

# BERICHTE

aus der Stahlanwendungsforschung  
Steel Application Research **Reports**



Ausgabe / Edition 1/2016

## Inhalt / Content

### Neue Forschungsberichte

#### New Research Reports:

- P 858 **Schweißen dicker Bleche**  
Welding of thick plates
- P 890 **Umformeigenschaften lasergeschweißter Tailor Welded Blanks**  
Forming behavior of laser welded tailor blanks
- P 892 **Durchsetzen hochfester Stähle**  
Extrusion process of high strength steels
- P 900 **LCF-beanspruchte geschweißte Kranstrukturen**  
Fatigue assessment of welded crane structures
- P 938 **Höherfrequentes Hämmern und Ermüdungsfestigkeit**  
High frequently hammer peening and fatigue strength
- P 1004 **Hybridschmieden**  
Hybrid forging
- P 1007 **Charakterisierung des Versagensverhaltens**  
Characterisation of fracture behaviour
- P 905 **Schmelzschweißen höchstfestere Chromstähle**  
Fusion welding of stainless chromium steels

### Nachlesen / Read up:

- 12. Stahl-Symposium: Hochfester Stahl im Stahl- und Maschinenbau
- Initiative und Forschungsverbund massiver-LEICHTBAU
- HISTWIN+ Türme und Maste aus Stahl

### Vorankündigungen / Preview:

- 40 Jahre LWF - 19. Paderborner Symposium Fügetechnik, 2016
- 5th SCT 2017 International Conference on Steels in Cars and Trucks



Again FOSTA looks back on another successful year and looks forward to new challenges in the actual year. A high success rate in raising funds is an essential precondition in order to gain new knowledge about processing and application of high precision steels in pre-competitive industrial cooperative research. This has been achieved again with excellent research proposals in the past year. This shows what kind of potentials have still not been retrieved in steel material and that it is indispensably connected with the economic development of our society. FOSTA organizes on its own or together with other research associations very successful colloquia or symposia so that research findings are not disappearing in pigeonholes or are applied by small groups only.

Alone in the past year five well-attended events took place. In the new year again, the knowledge transfer from science to practice will play a central part in the activities of FOSTA. I wish all members and supporters of FOSTA as well as all research institutions embedded in the research projects much success in further developing our material steel.

Dr. Hans Fischer, Vorsitzender der FOSTA  
CEO Tata Steel Europe, NL-IJmuiden



Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V.  
Research Association for Steel Application



## Neue Forschungsberichte

### Schweißen dicker Bleche unter Baustellenbedingungen – Beurteilung des Einflusses auf das Tragverhalten von Montagestößen (P 858)

Beim Aufbau großer Stahlstrukturen im Brücken- oder Stahlhochbau wird heute vermehrt auf modulare Fabrikfertigung gesetzt. Ein Fügen dieser Module auf der Baustelle zu einer Gesamtstruktur ist aber weiterhin notwendig. Als Fügeverfahren wird hier häufig das MAG-Mehrlagenschweißen eingesetzt. Gerade an dicken Blechen stellen Baustellenschweißungen nicht nur besondere Anforderungen an den ausführenden Betrieb, die Bauleitung und Bauüberwachung, sondern auch an den Konstrukteur. Wichtig für den Konstrukteur ist die Kenntnis der sich durch Schweißungen einstellenden Schrumpfung der Bauteile, der auftretenden Verzüge und Eigenspannungen. Gerade bei Baustellenschweißungen müssen diese Aspekte in der Konstruktionsphase der Einzelkomponenten mit berücksichtigt werden, um die erforderlichen Toleranzen bei der Montage einzuhalten.

Eine genaue Kenntnis der durch Schweißungen verursachten Phänomene ist in den Konstruktions- und Montagebetrieben oft nur aus mehrjährigen Erfahrungen vorhanden. Ein grundlegendes, vollständiges Bild der Abläufe beim Schweißen auf der Baustelle, das es ermöglicht, dieses Wissen auf neue Konstruktionen zu übertragen, fehlt bisher. Insbesondere für die immer öfter im Brücken- und Stahlhochbau eingesetzten höherfesten Feinkornbaustähle (z.B. S460) ist die Kenntnis des Verhaltens bei Baustellenschweißungen notwendig.

Hier setzt der Forschungsantrag an. Mit Hilfe der Schweißsimulation können die Auswirkungen von Schweißnähten, wie die Entstehung von Verzügen und Eigenspannungen am Bauteil, global dargestellt werden. Eine anschließende Struktursimulationen (Festigkeits- und Steifigkeitsberechnungen) mit aus der Schweißsimulation integrierten Ergebnissen bildet die Basis für ergänzende Untersuchungen.

Montagestöße sind außerdem durch Verschmutzung und Witterung negativ beeinflusst. Die Montage kann beispielsweise bei niedrigen Temperaturen unterhalb des Gefrierpunkts durchgeführt werden müssen. Diese Situation wurde in einer Klimakammer simuliert und

## New Research Reports

### Welding of Thick Plates under Site Conditions – Evaluation of the Influence on the Structural Behaviour of Assembly Joints (P 858)

In case of larger structures in bridge and steel construction, modular factory manufacturing is currently the most common method. However, assembling of these modules on site is still necessary. The most common joining method is the MAG – multi-pass welding. Especially welding of thick plates requires a special effort not only

from the executive company, the construction management and construction supervision but also directly from the designer. The most important information for the designer is the knowledge of occurring welding shrinkage, distortions and residual stresses. In particular for the realization of on-site welds these aspects have to be considered. In many cases an accurate knowledge of the phenomena



caused by welding exists only from experience within the designing- and assembling companies. A fundamental and entire understanding of the processes during welding is missing. Therefore there is a lack of possibilities to transfer the knowledge from prior work to new constructions. Furthermore the behaviour of high-tensile steel grades is essential. One example of these steel grades is the examined S460, which is more and more used in bridge and steel constructions.

Therefore, the aim of this research project is to work out criteria for the realization of thick plate welds under site conditions. As a result of the research project designers and inspectors will get a useful recommendation for typical on-site welds. By using the numerical welding simulation the occurring welding distortions and residual stresses can be calculated globally. An additional structural FEM analysis with integrated results from the welding simulation is the basis for further investigations.

Assembly on the site is often affected by pollution and weather and also may need to be carried out for example at low temperatures below freezing point. This situation was simulated in a climatic chamber and examined the effects of low ambient temperature on the

die Auswirkungen der Umgebungstemperatur bei der Montage auf das Tragverhalten der Verbindung untersucht. Für die im Rahmen des Vorhabens untersuchten Fälle ist kein Einfluss variierender Umgebungstemperaturen bis -10 °C auf die resultierenden Schweißspannungen festzustellen. Der Vergleich von Verzug und Eigenspannung gegenüber normativ vorgegebenen Toleranzwerten sowie vereinfachten Ingenieurmodellen für die Approximation des Eigenspannungsverlaufs zeigt große Defizite. Bei realitätsnaher Implementierung der Eigenspannungen in die Traglastberechnung können z.T. große Reserven im Rahmen der nichtlinearen Traglastberechnung ausgenutzt werden.

Das IGF-Vorhaben 16937 BG der FOSTA – 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 Füge- und Schweißtechnik, der Technischen Universität Braunschweig und am Lehrstuhl für Stahl- und Holzbau, der BTU Cottbus-Senftenberg durchgeführt.

Der Abschlussbericht umfasst 128 Seiten und enthält 127 Abbildungen und Tabellen.

Schutzgebühr: € 30,00 inkl. MwSt. zzgl. Versandkosten, ISBN 978-3-942541-69-5

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

structural behavior. In case of the investigated project no influence of varying ambient temperatures down to -10 °C was determined on resulting weld residual stresses. The comparison of distortion and residual stress compared with normative values specified tolerance and simplified engineering models of the residual stresses show large deficits. Realistic implementation of the residual stresses showed large reserves in the context of nonlinear load carrying calculations.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



The research project (IGF-Nr. 16937 BG) was carried out at Institut für

Füge- und Schweißtechnik, der Technischen Universität Braunschweig und am Lehrstuhl für Stahl- und

Holzbau, der BTU Cottbus-Senftenberg. 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 128 pages with 127 figures/tables.

Fee: € 30.00 incl. VAT plus mailing expenses  
 ISBN 978-3-942541-69-5

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

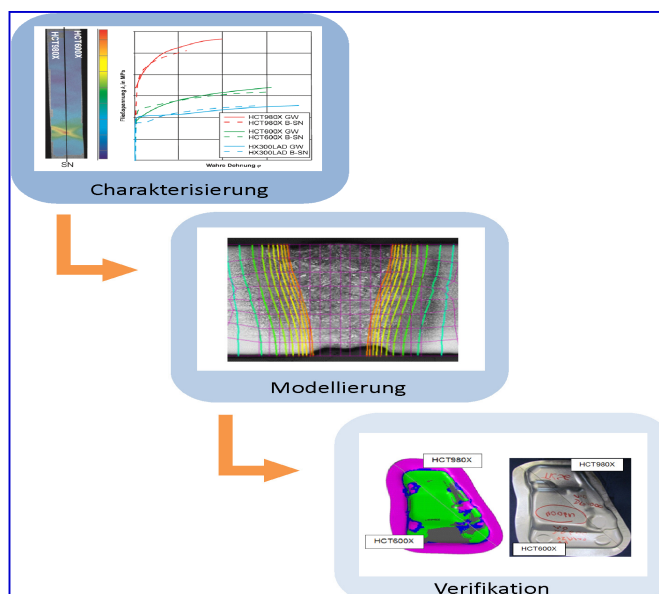
### Umformeigenschaften laserstrahlgeschweißter Tailor Welded Blanks aus hochfesten Mehrphasenstählen – Charakterisierung, Modellierung und Verifikation (P 890)

Tailor Welded Blanks (TWB) aus hochfesten Mehrphasenstählen werden momentan in der Automobilindustrie nur selten eingesetzt, da die Schweißnaht in der Umformsimulation nicht präzise abbildbar ist. Ziel dieses Projektes war, die Schweißnaht hinsichtlich ihrer Eigenschaften zu charakterisieren, die Schweißnahtmodellierung zu verbessern und diese mit realen Experimenten zu verifizieren. Innerhalb dieses Projektes, das mit ThyssenKrupp Steel Europe durchgeführt wurde, wurden TWB aus drei verbreiteten Stahlsorten charakterisiert und eine Modellierung für die Simulation erstellt. Es handelt sich bei den Stahlsorten um die hochfesten Sorten HCT980X, HCT600X und HX300LAD. Neben einer umfangreichen Charakterisierung der Schweißnaht, aus der Fließkurven ermit-

### Forming behavior of Tailor Welded Blanks of high-strength multi-phase steels – characterization, modelling and verification (P 890)

The use of Tailor Welded Blanks (TWB) out of high strength steel is currently rare in the automotive industry due to the fact that the weld line modelling is not precise in the forming simulations. The aim of this project was the characterisation of the weld line concern-

ing its forming properties, the modelling of the weld line in different ways and the verification with real forming experiments. In this project, which was done in cooperation with ThyssenKrupp Steel Europe, TWB out of three common steel grades were characterized. In this project the high strength steel grades HCT980X, HCT600X and HX300LAD were used. With this, the weld line could be characterized and a flow behavior could be evaluated. The modelling of the weld line was verified with real forming





telt werden, werden Modellierungsansätze mit realen Versuchen verifiziert. Es werden die linearen Schweißnähte in verschiedenen beanspruchte Regionen des Bauteils gelegt und das Verhalten (Riss, Schweißnahtwanderung) analysiert. Hierzu standen zwei Umformwerkzeuge zur Verfügung, die eine hohe Beanspruchung auf die Schweißnaht zuließen. Es konnte festgestellt werden, dass diese TWB aus HCT600X/HCT980X und HCT600X/HX300LAD umformbar sind, wenn die Schweißnaht in nicht kritische Bereiche gelegt wird. Eine Modellierung der Schweißnaht in der Simulation mit eigenen Fließkurven kann zu einer Verbesserung der Simulation führen.

Zentrale Ergebnisse sind:

- TWB aus hochfesten Mehrphasenstählen eignen sich für die Umformung in Tief-ziehverfahren.
- Um eine optimale Umformung zu gewährleisten, muss die Schweißnaht zuvor in nicht kritische Bereiche gelegt werden. Diese Auslegung geschieht simulativ mit einer hohen Genauigkeit.

Das Forschungsvorhaben wurde am Institut für Umformtechnik und Leichtbau der Technischen Universität Dortmund und der ThyssenKrupp Steel Europe AG, Duisburg, mit fachlicher Begleitung und mit finanzieller Förderung durch die Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V., Düsseldorf, aus Mitteln der Stiftung Stahlanwendungsforschung, Essen, durchgeführt.

Der Abschlussbericht umfasst 116 Seiten und enthält 100 Abbildungen und Tabellen.

Schutzgebühr: € 30,00 inkl. MWSt. zzgl. Versandkosten, ISBN 978-3-942541-64-0

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

experiments. Therefore, two different forming tools were used, in which high loads could be realized in the weld line to get conclusions concerning its forming behaviour. There, the linear weld line was positioned in different regions with differences in the applied load and the weld line behaviour was analysed (fracture, weld line movement). The forming experiments showed that TWBs made out of HCT600X/HCT980X and HCT600X/HX300LAD can be formed without failure if the weld line does not cross critical areas in the tool. The modelling of the weld line itself with an own flow curve can improve the accuracy of the simulation results.

Main results are:

- TWB made out of multi-phase high strength steel can be formed without failure
- To realise an optimal forming result, the weld line should be positioned in non-critical areas of the tool. The design should be done in simulation based investigations with high accuracies.



The research project was carried out at Institut für Umformtechnik und Leichtbau der Technischen Universität Dortmund and at ThyssenKrupp Steel Europe AG,

Duisburg. FOSTA has accompanied the research work and has organized the project funding from the Foundation for Steel Application Research.

The final report contains 116 pages with 100 figures/tables.

Fee: € 30.00 incl. VAT plus mailing expenses  
ISBN 978-3-942541-64-0

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

### **Bestimmung der werkstoffspezifischen prozessbeeinflussenden Parameter und Optimierung der Prozessparameter für das Durchsetzen hochfester Stähle (P 892)**

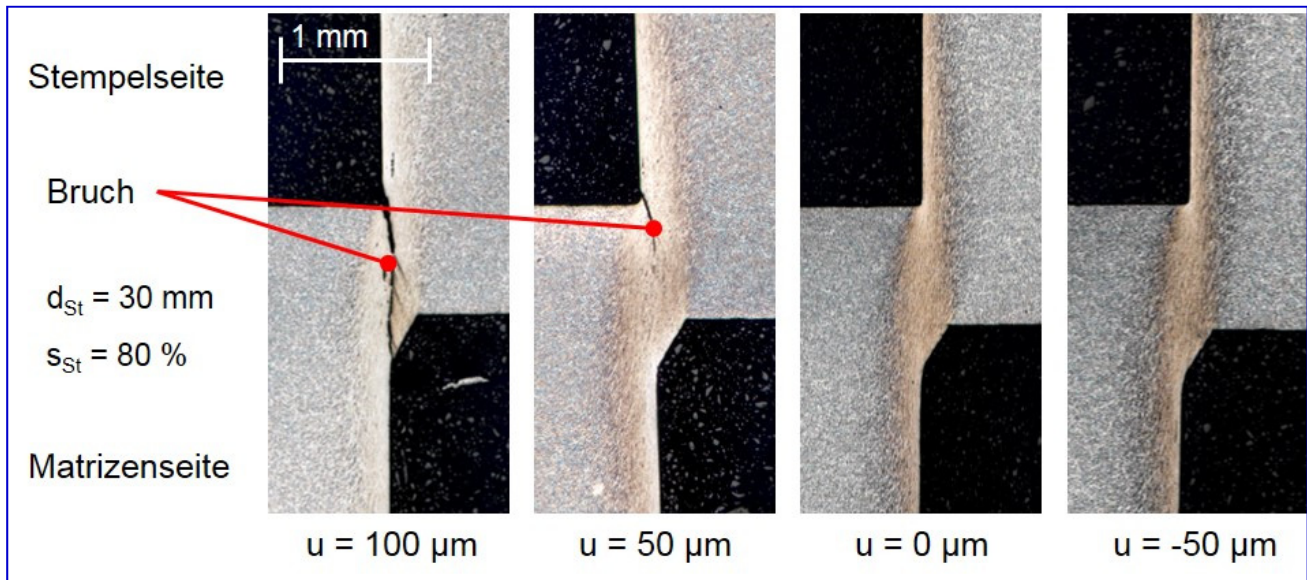
Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, Prozessparameter und Einflussgrößen wie z.B. Werkstoffkennwerte für das Durchsetzen konventioneller und hochfester Blechwerkstoffe experimentell und simulationsgestützt zu ermitteln und gegebenenfalls den Prozess zu optimieren, um einen prozesssicheren Einsatz höherfester Werkstoffe zu ermöglichen. Zur Erlangung einer tieferen Prozesskenntnis, der Prozessparameter sowie zur Bestimmung der prozessspezifischen Verfahrensgrenzen wurden systematische, wissenschaftlich fundierte, experimentelle und numerische Analysen durchgeführt. Die experimentellen Untersuchungen im Durchsetzprozess erfolgten zunächst auf Basis einfacher kreisförmiger Geometrien unter Einsatz von konventionellen Stahlblechwerkstoffen. Durch ein möglichst genaues Abbilden des Umformprozesses in der Simulation konnten Erkenntnisse über die auftretenden Beanspruchungen im Werkzeug erlangt werden. Die Versuche dienten ebenfalls der Validierung des erstellten Simulationsmodells. Basierend auf den

### **Determination and optimization of the process influencing material-specific parameters for the sheet metal extrusion process of high strength steels (P 892)**

One of the goals of this research project therefore was to find process parameters and influencing factors as e.g. material properties for regular and high-strength materials through experiments and simulation that will allow optimizing the production process for higher-strength materials and increasing its reliability in an industrial environment. In order to gain a more thorough knowledge of the factors influencing the extrusion process, systematic and scientifically based experimental and numerical experiments were run. The first experiments of the extrusion process focused on circular geometries when using regular steel blanks. By trying to reproduce the metal forming process as accurately as possible on a digital model, it was possible to gain insight into the occurring forces during the usage of the tool. These experiments were also used to validate the created simulation model. Based on the knowledge gained from the experiments and the simulation, the used circular and the gear geometry were optimized. The goal behind this effort was to increase

gewonnenen Erkenntnissen aus Versuch und Simulation wurde eine Geometrieoptimierung eines rotatorischen und eines verzahnten Durchsetzstempels durchgeführt. Ziel der Stempeloptimierung in Form einer Fasen-Radien-Kombination an der Stempelmantelfläche war eine Standmengenerhöhung. Darüber hinaus erfolgten Untersuchungen hinsichtlich der Werkstoffverfestigung, der Prozesskräfte und der Pro-

the endurance of the die by adding a chamfer-radiuscombination to the outer shell surface. In addition to this, further research regarding the material's hardening, the occurring forces, and the geometries' influence as a function of the material used, the die clearance, the flange's radius, and the preparation of the shell surface. Using both, the results from the experiments as well as the simulation, it was possible to



filkenngößen der Bauteile in Abhängigkeit des Versuchswerkstoffs, des Durchsetzspalts, der Durchsetzkantenverrundung und der Stempelmantelflächenpräparation sowie der Versuchsgeometrie. Auf der Grundlage der experimentellen und theoretischen Untersuchungsergebnisse war es möglich, die Grenzen des Durchsetzprozesses aufzuzeigen.

Durch die Beherrschung des Durchsetzens hochfester Stähle werden eine deutliche Kostenreduzierung sowie eine Erhöhung der Prozesssicherheit erreicht. Im Weiteren konnten die derzeit technisch realisierbaren Grenzen des Verfahrens aufgezeigt werden. Werkzeuggestaltungsrichtlinien wurden erarbeitet und somit ist eine rasche praktische Anwendung des Verfahrens möglich.

Das IGF-Vorhaben 17103 N der FOSTA – 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 am Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen, Technische Universität München, Garching, durchgeführt.

Der Abschlussbericht umfasst 112 Seiten und enthält 154 Abbildungen und Tabellen.

Schutzgebühr: € 30,00 inkl. MWSt. zzgl. Versandkosten, ISBN 978-3-942541-60-2

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

establish borderlines for the feasibility of the sheet metal extrusion process.

The improved control of all relevant parameters during the sheet metal extrusion process allows to significantly reduce the manufacturing cost for high-strength steels whilst further improving the process stability. This study also allowed to identify the technical limitations of the current process and subsequently lead to the development of new tool construction guidelines which allow for a quick and practical application of the developed procedure.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



The research project (IGF-Nr. 17103 N) was carried out at Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen, Technische Universität München, Garching. 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 112 pages with 154 figures/tables.

Fee: € 30.00 incl. VAT plus mailing expenses ISBN 978-3-942541-60-2

Dipl.-Ing. Rainer Salomon



## Erweiterung des örtlichen Konzeptes zur Bemessung von LCF-beanspruchten geschweißten Kranstrukturen aus hochfesten Stählen (P 900)

Im Kranbau hat das Eigengewicht einen wesentlichen Einfluss auf die Nutzlast und damit auch auf die Wirtschaftlichkeit der Konstruktion. Durch die Verringerung des Eigengewichtes, ohne Einbuße der Tragfähigkeit, kann die Traglast und damit die Nutzlast entsprechend vergrößert werden. Diese Forderung nach höherer Beanspruchbarkeit bei geringerem Gewicht und Materialersparnis wird durch den Einsatz von modernen höchst- und ultrahochfesten Stählen erreicht.

In diesem Forschungsbericht wird der Frage nachgegangen, ob die höhere statische Festigkeit der Feinkornbaustähle S960QL, S960M und S1100QL auch im geschweißten Zustand unter zyklischer Belastung im Kurzzeitfestigkeitsbereich (LCF-Bereich) zum Tragen kommt. Daher wurde innerhalb dieses Forschungsprojektes das Schwingfestigkeitsverhalten der höchst- und ultrahochfesten Stähle im Schweißzustand ohne und mit Schweißnahtnachbehandlung im LCF-Bereich charakterisiert und für eine numerische Bemessung aufbereitet.

Die Schwingfestigkeitsergebnisse unter konstanten als auch unter variablen Belastungsamplituden basierend auf Betriebsmessungen mit einem Spannungsverhältnis von  $R_s = 0,1$  zeigen, dass die hohe statische Festigkeit auch unter Ermüdung in der Kurzzeitfestigkeit ausgenutzt werden kann. Während die Schwingfestigkeit geschweißter Stumpfnähte unter konstanten Lastamplituden bis zu einer Nennspannungsschwingbreite von  $Ds_n = 900$  MPa linear fortgeführt werden kann, stellt sich unter variablen Belastungsamplituden ein bilinearer Verlauf ein. Der Vorteil höchstfester Feinkornbaustähle zeigt sich zudem durch die Schwingfestigkeitsergebnisse geschweißter Quersteifen. Wöhler- und Gaßnerlinie verlaufen ebenfalls bis in den Bereich der statischen Werkstoffstreckgrenze linear. Von nicht zu vernachlässigender Bedeutung ist der Einfluss der Schweißnahtqualität und dem damit verknüpften Schweißverzug. Für die untersuchten Schweißdetails und kranbautypischer Rohr-Gabel-Bauteile erfolgte eine Aufarbeitung der Versuchsergebnisse im Nennspannungssystem in Form einer Einstufung in Kerbklassen (FAT-Klassen). Die Wirksamkeit einer Schweißnahtnachbehandlung mittels Schleifen, höherfrequentem Hämmern oder WIG-Aufschmelzen zeigt sich im maßgebenden Anwendungsbereich, dem Kurz-

## Enhancement of the local concept of fatigue assessment of welded crane structures of high strength steels in the low cycle fatigue regime (P 900)

The design of crane structures is linked to the fatigue life of welded high-strength and ultra high-strength fine-grained steels, which are widely used in order to meet requirements such as the carrying of increased loads and the enabling of lightweight design. These requirements arise from the technological goals of material efficiency and reduction of weight. High loads, which are applied to the telescopic boom of truck cranes for example, are related to the low cycle fatigue (LCF) regime.

This research report addresses the question as to whether the higher static strength of the high-strength steels S960QL, S960M and S1100QL will be confirmed under LCF loading in the welded condition.

Therefore, the fatigue behaviour of welded high-strength and ultra high-strength steels, with and without post weld treatment, has been characterised and prepared for implementation into numerically based fatigue life approach methods.

The fatigue test results under constant and service-related variable amplitude loading with a stress ratio of  $R_s = 0.1$  show that the high static strength of the base material is an advantage, even for welded structures under cyclic loading in the LCF regime. While the Woehler curve of welded butt joints resulting from constant amplitude loading can be linearly extended up to a nominal stress amplitude of  $Ds_n = 900$  MPa, the fatigue of variable amplitude loading shows a bilinear characteristic. Furthermore, the advantages of high-strength steels become apparent for welded transverse stiffeners. Both Woehler and Gassner curves show a linear relation up to the material's static yield strength. The influence of the welding quality and consequent irregularities of the welded joints have to be considered. For the investigated welded details and tube-clevis-components, test results were processed, so that, for nominal stresses, a fatigue life assessment by fatigue (FAT) classes could be carried out. The effect of post weld treatment methods, such as grinding, high-frequency hammer peening and TIG-dressing, is mostly shown by an increased fatigue life in the LCF regime.



zeitfestigkeitsbereich, ebenfalls auf Basis von Nennspannungen durch die Steigerung der Lebensdauer.

Eine Bemessung auf Basis örtlicher Beanspruchungen kann sowohl unter Berücksichtigung des elastisch-plastischen Materialverhaltens mit dem Dehnungskonzept, als auch mit dem Kerbspannungskonzept und einer linear-elastischen Betrachtung durchgeführt werden. Hierbei zeigt sich, dass insbesondere mit dem Kerbspannungskonzept unter Anwendung eines Referenzradius von  $r_{Ref} = 1$  mm Schweißkonstruktionen aus höchstfestem Stahl im LCF-Bereich ausgelegt werden können. In der Modellierung werden die globale Proben- und lokale Nahtgeometrie abgebildet. Die verbesserte konstruktive Auslegung bildet durch genauere Kenntnis des Schwingfestigkeitsverhaltens im LCF-Bereich eine breite Basis für eine wirtschaftlichere Anwendung hochfester Stähle.

Das IGF-Vorhaben 17102 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 Darmstadt, Fachgebiet Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik SzM und am Karlsruher Institut für Technologie KIT, Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, durchgeführt.

Der Abschlussbericht umfasst 200 Seiten und enthält 159 Abbildungen und Tabellen. Der Anhang befindet sich auf einer beigefügten CD-ROM.

Schutzgebühr: € 40,00 inkl. MWSt. zzgl. Versandkosten, ISBN 978-3-942541-76-3

Dipl.-Ing. Franz-Josef Heise

Local design concepts were used, through consideration of the elastic-plastic material behaviour by the notch strain concept and of a linear-elastic material behaviour using the notch stress concept. In particular, the notch stress concept, using a reference radius of  $r_{Ref} = 1$  mm, is useful for the design of welded components made of high-strength steels in the LCF regime. The numerical models were set up with respect to the global specimen and local weld geometry. The improved structural design, based on consideration of LCF fatigue properties, is an important enabler for the economic application of high-strength steels.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



The research project (IGF-Nr. 17102 N) was carried out at Technischen Universität Darmstadt, Fachgebiet Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik SzM und am Karlsruher Institut für Technologie KIT, Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine. 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 200 pages with 159 figures/tables. The appendix can be taken from the attached CD-ROM

Fee: € 40.00 incl. VAT plus mailing expenses  
ISBN 978-3-942541-76-3

Dipl.-Ing. Franz-Josef Heise

## 12. Stahl-Symposium - Hochfester Stahl im Stahl- und Maschinenbau

Die Veranstaltung mit 190 Teilnehmern (90% aus der Industrie) widmete sich am 08. Oktober 2015 in Ehingen in Vorträgen aus Forschung und Anwendung dem umfangreichen Themengebiet des Einsatzes von höherfesten Stählen. Dabei bildeten der Kranbau und der Stahlbau einen besonderen Schwerpunkt. In den Vorträgen wurden die Ergebnisse einer erfolgreichen vorwettbewerblichen, industriellen Gemeinschaftsforschung der Stahlindustrie mit dem Stahl- und Maschinenbau vorgestellt. Partner der Veranstaltung, die vom Stahlinstitut VDEh und der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. ausgerichtet wurde, waren die Liebherr-Werk Ehingen GmbH und der Verlag Ernst & Sohn, der mit dem STAHLBAU (Heft 9/2015) ein Themenheft zur Veranstaltung veröffentlicht hat.

## 12<sup>th</sup> Steel Symposium - High tensile steels in steel construction and mechanical engineering

On October 8th 2015 in Ehingen, the event with 190 participants (90% from industry) addressed in lectures from research and application the extensive topic of the application of high tensile steels. Crane construction and steel construction have been the main focus. The lectures presented the results of successful pre-competitive industrial collective research projects of steel industry with the steel construction and the mechanical engineering sector. Partner of this event, which was organized by the Steel Institute VDEh and Research Association for Steel Application (FOSTA), were Liebherr-Werk Ehingen GmbH and the publisher Ernst & Sohn, which have published a special issue STAHLBAU (issue 9/2015) on the occasion of this event.



## Einfluss des höherfrequenten Hämmerns auf die Ermüdungsfestigkeit ultrahochfester Stähle der Festigkeitsklassen S960, S1100 und S1300 am Beispiel geschweißter Kerbdetails (P 938)

Im Mobilkranbau werden ultrahochfeste Feinkornbaustähle mit Streckgrenzen von bis zu 1100 MPa bzw. mittlerweile auch versuchsweise 1300 MPa eingesetzt. Infolge auftretender Ermüdungsbeanspruchungen während des Betriebs ist die Lebensdauer der an Kranbauteilen vorkommenden geschweißten Kerbdetails, welche im oberen Zeitfestigkeitsbereich einzuordnen ist, jedoch begrenzt.

Eine Möglichkeit, die Lebensdauer zu erhöhen, stellt der Einsatz von Schweißnahtnachbehandlungsmethoden wie beispielsweise das höherfrequente Hämmern (HFH) dar. Durch die Anwendung von HFH werden hauptsächlich Druckeigenspannungen in den behandelten Nahtübergangsbereichen induziert, die in einer Translation und Rotation der Wöhlerlinie resultieren. Aus diesem Grund schneiden sich die Wöhlerlinien unbehandelter ( $m \sim 3$ ) und HFH-behandelter ( $m \sim 5$ ) Kerbdetails theoretisch im oberen Zeitfestigkeitsbereich. Bestehende Bemessungsvorschläge zur Erfassung von HFH berücksichtigen Stahlsorten lediglich bis maximal S960 und Blechdicken größer gleich 5 mm. Der Einfluss von HFH auf die Ermüdungsfestigkeit im oberen Zeit- bzw. im Kurzzeitfestigkeitsbereich für Stahlsorten S960 und höher ist nicht hinreichend abgedeckt.

Zur Erfassung des Einflusses höherfrequenter Hämmerverfahren auf die Ermüdungsfestigkeit geschweißter ultrahochfester Stähle wurden Ermüdungsversuche an vier kranbautypischen Kerbdetails aus den ultrahochfesten Feinkornbaustählen S960, S1100 und S1300 durchgeführt.

Im Vergleich zum unbehandelten Nahtzustand konnten infolge einer HFH-Behandlung mindestens eine Verdoppelung der Ermüdungsfestigkeit sowie Lebensdauersteigerungen ab einer Lastwechselzahl von etwa 10.000 festgestellt werden. Im Kurzzeitfestigkeitsbereich mit Bruchlastwechselzahlen der im Nahtzustand belassenen Versuchskörper zwischen 10.000 und 40.000 werden in Abhängigkeit von Kerbdetail und Streckgrenze infolge einer HFH-Behandlung etwa die zwei- bis zehnfachen Lebensdauern erreicht.

Infolge der HFH-Behandlung verlagern sich teilweise die Rissausgangsorte von den Nahtübergangskerben in den Nahtwurzelbereich oder in vorhandene Kerben im Grundwerkstoff. Die Ergebnisauswertung für die Kerbdetails Längssteife und Stumpfstoß lassen einen Einfluss der Werkstoffstreckgrenze auf die Wirksamkeit der HFH-Behandlung erkennen. Verschiedene

## Influence of high frequency hammer peening on the fatigue strength of welded notch details of ultra high strength steels with steel grades S960, S1100 and S1300 (P 938)

In mobile crane structures, ultra high strength fine grained structural steels (UHS) with yield strengths up to 1100 MPa and 1300 MPa respectively are used. Due to applied fatigue loads during operation, the fatigue life of welded notch details, which can be classified into the upper finite fatigue life region, is limited.

One possibility to improve the fatigue behaviour is the application of post weld treatment methods like high frequency hammer peening (HFH). HFH mainly induces compressive residual stresses in the treated weld toe area resulting in a translation and a rotation of the S-N-curve. Therefore, the S-N-curves of as welded ( $m \sim 3$ ) and HFH treated ( $m \sim 5$ ) notch details intersect theoretically in the upper finite fatigue life region. Existing design recommendations for the consideration of HFH are limited to maximum steel grades of S960 and plate thicknesses of 5 mm and higher. The influence of HFH-treatment on the fatigue behaviour of welded ultra high strength steels with yield strengths of 960 MPa



and higher – loaded in the upper finite and low cycle fatigue life region respectively – has not been investigated sufficiently so far.

For this reason, fatigue tests have been performed at four typical welded notch details of mobile crane structures made of S960, S1100 and S1300 to determine the influence of HFH on the fatigue strength.

The fatigue strength of HFH treated specimens was at least twice the fatigue strength of the as welded toe condition. Furthermore, a fatigue life improvement due to HFH treatment can be observed at loading cycles of 10.000 and higher. The fatigue life can be improved by factors of 2 to 10 due to HFH treatment in the upper finite fatigue life region with load cycles until failure of 10,000 to 40,000 for the as welded toe condition.



Blechkicken und Nahtgeometrien beeinflussen die Vergleichbarkeit der Ergebnisse im Rahmen der Ergebnisauswertung mit Hilfe des Nennspannungskonzeptes.

Die Einordnung der Versuchsergebnisse für den HFH-behandelten Nahtzustand in vorhandene Bemessungsansätze zur Berücksichtigung von HFH zeigt, dass die Kerbfallklassen aller Bemessungsansätze im Vergleich zu den vorhandenen Ergebnissen konservativ sind. Für die Kerbdetails der Lamelle sowie des Stumpfstoßes mit Blechdickensprung scheint eine weitere Höherstufung der Kerbfallklasse infolge einer HFH-Behandlung möglich.

Das Ermüdungsverhalten von HFH-behandelten, ultrahochfesten Feinkornbaustählen S960 und höher unter Berücksichtigung von Vorbeanspruchungen, variablen Belastungskollektiven sowie vergrößerten Mittelspannungen ist bisher nicht hinreichend abgedeckt und bedarf weiterer Untersuchungen.



Das Forschungsvorhaben P 938 der FOSTA – Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V., Düsseldorf, wurde am Institut für Metall- und Leichtbau der Universität Duisburg-Essen mit fachlicher Begleitung und

finanzieller Förderung durch die FOSTA, durchgeführt.

Der Abschlussbericht umfasst 278 Seiten und enthält 267 Abbildungen und Tabellen.

Schutzgebühr: € 40,00 inkl. MWSt. zzgl. Versandkosten, ISBN 978-3-942541-75-6

Dipl.-Ing. Franz-Josef Heise

In some cases the location of crack initiation changes after HFH treatment from the weld toe to the weld root or to notches in the base material. The evaluation of the results showed an influence of the yield strength on the fatigue strength improvement for the notch details longitudinal stiffener and butt weld. Different plate thicknesses and weld geometries influence the comparability of test results within the evaluation based on the nominal stress concept.

The classification of the test results for the HFH-treated toe condition shows that FAT classes of existing design proposals are conservative. For the notch details of welded cover plate and butt weld with transition in thickness a further improvement of the proposed FAT classes are possible.

Further investigations are necessary to prove the influence of HFH treatment at welded ultra high strength fine grained structural steels at variable amplitude loading and increased stress ratios considering overloads and preloads.

The research project P 938 of Research Association for Steel Application was carried out at Institut für Metall- und Leichtbau der Universität Duisburg-Essen. FOSTA has accompanied and funded the research work.

The final report contains 278 pages with 267 figures/tables.

Fee: € 40.00 incl. VAT plus mailing expenses  
ISBN 978-3-942541-75-6

Dipl.-Ing. Franz-Josef Heise

## Hybridschmieden – Kombiniertes Umformen und Fügen (P 1004)

In dieser Studie wurden die Machbarkeit und das Potential eines warmen Hybridschmiedeprozesses für einen Druckflansch untersucht. Dieser Prozess zeichnet sich durch ein gleichzeitiges Umformen und Fügen eines dicken Bleches und einer Welle in einem Schritt aus. Zunächst wurde der Prozess mit Hilfe einer FEM-Software ausgelegt. Im Vergleich zu einem Referenzprozess konnten wesentliche Reduzierungen der Presskraft erreicht werden, so dass es möglich ist, größere Flansche auf kleineren Umformaggregaten zu schmieden.

Als Werkstoff wurde der nichtrostende Stahl X6CrNiMoTi17-12-2 (1.4571) verwendet. Anschließend wurden Versuche auf einer industriell eingesetzten Exzenterpresse durchgeführt. Wesentliches Merkmal war die Sicherstellung des Formschlusses der beiden Bauteile, da ein Stoffschluss sich nicht einstellen ließ. Hierzu wurden die Bleche mit einer Fase und mit Aussparungen versehen, welche während der Umformung durch das Material der Welle gefüllt wurden und so eine axiale und radiale Verschiebung verhindern sollten. Dieses Ziel wurde erreicht. Dazu musste das Blech jedoch stärker erwärmt werden als das Wellenmaterial, da sich sonst nach dem Abkühlen aufgrund der thermischen Schrumpfung Spalten eingestellt ha-

## Hybrid forging - Combined forming and joining (P 1004)

In this study, the feasibility and the potential of a warm hybrid-forging process for a pressure flange were examined. This process is characterized by a simultaneous forming and joining of a thick sheet and a shaft in one step. First, the process was designed using FEM software. In comparison to a reference process substantial reductions of the press force have been achieved, so that it is possible to forge larger flanges on smaller presses.

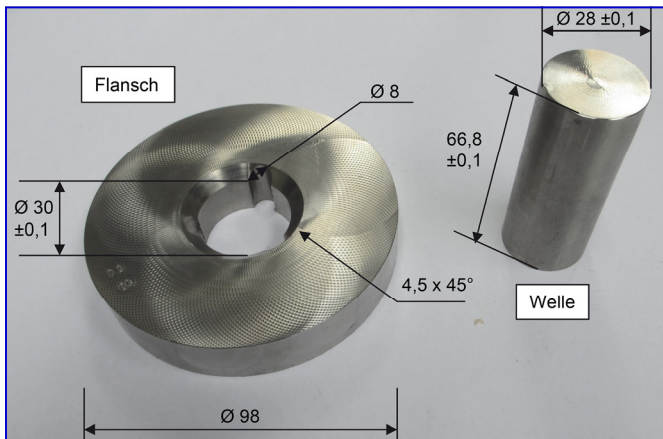
As material stainless steel grade X6CrNiMoTi17-12-2 (1.4571) was used. Tests were carried out on an industrially used eccentric press. An essential feature was to ensure the form closure connection of the two elements, since a material connection could not be set. For this purpose, the sheets were prepared with a chamfer and with cavities which have been filled during the forming process with the material of the shaft. Axial and radial displacement should be prevented by this kind of form closure, which was successfully achieved. For this purpose, however, the sheet had to be heated more than the shaft material, otherwise a gap would generate due to different thermal shrinkage after cooling. The press forces have also been reduced. Usually the real forging process with flash requires press forces of about 800 tons. In a convention-

ben. Die Presskräfte konnten real ebenfalls reduziert werden. Üblicherweise benötigt der reale Prozess bei gratbehaftetem Schmieden Presskräfte von ca. 800 Tonnen. Bei gratlosem Schmieden sind diese Kräfte höher. Somit konnte eine wesentliche Einsparung der Presskräfte erreicht werden.

Schmiedeunternehmen können nun rotationssymmetrische Teile in einer manuellen Produktion durch Hybridschmieden herstellen. So können Teile gratlos mit einer geringen Umformkraft hergestellt werden. Dieses führt zu einer Reduzierung der Werkzeugbelastung und damit zu einer Standzeiterhöhung. Kleinere Pres-

al flashless forging these forces are higher. Consequently, a substantial saving of the press forces has been achieved.

Forging companies now can produce rotationally symmetrical parts in a manual production by hybrid forging. This way, parts can be produced without flash with a low forming force. Accordingly tool loads are reduced and die life is increased. Smaller presses can be used for similar parts. An automation incl. feeding is yet to be developed. After that, also long parts can be produced industrially, which take the largest share of forged parts.



sen können für vergleichbare Teile verwendet werden. Eine Automatisierung inkl. Zuführtechnik ist noch zu entwickeln. Damit können auch Langteile hergestellt werden, die industriell einen größeren Anteil der massiv umgeformten Bauteile ausmachen.

Das Forschungsvorhaben P 1004 der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., Düsseldorf wurde vom IPH - Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH mit fachlicher Begleitung und mit finanzieller Förderung durch die Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V., Düsseldorf, durchgeführt.

Der Abschlussbericht umfasst 46 Seiten und enthält 37 Abbildungen und Tabellen.

Schutzgebühr: € 20,00 inkl. MWSt. zzgl. Versandkosten, ISBN 978-3-942541-66-4

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

The research project P 1004 of of Research Association for Steel Application was carried out at IPH - Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH. FOSTA has accompanied and funded the research work.

The final report contains 46 pages with 37 figures/tables.

Fee: € 20.00 incl. VAT plus mailing expenses  
ISBN 978-3-942541-66-4

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

### Methoden zur Charakterisierung des Versagensverhaltens hochfester Stahlblechwerkstoffe in einem breiten Spektrum von Spannungszuständen mithilfe einachsiger Zugprüfmaschinen (P 1007)

Das Hauptziel des Projekts bestand darin, eine neue Methode zur Charakterisierung des Versagensverhaltens hochfester Stahlblechwerkstoffe zu entwickeln. Diese Methode sollte auf Scherzugversuchen an neuen Scherzugproben mithilfe eines neuen Prüfmoduls in einachsigen Zugprüfmaschinen sowie auf hydraulischen Tiefungsversuchen basieren und eine Versagenscharakterisierung in einem im Vergleich zur konventionellen Grenzformänderungskurve breiteren

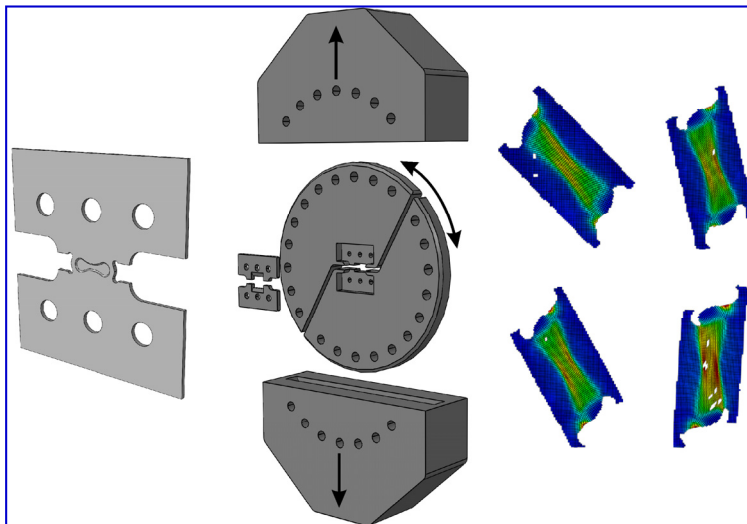
### Method for characterisation of fracture behaviour of high-strength sheet steels in a wide range of stress states with the help of uniaxial tensile testing machines (P 1007)

The main objective of the project was to develop a method for characterisation of fracture behaviour of high-strength sheet steels. The method was to be based on shear-tensile tests on new shear-tensile specimens with the help of a new test module in uniaxial tensile testing machines as well as hydraulic bulge tests. The method should allow fracture characterisation in a range of stress states, which is wider than that covered by the conventional forming limit curve. The key element of the method is the new shear-tensile



Spektrum von Spannungszuständen ermöglichen. Den Kern des entwickelten Ansatzes stellt die neue Scherzugprobe dar, die sich unabhängig von der Richtung einer äußeren einachsigen Belastung in der Probenebene durch eine zur Rissinitiierung führende Formänderungslokalisierung im Materialinneren und nicht an einer freien Kante kennzeichnet. Für die Scherzugversuche an den neuen Scherzugproben wurde ein neues Prüfmodul konstruiert und gefertigt, das eine einachsige Prüfkraft in folgende Beanspruchungen im zu prüfenden Material umwandelt: eine einachsige Zugbeanspruchung mit einer Überlagerung von hydrostatischem Zug, fünf verschiedene Scherzugbeanspruchungen mit einem dominierenden Zug- bzw. Scheranteil und eine Scherdruckbeanspruchung mit einem dominierenden Scheranteil.

Anhand von Scherzugversuchen bei fünf verschiedenen Probenausrichtungen zur Prüfkraft wurde der Versagensumformgrad eines Dualphasen-Stahlblechwerkstoffs unter Verwendung eines optischen Messsystems experimentell bestimmt. Darüber hinaus wurde durch eine numerische Abbildung der durchgeführten Scherzugversuche die am Materialpunkt der Rissinitiierung vorherrschende Spannungsdreiaxialität ermittelt. Durch eine Zusammenlegung des jeweiligen Mittelwertes der experimentell be-



stimmten Versagensumformgrade und des jeweiligen charakteristischen Wertes der numerisch ermittelten Spannungsdreiaxialität wurde für jede getestete Materialbeanspruchung ein Stützpunkt für den Fit der materialspezifischen Versagenskurve erhalten. Zu diesen fünf Stützpunkten wurde ein Stützpunkt aus hydraulischen Tiefungsversuchen mit aufgenommen. Aus der relativen Anordnung der sechs Stützpunkte ist ersichtlich, dass die Abhängigkeit des Versagensumformgrades von der Spannungsdreiaxialität mithilfe des entwickelten Ansatzes grundsätzlich erfasst wird.

Zwar bestätigen die durchgeführten Arbeiten die grundsätzliche Eignung des Ansatzes zur Charakterisierung des Versagensverhaltens hochfester Stahlblechwerkstoffe, legen aber auch Möglichkeiten seiner Weiterentwicklung offen. Einzelne Schwerpunkte dieser Weiterentwicklung sind eine Optimierung der Probengeometrie zur Unterdrückung von Kantenrissen, eine Untersuchung zum Einfluss der Probenfertigung auf Versuchsergebnisse, Verbesserungen bei der Erfassung des Zeitpunkts und der Position der Rissinitiierung sowie eine Untersuchung zur Übertragbarkeit von Versuchsergebnissen in die numerische Simulation von Umformprozessen. Diese Schwerpunkte sollen in absehbarer Zukunft in neuen Forschungsprojekten des

specimen, which prefer fracture-inducing strain localisation in the material interior and not at a free specimen edge independent of an external uniaxial load in the specimen plane. For the shear-tensile tests on the new shear-tensile specimens, the new test module was developed and built, which converts an uniaxial test load in the following material loadings in the tested material: a uniaxial tensile loading with a superimposed hydrostatic tension, five different shear-tensile loadings with a dominant tensile or shear part, and a shear-compression loading with a dominant shear part.

With the help of the shear-tensile tests of five different specimen orientations relative to the test load accompanied by a strain analysis based on a digital image correlation, the fracture strain of a dual-phase sheet steel was determined. Furthermore, with the help of a numerical analysis of the performed tests, the stress triaxiality at a fracturing material point of the speci-

mens was computed. Via a relation of the mean value of the experimentally determined fracture strain with the characteristic value of the stress triaxiality for each material loading, a point for a fit of a material-specific fracture curve was obtained. Along with the five points from the performed shear-tensile tests, another point for the fit of the fracture curve was used from hydraulic bulge tests. From the

relative position of the six points, it can be seen that the proposed method generally captures the dependence of the fracture strain from the stress triaxiality.

Although the performed work proved general suitability of the proposed method for characterisation of fracture behaviour of high-strength sheet steels, it also revealed possibilities for its further development. Particular emphases of this further development are optimisation of the specimen geometry for suppression of edge cracks, investigation of the influence of the specimen preparation on the test results, improvements in determination of fracture initiation time point and position as well as investigation on the transfer of the test results into the numerical forming process simulation. These emphases are to be handled in new research project of the IFUM in the near future to facilitate the acceptance of proposed method in FEA-based design of sheet metal forming processes both in the academia and industry.

The research project P 1007 of Research Association for Steel Application was carried out at Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Universität Hannover. FOSTA has accompanied and funded the research work.



IFUM verstärkt angegangen werden, um eine Akzeptanz der neu entwickelten Methode bei der simulati-  
onsgestützten Auslegung von Blechumformprozessen  
in der Forschungslandschaft und in der industriellen  
Praxis zu fördern.

Das Forschungsvorhaben P 1007 der Forschungsver-  
einigung Stahlanwendung e.V., Düsseldorf wurde vom  
Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen,  
Universität Hannover mit fachlicher Begleitung und mit  
finanzieller Förderung durch die FOSTA, durchgeführt.  
Der Abschlussbericht umfasst 64 Seiten und enthält 46  
Abbildungen und Tabellen.

Schutzgebühr: € 20,00 inkl. MWSt. zzgl. Versandkosten,  
ISBN 978-3-942541-67-1

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

The final report contains 64 pages with 46 figures/  
tables.

Fee: € 20.00 incl. VAT plus mailing expenses  
ISBN 978-3-942541-67-1

Dipl.-Ing. Rainer Salomon



### **Untersuchungen zum Schmelzschweißen höchstfester Chromstähle mit martensiti- schem Gefüge mittels Laserstrahl- und MAG- Schweißen (P 905)**

Wer sich mit Ressourceneffizienz und Leichtbau in  
mobilen Strukturen beschäftigt kommt an ultrahochfes-  
ten Stählen nicht vorbei. Neuere Überlegungen haben  
zur Anwendung nichtrostender Stähle mit martensiti-  
schem Gefüge geführt. Diese Stähle besitzen Vorteile  
durch ihre inhärente Korrosionsbeständigkeit, hervor-  
ragende Umformbarkeit und Härbarkeit. Jedoch wur-  
den sie aufgrund ihrer Kohlenstoffgehalte von bis zu  
0,46 Massenprozent bisher als nicht schweißbar ein-  
gestuft. Daher wurde eine Untersuchung angestrebt  
mit dem Ziel, die Schweißseignung zu prüfen und die  
mechanischen Eigenschaften geschweißter Verbin-  
dungen zu ermitteln. Im Rahmen einer Prozessent-  
wicklung wurde ein Konzept für die angepasste Wär-  
meführung entwickelt. Die mechanischen Eigenschaf-  
ten wurden in Schwingfestigkeitsversuchen an Stumpf-  
stößen für die Anwendung in der Fertigung von Tailo-  
red Blanks wie in der Montage bereits gehärteter Ble-  
che bestimmt. Untersuchung nach dem KS-2-Konzept  
sowie quasistatische und schlagartige Belastungsver-  
suche an bauteilähnlichen Komponenten wurden zur  
Ermittlung der Tragfähigkeit angestellt. Letztlich wur-  
den Korrosionsuntersuchungen ohne und mit Belas-  
tung durchgeführt, um Information über den Einfluss  
der geschweißten Werkstoffe auf Umweltbedingungen  
zu erhalten.

Für das Schweißen martensitischer Stähle sind im All-  
gemeinen kurze Wärmezyklen vorteilhaft. Um die  
Streuung der Härte in der Wärmeeinflusszone zu be-  
grenzen, wurde eine auf die einzelnen Werkstoffe an-  
gepasste Schweiß-Wärmebehandlung entwickelt und  
angewandt. Vorwärmen auf die Martensit-  
Starttemperatur in Kombination mit einer Anlassbe-  
handlung unterhalb der Lösungstemperatur der Karbi-  
de führt zu einer Entspannung des tetragonalen Mar-  
tensits und erhöht die Zähigkeit in der Schweißzone.  
Durch Vorwärmen wird darüber hinaus die Breite der  
Schweißzone vergrößert und der Prozess weniger  
empfindlich gegen Fehlpositionierungen.

### **Investigations on fusion welding of stainless chromium steels with martensitic microstruc- ture by laser and MAG welding (P 905)**

Whoever deals with resource efficiency in lightweight  
construction cannot get around ultra-high strength  
steels. Recent thoughts led to the application of stain-  
less steels with martensitic microstructure. These  
steels have the benefit of intrinsic corrosion resistance,  
excellent formability and hardenability. Many of them  
are regarded as not weldable due to their carbon con-  
tents of up to 0.46 weightpercent. Hence, trials were  
undertaken to ensure welding suitability and reproduc-  
ible mechanical properties. Within the framework of  
process development a suited concept of weld heat  
treatment was developed. Mechanical properties were  
examined in fatigue test on square butt joints for the  
manufacture of tailored blanks as well as for assembly  
welds of the already hardened sheets. Experiments  
according to the KS-2 concept and quasistatic and  
crash load trials on component-like specimens were  
carried out in order to investigate the crash perfor-  
mance of welded parts. Last but not least unloaded  
and loaded corrosion tests had been performed with  
the aim to raise information on the effect of weld heat  
treatment of the material's response to environmental  
conditions.

In general for welding of martensitic stainless steels  
short thermal cycles are preferred. In order to control  
the hardness loss in the heat affected zone a weld  
heat treatment adjusted to the material, i.e. mainly it's  
carbon content is prerequisite. Preheating to marten-  
site start temperature in combination of a suited tem-  
pering below the temperature of the dissolution of the  
alloy carbides will lead to a relaxation of the tetragonal  
martensite and enhance the ductility of the weld. Pre-  
heating also lead to an increase of the width of seam  
and heataffected zone, that the process becomes less  
sensitive to maladjustments during manufacturing.  
Martensitic stainless steels can be welded under a  
standard weld treatment. In the case of welding tailo-  
red blanks a weld heat treatment is not required, but  
tempering of the weld improves the fatigue properties  
significantly. In welding of hardened sheets the effect



Martensitische Stähle können unter Standard-Wärmebehandlung geschweißt werden. Im Fall der Fertigung von Tailored Blank ist eine Wärmebehandlung nicht zwingend erforderlich, jedoch führt die Schweiß-Wärmebehandlung zu einer signifikanten Erhöhung der Schwingfestigkeit. Beim Schweißen gehärteter Bleche ist der Effekt nicht so stark ausgeprägt. Mit einer optimierten Temperaturführung wird in beiden Fällen die Schwingfestigkeit der Grundwerkstoffe im Walzzustand erreicht. In artungleichen Verbindungen ist die Schwingfestigkeit durch den schwächeren Partner begrenzt. Die Tragfähigkeit hängt eher von der Nahtgeometrie und der Lastrichtung als von der Wärmebehandlung ab. Im Vergleich zu gehärteten Mangan-Bor-Stählen können sehr hohe Belastbarkeiten erreicht werden. Die Mangan-Bor-Stähle zeigen höhere Bruchkräfte und ein duktileres Verhalten im Kopfzugversuch. In artungleichen Verbindungen wurde wiederum mit den Chromstählen eine höhere Tragfähigkeit erreicht. Im Rahmen von Versuchen an bauteilähnlichen Komponenten wurde festgestellt, dass das Bruchverhalten nicht nur von der Belastungsgeschwindigkeit sondern auch von der Lastrichtung abhängt. Zur optimalen Ausnutzung der Materialeigenschaften unter Crashbedingungen ist eine genaue Kenntnis des Belastungskollektivs unabdingbar.

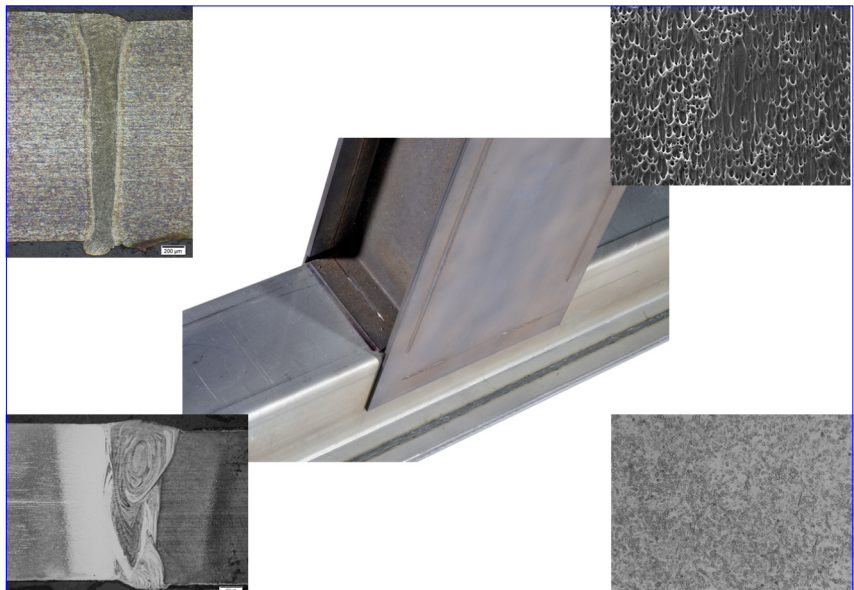
Die Korrosionseigenschaften wurden im Klimawechseltest und im Sensitivierungsversuch nach ASTM ermittelt. Im Klimawechseltest konnte kein Einfluss der Korrosionsbelastung auf Festigkeit und Verformungsverhalten ermittelt werden. Es fand kein Angriff auf den Werkstoff statt. Das Sensitivierungsverhalten wird grundsätzlich durch Presshärten verbessert. Mit steigendem Kohlenstoffgehalt erhöht sich auch die Ausscheidung von Karbiden. Dies wiederum führt zu einer erhöhten Anfälligkeit gegen interkristalline

Korrosion. Eine Schweiß-Wärmebehandlung kann nach dem Presshärten zu einer Verminderung der IK-Beständigkeit in der Schweißnaht führen. Ein signifikanter Einfluss der Schweiß-Wärmebehandlung auf die Sensitivierung in geschweißten gehärteten Blechen konnte nicht gefunden werden. Alle Schweißzonen zeigten einen Angriff in der Wärmeeinflusszone, der mit steigendem Kohlenstoffgehalt stärker wird.

Die hochlegierten Stähle mit 12% Chrom werden dort eingesetzt, wo ihre intrinsische Korrosionsbeständigkeit gepaart mit Festigkeiten von bis zu 1900 MPa erforderlich sind, wie bei Nutzfahrzeugen und Bahnfahrzeugen. Mit den neuen Entwicklungen werden Möglichkeiten für die Konstruktion geschweißter Strukturen mit Chromstählen mit martensitischem Gefüge aufgezeigt.

Das IGF-Vorhaben 17433 N der FOSTA – Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur

of the heat treatment chosen had a less pronounced effect. With optimum weld heat treatment the fatigue strength of the either unwelded material in as-rolled condition will be attained. In dissimilar welds the values of the fatigue properties are limited by those of the weaker partner. Crashworthiness depends rather on the seam geometry and the load direction than on the weld heat treatment. With extremely high fracture forces the load-bearing capability of hardened martensitic stainless steels supersedes that of manganese boron steels. The latter show slightly higher fracture forces and better ductility under axial load. In dissimilar welds with conventional deep drawing steels higher strengths were attained than for manganese boron steels. Especially on the tests on component-like specimens it was



found that the failure mode does not only depend on the load rate but also on its direction. Regarding the performance an exact knowledge of the loading mode is required for an optimum application of the materials.

Korrosionseigenschaften wurden getestet in an alternating climate test and in oxalic acid sensitization tests according to ASTM. In the alternating climate tests no effect of the corrosive load on the deformation behaviour was detected. No attack of the material occurred. Sensitization behaviour is in general improved by press hardening. An increased carbide precipitation lead so increasing sensitization of the heat affected zone with the carbon content. Application of weld heat treatment may impair the corrosion properties of the weld after press hardening. No significant effect of weld heat treatment was found in welding of press hardened sheets. All welds showed sensitization in the heataffected zone, increasing with increasing carbon content.

Stainless martensitic steels with more than 12 weightpercent of will be applied where intrinsic corrosion resistance combined with a strength of 1900 MPa is beneficial, as for trucks and busses as well as for railroad vehicles. With the new developments a path for the design of welded structures in these materials is paved.

The research project (IGF-Nr. 17433 N) was carried

Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Das Vorhaben wurde am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, Aachen, am Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik der Universität Paderborn und am Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit, Darmstadt durchgeführt.

Der Abschlussbericht umfasst 106 Seiten und enthält 92 Abbildungen und Tabellen.

Schutzgebühr: € 30,00 inkl. MWSt. zzgl. Versandkosten, ISBN 978-3-942541-83-1

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**IGF** out at Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, Aachen, at Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik der Universität Paderborn and at Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit, Darmstadt. 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 106 pages with 92 figures/tables.

Fee: € 30.00 incl. VAT plus mailing expenses  
ISBN 978-3-942541-83-1

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

**Am 18.11.2015 fand in Düsseldorf das HISTWIN+ Symposium zu aktuellen Forschungsvorhaben der FOSTA im Bereich des Turm und Mastbaus statt.**

Im Vordergrund des Programms standen Optimierungsansätze durch den Einsatz des Werkstoffs Stahl für entsprechende Bauwerke aus der Windenergie, dem Freileitungsbau und dem Mobilfunkbau. Das Symposium war mit 180 zahlenden Teilnehmern ausgebucht. Verschiedene Unternehmen aus den genannten Anwenderbranchen unterstützten die Veranstaltung durch ihre Teilnahme an der begleitenden Ausstellung.



**The HISTWIN+ symposium presenting current research projects of FOSTA in the field of tower and mast construction took place on 18th November 2015 in Düsseldorf.**

Main focus of the program was to show approaches for optimizing wind energy constructions, overhead line and radiophone constructions by using steel. The symposium was fully booked with 180 participants. Several companies from the above mentioned different industry sectors supported the event through its participation at the accompanying exhibition.



**SAVE THE DATE**  
**June 18 to 22, 2017**



The 5<sup>th</sup> International Conference on Steels in Cars and Trucks will take place in the NH Conference Centre Leeuwenhorst, nearby Amsterdam-Schiphol in The Netherlands.

A comprehensive and wide reaching marketing campaign with flyers, first / second announcements / call for papers, mailings, newsletters, website, flags and much more brought, and continues to convey, the SCT message to the target groups.

In accordance with the main targets of the conference

***Bringing the automotive, supplier and steel industry together.***

***Future trends in steel development, processing technologies and applications.***

the main topics are:

- ◆ Steel components in Cars and Trucks
- ◆ Manufacturing of components
- ◆ New steels
- ◆ Modelling, Simulation and Testing

We offer several attractive sponsorship or exhibiting packages that can be tailored to suit individual needs. More information will be available at

[www.sct2017.com](http://www.sct2017.com)

Platinum Sponsor **TATA STEEL**





## Initiative massiverLEICHTBAU / The Lightweight Forging Initiative Forschungsverbund / Research Network



**64 Unternehmen** aus der kompletten Prozesskette bis hin zum Automobilhersteller, **4 Forschungsvereinigungen**, **10 Forschungsstellen** und **2 weitere Hochschulen** bilden den Forschungsverbund „**Massiver Leichtbau** – Innovationsnetzwerk für Technologiefortschritt in Bauteil-, Prozess- und Werkstoff-Design für massivumgeformte Bauteile der Automobiltechnik“. Ziel ist es, mit Hilfe moderner Stahlwerkstoffe, Bauteilkonstruktionen und Fertigungsmethoden den Antriebsstrang und das Fahrwerk von Automobilen leichter zu machen und trotzdem höchste Lebensdauererwartungen zu erfüllen.

**64 companies** from the entire process chain through to the automotive manufacturer, **4 research associations**, **10 research institutes** and **2 further universities** make up the new Research Network entitled “**Lightweight Forging – Innovation Network for Technological Progress in Part, Process and Material Design for Forged Parts in Automotive Technology**”. The goal is to use modern steel materials, part design and production methods to make the car powertrain and chassis lighter and yet still able to fulfil the most stringent requirements with regard to service life.

Der Forschungsverbund wird über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



The Research Network is being funded via the German Federation of Industrial Research Associations (AiF) as part of the program for financing the Pre-Competitive Cooperation Industrial Research Project (IGF) of the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy due to a resolution of the German Bundestag.

### 5 Forschungsprojekte seit Mai 2015

- TP 1 Entwicklung von höchstfesten Stählen** für alternative Wärmebehandlung und für die Kaltmassivumformung von Bauteilen im Kfz-Antriebsstrang
- TP 2 Intelligenter Leichtbau** durch Mehrkomponentenverfahren
- TP 3 Leichtbau durch gezielte Einstellung lokaler Bauteileigenschaften** mit optimierten Umform- und Zerspanprozessen
- TP 4 Erweiterung technologischer Grenzen** bei der Massivumformung in unterschiedlichen Temperaturbereichen
- TP 5 Innovationstransfer**, technische Potentialbewertung und Lebenszyklusanalyse

### 5 research projects since May 2015

- SP 1 Development of ultra-high-strength steels** for alternative heat treatments and for the cold forging of parts in the powertrain of passenger cars
- SP 2 Intelligent lightweight design** through multi-component processes
- SP 3 Lightweight design through targeted setting of local part properties** with optimised forging and machining processes
- SP 4 Expanding technological boundaries** when forging in different temperature ranges
- SP 5 Innovation transfer**, technical potential assessment and lifecycle analysis

Dipl.-Ing. Rainer Salomon

SAVE  
THE  
DATE

**MASSIVER  
LEICHTBAU**  
in Fahrzeugen

2  
0  
1  
6

31. Mai und 01. Juni 2016 – Vortragsveranstaltung  
 Mövenpick Hotel Stuttgart Airport & Messe  
[www.massiverLEICHTBAU.de](http://www.massiverLEICHTBAU.de) // [www.lightweightforging.com](http://www.lightweightforging.com)



## 40 Jahre LWF 19. Paderborner Symposium Fügetechnik



## 40 years LWF 19. Symposium joining technology of Paderborn

*Ausstellung: neue Karosserien Audi Q7, BMW 7er, Mercedes-Benz C-Klasse*

*Exhibition of new body AUDI Q7, BMW 7 and Mercedes-Benz C-class*

Am 14. und 15. April 2016 veranstaltet der Freundeskreis LWF Universität Paderborn e.V. anlässlich des 40jährigen Bestehens des Laboratoriums für Werkstoff- und Fügetechnik (LWF) das 19. Paderborner Symposium Fügetechnik in der PaderHalle. Unter der Themenstellung „Wandlungsfähige Fertigung von Multimaterial-Leichtbaustrukturen“ werden renommierte Referenten aus Industrie und Forschung verschiedene Fachvorträge präsentieren. Die Forschungsschwerpunkte des LWF sind seit seiner Gründung 1976 durch Prof. Dr.-Ing. Ortwin Hahn auf die Neu- und Weiterentwicklung von Fügeverfahren zur effizienten Realisierung von Multimaterial-Leichtbaustrukturen ausgerichtet. Seit 2011 wird das LWF von Prof. Dr.-Ing. Gerson Meschut geleitet.

On occasion of fortieth anniversary of the Laboratory for Material Science and Joining Technologies (LWF) University of Paderborn the Freundeskreis LWF Universität Paderborn e.V. is hosting the 19. Paderborner symposium joining technology in the PaderHalle on 14 and 15 April 2016. Among the topics position “Versatile production of multi-material lightweight structures” renowned speakers of industry and research will present several lectures. Since its foundation in 1976 by Prof. Dr.-Ing. Ortwin Hahn the research priorities of the LWF are development and improvement of joining processes for the efficient implementation of multi-material lightweight structures. Since 2011 the LWF is governed by Prof. Dr.-Ing. Gerson Meschut.

Das vollständige Programm kann im Internet unter <http://www.lwf-paderborn.de/> heruntergeladen werden.

The program can be downloaded at <http://www.lwf-paderborn.de/>.

## Veranstaltungen mit Beteiligung der FOSTA; Termine

### Events with the participation of FOSTA; Dates

#### 2016

- |                      |  |
|----------------------|--|
| 14. und 15. April    | 40 Jahre LWF - 19. Paderborner Symposium Fügetechnik, Paderborn  |
| 28. April            | 2. Offenburger Stahlbau-Tagung: Stahlkonstruktionen im Ingenieur- und Maschinenbau, Hochschule Offenburg   |
| 31. Mai und 01. Juni | massiverLEICHTBAU in Fahrzeugen 2016 — Werkstoffe & Bauteile, Potentiale & Lösungen, Mövenpick Hotel Stuttgart Airport&Messe [VDEh, IMU] <a href="http://www.massiverLEICHTBAU.de">www.massiverLEICHTBAU.de</a>      |
| 3. Juni              | Stahlbau-Kalender-Tag 2016, Eurocode 3 - Grundnorm, Werkstoffe und Nachhaltigkeit, Institut für Konstruktion und Entwurf, U Stuttgart  |
| 10. November         | Jahrestagung STAHL 2016, CCD Congress Center Düsseldorf  |
| 07. und 08. Dezember | 6. Fügetechnisches Gemeinschaftskolloquium - Gemeinsame Forschung in der Mechanischen Fügetechnik, München [EFB, FV-DVS, FOSTA] <a href="http://www.kolloquium.fuegetechnik.org">www.kolloquium.fuegetechnik.org</a> |

#### 2017

- |                  |   |
|------------------|---|
| 07. bis 10. Juni | 5 <sup>th</sup> SCT - International Conference on Steels in Cars and Trucks, 18.-22.06.2017, Amsterdam-Schiphol |
|------------------|---|



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](mailto:verlagvertrieb@stahl-zentrum.de)

**Forschungsberichte als PDF-Version über / Research reports as PDF-version via [www.stahl-daten.de](http://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: [foستا@stahlforschung.de](mailto:foستا@stahlforschung.de), Internet: [www.stahl-online.de](http://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)

