit von geschweißten T-Knoten aus kaltgeformten Hohlprofilen mit dreiecksförmigen Querschnitten (P 751)

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wird das Tragverhalten von T-Knoten mit Gurten aus dreieckigen Hohlprofilen und Streben aus rechteckigen (RHP) sowie dreieckigen Hohlprofilen untersucht. Neben der Knoten Tragfähigkeit werden auch architektonische und ökonomische Aspekte betrachtet. Triangular Hollow Sections (THS) sind neu entwickelte Querschnitte, bei denen Erkenntnisse zum Tragverhalten bislang ledig-

are developed, which are able to simulate the behaviour of endplate and fin plate connections in steel and composite constructions. These models are validated by two full scale fire tests with common connections. Within the tests and the simulations, transient temperature fields based on the ISO-fire curve and usual fire protection by intumescent coating are taken into account. An endplate connection within a steel structure and a fin plate connection within a composite structure are investigated. The fin plate connection is usually considered as being a pinned connection at ambient temperatures. It is shown in this project that a significant moment resistance can be activated in fire, if early failure of the reinforcement is prevented. Additionally, spring models, based on the component method, are developed, which can be used to determine the strength and stiffness for both connection types in fire situation.

Based on the results of this research project, it will be possible to determine the moment-rotation-behaviour of different connections in fire to use them in a global structural analysis. This connection behaviour can be determined by finite element or spring models, both based on validated bolt properties.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

The research project (IGF-Nr. 16586 N) was carried out at Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover vom Institut für Stahlbau und an der Technischen Universität Darmstadt vom Institut für Stahlbau und

Werkstoffmechanik. FOSTA has accompanied the research project work and has organized the project funding from the Federal Ministry of Economics and Technology through the AiF as part of the programme for promoting industrial cooperation research (IGF) in accordance with a resolution of the German parliament.

The final report contains 482 pages with 464 figures/tables.

Fee: € 46.00 incl. VAT plus mailing expenses
ISBN 978-3-942541-47-3

Dr. Gregor Nüsse M.Sc.

Load bearing capacity of welded T-joints with chord members made of cold-formed triangular hollow sections (P 751)

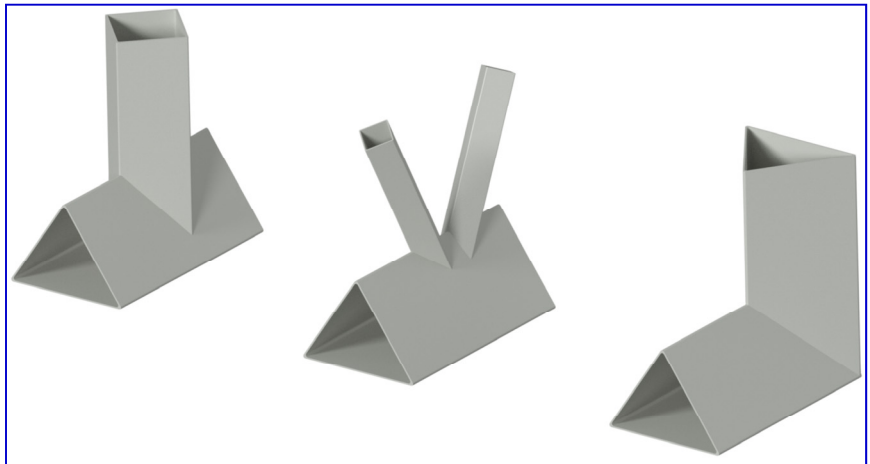
In the frame of this project, T-joints with chord members made of triangular hollow sections (THS) and braces made of rectangular hollow sections (RHS) are investigated. Besides technical and mechanical aspects architectural and economic aspects are covered also. Triangular hollow sections are newly developed. Used in open-web girders, they provide advantageous bearing-capacity of joints due to their high joint-rigidity. Design approaches for joints with triangular shaped

lich auf sogenannten „Bird Beak“- und „Diamond Bird Beak“-Knoten aufgebaut werden konnten. Diese weisen zwar eine geometrische Ähnlichkeit auf, das Gurtprofil ist jedoch kein dreieckiges, sondern ein um 45° um die Längsachse gedrehtes, quadratisches Hohlprofil. Auf Grundlage experimenteller und numerischer Untersuchungen, die in den 90-iger Jahren zu diesen Knotenformen durchgeführt wurden und auf Basis der Vorgehensweise, die zu den Bemessungsvorschriften der DIN EN 1993-1-8 von T-Knoten aus Rechteckhohlprofilen geführt haben, werden die experimentellen, numerischen und analytischen Untersuchungen für die neuartigen THS T-Knoten festgelegt. Ein numerisches Modell für THS T-Knoten wird für die Parameterstudien erarbeitet und anhand von Vorversuchen sowie mit Hilfe von experimentellen Untersuchungen von Hohlprofilknoten aus RHP validiert. Basierend auf diesem Modell wird anschließend eine Parameterstudie durchgeführt. Mit den numerischen Untersuchungen werden zum einen die maximalen Knotenwiderstände

und zum anderen Knotenwiderstände basierend auf einem Deformationskriterium ermittelt. Das für Hohlprofilknoten allgemein anerkannte Deformationskriterium, welches den Knotenwiderstand bei einer maximalen Eindrückung von 3% der Gurtbreite b_0 oder des -durchmessers d_0 begrenzt, ist bei T-Knoten aus THS Gurten nicht anwendbar. Daher werden die numerischen Ergebnisse zusätzlich auf ein sinnvolles Deformationskriterium hin untersucht und schließlich eine maximale Eindrückung von 1% der Gurtprofilbreite b_0 als Deformationskriterium vorgeschlagen. Für T-Knoten mit

THS Gurten und RHP Streben werden zwei analytische Modelle angegeben. Für Streben, deren Flansche parallel zur Gurtlängsachse angeordnet sind, wird der Knotenwiderstand mit einem Fließlinienmodell ermittelt. Für Knoten mit um 45° um die Strebenlängsachse gedrehte Streben erfolgt die Ermittlung des Knotenwiderstands auf Grundlage eines Modells der mitwirkenden Breite, welches ebenfalls in DIN EN 1993-1-8 angewendet wird. Zusätzlich erfolgt ein Vergleich der numerisch und der analytisch ermittelten Knotenwiderstände. Neben den numerischen und den analytischen Untersuchungen werden auch experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Diese werden hinsichtlich des Knotenwiderstands, der Verformungen und der beobachteten Versagensmodi ausgewertet. Um die ästhetischen sowie die wirtschaftlichen Aspekte von Tragwerken aus dreieckigen Hohlprofilquerschnitten zu untersuchen, werden Hallentragwerke mit zwei verschiedenen Fachwerkträgern und einem Viereck-System detailliert betrachtet. Die Bemessung erfolgt für Querschnitte aus Baustahl S355 als auch aus einem höherfesten Stahl S460. Auf Grundlage dieser Bemessungen wird die Wirtschaftlichkeit an-

chord sections are completely missing so far. Thus, the design of T-joints with THS simplifying follows the well-known design approach of the so-called “Bird Beak” and “Diamond Bird Beak” joints. The latter are similar to THS joints, but consist of chord members with quadratic hollow sections rotated 45° about their longitudinal axis. The research therefore focuses on T-joints with THS carrying out intensive analytical, experimental and numerical investigations to analyse the load-bearing properties in detail. New design approaches are derived accounting for the general design procedures of EN 1993-1-8 and considering the investigations of BB and DBB-joints in the nineties. Firstly, FE-models of T-joints with THS chords are developed and calibrated to the results of preliminary tests followed by FE-simulations and further parametric FE-studies. On the one hand, ultimate bearing capacities of T-joints are calculated. On the other hand, service loads are determined which comply with defined deformation criteria. The deformation criteria typi-



cally used for BB- and DBB-joints limits the local sections' indentations to a maximum value of 3% related to the chord widths b_0 and the chord diameter d_0 , respectively. Due to the high rigidity of joints with THS the established 3% deformation criteria cannot be adopted. According to the numerical simulations carried out in this project a reduction to a limit of 1% b_0 (section widths) is required, which is therefore proposed as a design criteria for THS. Secondly, analytical models of T-joints with THS chords and RHS braces are derived. An analytic model based on a plastic limit analysis according to DIN EN 1993-1-8 is introduced for braces with flanges parallel to the chord's longitudinal axis. Regarding T-joints with braces rotated 45° about their longitudinal axis, the load capacity of T-joints is determined based on an effective widths' model according to DIN EN 1993-1-8. The results of the new design approaches are verified by FE-simulations and tests. Finally, two case studies are prepared to study the technical, architectural and economic aspects of THS applications. Beside the use of structural steel S355 the use of high-strength steel S460 comes out to be economic. Further cost-analysis

hand der drei Kostenkategorien Materialverbrauch, Schweiß- und Zuschnittarbeiten evaluiert. Es zeigt sich, dass die Verwendung von THS-Profilen wirtschaftliche Vorteile bringen kann.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 15379 N der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Das Vorhaben wurde an der Technischen Universität Dortmund vom Lehrstuhl Stahlbau, am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine und an der Technischen Universität Dortmund vom Lehrstuhl für Entwerfen und Industriebau durchgeführt.

Der Abschlussbericht umfasst 274 Seiten und enthält 248 Abbildungen und Tabellen.

Schutzgebühr: € 25,50 inkl. MWSt. zzgl. Versandkosten, ISBN 978-3-942541-45-9

Dr. Gregor Nüsse M.Sc.

includes the most relevant cost types such as material usage, welding and cutting work. Concluding, the use of THS sections is proved to be economically advantageous.

The research project (IGF-Nr. 16603 N) was carried out at Technischen Universität Dortmund, Lehrstuhl Stahlbau, at Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine and at Technischen Universität Dortmund, Lehrstuhl für Entwerfen und Industriebau. FOSTA has accompanied the research project work and has organized the project funding from the Federal Ministry of Economics and Technology through the AiF as part of the programme for promoting industrial cooperation research (IGF) in accordance with a resolution of the German parliament.

The final report contains 274 pages with 248 figures/tables.

Fee: € 25.50 incl. VAT plus mailing expenses
ISBN 978-3-942541-45-9

Dr. Gregor Nüsse M.Sc.

MSG-Dickdrahtschweißen von unlegierten Stählen (P 875)

Innerhalb des Projektes wurden grundlegende Untersuchungen zum MSG-Schweißen mit „dicken“ Drahtelektroden bis zu 4 mm durchgeführt. Die Versuchsschweißungen zur Untersuchung des Prozesses erfolgten mit Massivdrahtelektroden auf einem rohrförmigen Probekörper aus niedrig legiertem Stahl als Auftragsraupen mit der CV- und CC-Charakteristik.

Bei den Schweißungen wurden die Strom- und Spannungswerte aufgezeichnet sowie synchronisierte Hochgeschwindigkeitsaufnahmen durchgeführt. Diese dienten der Betrachtung und Beurteilung von Tropfenentstehung, -ablösung und der Lichtbogenausbildung.

Die Auswertung der Hochgeschwindigkeitsaufnahmen zeigte, dass eine schweißleistungsabhängige Einteilung, wie vom MSG-Schweißen mit Drahtdurchmesser bis 1,6 mm bekannt ist, in Kurz-, Übergangs- und Sprühlichtbogen mit Drahtdurchmessern > 3 mm nicht möglich ist. Ein sehr kurzer Lichtbogen, der unterhalb der Blechoberfläche brennt, erwies sich in allen Leistungsbereichen als vorteilhaft. Die Spritzerbildung ist dadurch reduziert. Bei langen Lichtbögen, die aus der Blechoberfläche heraustreten, wird das Schweißgut aus dem Bereich der Fügezone verdrängt und es kommt zum Schneideffekt.

Weiterhin konnte festgestellt werden, dass prinzipiell

Thick-wire gas metal arc welding of unalloyed steels (P 875)

Within the project, fundamental investigations on gas metal arc welding (GMAW) with thick electrodes of up to 4 mm have been made. Solid wire electrodes on tubular specimens of low alloy steel with CV- and CC-characteristic lines have been used to obtain welding beads by welding tests.

For the welding experiments, current and voltage have been recorded and synchronized high-speed imaging was performed. These values have been used to analyse droplet formation, and detachment, as well as arc formation.

Analysis of high-speed imaging showed, that a welding-power related classification, as known from SMAW with wire diameters up to 1.6 mm, in short-, transition-, and spray arc is not possible with wire diameters of > 3 mm.

A very short arc, placed below the metal sheet surface, has been proved to be beneficial in all power-ranges. Spattering could be reduced by this measure. The weld metal is driven out of the joining zone by long arcs, which emerge from the sheet metal surface. This gives rise to the cutting effect.

Furthermore, it could be observed, that both power source characteristics can be used in general. However, when compared with the CV-characteristic, the CC-mode yields a significantly more stable process and

beide Stromquellenkennlinien verwendbar sind. Beim Vergleich der Kennlinien wird mit der CC-Kennlinie ein wesentlich stabilerer Prozess erzeugt. Außerdem ist die Spritzerbildung geringer als bei Verwendung der CV-Kennlinie. Bei jeder Tropfenablösung ändert sich die Lichtbogenlänge, die durch die Regelung der Stromquelle ausgeglichen wird. Eine ΔU -Regelung verursacht eine Spannungsänderung, die sich auf eine spritzerarme Tropfenablösung positiv auswirkt. Hingegen verursacht die ΔI -Regelung bei einer Lichtbogenlängenänderung durch die Tropfenablösung Stromschwankungen von bis zu 400 A, was dazu führt, dass der Tropfen regelrecht weggesprengt wird. Für die Verbindungsschweißungen wurde deshalb mit der CC-Kennlinie gearbeitet.

Durch Zumischung von 30 % Ar ins CO_2 konnte nochmals die Spritzerbildung reduziert werden. Höhere Anteile an Ar waren nicht zielführend. Aufgrund der kurzen, unterhalb der Blechoberflächen brennenden Lichtbögen ist das Lichtbogenplasma metall-dampfdominiert. Es bestimmt die Einbrandform und die Tropfenablösung. Durch die Änderung der Streckenenergie kann der Einbrand beeinflusst werden. Bei gleicher Schweißleistung lassen sich mit Reduzierung des Drahtdurchmessers Einbrand und Abschmelzleistung steigern. Ursache dafür ist die höhere Stromdichte.

Als Faustregel gilt: Drahtdurchmesser mal 200 ist die einstellbare Schweißstromstärke, bei der ein stabiler Prozess und akzeptable Schweißnähte erzeugt werden (3,2 mm Draht entspricht etwa 640 A). Dadurch sind Abschmelzleistungen von über 8 kg/h erreichbar.

Verbindungsschweißungen wurden an Blechen mit den Dicken 12, 15 und 20 mm durchgeführt. Dazu wurde eine 4,0 mm Elektrode der Güte G3Si1 eingesetzt. Da keine weiteren Drahtgüten zur Verfügung standen, wurde in Abstimmung mit dem pbA auf Schweißungen mit den Werkstoffen S460M und S690QL verzichtet. Dafür wurde ein erhöhter Arbeitsaufwand für die Prozessanalyse und -beurteilung betrieben.

Die Sichtprüfungen sowie die Farbeindringprüfungen ergaben, dass die Schweißnähte hinsichtlich der Oberfläche in Bezug auf Einbrandkerben, Oberflächenporen und Risse bis auf wenige Ausnahmen eine hohe Qualität aufwiesen.

Bei der Durchstrahlungsprüfung wurde festgestellt, dass aufgrund einer diskontinuierlichen Drahtförderung Poren im Nahtinneren entstanden sind. Im Projekt konnten trotzdem porenfreie Nähte erzeugt werden.

splattering is reduced. Every detachment of a droplet alters the arc length. These changes were compensated by regulations of the power source. The CC-characteristic regulates the voltage in a way that allows droplet detachment with reduced splattering.

On the other hand the CV-characteristic causes current fluctuations of up to 400 A when the arc length is changed by droplet detachment. These fluctuations can literally blast away droplets leading to increased splattering. Therefore the CC-characteristic has been used for welding the experiments that have been carried out.

Admixing of 30 % Argon into the CO_2 caused a further reduction of spattering. Higher Argon concentrations have not proved to be effective. The plasma is dominated by metal vapour as the short arc is placed below



the metal surface. It determines the shape of the weld penetration and the droplet detachment. The weld penetration can be influenced by the variation of the energy input per unit length. Assuming a constant welding power, the weld penetration and melting deposition rate can be increased by reducing the

wire diameter. This effect occurs due to the higher current density.

In general it can be assumed that the welding current can amount up to 200 times the wire diameter (e.g. 3.2 mm wire corresponds to 640 A welding current) to maintain a stable process and acceptable weld seams. By that, melt deposition rates of more than 8 kg/h are achievable.

Joint weldings have been carried out with metal plates of 12, 15, and 20 mm thickness. Therefore a G3Si1 electrode of 4.0 mm diameter was used. As no wires of other material qualities have been available, welding tests with S460 M and S690 QL materials have been omitted in agreement with the project supporting committee. Therefore a higher workload was concentrated in process-analysis and -evaluation.

Visual inspection and dye penetrant tests demonstrated, with few exceptions, a high quality level of the ob-

Zur Ermittlung der mechanisch-technologischen Güterwerte wurden Härtemessungen, Zugversuche und Kerbschlagbiegeversuche durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten hervorragende Eigenschaften des Schweißgutes. Die Härtespitzen im Bereich der Wärmeeinflusszone an der Schmelzlinie erreichten Maximalwerte von 326 HV10. Darüber hinaus erwies sich die Kerbschlagzähigkeit des Schweißgutes als weitaus besser als die des Grundwerkstoffes. Bei den Zugversuchen der Verbindungsschweißungen erfolgte der Bruch mit einer Ausnahme im Grundwerkstoff. Die Ursache für das Versagen in der Fügezone lag an einem Porennest am Nahtende, welches durch Prozessinstabilitäten entstand.

Im Vergleich mit dem UP-Schweißen ist in Bezug auf die Nahtausbildung festzustellen, dass die Oberflächenschuppung und Formung des Nahtäußeren beim UP-Schweißen wesentlich besser ausfällt. Eine Einstellung der Nahtbreite über die Lichtbogenspannung, wie es beim UP-Schweißen möglich ist, kann bei Dickdrahtschweißen aufgrund der sehr kurz einzustellenden Lichtbögen nicht realisiert werden. Die Nahtbreite ist nur geringfügig über die Schweißgeschwindigkeit einstellbar. Des Weiteren muss erwähnt werden, dass das MSG-Dickdrahtschweißen im Gegensatz zum UP-Schweißen ein sehr sensibler Prozess ist, bei dem kleinste Prozessinstabilitäten, wie diskontinuierliche Drahtförderung und Stockungen in der Schweißbewegung, zu Poren und –nestern führen. Eine kontinuierliche Förderung des Drahtes und der Schweißbewegung ist daher zwingend erforderlich. Zum derzeitigen Standpunkt kann nicht von einer robusten MSG-Dickdraht-Technologie gesprochen werden. Dazu muss das verwendete Drahtfördersystem grundlegend überarbeitet werden.

Abschließend lässt sich sagen, dass bei Einhaltung aller prozessbedingten Besonderheiten das MSG-Dickdrahtschweißen verfahrenssicher durchgeführt werden kann. Die Untersuchungen zeigten, dass die Lage-Gegenlagetechnik empfehlenswert ist. Schweißungen an 20 mm Blechen konnten mit Schweißgeschwindigkeiten von 90 cm/min prozesssicher ausgeführt werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 16938 BR der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Das Vorhaben wurde an der Technischen Universität Chemnitz am Institut für Fertigungstechnik/Schweißtechnik durchgeführt.

Der Abschlussbericht umfasst 178 Seiten und enthält 128 Abbildungen und Tabellen.

Schutzgebühr: € 30,00 inkl. MWSt. zzgl. Versandkosten, ISBN 978-3-942541-59-6

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

tained weld surfaces in respect to undercuts, surface pores and cracks. By radiographic inspection, it was found that pores were formed inside the seam due to discontinuous wire feeding. Nevertheless, pore-free seams could be produced within the project.

To determine the mechanical and technological characteristics, hardness measurements, tensile, and impact tests have been carried out. The results showed excellent properties of the weld metal. The hardness peaks in the heat-affected zone at the fusion line amounted to values of up to 326 HV10. In addition, the impact toughness of the weld metal was found to be far better than that of the base material. In the tensile tests of the welded joints, fracture occurred, with one exception, in the base material. The failure in the joint zone was caused by a pore nest at the seam end, which was created by process instabilities.

With respect to seam formation, it should be noted that, compared to submerged arc welding (SAW), imbrication and shaping of the seam were much less beneficial. In contrast to the SAW process, it is not possible to adjust the seam width by the arc voltage in thick-wire GMAW as the length of the arc has to be adjusted at very short distances. So the seam width is only slightly adjustable by the welding speed. Furthermore, it must be noted that the GMAW-thick wire welding, in contrast to the submerged arc welding, is a very sensitive process in which the smallest process instabilities, such as discontinuous wire feed and stagnation in the movement, cause pores and pore nests.

Continuity in wire feeding and welding movement is therefore essential. At present, a robust thick-wire GMAW technology was not yet achieved. Hence, a revision of the wire feed system used is necessary.

It can be concluded that, when all process specifics were considered and followed, the thick-wire GMAW process can be carried out safely. The investigations have shown that the position / counter-position technique can be recommended. Welds on 20 mm plates could be carried out reliably with welding speeds of 90 cm/min.

The research project (IGF-Nr. 16938 BR) was carried out at Technical University Chemnitz, Institut für Fertigungstechnik/Schweißtechnik. FOSTA has accompanied the research project work and has organized the project funding from the Federal Ministry of Economics and Technology through the AiF as part of the programme for promoting industrial cooperation research (IGF) in accordance with a resolution of the German parliament.

The final report contains 178 pages with 128 figures/tables.

Fee: € 30.00 incl. VAT plus mailing expenses
ISBN 978-3-942541-59-6

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

Entwicklung von Solarabsorbern in Stahlbauweise auf Basis partiell plattierter Hybridhalbzeuge (P 820)

In dem Projekt wurde ein vollflächig durchströmter Demonstrator-Solarabsorber hergestellt, welcher ein bionisches Kanaldesign besitzt (FracTherm®). Der Aufbau des Absorbers wurde modular gehalten, so dass dieses Konzept die Möglichkeit flexibler Kollektorgrößen und dadurch einen architektonischen Zusatznutzen bietet.

Möglich wurde dies durch die Prozesskette partielles Kaltwalzplattieren und anschließendes Innenhochdruckumformen. Hierbei werden zwei Blechbänder zu einem partiell plattierten Halbzeug zusammengewalzt.

Unter Berücksichtigung der Längung durch den Walzprozess wird ein Trennmittel auf das Band appliziert, welches die Plattierung der Bleche entlang der später sich auszubildenden Kanalstruktur verhindert. Das so produzierte Halbzeug besteht hier auf der Oberseite aus einem dreilagigen Werkstoffverbund (Kupfer-Stahl-Kupfer) und auf der Unterseite aus reinem Stahl. Für einen reinen Stahl-Stahl-Verbund bestehen signifikante Kostenvorteile.

Für die anschließende Umformung mit Innenhochdruck ist ein besonderes Dichtungskonzept erforderlich. Es wurde hier mit einem konischen Andockstutzen und Elastomer-Dichtung gelöst. Ein Anschweißen von Anbindungsstellen ist aufgrund der Werkstoffpaarung Stahl-Kupfer nicht möglich. Die Umformung der Halbzeuge erfolgte durch ein Umformwerkzeug in einer Hochdruckblechumformpresse bei einer Schließkraft von 22,5 MN und einem Wirkmediendruck von 65 MPa.

Die Messung der Durchströmung des Demonstratorabsorbers durch Thermografiemessung zeigt eine gute Verteilung. Der Druckverlust ist vergleichsweise gering. Der Kollektorwirkungsgradfaktor F' , eine wesentliche Einflussgröße der thermischen Effizienz, ist trotz der geringen thermischen Leitfähigkeit von Stahl durch ein geeignetes Kanaldesign sehr gut: Die Leistungsmessungen deuten auf einen Kollektorwirkungsgradfaktor F' im Bereich der Technik oder leicht darüber hin.

Stahl wird bisher nur gering bei Solarabsorbern eingesetzt. Mit Hilfe der hier gezeigten neuartigen Prozesskette kann der Einsatz von Stahl erhöht werden. In Kombination mit dem bionischen Design ergeben sich

Processing of solar absorbers in steel design based on partially roll bonded hybrid semi-finished parts (P 820)

In this project a full plane streamed demonstrator solar absorber was developed, which has a bionic channel design (FracTherm®). The composition of the absorber is module based, so that this concept gives the possibility for flexible collector sizes and with that an additional architectonic benefit.

Hence, a process chain, consisting of partial cold roll bonding and subsequent inner hydroforming, was used for production. In the process two sheet metal strips are roll bonded to a clad semi-finished part. Taking into account the elongation as a result of the rolling

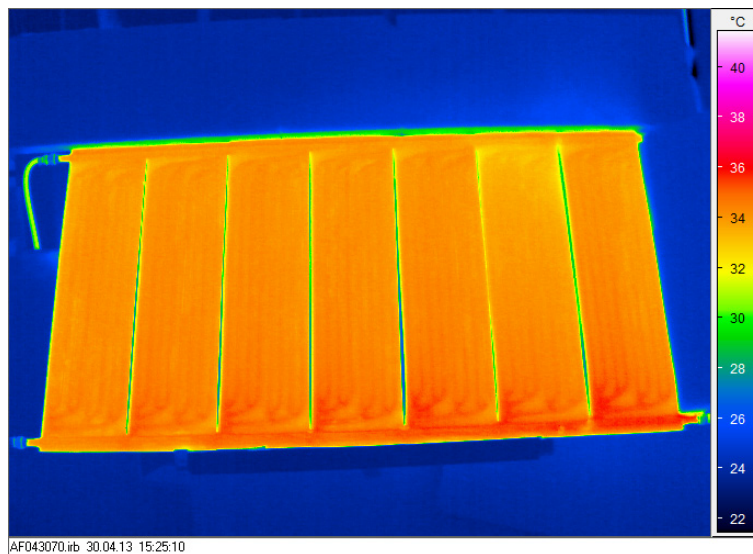
process, a release agent is applied onto the strip, which prevents the bonding of the sheets along the later emerging channel structure. The so produced semi-finished part consists, on the upper side, of a three-layered material compound (copper-steel-copper) and, on the lower side, of steel. For a pure steel-steel-compound significant cost advantages exist.

For the subsequent forming with inner high

pressure, a special sealing concept is mandatory. Here, this problem was solved with a conical docking device combined with an elastomer sealing. A welding of the connection points is not possible due to the mating materials steel and copper. The forming of the semi-finished parts was carried out by a forming tool in a high pressure sheet metal forming press with a locking force of 22.5 MN and a working media pressure of 65 MPa.

The measurement of the water flow of the new demonstrator absorber by means of thermography measurement shows a good distribution. The pressure drop is comparatively small. The collector efficiency factor F' , a fundamental parameter of the thermic efficiency, is in face of the less heat conductivity through a suitable channel design very high. Therefore, for FracTherm® absorbers, a high collector efficiency factor F' is expected.

Up to now steel is only less used in solar absorbers. With the here shown novel process chain, the use of steel can be increased. In combination with the bionic channel design further advantages are resulted. By the module-based concept more not yet seen possibilities for embedding the solar heat power in the architecture are arising as before.



weitere Vorteile zur Erhöhung der Nutzung solarthermischer Energie. Durch das modulare Konzept ergeben sich zudem bisher nicht erschlossene Nutzungspotentiale zur besseren Einbindung der Solarthermie in der Architektur.

Das IGF-Vorhaben 339 ZN der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Das Vorhaben wurde am Institut für Umformtechnik und Leichtbau, TU Dortmund und dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg, durchgeführt.

Der Abschlussbericht umfasst 94 Seiten und enthält 81 Abbildungen und Tabellen.

Schutzgebühr: € 20,00 inkl. MWSt. zzgl. Versandkosten, ISBN 978-3-942541-63-3

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

The research project (IGF-Nr. 339 ZN) was carried out at Technical University Dortmund, Institut für Umformtechnik und Leichtbau and at Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg. FOSTA has

accompanied the research project work and has organized the project funding from the Federal Ministry of Economics and Technology through the AiF as part of the programme for promoting industrial cooperation research (IGF) in accordance with a resolution of the German parliament.

The final report contains 94 pages with 81 figures/tables.

Fee: € 20.00 incl. VAT plus mailing expenses
ISBN 978-3-942541-63-3

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

Prozesssicheres und leistungsstarkes Fügen von hochfesten Feinkornbaustählen durch ein Hybridschweißverfahren mit integrierter Vorwärmung (P 838)

Im Bereich des Windenergieanlagen-, Schiff-, Pipeline- und Mobilkranbaus wird eine Reduzierung des Bauteilgewichts bei gleichbleibender Tragfestigkeit und Zähigkeit angestrebt. Dadurch ist es möglich statisch erforderliche Blechdicken und damit das Eigengewicht der Konstruktion zu reduzieren und Kosten für Material einzusparen. Hierfür wurden höherfeste Feinkornbaustähle entwickelt, die Vorteile bezüglich der Tragfestigkeit und der Zähigkeit bieten und gleichzeitig eine gute Schweißbeignung aufweisen. Parallel zur Stahlentwicklung ist eine Modifizierung oder Entwicklung geeigneter Fügeverfahren erforderlich. Konventionell werden Feinkornbaustähle im Dickblechbereich durch mehrlagige Lichtbogenschweißverfahren mit relativ geringer Geschwindigkeit gefügt. Dabei sind sowohl der Verbrauch von Zusatzmaterialien als auch die benötigten Fertigungszeiten hoch. Hier stellt das MSG-Laser-Hybridschweißen eine potentielle Alternative dar. Dabei werden die Vorteile des MSG-Schweißens und des Laserstrahlschweißens kombiniert bzw. die Nachteile kompensiert. Dazu zählen zum Beispiel die hohe Schweißgeschwindigkeit, die hohe Einschweißtiefe, die gute Spaltüberbrückbarkeit sowie die relativ kleine Wärmeeinflusszone (WEZ). Allerdings bedingen die hohe Schweißgeschwindigkeit und der im Vergleich zu reinen Lichtbogenschweißverfahren konzentrierte Wärmeeintrag eine hohe Abkühlgeschwindigkeit, die eine Aufhärtung der WEZ und des Schweißgutes zur Folge hat.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wird ein kombi-

High-performance welding of high-strength, fine-grained steels with high process reliability, using a hybrid welding process with integrated preheating (P 838)

Excellent strength properties and good weldability make the use of high strength fine-grained steels attractive for complex steel structures like bridges, offshore structures, rail cars, cranes, ships or pipelines. The plate thickness necessary for the structures as well as the net weight can be reduced, and investment costs can be decreased. Heavy steel structures with thick plates are conventionally joined using light arc welding procedures like e.g. multi-layer submerged arc welding. This means long production times and a high consumption of filler material. Here, the gas metal arc (GMA)-laser hybrid welding technology is a potential alternative which combines the best attributes of laser beam welding with those of conventional gas metal arc welding: The deep weld penetration and the low heat input of the laser, and the higher tolerances of GMA welding concerning root openings, surface conditions, and impurities. The welding speed can be increased, the heat affected zone (HAZ) is small, and thick-walled components may be welded in a single-layer. However, the low heat input also leads to short cooling down periods which may be disadvantageous for the mechanical properties of the weld seam. Especially fine grained steels respond sensitively to the temperature-time sequence during the welding process, and an increase in the hardness of the filler material and HAZ may be the consequence.

Within these investigations, a combined welding process consisting of inductive preheating and a single layer GMA-laser hybrid welding process is developed.

niertes Schweißverfahren, bestehend aus induktiver Vorwärmung und einem einlagigen MSG-Laser-Hybridschweißprozess, entwickelt. Hierbei werden höherfeste Feinkornbaustähle der Festigkeitsklasse von 460 bis 690 MPa und Blechdicken von 10 bis 20 mm in einer Operation verschweißt. Mit Hilfe der induktiven Vorwärmung werden die Abkühlzeit und damit die Gefügeausbildung sowie die mechanisch-technologischen Eigenschaften der Schweißverbindung beeinflusst. Weiterhin kann die induktive Vorwärmung Einfluss auf die Bildung von Heiß- und Kaltrissen im Schweißgut beziehungsweise in der Wärmeinflusszone nehmen. Im Zuge der Untersuchung wurden die Schweißnähte durch den Einsatz von Röntgen- und Sichtprüfungen bewertet und in Anlehnung an [DIN EN ISO 13919] sowie [DIN EN ISO 12932] klassifiziert. Die Schweißverbindungen bestätigen die Anforderungen der Bewertungsgruppe B der oben genannten Normen. Zur weiteren Bewertung der Schweißverbindungen wurden Querschliffe entnommen, an denen umfangreiche Härteprüfungen durchgeführt wurden.

Weiterhin wurden Zug- und Kerbschlagbiegeversuche sowie zyklische Prüfungen durchgeführt. Begleitend zu den experimentellen Untersuchungen wurden Simulationen zum Vorwärmungsprozess sowie zum Schweißprozess durchgeführt. Hierbei konnte eine gute Korrelation zu den experimentellen Messwerten ermittelt werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

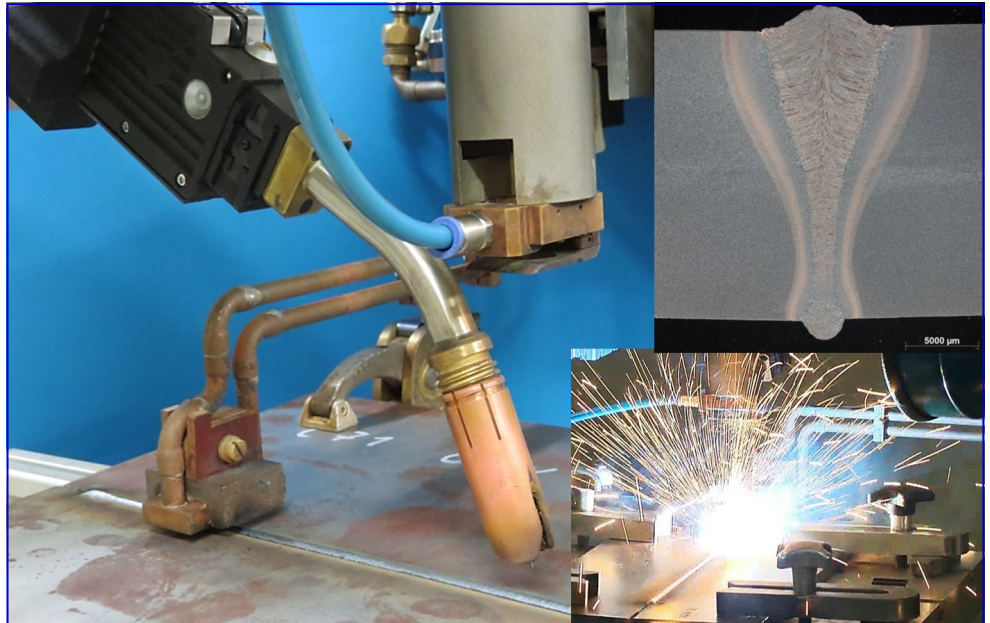
Das IGF-Vorhaben 16600 N der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Das Vorhaben wurde vom Laser Zentrum Hannover e.V., Institut für Elektroprozess-technik, Leibniz Universität Hannover und dem Institut für Stahlbau, Leibniz Universität Hannover, durchgeführt.

Der Abschlussbericht umfasst 226 Seiten und enthält 185 Abbildungen und Tabellen.

Schutzgebühr: € 30,00 inkl. MwSt. zzgl. Versandkosten, ISBN 978-3-942541-58-9

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

High strength, fine-grained steels with grades of 460 up to 690 MPa in a thickness range from 10 to 20 mm are welded in one operation. By means of inductive preheating, the cooling time as well as the microstructure and mechanical properties are influenced. Furthermore, cold and hot cracking of the weld metal and the HAZ is affected. The weld quality is classified using visual and x-ray testing according to [DIN EN ISO 13919] and [DIN EN ISO 12932]. The welded connections pass the normative regulations of quality level B.



The effect of various preheating temperatures on the cooling down periods and the mechanical properties are shown using temperature measurements, metallographic analyses, hardness measurements, as well as tensile, notched-bar impact and fatigue testing. For a deeper process understanding, the experimental investigations are accompanied by numerical simulations of inductive preheating and GMA-laser hybrid welding. A good agreement between measurements and calculations can be reached.

The research project (IGF-Nr. 16600 N) was carried out at Laser Zentrum Hannover e.V., at Leibniz University Hannover, Institut für Elektroprozess-technik and at Institut für Stahlbau. FOSTA has accompanied the research project work and has organized the project funding from the Federal Ministry of Economics and Technology through the AiF as part of the programme for promoting industrial cooperation research (IGF) in accordance with a resolution of the German parliament.

The final report contains 226 pages with 185 figures/tables.

Fee: € 30.00 incl. VAT plus mailing expenses
ISBN 978-3-942541-58-9

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

Einfluss der Wärmeführung auf die Eigenspannungsbildung und Kaltrissicherheit in geschweißten Konstruktionen aus hochfesten Feinkornbaustählen (P 922)

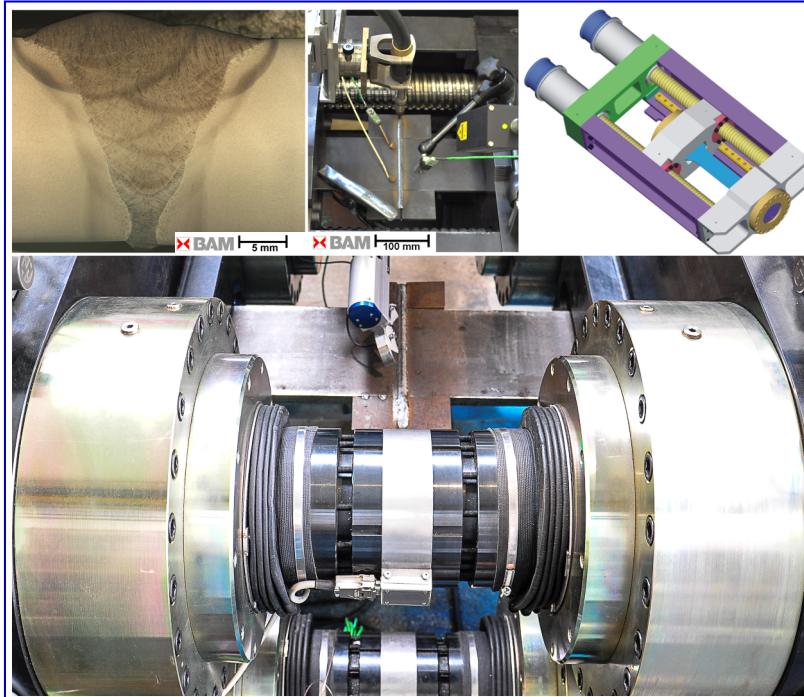
Aus wirtschaftlichen, konstruktiven sowie ästhetischen Aspekten werden moderne Stahlbaukonstruktionen immer schlanker und leichter ausgeführt. Dazu werden zunehmend hochfeste Feinkornbaustähle mit Dehngrenzen ≥ 690 MPa eingesetzt, wodurch eine Gewichtsreduzierung von 30 % bis 50 % und eine Kostenersparnis von 5 % bis 15 % erreicht werden können.

Das Potential hochfester Feinkornbaustähle ist unter Beachtung der heutigen Richtlinien und Regelwerke jedoch nicht ohne weiteres nutzbar. Durch das Forschungsvorhaben wurde der Einfluss der Wärmeführung auf die Eigenspannungsbildung und Kaltrissbildung unter Berücksichtigung realitätsnaher Steifigkeitsbedingungen untersucht. Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wurde ein Beitrag zur Verbesserung der Verarbeitungsrichtlinien erarbeitet,

welche dem Verarbeiter eine sichere schweißtechnische Verarbeitung bei verbesserter Ausnutzung der Materialeigenschaften ermöglicht. Vor allem die Tragfähigkeit und die Sicherheit der Schweißverbindung bestimmen die Bemessung der Konstruktion und somit den nachhaltigen und ökonomischen Einsatz dieser Stahlsorten. Der Zusammenhang zwischen der Höhe der entstehenden Eigenspannungen und der Wärmeführung in realen Konstruktionen ist zurzeit nur qualitativ überschaubar und führt zu einer eher konservativen Auslegung heutiger Schweißkonstruktionen. Die wirtschaftliche Verarbeitung hochfester Stähle wird neben dem Erreichen anforderungsgerechter mechanischer Eigenschaften im Schweißnahtbereich vor allem durch die Vermeidung von Kaltrissen bestimmt. Die diesbezüglichen Empfehlungen in den geltenden Regelwerken beruhen jedoch vornehmlich auf Erkenntnissen aus Laborschweißungen an Kleinproben unter freier äußerer Schrumpfung. Die Hauptursachen für die Entstehung von Eigenspannungen wie inhomogene, lokale Erwärmung und Abkühlung der schweißnahtnahen Bereiche und insbesondere die konstruktive Schrumpfbegrenzung infolge umgebender Monta-

Influence of the weld thermal cycle on residual stress evolution and cold cracking resistance in welded high-strength fine-grained structural steel constructions (P 922)

Based on economical, constructional and aesthetical concepts, modern steel structures are increasingly designed to provide lean and lightweight constructions. This is accomplished by increasing application of high-strength fine-grained structural steels with proof stress ≥ 690 MPa permitting weight reduction by 30 % to 50 % and cost saving of 5 % to 15 %.



The potential of high-strength fine-grained structural steels can however not readily be exploited in consideration of today's directives and codes. The intended research project was on the one hand aimed at examining basic findings concerning the influence of the weld thermal cycle on residual stress evolution and cold cracking resistance taking account of the surrounding structure, and on the other hand at establish-

ing a basis for an improvement of technical guidelines and standards which allow the fabricator to produce reliable welds with a better exploitation of the material properties. Specifically the load-bearing capacity and safety of the weld determine the structural design and, hence, the sustainable and economical use of these steel grades. The relationship between the amount of arising residual stresses and the weld thermal cycle in real structures is currently understandable only qualitatively which leads to a more conservative design of today's welded structures. Economical processing of high-strength steels is determined above all by avoiding cold cracking, apart from achieving demand-oriented mechanical properties in the weld area. In the existing codes, preheating is recommended as an effective measure to avoid cold cracks. However, these recommendations rely predominantly on findings obtained in laboratory welding of small specimens under free shrinkage. But the principal causes of residual stress formation such as inhomogeneous local heating and cooling of the areas near the weld, and most notably structural shrinkage restraint by surrounding assembly groups, are not covered by those findings. The

gegruppert werden damit jedoch nicht abgebildet. Der Einfluss der Wärmeführung, insbesondere der lokalen Vorwärmung, auf die Eigenbeanspruchung einer Konstruktion ist derzeit weitgehend unbekannt.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, den Einfluss der Wärmeführung auf die Eigenspannungsbildung in geschweißten Konstruktionen zu quantifizieren sowie Aussagen zur Beeinflussung und Absenkung der Eigenspannungen und somit der Gesamteigenbeanspruchung von Schweißkonstruktionen zu erarbeiten. Dazu wurden durch die sukzessive Steigerung des Einspanngrades der Zusammenhang zwischen Wärmeführung und resultierender Eigenspannung unter zusätzlicher Schrumpfbegrenzung geklärt. Ferner wurde die Übertragbarkeit der den Regelwerken zugrundeliegenden Kleinprobenergebnisse auf reale Konstruktionen untersucht. Mithilfe systematischer Klein- und Großlastschweißversuche an definiert schrumpfbegrenzten Proben konnte der Einfluss der Wärmeführung sowohl auf die lokalen nahtnahen Eigenspannungen als auch globale Eigenbeanspruchungen durch Reaktionsspannungen analysiert werden. Es zeigte sich, dass eine Reduktion der lokalen Eigenspannungen und der Eigenbeanspruchung von geschweißten Konstruktionen durch eine geringere Wärmeeinbringung möglich ist. Eine Absenkung der Zwischenlagentemperatur erwies sich dabei unter anderem als besonders günstig. Damit ist es möglich vorhandene Wärmeführungskonzepte für hochfeste Stähle zu optimieren und dadurch die Kaltrissbildung zu vermeiden.

Das IGF-Vorhaben 17267 N der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Das Vorhaben wurde an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Fachbereich 9.4 - Integrität von Schweißverbindungen, Berlin durchgeführt.

Der Abschlussbericht umfasst 134 Seiten und enthält 107 Abbildungen und Tabellen.

Schutzgebühr: € 30,00 inkl. MwSt. zzgl. Versandkosten, ISBN 978-3-942541-57-2

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

Numerische Beschreibung der Schädigung beim Scherschneiden und des verbleibenden Restumformvermögens für Dualphasenstähle mithilfe der Multiskalensimulation (P 830)

Getrieben von steigenden Anforderungen an Gewicht und Sicherheit neuer Fahrzeuge finden Feinbleche aus Dualphasenstählen vermehrten Einsatz im Automobilbau. Das in Bezug auf die Festigkeit und Formkomple-

influence of the weld thermal cycles, especially local preheating, on the structural load of a construction is currently largely unknown.

The objective of this research project was a quantification of the influence of the weld thermal cycle on residual stress formation in welded structures as well as statements regarding influences and reduction of residual stresses and, hence, regarding the overall structural load of welded structures. In this respect, it was intended to clarify the relationship between the weld thermal cycle and the resulting residual stress under additional shrinkage restraint produced by successive augmentation of the restraint intensity. Furthermore, an investigation of the transferability of experimental welding results obtained from small specimens according to applicable codes to real component geometries was achieved. Systematic low load and component weld test with specimens welded under defined restraint were performed. The influence of the heat control on local residual stresses and structural loads due to reaction stresses was analysed. It was observed that the level of heat control significantly affects the local residual stresses and the overall structural load of welded structures. A decreased interpass temperature proved to be beneficial in particular. Thus, it is possible to improve existing heat control concepts for high strength steels and, furthermore, an advanced avoidance of cold cracking.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

The research project (IGF-Nr. 17267 N) was carried out at Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Entwurf and at Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Fachbereich 9.4 - Integrität von Schweißverbindungen, Berlin. FOSTA has accompanied the research project work and has organized the project funding from the Federal Ministry of Economics and Technology through the AiF as part of the programme for promoting industrial cooperation research (IGF) in accordance with a resolution of the German parliament.

The final report contains 134 pages with 107 figures/tables.

Fee: € 30.00 incl. VAT plus mailing expenses
ISBN 978-3-942541-57-2

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

Investigation of damage and formability of the sheared edge of dual-phase steels with the help of the multiscale finite element analysis (P 830)

The demand for lighter and safer cars leads to an increasing application of dual-phase sheet steels in the automotive industry. One of the current difficulties in processing of these steel materials is their low edge

xität eines Bauteils hohe Potenzial dieser Stahlwerkstoffe wird zurzeit jedoch nur unvollständig ausgeschöpft. Zum Teil liegt dies am geringen Formänderungsvermögen schergeschnittener Kanten, das auf die Schädigung in Form von Poren zwischen Ferrit und Martensit im Schnittkantenbereich zurückzuführen ist. Bei einer Kantenstreckung führen Zugspannungen zu einem Wachstum dieser Poren, deren Vereinigung zu Mikrorissen und schließlich zum Kantenriss. Da zurzeit keine allgemein akzeptierte Methode zur Ermittlung des Kantenformänderungsvermögens und entsprechenden Berücksichtigung in der Umformsimulation existiert, werden bei der Auslegung von Umformprozessen oft deutlich geringere Kantenformänderungen zugelassen, als Dualphasenstähle ohne Versagen ertragen können.

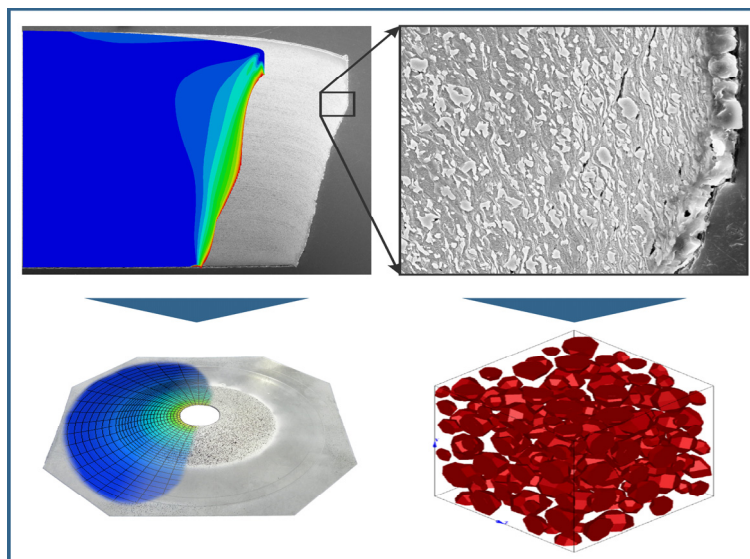
Das Ziel des Projektes bestand darin, einen praktikablen Weg zu erarbeiten, mit dem die durch das Scherschneiden bedingten Schädigungen in Feinblechen aus Dualphasenstählen in der numerischen Simulation nachfolgender Umformoperationen berücksichtigt werden können. Somit sollte eine Abschätzung des noch verfügbaren Formänderungsvermögens des Schnittkantenbereichs mithilfe gängiger Simulationsprogramme ermöglicht werden. Im Fokus standen dabei zwei Dualphasenstähle mit einer Festigkeit von ca. 600 MPa bzw. 780 MPa und einer Stärke um 1,4 mm.

Im Projekt wurden folgende Lösungsansätze erarbeitet und untersucht: ein erweitertes Grenzformänderungsdiagramm, Schädigungsmodellierung mithilfe des am Scherschneidprozess parametrisierten Johnson-Cook-Schädigungsmodells, Schädigungsmodellierung mithilfe des an Charakterisierungsversuchen parametrisierten Johnson-Cook-Schädigungsmodells, Schädigungsmodellierung mithilfe des an Charakterisierungsversuchen parametrisierten Gurson-Tvergaard-Needleman-Schädigungsmodells, mikromechanische Schädigungsmodellierung mithilfe eines repräsentativen Volumenelements. Der Bericht stellt eine Bewertung dieser Lösungsansätze hinsichtlich ihres Aufwands auf der einen Seite und ihrer Qualität der Versagensvorhersage auf der anderen Seite dar und gibt Anregungen für zukünftige Forschungsarbeiten.

Das erweiterte Grenzformänderungsdiagramm wird als ein pragmatischer Lösungsansatz bewertet, der sofort in der Praxis umgesetzt werden kann. Zur Verallgemeinerung dieses Lösungsansatzes empfiehlt sich, in zukünftigen Forschungsvorhaben den Einfluss der Drucküberlagerung in Umformprozessen auf das Kan-

formability after cutting, which considerably impairs the intensity of subsequent forming. The insufficient cut edge formability has been shown to be attributed to material damage, which appears in the form of small pores between martensite and ferrite in the cut edge area of the sheet material. During cut edge extension, these pores grow and coagulate to microcracks that extend under an applied load leading to an edge crack. So far, there exists no generally accepted method to determine the cut edge formability and to consider it in the forming simulation. As a result, only significantly lower cut edge deformations are often allowed in the design of forming processes than dual-phase steels could actually withstand without fracture.

The objective of the project was the development of a practical approach to consider cutting-induced damage in dual-phase steels by finite element analysis of subsequent forming operations. This was to allow a realistic estimation of the residual formability of the cut-edge zone of dual-phase sheet steels with the help of established software packages for finite element analysis. Two dual-phase sheet materials with an ultimate tensile strength of 600 MPa and 780 MPa and a thickness of about 1.4 mm were in the focus of the project.



The following solution approaches were elaborated and investigated:

an extended forming limit diagram; damage modelling with the help of the Johnson-Cook damage model parameterised on a cutting process; damage modelling with the help of the

Johnson-Cook damage model parameterised on material characterisation tests; damage modelling with the help of the Gurson-Tvergaard-Needleman damage model parameterised on material characterisation tests; micromechanical damage modelling with the help of a representative volume element. This report presents an evaluation of these solution approaches regarding their experimental and simulation costs on the one side and their quality of the failure prediction on the other side and suggests directions for future research work.

The extended forming limit diagram is found to be a pragmatic solution approach, which can be easily used in industry. For generalisation of this approach, it can be recommended to quantify the influence of pressure

tenformänderungsvermögen zu quantifizieren und an Charakterisierungsversuchen abzubilden. Die mikro-mechanische Schädigungsmodellierung wird zum jetzigen Zeitpunkt aufgrund des hohen Modellierungsaufwandes als weniger relevant für die Praxis eingestuft. Eine Weiterentwicklung dieses Lösungsansatzes erscheint jedoch vielversprechend zur Erlangung eines besseren Verständnisses mechanischer Eigenschaften von Dualphasenstählen. Die Lösungsansätze, die auf einer Übertragung der Schädigungsverteilung einer Scherschneidsimulation auf eine Umformsimulation basieren, setzen eine gute Übereinstimmung zwischen den experimentellen und numerischen Ergebnissen des Scherschneidens voraus. Diese konnte im Projekt jedoch nicht erzielt werden. Hierzu existiert noch Forschungsbedarf bzgl. der Übertragung von experimentell ermittelten Formänderungsgrenzen auf die Scherschneidsimulation.

Das Forschungsvorhaben wurde am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Leibniz Universität Hannover, mit finanzieller Unterstützung durch die Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V., Düsseldorf, aus Mitteln der Stiftung Stahlanwendungsforschung, Essen, durchgeführt.

Der Abschlussbericht umfasst 242 Seiten und enthält 220 Abbildungen und Tabellen.

Schutzgebühr: € 40,00 inkl. MwSt. zzgl. Versandkosten, ISBN 978-3-942541-65-7

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

superposition during edge extension in real forming processes on the edge formability and study it with various laboratory characterization tests in the future. Due to the high complexity, the micro-mechanical damage modelling is currently evaluated as less relevant for the industrial practice. However, a further development of this solution approach seems to be promising for obtaining a better understanding of mechanical properties of dual-phase steels. The solution approaches that are based on a transfer of the damage distribution from the cutting simulation to the forming simulation require a good agreement between the experimental and numerical results of cutting. However, this could not be achieved in the project. To move forward in this issue, further research on the transfer of the experimentally determined material forming limits to the numerical simulation of cutting is necessary.



The research project was carried out at Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Leibniz Universität Hannover, FOSTA has accompanied the research work and has organized the project funding from the Foundation for Steel Application Research for the institute

The final report contains 242 pages with 220 figures/tables.

Fee: € 40.00 incl. VAT plus mailing expenses
ISBN 978-3-942541-65-7

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

Fortsetzung von Seite 1 / continued from page 1

zusätzlich um 10% gesenkt werden sowie die externen Kosten, die z.B. durch Staus aufgrund von Wartungsarbeiten unter Betrieb der Brücke entstehen, um 20% reduziert werden können. Im Vergleich zu konventionellen Brückenbauweisen, kann durch den Einsatz der Feuerverzinkung zusätzlich eine Einsparung von 20% bei den CO₂-Emissionen erreicht werden.

Die präsentierten Forschungsvorhaben wurden über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der



industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Neben dem Staatssekretär informierten sich zusätzlich eine Vielzahl weiterer Mitglieder des Bundestages über die Eigenschaften von feuerverzinkten Stahl- und Verbundbrücken. Die Bauweise zeigte sich dabei als positiver Lösungsansatz für eine Vielzahl der an deutschen Bundesautobahnen, Landstraßen und kommunalen Straßen stehenden 120.000 Brückenbauwerke, von denen ein Großteil kurz- bis mittelfristig renovierungsbedürftig ist.



Der Ausstellungsstand wurde gemeinschaftlich durch die Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. (FOSTA) und den Gemeinschaftsausschuss Verzinken e.V. (GAV) betreut.

Dr. Gregor Nüsse M.Sc.

URL zur Pressemitteilung:

<http://www.stahl-blog.de/index.php/geschuetzt-fuer-mehrere-jahrzehnte-feuerverzinkte-bruecken-aus-stahl/>

URL zur Pressemitteilung: <http://www.feuverzinken.com/news/>

Neue Forschungsanträge - Bilanz 2015 des Kuratorium der FOSTA

In zwei Sitzungen berieten die Gutachter der FOSTA über insgesamt 52 Neuanträge, 2 Kurzstudien, 4 Skizzen und 1 Konzeptpapier. Nach eingehenden Beratungen und Hinweisen auf Korrekturen und Ergänzungen wurden 38 Anträge zur Weiterleitung an Fördermittelgeber empfohlen und 13 Anträge abgelehnt. Beide Kurzstudien sollen ausgeführt werden. Von den 4 vorgelegten Skizzen wurden 3 zur Ausarbeitung eines vollständigen Antrages empfohlen. Einer Beteiligung der FOSTA an der Umsetzung des Konzeptpapiers wird zugestimmt.

Neue research proposals - End result 2015 of Advisory Council of FOSTA

In two sessions, the experts of FOSTA discussed a total of 52 new research proposals, 2 short studies, 4 research ideas and 1 concept paper. After in-depth discussions and references to corrections and additions, 38 applications were recommended for forwarding to Grantor and 13 research proposals were rejected. Both short studies were approved, 3 research ideas were recommended to draw up a complete research proposal and a FOSTA involvement in implementing the concept paper was approved.

Studierenden Wettbewerb Stahl fliegt 2015

Der Studierendenwettbewerb „Stahl fliegt“ ist am zweiten Messtag der internationalen Metallurgiefachmesse Metec in Halle 6 der Messe Düsseldorf erfolgreich mit 60 Studierenden aus 6 Hochschulen am 17.06.2015 durchgeführt worden – und hat gezeigt, was Leichtbau mit Stahl auch bedeuten kann.

Das Team Dortmund 1 des Instituts für Umformtechnik und Leichtbau der TU Dortmund siegte in der Kategorie „Segelflieger“ 17,23 s

In der Kategorie „Angetriebene Flieger“ lagen die Flugzeiten noch deutlich unter denen der Segelflieger. Hier siegte das Team Darmstadt 3 des Instituts für Produktionstechnik und Umformmaschinen der TU Darmstadt mit 6,68 s

„Wir wollen mit dem Wettbewerb die Studierenden für den Werkstoff Stahl begeistern, ihnen zeigen, dass das ein toller Leichtbauwerkstoff ist und die Kreativität der jungen Leute ansprechen“, so Dr.-Ing. Hans-Joachim Wieland von der FOSTA, die den Wettbewerb seit nunmehr 15 Jahren unterstützt und fördert.



Lobende Erwähnung / Citation

FOSTA Forschungsvorhaben
FOSTA Research projects
(unter den Besten 10 / among the top 10)

P 950 Dehnungsbasierte Bemessungskriterien für unbefeuerte Druckbehälter / *Strain-based design criteria for unfired pressure vessels – demonstration of an adopted DBF procedure*

P 804 Neue Systeme für Stahlverbundbrücken – Verbundfertigteilträger aus hochfesten Werkstoffen und innovativen Verbundmitteln / *New Systems for Composite Bridges – Prefabricated composite girders of high strength materials and innovative shear connectors*



StahIDatSX
www.stahldaten.de

Stahl-Werkstoff-Datenbank incl. FOSTA -
Forschungsberichte

Steel-Materials-Database incl. FOSTA Re-
search reports

Veranstaltungen mit Beteiligung der FOSTA; Termine Events with the participation of FOSTA; Dates



2015

07. und 08. Oktober 12. Stahl-Symposium: Hochfester Stahl im Stahl- und Maschinenbau, Ehingen
12. November STAHL 2015: Weichenstellung für die Zukunft, Düsseldorf; Stahldialog „Stahllösungen für eine moderne Infrastruktur“, CCD Messe Düsseldorf www.stahl-online.de
18. November Symposium: Türme und Maste aus Stahl, FFFZ Hotel, Düsseldorf www.tuerme-und-maste.de
08. und 09. Dezember 5. Fügetechnisches Gemeinschaftskolloquium - Gemeinsame Forschung in der Mechanischen Fügetechnik, Paderborn [EFB, FV-DVS, FOSTA] www.kolloquium.fuegetechnik.org

Save the dates

2016

- 01.+02. März 16. Kolloquium: Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik
Maternus-Haus, Köln [DECHEMA, FV-DVS, FOSTA, ivTH]

2017

07. bis 10. Juni 5th SCT - International Conference on Steels in Cars and Trucks,
07.-11.05.2017, Amsterdam, Niederlande www.sct2017.com



Alle Forschungsberichte können gegen Entrichtung einer Schutzgebühr bezogen werden von / All final reports could be ordered for a nominal charge at: Verlag und Vertriebsgesellschaft mbH, Postfach 10 51 27, D-40042 Düsseldorf, Germany
Fax +49 211 6707-129, Email: verlagvertrieb@stahl-zentrum.de

Forschungsberichte als PDF-Version über / Research reports as PDF-version via www.stahl-daten.de.

Impressum:

FOSTA - Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. / FOSTA - Research Association for Steel Application
Sohnstraße 65, 40237 Düsseldorf, Germany; Tel. +49 211 6707-856; Fax +49 211 6707-840,
Email: fosta@stahlforschung.de, Internet: www.stahl-online.de

Dr.-Ing. Peter Dahlmann (-405) Dr.-Ing. Hans-Joachim Wieland (-426)

Dipl.-Ing. Franz-Josef Heise (-837); Dr. Gregor Nüsse M.Sc. (-839); Dipl.-Ing. Rainer Salomon (-853)

