

JOINING PLASTICS

FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN

www.fuegen-von-kunststoffen.de
www.joining-plastics.info


Kunststoffschweißtechnik
in Perfektion
*Plastics Welding
Technology in Perfection*

Wärmgasschweißgeräte
Extrusionsschweißgeräte
Stumpfschweißmaschinen
Biegemaschinen
Sondermaschinen

*Hot Air Welding Tools
Extrusion Welders
Butt Welding Machines
Bending Machines
Custom Designed Machines*



Stumpfschweiß-
maschine SM-Serie 8. Generation
Der Allrounder – für viele Einsatzmöglichkeiten

*Butt Welding Machine SM-Series
8. Generation
The all-rounder – for many applications*




www.wegenerwelding.de
info@wegenerwelding.de

Themen der Fachbeiträge

- Thermografie zur Qualitätssicherung beim Ultraschallschweißen
- Wechseldehnungsschweißen – Entwicklung einer Füge-technologie für 3D-Geometrien
- Klebtechnische Füge-techniken für additiv gefertigte Kunststoffbauteile
- Eigenspannungen bei pressgefügtten Hybridbauteilen

Topics of the Peer-reviewed Papers

- Thermography for quality assurance in the case of ultrasonic welding
- Alternating strain welding - Development of a joining technology for 3D geometries
- Adhesive bonding joining technologies for additively manufactured plastic components
- Residual stresses in the case of press-joined hybrid components

JOINING PLASTICS FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN

www.joining-plastics.info

The NEWSLETTER of JOINING PLASTICS



Be fully informed with the JOINING PLASTICS NEWSLETTER:

- Four times a year
- News hot off the press
- Latest research developments
- More about upcoming fairs and events

Sign up at www.joining-plastics.info/newsletter



Oktober ist Messezeit ... oder nicht? October is the trade fair season ... isn't it?

Durch die weltweite COVID-19-Pandemie ist unser Terminkalender im Oktober etwas entspannter geworden: Keine Fakuma-Messe! Die direkte Wirkung solcher Ausfälle ist nur bedingt quantifizierbar, aber sicherlich auf Dauer eher negativ. Bei Gremientätigkeiten oder Fachausschüssen bin ich da optimistischer. Hier ist prinzipiell die Akzeptanz von Online-Meetings sehr hoch. Die Einsparung der Reisezeit ist angenehm und auch die Abläufe solcher Besprechungen wurden optimiert und sind wesentlich effizienter geworden. Ob es eine Dauer-Lösung ist, wird uns die Zeit zeigen. Ich persönlich bin ein großer Fan von bunten Mischungen. Die Natur hat uns vielfältig und anders gemacht und so sind auch die Antworten auf die meisten Probleme. Eine alleinige und dauerhafte Lösung gibt es selten. Kunststoffe sind zum Beispiel nicht immer die Werkstoffe der Wahl. Bei manchen (aber zum Glück wenigen) Einsatzbereichen sind andere Werkstoffe sinnvoller. Daher denke ich, dass auch der Austausch zwischen Menschen eine bunte Mischung von Online- und Präsenz-Meetings sein kann. Einerseits kann man abends öfter bei Familie und Freunden sein, aber andererseits schmeckt das Bier oder der Wein nach einem guten Vertragsabschluss in Gesellschaft einfach besser. Und den Bierdeckel, um den spät geschlossenen Vertrag festzuhalten, bekommt man online auch nicht hin.

Dasselbe gilt für die Weiterbildung. Manche Veranstaltungen lassen sich eben nur bedingt online durchführen. Eine Grundausbildung (beispielsweise nach DVS 2281) ist aus heutiger Sicht eine technische Schulung, die nur in Bildungseinrichtungen stattfinden kann. So wird es auch in den nächsten Jahren laufen. Nichtsdestotrotz hat inzwischen jeder die Vorteile von Online-Bildung erkannt. Etliche Veranstaltungen werden künftig sicherlich ausschließlich digital stattfinden, aber dann hoffentlich ohne Pandemie.

Due to the worldwide COVID-19 pandemic, our appointments diaries have become somewhat more relaxed in October: No Fakuma trade fair! The direct effect of such cancellations is quantifiable to a limited extent only but certainly tends to be negative in the long term. With regard to activities in bodies or on expert committees, I am more optimistic. Here, there is a very high acceptance of online meetings in principle. Saving travelling time is pleasant and the sequences of such discussions were also optimised and have become substantially more efficient. Time will tell whether it is a permanent solution. Personally, I am a great fan of colourful mixtures. Nature has made us diverse and different and this is also what the answers to most problems look like. There is rarely a sole and lasting solution. For example, plastics are not always the first-choice materials. In the case of some utilisation fields (of which, however, there are fortunately few), other materials are more sensible. Therefore, I think that the exchange of ideas between people can also be a colourful mixture of online and presence meetings. On the one hand, you can spend more evenings with family and friends. On the other hand, after concluding a good contract, the beer or the wine simply tastes better in company. Online, you cannot write on a beer mat in order to record the contract concluded at a late hour.

The same applies to further education. To be precise, some events can be staged online to a limited extent only. From today's viewpoint, basic training (e.g. according to DVS 2281) is technical instruction which can only take place in educational establishments. This is how things will be done in the next few years too. Nevertheless, everybody has recognised the advantages of online education in the meantime. In the future, quite a lot of events will certainly take place in an exclusively digital form but then hopefully without a pandemic.

Dr. Benjamin Baudrit
Prokurist und Bereichsleiter „Fügen und Oberflächentechnik“
am Kunststoff-Zentrum, SKZ
DVS-Obmann AG W4.4 (Messen und Prüfen)
DIN-Obmann (Fügen von Kunststoffen)

Dr. Benjamin Baudrit
Authorised Signatory and Business Unit Manager for
„Joining and Surface Engineering“ at the German Plastics Centre (SKZ)
DVS Chairman, AG W4.4 (Measurement and Testing)
DIN Chairman (Joining of Plastics)

	Autor Author	Seite Page	
	Bastian, Martin	156, 164	
	Baudrit, Benjamin	156, 164	
	Dilger, Klaus	148	
	Fiebig, Isabel	172	
	Hartwig, Sven	148	
	Hesselbach, Julian	164	
	Hochrein, Thomas	156, 164	
	Kraus, Eduard	156, 164	
	Kummerow, Alessandra	148	
	Leicht, Heinrich	164	
	Pommer, Christopher	156	
	Schöppner, Volker	172	
	Vogtschmidt, Sascha	172	

JOINING PLASTICS FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN

NEWSLETTER

Anmeldung auf/Registration on:
www.joining-plastics.info/newsletter

Aktuelles

- 130 Klebstoffe im Automobilbau: E-Mobilität nur mit Klebstoffen

Veranstaltungen

- 132 DVS-Schweißerlehrgänge in Englisch sind seit September am SKZ möglich
- 133 Neue Termine: Plastics & Rubber Vietnam, ArabPlast und Plastindia
- 133 interplastica im Januar 2021 setzt wichtiges Signal

aus der Forschung

- 134 KTP: Schweißnahtkennwerte für die lebensdaueroptimierte Bauteilauslegung von hochtemperaturbeständigen Thermoplasten
- 136 Kunststofftechnik Paderborn: Entwicklung von Scale-Up-Regeln für das quasisimultane Laserdurchstrahlschweißen von Thermoplasten
- 137 Absorber ade: Hochpräzises Laserstrahlschweißen von Kunststoffen

aus Unternehmen

- 140 Sonotronic eröffnet Niederlassung in Hongkong
- 141 STM: Schneiden mit dem Wasserstrahl in der Kunststoffindustrie

Produkte

- 142 Telsonic: Ultraschalltechnik konfektioniert Atemschutzmasken
- 144 LPKF: Höchste Prozessstabilität und kurze Zykluszeiten beim Laserstrahlschweißen dank „Dual Clamping Device“
- 145 Oberflächen mit CO₂-Schnee optimal für das Kleben vorbereiten

Fachbeiträge

- 148 Auswirkungen von thermisch bedingten Eigenspannungen auf die Verbindungsfestigkeit von pressgefügt Hybridstrukturen
[Technische Universität Braunschweig, Institut für Füge- und Schweißtechnik, Braunschweig](#)
- 156 Thermografie zur Qualitätssicherung beim Ultraschallschweißen
[SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg](#)
- 164 Klebtechnische Fügetechniken für additiv gefertigte Kunststoffbauteile
[SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg](#)
- 172 Wechseldehnungsschweißen – Entwicklung einer Fügetechnologie für 3D-Geometrien
[Universität Paderborn, Kunststofftechnik Paderborn, Fachgebiet Kunststoffverarbeitung, Paderborn](#)

Weitere Rubriken

- 180 Impressum
- 191 Inserentenverzeichnis

Veröffentlichen Sie Ihren wissenschaftlichen Fachbeitrag als „Peer-reviewed Paper“ in JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN. Ihr Beitrag wird von unserem Gutachterkreis in einem anonymisierten Verfahren geprüft.

Senden Sie Ihr Manuskriptangebot an Nicole Stramka,
E-Mail: nicole.stramka@dvs-media.info, Telefon: (0211) 1591-289.
Informationen zum Umfang, Aufbau, zur äußeren Form usw. finden Sie auf www.thermal-spray-bulletin.info unter „Manuskripteinreichung“.

News

- 130** Adhesives in automobile construction: e-mobility only with adhesives

Events

- 132** DVS welding courses in English are available since September at German Plastics Center - SKZ
- 133** New dates: Plastics & Rubber Vietnam, ArabPlast and Plastindia
- 133** interplastica in January 2021 sets important signal

from Research

- 134** KTP: Weld seam characteristics for the lifetime optimized component design of high temperature resistant thermoplastics quasi-simultaneous laser transmission welding of thermoplastics
- 136** Kunststofftechnik Paderborn: Development of scale-up rules for the
- 137** Goodbye Absorbers: High-Precision Laser Welding of Plastics

from Companies

- 140** Sonotronic opens branch in Hong Kong
- 141** STM: Waterjet cutting in the plastics industry with tailor-made solutions

Products

- 142** Telsonic: Ultrasonic technology assembles breathing masks
- 144** LPKF: Process stability and short cycle times in laser plastic welding thanks to Dual Clamping Device
- 145** Prepare surfaces with CO₂ snow optimally for bonding

Peer-reviewed Papers

- 148** Effects of thermally induced residual stresses on the joint strengths of press-joined hybrid structures
Technische Universität Braunschweig, Institute of Joining and Welding, Braunschweig
- 156** Thermography for quality assurance in the case of ultrasonic welding
SKZ - German Plastics Center, Würzburg
- 164** Adhesive bonding joining technologies for additively manufactured plastic components
SKZ - German Plastics Center, Würzburg
- 172** Alternating strain welding - Development of a joining technology for 3D geometries
Paderborn University, Kunststofftechnik Paderborn, field Kunststoffverarbeitung (Polymer Processing), Paderborn

Regular Features

- 180** Imprint
- 191** Advertiser listing

Publish your scientific specialist article as a „peer-reviewed paper“ in JOINING PLASTICS - FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN. Your article will be checked by our circle of experts in an anonymised procedure.

Send your manuscript offer to Nicole Stramka,
e-mail: nicole.stramka@dvs-media.info, telephone: +49 (0)211 1591-289.
You can find information about the scope, the structure, the external form etc.
at www.joining-plastics.info under „Manuscript submission“.

WEGENER
International GmbH



Kunststoffschweißtechnik
in Perfektion
Plastics Welding
Technology in Perfection



Duratherm2



Autotherm3



Duratherm2 SC2



Exotherm



EXWELD sigma3 SC TWISTY

Wegener International GmbH

Ernst-Abbe-Str. 30
D-52249 Eschweiler

+49 2403 70484-0

+49 2403 70484-99

info@wegenerwelding.de

www.wegenerwelding.de

Klebstoffe im Automobilbau: E-Mobilität nur mit Klebstoffen

Adhesives in automobile construction: e-mobility only with adhesives

Kleben ist als Fügetechnologie im Automobilbau nicht mehr wegzudenken. Von Leichtbaukarosserien über Sicherheitsgläser bis hin zu Lithium-Ionen-Batterien – sie funktionieren nur mit Klebstoffen. Dabei schafft die Klebtechnik mehr als nur reine Verbindungen. Sie trägt ebenso zu nachhaltigen und emissionsarmen Lösungen bei. Ob Innenraumdisplays und Kameras, Dekorelemente, Motoren oder Sensoren: überall kommen unterschiedliche Klebstoffe zum Einsatz. Somit ist es nicht verwunderlich, dass rund 15 bis 18 kg Klebstoff pro Auto verarbeitet werden und 9% der gesamten jährlichen Klebstoffproduktion in die Automobilindustrie wandert.*

Leichtbau und Crashbeständigkeit

Im Karosseriebau übernimmt die Fügetechnik Kleben eine Schlüsselrolle. Nur mit ihr gelingt es unterschiedlichste Leichtbaumaterialien, wie Aluminium oder faserverstärkte Kunststoffe, mit Stahl zuverlässig zu verbinden, ohne sie selbst zu beschädigen oder ihre Eigenschaften zu beeinflussen.** Das ermöglicht Leichtbaukonzepte, die beispielsweise bei Elektroautos das Gewicht der bis zu 700 kg schweren Lithium-Ionen-Batterien kompensieren und die Leistung beziehungsweise Kilometerreichweite erhöhen können. Weiterer Vorteil: Die Gewichtsreduzierung der (Elektro-)Fahrzeuge und die daraus resultierende Einsparung der nötigen Energie während der Produktions- und Nutzungsphase tragen zur Minimierung des CO₂-Fußabdrucks bei.** Die großflächigen Klebungen der unterschiedlichen sich überlappenden Materialien, führen aber auch zu einer höheren Crashsicherheit, da im Gegensatz zu Schrauben und Nieten an den Fügeteilen keine Spannungsspitzen entstehen.** Zusätzliche Stabilität verleihen der Karos-



Die Klebtechnik ist ein fester Bestandteil der Automobilherstellung. Foto: Joenomias auf Pixabay

Adhesive bonding technology is a permanent constituent of automobile manufacture. Photograph: Joenomias on Pixabay

serie die geklebten Front- und Heckscheiben.

Klebstoffe in E-Autobatterien

Lithium-Ionen-Batterien sind das Herzstück der Elektroautos und für dessen Antrieb sowie seine Reichweite verantwortlich. Klebstoffe übernehmen hier mehrere Funktionen. Sie verbinden nicht nur Batteriezellen und -gehäuse, sondern spielen auch für das Wärmemanagement eine wichtige Rolle. So leiten sogenannte „Gap Filler“ die entstehende Wärme in den Batterien ab und schützen sie unter anderem vor möglichen Überhitzungen, beispielsweise während des Ladevorgangs. Polyurethan-Klebstoffe sorgen zudem zwischen den einzelnen Batteriezellen für Stabilität und Festigkeit und sind zugleich elastisch. Das ist wichtig, da die Batterie (beispielsweise beim Ladevorgang) „atmet“, also in Bewegung ist.

* Industrieverband Klebstoffe e. V.: Klebstoffe im Fahrzeugbau.

** FEICA Good Practices: Adhesives for increased crash resistance in automotive, 2018.

Quelle: Industrieverband Klebstoffe e. V., Düsseldorf

Automobile construction is no longer conceivable without adhesive bonding as a joining technology. From lightweight bodies via safety glass products right up to lithium-ion batteries - they only function with adhesives. In this respect, adhesive bonding technology creates more than just pure joints. It also contributes to sustainable and low-emission solutions. No matter whether interior displays and cameras, decorative elements, motors or sensors: different adhesives are utilised everywhere. Thus, it is not surprising that around 15 - 18 kg of adhesives are processed per car and 9% of the entire annual adhesive production goes into the automobile industry.*

Lightweight construction and crash resistance

The joining technology of adhesive bonding plays a key role in body-making. Only it succeeds in the reliable joining of the most diverse lightweight materials, such as aluminium or fibre-reinforced plastics, with steel without damaging them

or influencing their properties.** That permits lightweight construction concepts which, e.g. in the case of electric cars, can compensate for the weight of the lithium-ion batteries (up to 700 kg) and increase the power or the range. Another advantage: The weight reduction of the (electric) vehicles and the resulting saving of the energy needed during the production and utilisation phases contribute to the minimisation of the CO₂ footprint.**

However, the large-area adhesive-bonded joints between the different overlapping materials also lead to greater crash safety since, in contrast with screws and rivets, no stress peaks arise at the joining parts.** The adhesive-bonded windscreen and rear window provide the body with additional stability.

Adhesives in e-car batteries

Lithium-ion batteries are the heart of the electric car and are responsible for its drive as well as its range. Adhesives perform several functions here. They not only join battery cells and housings but also play an important role for the heat management. For example, so-called „gap fillers“ dissipate the heat arising in the batteries and protect them, amongst other dangers, from any possible overheating phenomena, e.g. during the charging operation. Moreover, polyurethane adhesives ensure stability and strength between the individual battery cells and are elastic at the same time. That is important since the battery „breathes“, i.e. is in motion (e.g. during the charging operation).

* German Adhesives Association: Adhesives in vehicle construction.

** FEICA Good Practices: Adhesives for increased crash resistance in automotive, 2018.

Source: German Adhesives Association, Düsseldorf

Bezugsquellenverzeichnis JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN

Ultraschallschweißen Dienstleister
Heizelementschweißen international
Warmgasstumpfschweißen Hersteller Englisch
Laserdurchstrahlschweißen Infrarotschweißen Einkaufsführer
Deutsch Vibrationsschweißen

www.joining-plastics-bzv.de



Online mit Ihrem
Firmenlogo



Sie sind noch nicht gelistet?
Das ist günstiger als Sie denken!
Sprechen Sie mich gerne an.



Ihre Ansprechpartnerin:

Vanessa Wollstein

☎ +49 211 1591-152

✉ vanessa.wollstein@dvs-media.info

DVS-Schweißerlehrgänge in Englisch am SKZ möglich

DVS welding courses in English are available at German Plastics Center - SKZ

Das Kunststoff-Zentrum SKZ bietet seit September an seinem Standort in Würzburg DVS-Schweißerlehrgänge in englischer Sprache an. Die erforderliche Prüfung zur Erlangung eines Schweißpasses wird dabei ebenfalls in Englisch sein. Interessierte Unternehmen, Verbände und Netzbetreiber können ab sofort Mitarbeiter zu den englischen Kursen nach DVS 2281, Prüfgruppe 1 und DVS 2282, Prüfgruppe 2 anmelden. Eine Kombination der Prüfgruppen ist ebenfalls möglich. Die Kurse dauern jeweils eine Woche bzw. in Kombination acht Tage. Die Prüfung erfolgt gemäß DVS Richtlinie 2212-1. Johannes Kocksch, Kursstättenleiter am SKZ in Würzburg, sieht großes Potenzial in englischsprachigen Lehrgängen: „Wir sehen in unserem Ausbildungsbetrieb häufig die Situation, dass Teilnehmer den deutschsprachigen Kursen aufgrund mangelnder Sprachkenntnisse nicht ausreichend folgen können und dadurch Prüfungsergebnisse schlechter ausfallen als sie müssten. Durch das Angebot einer weiteren Sprache für unsere Praxis-kurse können sicherlich einige Hürden



Erste Kurse wurden bereits durchgeführt.

First courses were already held.

überwunden werden, was letztendlich den Unternehmen zugutekommt. Wir erhoffen uns von den englischen Kursen zum einen bessere Ergebnisse in den Prüfungen und zum anderen einen vereinfachten Zugang zum Kunststoff-Schweißen, insbesondere für nichtdeutschsprachige Teilnehmer.“ Erste Kurse wurden bereits im September (Prüfgruppe 1) und Oktober 2020 (Prüfgruppe 2) durchgeführt. Weitere Möglichkeiten können ab sofort über <https://www.skz-bildung.de/kurse/schweissen> gebucht werden. Quelle: SKZ - KFE gGmbH, Würzburg

Since September, the German Plastics Center SKZ will offer DVS welding courses in English at its location in Würzburg. The examination required to obtain a welding pass will also be in English. Interested companies, associations and network operators can now register employees for the English courses according to DVS 2281, test group 1 and DVS 2282, test group 2. A combination of the test groups is also possible. As usual, the courses last one week each or, in combination, eight days. The exam-

ination is carried out in accordance with DVS technical code 2212-1. Johannes Kocksch, course instructor at SKZ in Würzburg, sees great potential in English-language courses: „In our training company, we often see the situation that participants cannot follow the German-language courses sufficiently due to a lack of language skills. As a result, test results are worse than they should be. By offering a further language for our practical courses, we can certainly overcome some hurdles, which ultimately benefits the companies. We hope that the English courses will lead to better results in the exams on the one hand and on the other hand to easier access to the plastics welder, especially for non-German speaking participants.“

First courses were already held in September (Review Group 1) and October 2020 (Review Group 2). Further options can be booked immediately at <https://www.skz-bildung.de/kurse/schweissen>.

Source: SKZ - KFE gGmbH, Würzburg



DVS Technical Codes on Plastics Joining Technologies

This book contains more than 130 significant DVS codes that deal with the joining of plastics in the field of piping, containers and apparatus construction as well as series fabrication.

From the content:

- welding, adhesive bonding and mechanical joining processes
- testing and design calculation of joints and constructions
- practical application of joining processes
- training and examination of qualified personnel

Also available as USB-pen



Order now!
6th edition, 2019
Order-no. 180018
Price: 120.00 Euro

interplastica im Januar 2021 setzt wichtiges Signal

interplastica in January 2021 sets important signal

Die Covid-19-Pandemie stellt derzeit die Wirtschaft weltweit vor ganz besondere Herausforderungen. Auch die internationale Mes-
sewirtschaft.

Messen sind weltweit abgesagt worden, aber die Branche steht nicht still. Denn Messen werden für den Neustart der gesamten Wirtschaft dringend benötigt. Sie sind unverzichtbare Erlebnis- und Kommunikationsplattformen für ganze Branchen, wo Kontakte geknüpft, Erfahrungen ausgetauscht, Wissen aufgebaut und Innovationen live begutachtet werden können.

Die interplastica 2021, International Trade Fair for Plastics and Rubber, wird vom 26. bis 29. Januar 2021 wieder auf dem Messegelände AO Expocentre in Krasnaja Presnja in Moskau durchgeführt. Um größt-

mögliche Sicherheit für Aussteller, Besucher, Partner und Mitarbeiter zu gewährleisten, entwickelt die Messe Düsseldorf Moskau in Abstimmung mit dem Geländebetreiber und unter Berücksichtigung der im Land geltenden Hygienevorschriften ein umfangreiches Konzept zum Hygiene- und Infektionsschutz, das auf der interplastica zum Einsatz kommen wird. Die rege Ausstellernachfrage bestätigt, dass die Unternehmen der Kunststoff- und Kautschukbranche gerade in schwierigen Zeiten die Möglichkeit begrüßen, in einem derart wichtigen Markt Präsenz zeigen zu können. Neben Maschinen, Rohstoffen und Equipment liegt der Fokus im kommenden Jahr erneut auf den Themen „Circular Economy“ und Recycling.

Quelle: Messe Düsseldorf, Düsseldorf

The Covid-19 pandemic currently faces businesses around the globe with very special challenges. Like the international trade fair business. Trade fairs have been cancelled worldwide but the industry is not at a standstill. After all, trade fairs are urgently needed for re-starting the economy as a whole. They are indispensable experience and communication platforms for entire sectors of industry where contacts can be established, experiences exchanged, knowledge gathered and innovations appraised live. interplastica 2021, the International Trade Fair for Plastics and Rubber, will be held again at the AO Expocentre in Krasnaja Presnja in Moscow from 26 to 29 January 2021. To guarantee the highest degree of safety for exhibitors, visitors, partners and employees, Messe Düsseldorf Moscow is currently developing a comprehensive hy-

giene and infection protection concept in close coordination with the operator of the exhibition centre and in compliance with the hygiene regulations in force in that country to be employed at interplastica. Exhibitors' brisk demand confirms that companies in the plastics and rubber industries welcome the opportunity to gain exposure on such a relevant market especially during such difficult times. Alongside machinery, raw materials and equipment the focus will again be on the circular economy and recycling themes in the coming year. The Recycling Solutions segment featuring highly specialised enterprises was received very well at its debut during the previous interplastica and will also be continued in 2021 with accompanying discussion forums revolving around waste management and circular economy. Source: Messe Düsseldorf, Düsseldorf

Neue Termine: Plastics & Rubber Vietnam, ArabPlast und Plastindia

New dates: Plastics & Rubber Vietnam, ArabPlast and Plastindia

Die Plastics & Rubber Vietnam wird nun statt im November 2020 vom 16. bis 18. Juni 2021 in Ho Chi Minh City stattfinden. Das neue Datum der ursprünglich für Januar 2021 in Dubai geplanten ArabPlast ist der

15. bis 18. November 2021, während die Plastindia in Neu-Delhi um ein Jahr auf den 17. bis 21. Februar 2022 verlegt wird.

Quelle: Messe Düsseldorf, Düsseldorf

Plastics & Rubber Vietnam will now be held in Ho Chi Minh City from 16 to 18 June 2021 instead of in November. The new date of ArabPlast originally planned for January 2021

in Dubai will be 15 to 18 November 2021, while PLASTINDIA in New Delhi will be postponed by one year to 17 to 21 February 2022.

Source: Messe Düsseldorf, Düsseldorf



MUNSCH
Kunststoff-Schweißtechnik

/ More than **40 years** of experience in building tools for plastic welding

/ The specialist sold more than 31.000 extruders worldwide

/ For every application in container engineering and geosynthetics installation, **Munsch** supplies extrusion welders; wedge welders; hand tools; test equipment and accessories

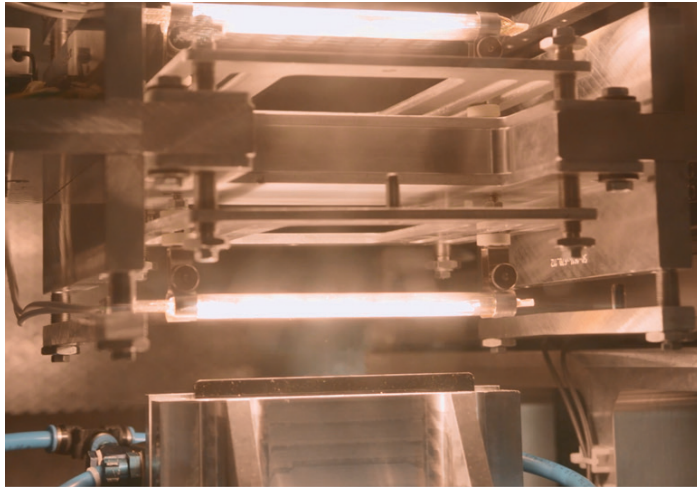
Munsch Kunststoff-Schweißtechnik GmbH

Im Staudchen
D-56235 Ransbach-Baumbach
+49 (0) 2623 - 898-80
+49 (0) 2623 - 898-85
info-kst@munsch.de
www.munsch-welding.com



KTP: Schweißnahtkennwerte für die lebensdaueroptimierte Bauteil- auslegung von hochtemperaturbeständigen Thermoplasten

KTP: Weld seam characteristics for the lifetime optimized compo- nent design of high temperature resistant thermoplastics



Vibrationsschweißen mit vorgelagerter
Infrarot-Vorwärmung

Vibration welding with upstream infra-
red preheating

Im Automobil werden metallische Bauteile zunehmend durch solche aus Kunststoff substituiert, um effizienten Leichtbau zu betreiben und CO₂-Emissionen zu reduzieren. Die Notwendigkeit, Gewicht einzusparen, besteht sowohl für Fahrzeuge mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren als auch mit elektromotorischen Antrieben, da die Gewichtsersparnis in beiden Varianten für signifikant geringeren Roll-, Beschleunigungs- und Steigungswiderstand sorgt. Folglich kann durch leichtere Fahrzeuge Energie eingespart werden. Die dazu eingesetzten Kunststoff-Bauteile können jedoch aufgrund von zunehmender Bauteilkomplexität oftmals nicht mit herkömmlichen urformenden Verfahren in einem Prozessschritt hergestellt werden und müssen vermehrt geschweißt werden. Sowohl in den Fahrzeugen mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren als auch in den elektromotorisch angetriebenen bestehen identische Anforderungen an die Bauteil- bzw. Schweißnahtqualität. Dazu zählt neben der Bauteildichtigkeit und der Schweißnahtfestigkeit vor allem die Temperaturbeständigkeit der Materialien, da diese im Motorraum hohen thermischen

Belastungen ausgesetzt sind. Folglich werden im Automobil vermehrt hochtemperaturbeständige Thermoplaste, zum Beispiel Polyphthalamid (PPA) oder Polyphenylensulfid (PPS), eingesetzt.

Aufgrund der hohen Schmelzpunkte dieser Thermoplaste treten in der aktuellen Serienfertigung bei mehrstufigen Schweißverfahren wie dem Infrarot- und dem Warmgasstumpfschweißen häufig Probleme infolge des Umstellprozesses auf. Durch den Umstellvorgang kühlen die vorher erwärmten Fügezonen ab. Dieser Umstand kann besonders bei Thermoplasten mit hohen Schmelztemperaturen zu geringen Schweißnahtqualitäten führen.

Des Weiteren ist eine hochfeste, langfristig ausgelegte Fügeverbindung der einzelnen Komponenten die Grundvoraussetzung für den Einsatz von Bauteilen aus Hochtemperatur-Thermoplasten (HT-TP) im Motorraum. Eine Aussage über die Langzeiteigenschaften der HT-TP ist jedoch derzeit nicht bzw. lediglich durch zeitaufwändige Voruntersuchungen möglich. Aufgrund der speziellen Qualitätssicherungsanforderungen in der Automobilindustrie, ist der Nachweis der Lebensdauer (in der Regel 15 Jahre) im

In automobiles, metallic components are increasingly being replaced by plastic components in order to achieve efficient lightweight construction and reduce CO₂ emissions. The necessity to reduce weight exists both for vehicles with conventional combustion engines and those with electric motor drives, because the weight saving in both variants ensures significantly lower rolling, acceleration and gradient resistance. Consequently, energy can be saved by lighter vehicles. However, due to increasing component complexity, the plastic components used for these applications often cannot be produced in one process step using conventional injection molding or extrusion and must therefore be welded more often. Both vehicles with conventional combustion engines and those driven by electric motors have identical requirements for component and weld seam quality. In addition to component tightness and weld seam strength, this includes especially the temperature resistance of the materials, since they are exposed to high thermal loads in the engine compartment. Consequently, high-temperature-resistant thermoplastics such as polyphthalamide (PPA) or polyphenylene sulfide (PPS) are increasingly being used in automobiles.

Due to the high melting temperatures of these thermoplastics, problems frequently occur in current series production with multi-stage welding processes such as infrared and hot gas welding as a result of the changeover process. The changeover process cools down the previously heated joining zones and this circumstance can lead to poor weld seam quality, especially for thermoplastics with high melting temperatures.

Furthermore, a high-strength, long-term joining of the individual components is the basic requirement

for the use of components made of high-temperature thermoplastics (HT-TP) in the engine compartment. A statement about the long-term properties of HT-TP is currently not possible or only possible through time-consuming preliminary tests. However, due to the special quality assurance requirements in the automotive industry, proof of service life (usually 15 years) is required in the product development process. The use of short-term tensile strengths for the long-term design of components represents a considerable risk, which results in the necessity to develop a service life model that can reliably describe the long-term properties of welded components made of high-temperature resistant thermoplastics depending on different influencing factors in a short time.

Therefore, a currently running research project at Kunststofftechnik Paderborn (University of Paderborn) aims first to gain an improved understanding of the process of HT-TP welding and then, on the basis of these welding investigations, to develop a calculation model for the simulation-supported design of HT-TP weld seams. The focus is on infrared welding, hot gas welding and vibration welding with infrared preheating. Detailed investigations regarding the optimal process parameters as well as the influence of changeover times in joining processes with contactless heating are essential for the welding process and for good long-term properties of the weld seams.

The development of the service life model will make it possible to design HT-TP welds with less effort. For this purpose, the model to be developed will be subjected to time-lapse tests to determine the long-term properties. The goal is to be able to avoid time-consuming long-term studies through the described model and

Produktentstehungsprozess jedoch erforderlich. Die Verwendung von Kurzzeitzugfestigkeiten zur langfristigen Auslegung von Bauteilen stellt ein erhebliches Risiko dar, weshalb die Notwendigkeit besteht, ein Lebensdauermodell zu entwickeln, das geschweißte Bauteile aus hochtemperaturbeständigen Thermoplasten hinsichtlich der Langzeiteigenschaften in Abhängigkeit unterschiedlicher Einflussfaktoren in kurzer Zeit verlässlich beschreiben kann.

Deshalb soll im Rahmen eines an der Kunststofftechnik Paderborn (Universität Paderborn) laufenden Forschungsvorhabens zunächst ein verbessertes Prozessverständnis beim Schweißen von HT-TP gewonnen und anschließend auf Basis dieser Schweißuntersuchungen ein Berechnungsmodell für die simulationsgestützte Auslegung von HT-TP-Schweißnähten entwickelt werden. Im Fokus der Betrachtung stehen sowohl das Infrarot-, das Warmgasstumpfschweißen als auch das Vibrationsschweißen mit vorgelagerter infraroter Erwärmung. Dabei sind ausführliche Untersuchungen bzgl. der optimalen Prozessparameter sowie des Einflusses der Umstellzeiten bei den Fügeverfahren mit kontaktloser Erwärmung für den Schweißprozess und für gute Langzeiteigenschaften der Schweißnähte elementar.

Durch die Entwicklung des Lebensdauermodells wird es möglich sein, HT-TP-Schweißnähte mit geringerem Aufwand auszulegen. Dazu soll bei dem zu entwickelnden Modell anhand von zeitraffenden Prüfungen auf die Langzeiteigenschaften geschlossen werden. Ziel ist es, durch das beschriebene Modell auf zeitaufwändige Langzeituntersuchungen verzichten zu können und so einen Zeit- bzw. Kostenvorteil für die verarbeitenden Unternehmen zu generieren.

Bei dem beschriebenen Projekt handelt es sich um das IGF-Forschungsvorhaben 20984 der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS. Über die AiF besteht eine Förderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie auf Beschluss des Deutschen Bundestages. Des Weiteren wird das laufende Forschungsprojekt durch

verschiedene Industrieunternehmen unterstützt. Weitere interessierte Unternehmen sind dazu eingeladen, Kontakt zur Forschungsstelle aufzunehmen und im Rahmen des projektbegleitenden Ausschusses am Forschungsvorhaben mitzuarbeiten. Kontakt: Sascha Vogtschmidt, M. Sc., Kunststofftechnik Paderborn (Universität Paderborn), Telefon: +49 5251 60 3214, E-Mail: sascha.vogtschmidt@ktp.upb.de.

Quelle: Kunststofftechnik Paderborn (KTP), Universität Paderborn

thus generate a time and cost advantage for the producing companies. The described project is the AiF IGF research project 20984 of the Forschungsvereinigung für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS. The AiF is funded by the Federal Ministry of Economics and Energy by resolution of the German Bundestag. Furthermore, the current research project is supported by various industrial

companies. Other interested companies are invited to contact the research institute and to participate in the project within the framework of the project-accompanying committee. Contact: Sascha Vogtschmidt, M. Sc., Kunststofftechnik Paderborn (University of Paderborn), Phone: +49 5251 60 3214, e-mail: sascha.vogtschmidt@ktp.upb.de. Source: Kunststofftechnik Paderborn (KTP), University of Paderborn

TELSONIC

ULTRASONICS

Ultraschall für Ihre Applikation

Applikationslösungen sind Teamarbeit



Gerne beraten wir Sie rund um die Kunststoff-Verbindungstechnik. Profitieren Sie von mehr als 50 Jahren Know-how im industriellen Ultraschall. Ihre Applikation ist unsere Herausforderung.

Ihr Kontakt

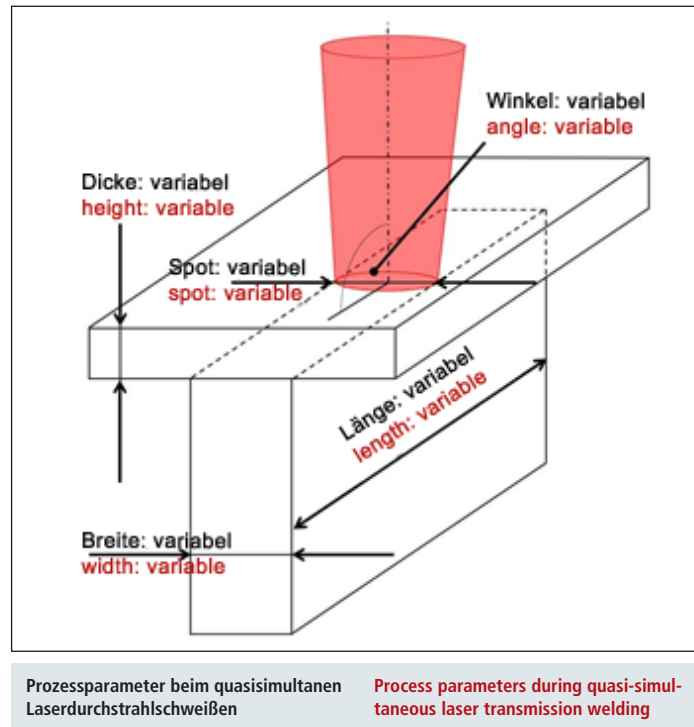
www.telsonic.com

Kunststofftechnik Paderborn: Entwicklung von Scale-Up-Regeln für das quasisimultane Laserdurchstrahlungsschweißen von Thermoplasten

Kunststofftechnik Paderborn: Development of scale-up rules for the quasi-simultaneous laser transmission welding of thermoplastics

Ein zentraler Punkt zur Umsetzung einzelner Kunststoffbauteile stellt das Fügen der unterschiedlichen Komponenten dar. Kunststoffschweißverfahren ermöglichen mediendichte Verbindungen bei gleichzeitig geringen Produktionskosten und Zykluszeiten. Eines dieser Verfahren stellt das Laserdurchstrahlungsschweißen dar. Hierbei stehen ein lasertransparentes und ein absorbierendes Bauteil in Kontakt miteinander, während ein Laserstrahl das transparente Bauteil mit einem geringen Energieverlust passiert. Im absorbierenden Bauteil wird die Energie des Lasers in Wärme umgesetzt. Durch den Kontakt in der Fügezone wird das transparente Bauteil durch Wärmeleitung erwärmt und die Schweißnaht gebildet. Beim quasisimultanen Laserdurchstrahlungsschweißen findet durch die schnelle Bewegung des Lasers eine quasi gleichzeitige Bestrahlung der kompletten Fügezone statt.

Bisherige wissenschaftliche Untersuchungen zum Laserdurchstrahlungsschweißen zielen hauptsächlich auf kleine Schweißnähte ab. Hierfür kann die Korrelation zwischen den einzelnen Prozessparametern der Schweißnahttemperatur und den mechanischen Eigenschaften der Schweißnaht bereits gut charakterisiert werden. Dabei können die Prozessparameter anhand der Streckenergie beschrieben werden. Diese berechnet sich mithilfe der eingesetzten Laserleistung, Bestrahlungsdauer und Vorschubgeschwindigkeit des Lasers. Durch Anpassung dieser einzelnen Parameter können identische Schweißergebnisse erzielt werden. Diese wissenschaftlichen Untersuchungen können jedoch nur beim Konturschweißen angewandt werden. Beim Quasisimultant- (QSS) und Simultanschweißen wirken weitere Einflussgrößen. Aufgrund des simultanen Aufschmelzvorgangs entsteht in der kompletten Fügezone ein Quetschfluss und damit ein Energieverlust. Letzteres wird in



der Streckenergie nicht berücksichtigt. Somit verliert die Streckenergie ihre Aussagekraft. Zusätzlich spielen weitere Einflüsse wie die Laserbahnlänge und -breite eine wichtige Rolle und beeinflussen das Schweißergebnis erheblich.

Diese Einflüsse wurden noch nicht ausreichend untersucht und verhindern somit eine Übertragung der Ergebnisse von kleinen Schweißnähten auf komplexe Bauteile. Mit der Entwicklung von Scale-Up-Regeln für das QSS von Thermoplasten sollen solche Übertragungen ermöglicht werden. Damit besteht die Chance, optimale Prozessparameter durch einfache Labortests auf Realbauteile zu übertragen. Derzeit muss für jedes neue Produkt eine aufwändige Bestimmung der Prozessparameter vorgenommen werden. Um dabei Übertragungsprobleme zu verhindern, muss dies auf den Produktionsanlagen durchgeführt werden, während die Produktion unterbrochen wird und hohe Kosten entstehen. Eine direkte Übertragung der optimalen

A key aspect in the production of individual plastic components is the joining of the different parts. Plastic welding processes enable media-tight joints combined with low production costs and short cycle times. One of these processes is laser transmission welding. Here, a laser-transparent part and a laser-absorbing part are in contact with one another while a laser beam passes through the transparent part with a low energy loss. In the absorbing part, the energy of the laser is converted into heat. Through contact in the joining zone, the transparent part is heated by heat conduction and the weld seam is formed. With the quasi-simultaneous laser transmission welding process, quasi-simultaneous radiation of the complete joining zone takes place through the fast movement of the laser.

Previous scientific studies on the laser transmission welding process are aimed primarily at small weld seams. For this, the correlation between the

individual process parameters of the weld temperature and the mechanical properties of the weld can already be effectively characterized. Here, the process parameters can be described with the aid of the line energy. This is calculated with the help of the used laser power, radiation time and rate of advance of the laser. By adjusting these individual parameters, identical weld results can be obtained. The scientific studies can, however, only be applied to contour welding. With quasi-simultaneous and simultaneous welding, other parameters come into effect. Because of the simultaneous melting process, a squeeze flow occurs in the complete welding zone, thus producing an energy loss. The latter is not taken into account in the line energy. The line energy thus loses its significance. In addition, other influences such as the length and width of the laser path also play an important role and exert a considerable influence on the weld result.

These influences have not yet been adequately studied and thus prevent a transfer of the results from small weld seams to complex components. The aim is to make such transfers possible through the development of scale-up rules for the quasi-simultaneous welding of thermoplastics. This will provide an opportunity to transfer optimum process parameters through simple laboratory tests to real parts. At present, for every new product, a complicated procedure of determining the process parameters has to be carried out, and to prevent transfer problems, this must be done on the actual production plants while halting production, thus generating high costs. A direct transfer of the optimum process parameters from laboratory tests would thus have numerous advantages (cost and time savings) and, at the same time, enable the use of the quasi-simultaneous laser trans-

Prozessparameter aus Laboruntersuchungen würde somit zahlreiche Vorteile (Kosten- und Zeiteinsparung) mit sich bringen und gleichzeitig den Einsatz des quasisimultanen Laserdurchstrahlschweißens in einem größeren Anwendungsspektrum ermöglichen. Bei dem Projekt handelt es sich um das IGF-Vorhaben 20335 N / 11.3081 der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des

DVS. Über die AiF besteht eine Förderung vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Das Projekt ist bereits gestartet und wird durch achtzehn Industrievertreter unterstützt. Weitere interessierte Unternehmen können Kontakt aufnehmen mit Theresa Arndt, M. Sc., theresa.arndt@ktp.upb.de, +49 (0)5251 60 3203. Quelle: Kunststofftechnik Paderborn (KTP), Universität Paderborn, Paderborn.

mission welding process in a wider range of application.

The project is IGF project 20335 N / 11.3081 from the Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. of the German Welding Society (DVS). Via the AiF, the project is funded by the German Ministry for Economic Affairs and Energy.

The project has already started and is being supported by eighteen industry representatives. Other interested companies can contact Theresa Arndt, M. Sc. at theresa.arndt@ktp.upb.de, +49 (0)5251 60 3203. Source: Kunststofftechnik Paderborn (KTP), University of Paderborn, Paderborn.

Absorber ade: Hochpräzises Laserstrahlschweißen von Kunststoffen

Goodbye Absorbers: High-Precision Laser Welding of Plastics

Im erfolgreich abgeschlossenen NRW-Leitmarktpunktprojekt SeQuLas hat das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT gemeinsam mit drei Industriepartnern ein Fügeverfahren entwickelt, mit dem kleinste Schweißnähte in transparenten Kunststoffbauteilen erzeugt werden können. Zum Einsatz kommt dabei ein Thulium-Faserlaser, der einen besonderen Vorteil bietet: Da Kunststoffe die entsprechende Wellenlänge gut absorbieren, kommt der Prozess ohne zusätzliche Absorber wie Ruß aus. Insbesondere für die Medizintechnik ist das Verfahren interessant, das die Flexibilität und Effizienz in der industriellen Produktion in Nordrhein-Westfalen (NRW) steigern kann, Bild 1.

Transparente Bauteile dank Verzicht auf Absorber

Im Life-Science-Bereich haben sich mikrofluidische Chips beim Transport, der Mischung und Filterung kleinster Flüssigkeitsmengen bewährt. Eine große Herausforderung ist die mediendichte Verkapselung der in den Chips integrierten Mikrokanäle. Konventionelle Fügechnik kommt im Mikrometerbereich an ihre Grenzen. Stattdessen bietet sich hier das absorberfreie Laserdurchstrahlschweißen (LDS) mit Strahlquellen im nahen Infrarotbereich an, das eine hohe Präzision und Flexibilität erlaubt, Bild 2.

Im Jahr 2017 startete das Fraunhofer ILT daher mit der Aachener Amtron GmbH, der Attendorner Ortman Digitaltechnik GmbH und der Dort-

munder Bartels Mikrotechnik GmbH das Projekt SeQuLas, das im Rahmen des Programms „Produktion.NRW“ der „LeitmarktAgentur NRW“ gefördert wurde. Das Akronym steht für die „segmentale Quasisimultan-Laserbestrahlung“, bei der in diesem Fall als Strahlquelle ein Thulium-Faserlaser mit einer Emissionswellenlänge von 1940 nm verwendet wurde. In diesem Wellenlängenbereich besitzen Kunststoffe eine natürliche Absorption. Da zusätzliches Absorbermaterial wie Ruß nicht nötig ist, wird die Transparenz des Chips bei der Laserstrahlbearbeitung nicht beeinträchtigt.

Doch diese Form des absorberfreien Laserdurchstrahlschweißens weist ein Problem auf: Durch die Volumenabsorption entsteht eine Wärmeeinflusszone, die sich vertikal über den gesamten Bauteilquerschnitt erstreckt. Die thermische Expansion während des Aufschmelzvorgangs begünstigt die Bildung von Lunkern und Rissen, die im Nahtgefüge für undichte Stellen sorgen. Außerdem besteht insbesondere bei flachen Bauteilen die Gefahr, dass sich der Werkstoff verzieht.

Quasisimultane Bestrahlung für materialschonende Erwärmung

Um die vertikale Ausdehnung der Wärmeeinflusszone zu verringern, bietet sich das quasisimultane Bestrahlen an, bei dem ein Laserstrahl mit Hilfe eines Scannersystems mit hoher Geschwindigkeit mehrmals entlang der Schweißkontur geführt

In the successfully completed NRW project SeQuLas, the Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT and three industrial partners have developed a joining process that can be used to produce the smallest weld seams in transparent plastic components. The process utilises a thulium fiber laser, which offers a particular advantage: Since plastics absorb the corresponding wavelength well, the process does

not require additional absorbers such as soot. The process is particularly interesting for medical technology, as it should be used to increase flexibility and efficiency in industrial production.

Transparent components thanks to the absence of absorbers

In the life science sector, microfluidic chips have proven their worth since they can transport, mix and fil-

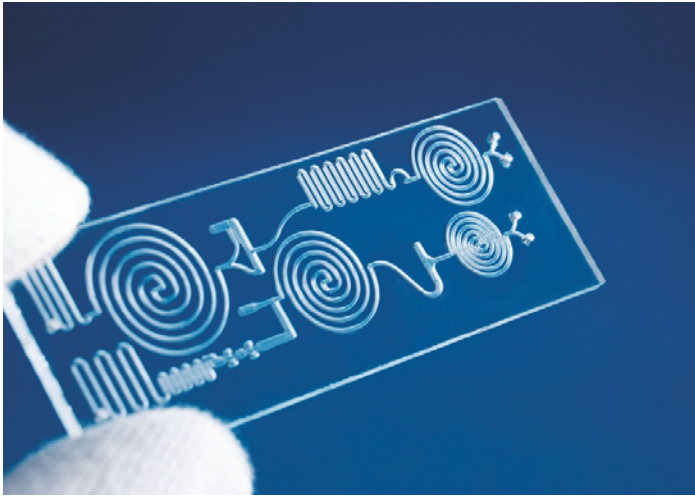


Bild 1: Im Forschungsprojekt SeQuLas entstand ein elektronisch überwachter Prozess zum schonenden, hochpräzisen Laserdurchstrahlsschweißen kleiner Kunststoffbauteile für die Medizintechnik, im Bild: Mikrofluidischer Chip des Unternehmens Bartels Mikrotechnik. (beide Fotos: Fraunhofer ILT, Aachen)

Fig. 1: In the SeQuLas research project, the partners developed an electronically monitored process for gentle, high-precision laser transmission welding of small plastic components for medical technology, pictured: microfluidic chip from Bartels Mikrotechnik. (both photos: Fraunhofer ILT, Aachen)

wird: Dabei wird die gesamte Nahtkontur simultan erwärmt, die das Konturschweißen sonst nur sequenziell aufschmilzt. Das Fraunhofer ILT wies anhand von Versuchen mit Bauteilen aus Polycarbonat nach, dass während des Schweißprozesses die Wärme an den Außenflächen abgeführt wird, während im Werkstoffinneren eine Wärmeakkumulation stattfindet. Die steigende Anzahl an Überfahrten und die hohe Scangeschwindigkeit verringern sogar die vertikale Ausdehnung der Wärmeeinflusszone um bis zu 30% gegenüber dem Konturschweißen.

Frühzeitige Erfassung von thermischen Schäden

Im zweiten Schritt entwickelten die Projektpartner eine Prozessregelung für den Laserstrahlsschweißprozess. Ein in den Strahlengang integriertes Pyrometer misst dabei während des Schweißprozesses die Temperatur im Bauteil. Die Kopplung des Messsignals mit der Position der Scannerspiegel ermöglicht eine orts aufgelöste Aufnahme der Wärmeverteilung im Bauteil. Auf diese Weise lassen sich thermische Schäden schon während des Schweißprozesses erfassen und zielgenau lokalisieren. Der neu entwickelte Schweißprozess kann daher schnell auf Tempera-

turabweichungen reagieren und die Laserstrahlleistung entsprechend regeln. Somit lassen sich homogene Nahtigenschaften entlang der Nahtkontur sicherstellen. Das im Februar 2020 abgeschlossene Projekt „SeQuLas – Laserschweißen absorberfreier Thermoplaste durch segmentale Quasisimultanbestrahlung“ mit Laufzeit von drei Jahren wurde mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (ERDF) und durch das Land Nordrhein-Westfalen gefördert. Quelle: Fraunhofer ILT, Aachen

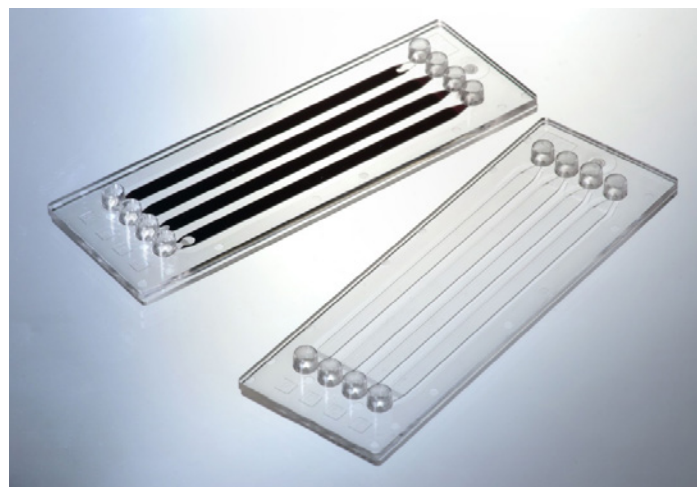


Bild 2: Mit dem entwickelten Fügeverfahren, bei dem ein Thulium-Faserlaser zum Einsatz kommt, lassen sich beispielsweise Mikrofluidikbauteile hochpräzise schweißen.

ter even the smallest amounts of liquid efficiently. They still pose a major challenge, however: the media-tight encapsulation of the microchannels integrated in the chips. Conventional joining technology reaches its limits in the micrometer range. In its place, absorber-free laser transmission welding (LDS) – with beam sources in the near-infrared (NIR) range – allows high precision and flexibility, making it the ideal solution here.

And that is why Fraunhofer ILT launched the SeQuLas project in 2017, together with Amtron GmbH from Aachen, Ortmann Digitaltechnik GmbH from Attendorn and Bartels Mikrotechnik GmbH from Dortmund. The project was funded under the "Produktion.NRW" program of the LeitmarktAgentur NRW, and the acronym SeQuLas stands for "segmental quasi-simultaneous laser irradiation". Here, a thulium fiber laser with an emission wavelength of 1940 nm was used as the beam source; plastics have a natural absorption in this wavelength range. Since additional absorber material such as soot is not necessary, the transparency of the chip is not affected during laser processing. However, this form of absorber-free laser transmission welding has a problem: Volume absorption creates a heat-affected zone (HAZ) that extends vertically over the entire cross-section of the component. The thermal expansion during the

melting process promotes the formation of blowholes and cracks, which cause leaks in the seam structure. In addition, there is a risk that the material will warp, especially in flat components.

Quasi-simultaneous irradiation for gentle heating of materials

Quasi-simultaneous irradiation can be used to reduce the heat-affected zone from expanding vertically. In this process, a laser beam is guided several times along the weld contour at high speed with the aid of a scanner system: Thanks to this, the entire seam contour is heated simultaneously, which otherwise only melts sequentially in contour welding. In tests with polycarbonate components, Fraunhofer ILT has demonstrated that during the welding process the heat is dissipated at the outer surfaces while heat accumulates inside the material. The increasing number of passes and the high scanning speed even reduce the vertical expansion of the heat-affected zone by up to 30 percent compared to contour welding.

Early detection of thermal damage

In a second step, the project partners developed a process control for the laser welding process. A pyrometer integrated in the beam path measures the temperature in the component during the welding process. By coupling the measurement signal with the position of the scanner mirrors, they have made it possible to record the heat distribution in the component in a spatially resolved manner. In this way, thermal damage can be recorded and precisely localized during the welding process. The newly developed welding process can, therefore, react quickly to temperature deviations and control the laser power accordingly. In this way, homogeneous seam properties along the seam contour can be ensured. The project "SeQuLas - Laser Welding of Absorber-Free Thermoplastics by Segmental Quasi-Simultaneous Irradiation" was completed in February 2020 and ran for three years. It was funded by the European Regional Development Fund (ERDF) and the state of North Rhine-Westphalia. Source: Fraunhofer ILT, Aachen

DAS VIELSEITIGE UNIVERSUM DER SCHWEISSTECHNISCHEN INFORMATION



Jetzt entdecken auf www.home-of-welding.com



Sonotronic eröffnet Niederlassung in Hongkong

Sonotronic opens branch in Hong Kong

Die Sonotronic Nagel GmbH hat gemeinsam mit dem langjährigen Partnerunternehmen Sanden Electronic Equipment Ltd. die Tochterfirma Sonotronic HK Ltd. gegründet. Mit diesem strategischen Schritt hat Sonotronic direkten Zugriff auf den Produktionsstandort von Sanden in China.

Für die Kunden von Sonotronic besteht damit die Möglichkeit internationale Projekte mit notwendiger Produktion in China und anschließendem Export direkt unter der Gesamtverantwortung des Unternehmens zu beauftragen. Insbesondere hinsichtlich internationaler Maschinenrichtlinien, vor allem CE, als auch Engineering und der nachfolgenden Integration von Maschinen im internationalen Servicenetz von Sonotronic bietet diese Lösung den Kunden eine hohe Projektsicherheit und Abwicklungsgarantie. Zukünftig sind über die Tochterfirma in China auch der Ausbau und der Verkauf von Ultraschallschweiß-Komponenten und Systemen für den chinesischen Markt im Bereich höherwertiger Anwendungen geplant.

Bereits seit 16 Jahren beliefert Sonotronic über Sanden Electronic Equipment Ltd. den lokalen chinesischen Markt. Der Sanden-Hauptsitz mit Verwaltungs- und Vertriebsbüros sowie der Anwendungstechnik ist in Kowloon, einem Stadtteil und wichtiger Geschäftsbezirk von Hongkong. Rund 100 km nördlich davon, in Huizhou, nahe der Stadt Shenzhen, befinden sich die Produktionsstätte und die Entwicklung. Hier werden auf 8.500 Quadratmetern seit 15 Jahren Ultraschall-Sondermaschinen entwickelt und produziert.



Jervis Hui, Chief Executive Officer, Sonotronic HK Ltd., Hongkong/China (links) und Jianfeng Zhao, Business Development Manager China & Hong Kong, Sonotronic Nagel GmbH, Karlsbad/Deutschland (rechts).

Jervis Hui, Chief Executive Officer, Sonotronic HK Ltd., Hong Kong / China (left) and Jianfeng Zhao, Business Development Manager China & Hong Kong, Sonotronic Nagel GmbH, Karlsbad/Germany (right).

Ergänzend wird Sanden nach wie vor, basierend auf der Ultraschalltechnologie, Maschinen und Anlagen für den internen chinesischen Markt und dessen Anforderungen anbieten und fertigen. Informatives über Sanden, der Firmenhistorie sowie die Produktübersicht befinden sich in englischer und chinesischer Sprache auf der neuen Internetpräsenz: www.sanden.com.hk.

Geschäftsführer der Sonotronic HK Ltd. ist Jervis Hui und in China vor Ort. Er ist in engem Kontakt mit dem Business Development Manager Jianfeng Zhao, der in Karlsbad am Hauptsitz der Sonotronic Nagel GmbH die Aufträge für den asiatischen Markt abwickelt und die Fernost-Geschäftsentwicklung weiter aufbaut.

Quelle: Sonotronic Nagel GmbH, Karlsbad

to expand and sell ultrasonic welding components and systems for the Chinese market in the area of high-value applications via the subsidiary in China.

Sonotronic has already been supplying the local Chinese market for 16 years via Sanden Electronic Equipment Ltd. The Sanden headquarters with administration and sales offices as well as application engineering are in Kowloon, an urban region and an important business district of Hong Kong. The production facility and the development are located around 100 km to the north of it, in Huizhou, near the city of Shenzhen. Here, ultrasonic special machines have been developed and produced on 8,500 square metres for 15 years.

On the basis of ultrasonic technology, Sanden will also continue to offer and manufacture machines and installations for the internal Chinese market and its requirements. Information about Sanden, the company history as well as the product overview is available in the English and Chinese languages on the new website: www.sanden.com.hk.

The Chief Executive Officer of Sonotronic HK Ltd. is Jervis Hui who is on site in China. He is in close contact with the Business Development Manager, Jianfeng Zhao, who handles the orders for the Asian market at the headquarters of Sonotronic Nagel GmbH in Karlsbad and is continuing to build up the Far East business development.

Source: Sonotronic Nagel GmbH, Karlsbad

Besuchen Sie unsere Webseite!

Wenn es um Fachinformationen für die Schweißtechnik, Fügetechnik, Trenntechnik und Beschichtungstechnik geht, ist DVS Media die erste Wahl.

www.dvs-media.eu



STM: Schneiden mit dem Wasserstrahl in der Kunststoffindustrie

STM: Waterjet cutting in the plastics industry with tailor-made solutions



Vor allem die modularen Wasserschneideanlagen von STM gewährleisten die erforderliche Qualität, Funktionsvielfalt und Effizienz, die in der kunststoffverarbeitenden Industrie zwingend notwendig sind.

Above all, modular waterjet cutting systems from STM guarantee the required quality, functionality and efficiency, which are absolutely essential in the plastics processing industry.

Wasser ist das einzige Werkzeug, mit dem man alles ohne weitere Werkzeuge schneiden kann. Es erneuert sich ständig selbst und eignet sich daher auch für die Produktion unter hohen Hygienestandards. Generell ermöglicht diese Kaltschneidetechnik ein überaus schonendes, sauberes Arbeiten und schneidet auch feinste sowie hochkomplexe Strukturen präzise, reproduzierbar und praktisch vollautomatisch mit einer Toleranz von $\pm 0,1$ mm. Durch den sehr dünnen Schneidspalt von/ab 0,1 mm trennt diese Technik nicht nur schnell, sondern auch materialeffizient und mit minimalem Werkzeugverschleiß. Eine Nachbearbeitung ist meist nicht erforderlich. Ebenso treten während des Schneidprozesses im Gegensatz zu thermischen Schneidetechniken weder Aushärtungen oder Spannungen

am Werkstück noch gesundheitsgefährdender Dampf, Staub oder Rauch auf. Insgesamt können mit dem Wasserstrahl alle herkömmlichen Kunst- und Verbundstoffe von foliendünnem Materialstärke bis hin zu Dicken von 200 mm umweltfreundlich und kostengünstig bearbeitet werden. Vor allem Prototypen, Präzisionsformteile und Kleinserien lassen sich per Wasserstrahltechnik wirtschaftlicher als mit Stanzen oder im Spritzguss-Verfahren produzieren. Das Schneidverfahren eignet sich für Gummi, die gängigsten Elastomere wie EPDM, CR, NBR, Silikon, FPM/FKM (Viton), technische Kunststoffe wie PA, PE, POM sowie vor allem Schaum- und Compoundwerkstoffe. Mehr Informationen auf www.stm-waterjet.de. Quelle: STM waterjet GmbH Germany, Schweinfurt

Water is the only tool with which you can cut everything without any other tools. It is constantly renewing itself and is therefore also suitable for production under high hygiene standards. The cold-cutting technique generally enables exceedingly gentle and clean work and cuts even the finest and most complex structures accurately, reproducibly and virtually fully automatic with tolerances of ± 0.1 mm. Thanks to the very thin die clearance of 0.1 mm, this technology is not only fast but also delivers high material efficiency with minimum tool wear. Post-processing is usually not necessary. Likewise, in contrast to thermal cutting techniques, neither hardening or tension on the workpiece nor health-endangering steam, dust or

smoke occur during the cutting process. To summarise, all customary composite materials in thickness extending from a thin film through to thicknesses of 200 mm can be cut environmentally and inexpensively using the waterjet. Above all, prototypes, precision moulded parts and small series can be produced more economically using waterjet technology than with stamping or injection moulding.

The cutting process is suitable for rubber, the most common elastomers like EPDM, CR, NBR, silicone, FPM/FKM (Viton), engineering plastics like PA, PE, POM and above all foam and compound materials. More informations at www.stm-waterjet.com.

Source: STM waterjet AG, Reiden, Switzerland

NEW



Ultrasonic Generator
AGM PRO
to weld, punch, rivet, embed and cut thermoplastics and synthetic textiles.



- ✓ For installation in automation lines and special purpose machines
- ✓ Integration via fieldbus interfaces
- ✓ Compact
- ✓ Web application
- ✓ Reproducibility
- ✓ Absolute process control
- ✓ High quality weld results



AROUND YOU EVERY DAY

+41 71 466 41 00
rincoultrasonics.com
info@rincoultrasonics.com

+

SWISS MADE
SINCE 1976

A CREST GROUP COMPANY

Telsonic: Ultraschalltechnik konfektioniert Atemschutzmasken

Telsonic: Ultrasonic technology assembles breathing masks

Bild 1: CE-konforme Ultraschallkomponenten für den Anlagenbau: Digitaler Ultraschallgenerator, akustische Werkzeuge zum Trennen oder Fügen und Ultraschallkonverter

Fig. 1: CE-conformity ultrasonic components for installation engineering: digital ultrasonic generator, acoustic tools for cutting or joining and ultrasonic converter



Die Produktion von Atemschutzmasken stellt vielfältige Anforderungen. Einfache Nasen-Mundschutz- und Operationsmasken müssen beispielsweise in hohen Stückzahlen kostengünstig gefertigt werden. Notwendig sind Fertigungsverfahren, die der Massenproduktion gerecht werden, gleichzeitig aber auch qualitativ hochwertige Produkte garantieren. Der Prozess ist dabei keineswegs trivial, denn beim Konfektionieren der Masken gilt es zahlreiche Details zu beachten, wie Prägungen, den Einsatz von Filtern, die Fixierung von Formbügeln, Aussparungen für die Befestigung von Tragebändern oder die Versiegelung der Randzonen. Bei allen dafür notwendigen Fertigungsschritten kann die Ultraschalltechnik als prozesssicheres, dabei aber wirtschaftliches Verfahren punkten. Per Ultraschallschweißen lassen sich alle

Teile schnell, produktschonend und dicht zusammenfügen. Gleichzeitig kann Ultraschall auch zum Schneiden genutzt werden; Stanzen, Prägen und Siegeln sind dadurch beim Trenn-Schweißverfahren in einem Arbeitsgang möglich. Bei der Produktion von Atemschutzmasken bringt das gleich etliche Vorteile: Atemschutzmasken bestehen je nach Verwendungszweck aus verschiedenen Vlies- und Deckstoffschichten. Die flachen Zuschnitte, die das Ausgangsprodukt für die Masken bilden, müssen einer bestimmten Form entsprechen und dürfen an den Schnittkanten nicht offen sein. Beide Anforderungen kann die Ultraschalltechnik in nur einem Arbeitsgang erfüllen. Mit einer Formmatrize und eines mit Ultraschallfrequenz schwingenden Werkzeugs lassen sich Konturteile wirtschaftlich ausschneiden und gleichzeitig

The production of breathing masks sets a wide variety of requirements. For example, large quantities of simple nose-mouth protection and surgical masks must be fabricated in a cost-effective method. There is a need for fabrication procedures which are not only suitable for mass production but also simultaneously guarantee high-quality products. In this respect, the process is by no means trivial because numerous details must be borne in mind when assembling the masks, such as embossing operations, the insertion of filters, the fixation of shaping brackets, recesses for the fastening of carrying straps or the sealing of the edge zones. During all the fabrication steps necessary for this purpose, ultrasonic technology can score points as a reliable but economically viable procedure. Using

ultrasonic welding, all the parts can be joined together in a quick, product-conserving and leak-tight method. At the same time, ultrasound can be used for cutting too; in the case of the Cut'n'Seal procedure, punching, embossing and sealing are thus possible in one process. During the production of breathing masks, that yields quite a lot of advantages straight away: Depending on the intended use, breathing masks consist of various non-woven and cover fabric layers. The flat pre-cut parts which form the starting product for the masks must correspond to a certain shape and must not be open at the cut edges. Ultrasonic technology can satisfy both requirements in just one pass. With a forming die and a tool oscillating at the ultrasonic frequency, contour parts can be cut out in an economically viable method

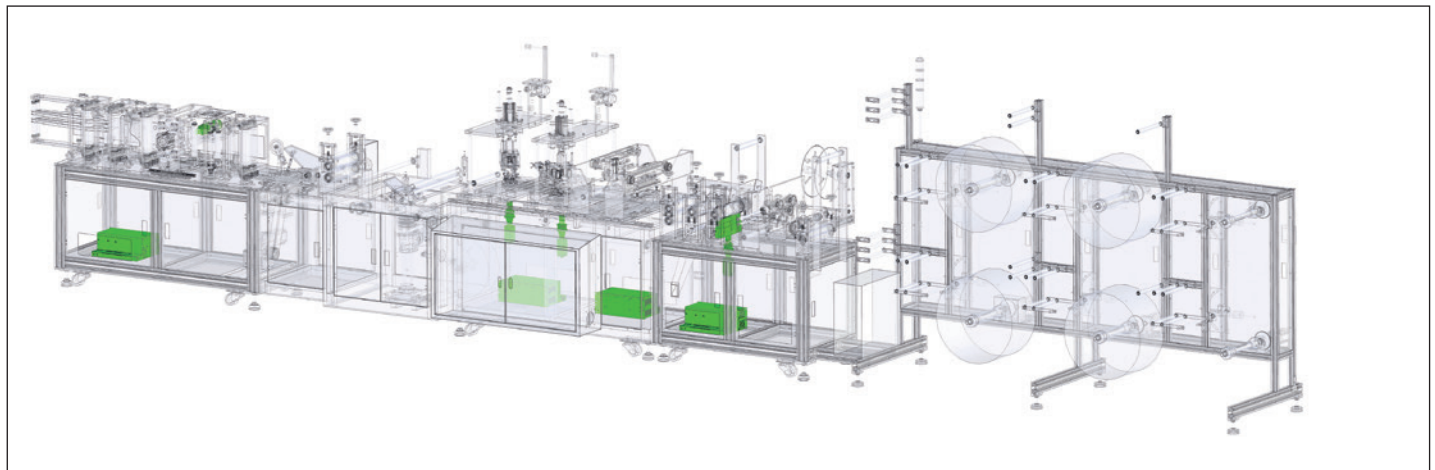


Bild 2: Automatisierte Maskenproduktion von der Vliesabrollung bis zum Ausschleusen der fertigen Maske

Fig. 2: Automated mask production from the unrolling of the non-woven fabric to the removal of the finished mask

wird durch Erwärmung im Schnittbereich die Randzone versiegelt. Auch Öffnungen für Ventile oder Durchführungen zum Einschlaufen der Tragebänder lassen sich mit dem Trenn-Schweißverfahren schnell und mit sauberen Schnittkanten in einem Schritt realisieren.

Weder beim Fügen noch beim Schneiden entsteht Materialverlust und es entwickeln sich – im Gegensatz zum Laserstrahlschneiden – keine Verbrennungsgase, die abgesaugt werden müssten. An den Ultraschallwerkzeugen sammeln sich auch keine Rückstände, das Verfahren ist praktisch verschleißfrei, benötigt nur wenig Energie und keine Zusatzstoffe wie Kleber. Zudem sind die Zykluszeiten kurz.

Einzelarbeitsplatz oder automatisierte Fertigungslinien

Der Ultraschallgenerator MAG eignet sich für alle bei der Maskenproduktion denkbaren Schweiß- und Trennaufgaben und ermöglicht dank dynamischer Regelung höchste Taktzeiten bei hoher Prozessstabilität. Er ist für den platzsparenden Schaltschrankbau ausgelegt und lässt sich wahlweise analog oder über alle gängigen Feldbusysteme ansteuern. Die Ultraschallsysteme sind zudem sehr flexibel und können an Handarbeitsplätzen wie auch in automatisierten Fertigungslinien integriert werden. Ihre Steuerungssoftware bietet verschiedene Schweißmodi und Trigger-Funktionen sowie die Möglichkeit, Amplituden- und Kraftprofile an die jeweilige Anwendung anzupassen. Damit lassen sich alle Schneid-, Trennschweiß- und Fügeoperationen bei der Schutzmaskenproduktion in hoher Fertigungsqualität abdecken. Bild 2 zeigt den schematischen Aufbau einer solchen automatisierten Maskenproduktion von der Vliesabrollung bis zum Ausschleusen der fertigen Maske. In die Anlage integriert sind Ultraschallsysteme zum Schneiden der Nasenbügel, Schweißen der Maskenkontur und zum Aufschweißen der Ohrenschlaufen auf beiden Seiten.

Quelle: Telsonic AG, Bronschhofen, Schweiz

and the edge zone is simultaneously sealed by heating in the cutting area. With the Cut'n'Seal procedure, openings for valves or feed-throughs for looping in the carrying straps can also be implemented quickly in one step with cleanly cut edges.

No material losses arise either during the joining or during the cutting. In contrast with laser cutting, there is no development of combustion gases which would have to be extracted. Moreover, no residues accumulate on the ultrasonic tools. The procedure is practically wear-free and needs only little energy and no additives such as adhesives. The cycle times are short too.

Individual workstation or automated fabrication lines

The MAG ultrasonic generator is suitable for all the welding and cutting tasks conceivable during the mask production and, thanks to dynamic regulation, permits the highest clock rates with high process stability. It is designed for space-saving installation in the switchgear cabinet and, as an option, can be controlled in an analogue method or using all the common fieldbus systems.

Moreover, the ultrasonic systems are very flexible and can be integrated not only into manual workstations but also into automatic fabrication lines. Their control software offers various welding modes and trigger functions as well as the possibility of adjusting amplitude and force profiles to the application in question. Thus, it is possible to cover all the cutting, Cut'n'Seal and joining operations during the protective mask production in a high fabrication quality. Fig. 2 shows the schematic setup of such automated mask production from the unrolling of the non-woven fabric to the removal of the finished mask. Ultrasonic systems for the cutting of the nose brackets, the welding of the mask contour and the welding of the ear loops on to both sides are integrated into the installation.

Source: Telsonic AG, Bronschhofen, Switzerland

Schweißgeräte mit Bluetooth



Komfortables Schweißen und Protokollieren über Ihr Smartphone

FRANK-Schweißgeräte mit Bluetooth können ab sofort noch komfortabler mit der neuen ElectroFusion App per Smartphone oder Tablet bedient werden. Zusätzlich lassen sich alle Details eines Schweißvorgangs schnell und sicher in Ihrem persönlichen Benutzerkonto ablegen. So ist es z. B. einfach möglich, die einzelnen Arbeitsschritte durch Fotos zu dokumentieren und dem jeweiligen Auftrag zuzuordnen. Die Auswertung aller hochgeladenen Daten erfolgt bequem über Ihr Portal auf www.electrofusion.de.

Haben Sie Fragen?
Wir beraten Sie gerne.



mehr Infos

T +49 6105 4085 - 158
www.frank-gmbh.de

LPKF: Höchste Prozessstabilität und kurze Zykluszeiten beim Laserstrahlschweißen dank „Dual Clamping Device“

LPKF: Process stability and short cycle times in laser plastic welding thanks to Dual Clamping Device

Die Sicherstellung eines gleichmäßigen Anpressdrucks beim Laserstrahlschweißen von Kunststoffbauteilen ist ein wichtiges Qualitätskriterium. Denn nur bei konstantem Druck über den gesamten Schweißbereich erreicht die Schweißnaht optimale Qualität. In den meisten Anlagen übernehmen Glaswerkzeuge wegen ihrer Laserdurchgängigkeit diese Aufgabe. LPKF hat mit dem „Dual Clamping Device“ (DCD) eine neue Lösung, die gegenüber Glas viele Vorteile bietet.

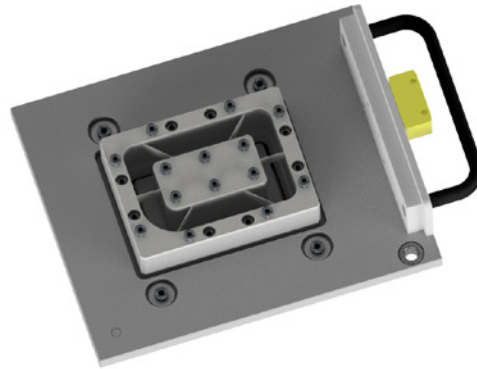
Das von LPKF entwickelte und patentierte Werkzeug ist einzigartig und hat sich bereits hundertfach bewährt: Das Dual Clamping Device, ein Innen- und Außenspannsystem, besteht aus Metall. Durch seine spezielle Konstruktion mit einem Kanal für den Laserstrahl und mehreren speziell geformten, feinen Haltestegen, welche die Schweißung nicht beeinträchtigen, ermöglicht das DCD zuverlässige, verformungsfreie Schweißnähte. Auch über viele Produktionszyklen hinweg sind gleichmäßig hochwertige Schweißergebnisse sicher.

Damit kann das DCD die Nachteile der Glaswerkzeuge überwinden. Glas verrußt durch die Bestrahlung mit dem Laser. Es werden Partikel an das Material gebunden, welche die Durchlässigkeit des Glases für den Laserstrahl beeinträchtigen. In der Folge kann die Qualität der Schweißung leiden. Um dem vorzubeugen,

muss das Glas regelmäßig gereinigt oder ausgetauscht werden. Die Produktion muss dafür unterbrochen werden. Das Handling ist oft mühselig, und das Glas kann beim Reinigungsvorgang brechen und muss dann neu geordert und eingesetzt werden.

Anwender von LPKF-Laser-Kunststoffschweiß-Systemen können dank DCD auf das Glas als Spannsystem verzichten und den oft nicht unerheblichen Handling-Aufwand des Glases in der Produktion umgehen. Dabei ist das DCD so robust, dass Beschädigungen nicht vorkommen. Bei kleinen Bauteiländerungen lässt sich das Werkzeug leicht modifizieren.

Quelle: LPKF Laser & Electronics AG, Garbsen



Das LPKF Dual Clamping Device (DCD) lässt sich einfach installieren. Die Konstruktion mit den feinen, aber robusten Haltestegen kann über tausende Anwendungszyklen eingesetzt bleiben.

The LPKF Dual Clamping Device (DCD) is easy to install. The design with the fine but robust retaining bars can remain in place for thousands of application cycles.

ing system, is made of metal. Due to its special design with a channel for the laser beam and several specially shaped, fine holding bars that do not interfere with the weld, the DCD enables reliable, deformation-free welding seams. Even after many production cycles, consistently high-quality welding results are guaranteed.

The DCD can therefore overcome the disadvantages of glass tools. Glass becomes sooted due to irradiation with the laser. Particles are bound to the material, which impair the ability of the laser beam to pass through the glass. As a result, the quality of the weld may suffer. To prevent this problem, the glass must be cleaned or replaced regularly, resulting in production interruptions. Handling is often cumbersome, and the glass can break during the cleaning process and must then be reordered and reinserted.

Thanks to the DCD, users of LPKF laser plastic welding systems can dispense with glass as a clamping tool and avoid the often extensive handling of glass in production. At the same time, the DCD is so robust that damage is virtually impossible. For small component changes, the mold can be easily modified.

Source: LPKF Laser & Electronics AG, Garbsen

Ensuring a uniform contact pressure during laser welding of plastic components is an important quality criterion. This is because the weld seam achieves optimum quality only at constant pressure across the entire welding area. In most systems, glass tools perform this task because of their laser transparency. With the Dual Clamping Device (DCD), LPKF has a new solution that offers many advantages over glass.

The tool developed and patented by LPKF is unique – and has already proven itself a hundred times over: The Dual Clamping Device (DCD), an internal and external clamp-

Schalten Sie Ihre Stellenangebote oder -gesuche gezielt und wirkungsvoll in unseren Fachzeitschriften.

Unsere Anzeigenabteilung erreichen Sie direkt unter folgenden Nummern:

☎ +49 211 1591-155/-152 📠 +49 211 1591-150

✉ britta.wingartz@dvs-media.info ✉ vanessa.wollstein@dvs-media.info

www.dvs-media.eu

DVS MEDIA

Oberflächen mit CO₂-Schnee optimal für das Kleben vorbereiten

Prepare surfaces with CO₂ snow optimally for bonding

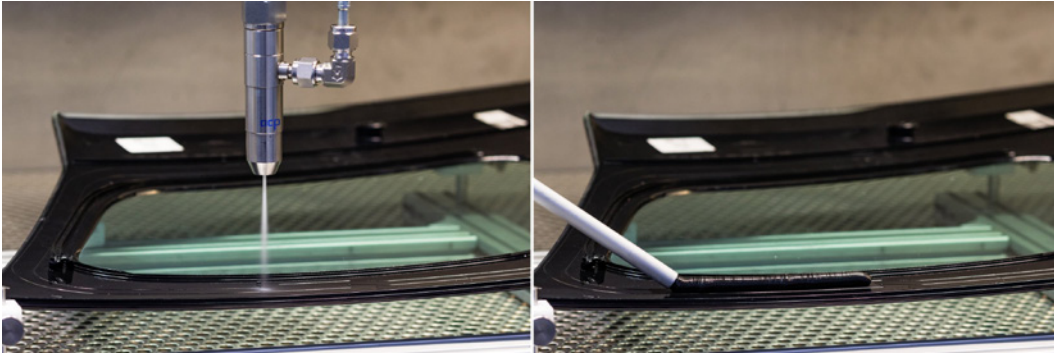


Bild 1: Das Auftragen des Klebstoffs kann direkt oder nach einer zwischengeschalteten Aktivierung erfolgen.

Fig. 1: Adhesives can be applied directly afterwards or following an intermediate activation step.

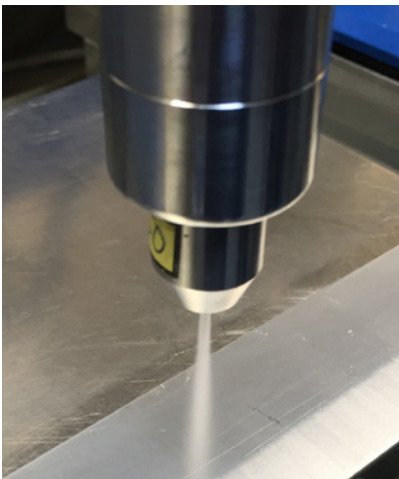


Bild 2: Das Zusammenspiel der vier Wirkmechanismen ermöglicht partikuläre und auch filmische Verunreinigungen, reproduzierbar von Kunststoffen (mit und ohne Faserverstärkung) sowie metallischen Bauteilen, automatisiert inline zu entfernen.

Fig. 2: The combined effect of the four mechanisms of action enables particulate and filmic contamination to be reliably removed from plastics (with or without fiber reinforcement) and metallic components via an inline automated process.

Um Gewicht einzusparen, kommen in der Automobilindustrie immer mehr Baugruppen aus Kunststoffen und Leichtmetallen zum Einsatz, die miteinander verklebt werden. Um bei strukturellen Verklebungen, beispielsweise von Karosserieteilen oder Batteriegehäusen, die erforderliche Haftfestigkeit zu gewährleisten, werden sehr hohe Anforderungen an die Sauberkeit und Benetzbarkeit der Fügebereiche gestellt. Klassische nasschemische Reinigungsprozesse mit wasserbasierenden Medien oder Lösemitteln scheiden bei diesen Aufgabenstellungen aus verschiedenen Gründen aus. So müssten die Fügebereiche üblicherweise eine deutlich höhere Sauberkeit aufweisen als der Rest des Bauteils und diese Reinigungsprozesse lassen sich nicht oder nur mit extremem Aufwand in eine Fertigungsbeziehungsweise Montagelinie integrieren. Favorisiert werden daher

trockene Verfahren wie das umweltverträgliche quattroClean-Schneestrahlnreinigungsverfahren der acp systems AG. Es kommt in vielen Industriebereichen zur ortsselektiven oder ganzflächigen Reinigung bei Bauteilen aus praktisch allen Werkstoffen zum Einsatz. Da die Reinigung materialschonend erfolgt, lassen sich auch sensible Substrate behandeln.

Vier Wirkmechanismen

Das Verfahren verwendet flüssiges Kohlendioxid als Reinigungsmedium, das als Nebenprodukt bei chemischen Prozessen und der Energiegewinnung aus Biogas entsteht und daher umweltneutral ist. Es wird durch die verschleißfreie Zweistoff-Ringdüse geleitet und entspannt beim Austritt zu feinem CO₂-Schnee. Dieser Kernstrahl wird in einem separaten, ringförmigen Druckluft-Mantelstrahl gebündelt und auf Überschallgeschwindigkeit be-

In order to save weight, an increasing number of assemblies used in the automotive industry today are made of plastic or lightweight metal which need to be glued together. Very high demands are placed on the cleanliness and wettability

of the joining areas in order to ensure the necessary adhesive strength for structural bonding, for example of car body parts or battery housings.

For various reasons, conventional wet-chemical cleaning processes with water-based media or solvents are not suitable for this. Among others, the areas to be joined invariably have to be much cleaner than the rest of the component. Such cleaning processes cannot be integrated into a production or assembly line - or can only be integrated with extreme effort. Consequently, dry processes are preferable, for example the environmentally-friendly quattroClean snow jet cleaning technology from acp systems AG. It is implemented in a wide range of industries for the

tgm

Staatliche Versuchsanstalt



Kunststoff- und Umwelttechnik

Akkreditierte

Prüf- und Inspektionsstelle



Ausfertigung von Prüf- und Inspektionsberichten

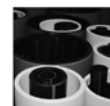
nach nationalen und internationalen Vorschriften wie ÖNORM geprüft, ÖVGW, DVGW, SVGW, GRIS, DVS, Austria Gütezeichen und Umweltzeichen, ISO, EN, ÖNORM B 5014, DIN-CERTCO, ...

Erstellung von Befunden und Gutachten

Schadensanalysen, Verfahrens- und Werkstoffentwicklung von Kunststoffen, ...

Schulungen und Seminare

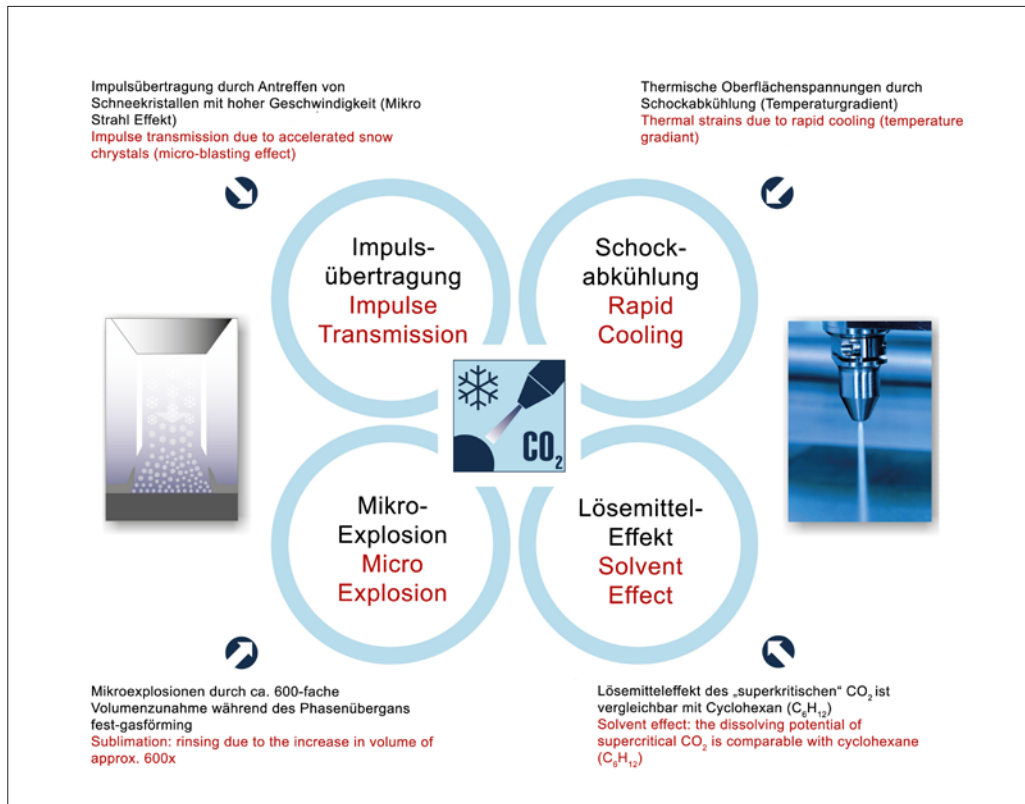
Grundlagen Kunststofftechnik, Werkstoffanalytik, Kunststoffschweißen, Spritzgießen, Extrusion, ...



1200 Wien, Wexstraße 19-23

t: +43 1 33126-478

ku@tgm.ac.at | www.kunststoff.ac.at



Four mechanisms of action

The cleaning medium used by the technology is liquid carbon dioxide, which is generated as a by-product from chemical processes and energy generation from biogas and therefore environmentally neutral. It is guided through a wear-free two-component ring nozzle and expands on exiting to form fine CO₂ snow. This core jet is then bundled by a separate jacketed jet of compressed air and accelerated to supersonic speed. When the easily-focused jet of snow and compressed air impacts on the surface to be cleaned, a combination of thermal, mechanical, sublimation and solvent effects occur. The interaction of these four mechanisms of action detaches particulate (e.g. dust, chips, abrasion, micro burrs) and filmic contamination (e.g. separating agents, drawing oils, emulsions, silicones, traces of powder) in a reproducible manner. The aerodynamic force of the compressed air carries away the detached contamination, which is then removed by an integrated extraction system.

Source: acp systems AG, Ditzingen

schleunigt. Beim Auftreffen des gut fokussierbaren Schnee-Druckluftstrahls auf die zu reinigende Oberfläche kommt es zu einer Kombination aus thermischem, mechanischem, Sublimations- und Lösemittelleffekt. Das Zusammenspiel dieser vier Wirkmechanismen entfernt partikuläre (wie Staub, Späne, Ab-

rieb, Mikrograte) und filmische (wie Trennmittel, Ziehöl, Emulsionen, Silikone, Schmachspuren) Verunreinigungen reproduzierbar. Abgelöste Verunreinigungen werden durch die aerodynamische Kraft der Druckluft weggeströmt und durch eine integrierte Absaugung entfernt.

Quelle: acp systems AG, Ditzingen

selective or full-surface cleaning of components made from practically all types of material. The cleaning process is so gentle on materials that even delicate substrates can be treated.



Visit our Onlineshop!

More Specialist Information!



DVS Media GmbH • Aachener Straße 172 • 40223 Düsseldorf • T +49 211 1591-162 • F +49 211 1591-150 • vertrieb@dvs-media.info • www.dvs-media.eu

WELDING AND CUTTING

Subscription Service

Jessica Santoro

Leserservice DVS Media
65341 Eltville

P +49 61 23 92 38-145

F +49 61 23 92 38-244

dvsmedia@vuservice.de

www.dvs-media.eu



Try the leading journal for Welding and Cutting in Europe – Now!

Technical and Scientific Journal of the DVS – German Welding Society

WELDING AND CUTTING is an international trade journal which is editorially oriented to welding, cutting and brazing/soldering technology, including the numerous peripheral areas. It includes regular and comprehensive reports from industry, science and the practice of the welding technology sector, takes up not only new developments but also economic questions and thus serves as an important source of information which is used by an international expert public throughout the world.

Editorial Features:

- Research, Development and Application
- Training
- Welding, Cutting, Soldering, Brazing, Bonding etc.
- Materials (Ferrous and Non-ferrous Metals, Plastics, Base and Filler Materials and Ancillaries)
- Design
- Cost Calculations and Production in the Manufacture of Steel Structures, Vessels, Plants Vehicles and Machinery
- Welding Machines including Robots and Control Systems
- Materials Testing (Destructive and Non-Destructive)
- Health and Safety at Work

Price Information

Frequency:

4 x per annum

Subscription rate print:

134.00 €

Subscription rate print + online:

178.00 €

plus postage costs:

29.20 €

www.welding-and-cutting.info

DVS Media GmbH • Aachener Straße 172 • 40223 Düsseldorf

P +49 211 1591-159 • F +49 211 1591-150 • media@dvs-media.info • www.dvs-media.eu

DVS MEDIA

Auswirkungen von thermisch bedingten Eigenspannungen auf die Verbindungsfestigkeit von pressgefügtten Hybridstrukturen

Effects of thermally induced residual stresses on the joint strengths of press-joined hybrid structures

Alessandra Kummerow, M. Sc.; Prof. Dr. rer. nat. Sven Hartwig; Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger; Technische Universität Braunschweig, Institut für Füge- und Schweißtechnik, Braunschweig

Kurzfassung

Die Betrachtung von Eigenspannungen bei pressgefügtten Hybridbauteilen aus Metall und thermoplastischem Faserverbundkunststoff findet aktuell noch keine ausreichende Berücksichtigung in der Forschung. Als Arbeitshypothese für die vorgestellten Untersuchungen wird angenommen, dass die resultierenden Eigenspannungen bei thermoplastischen Faserverbundkunststoff-Metall-Bauteilen durch das Material und den Prozess beeinflusst und somit durch gezielte Maßnahmen reduziert werden können. Die theoretischen Überlegungen zum Aufbau von $\Delta\alpha$ -Spannungen konnten anhand der ermittelten Messergebnisse bestätigt werden. Dies zeigt das Potenzial der eingesetzten Messtechnik zur Beurteilung von Dehnungen in der Grenzfläche von hybriden Bauteilen.

Abstract

At present, research is not yet taking sufficient account of the consideration of residual stresses in the case of press-joined hybrid components made of metal and thermoplastic fibre composite plastic (FCP). As the working hypothesis for the presented investigations, it is assumed that the resulting residual stresses in the case of thermoplastic fibre composite plastic / metal components can be influenced by the material and the process and can thus be reduced by taking targeted measures. On the basis of the established measured results, it was possible to confirm the theoretical deliberations about the build-up of $\Delta\alpha$ stresses. This shows the potential of the utilised measuring technology for the assessment of strains at the interface of hybrid components.



Alessandra Kummerow, M. Sc.

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=400284
 profile: www.joining-plastics.info/?id=400284

a.kummerow@tu-braunschweig.de



Prof. Dr. rer. nat. Sven Hartwig

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=400285
 profile: www.joining-plastics.info/?id=400285



Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=200754
 profile: www.joining-plastics.info/?id=200754

1. Einleitung

Hybride Bauteile bestehen aus einer Kombination verschiedener Materialien; in diesem Fall werden Metalle und faserverstärkte Kunststoffe kombiniert, um die jeweiligen Vorteile der beiden Werkstoffgruppen miteinander zu vereinen und somit das Leichtbaupotenzial zu erhöhen. Bei der Herstellung hybrider Strukturen in der Automobilindustrie bietet das wärmeunterstützte Pressfügen einen zukunftssträchtigen Ansatz. Die Vorteile dieses Verfahrens liegen in geringen Prozesszeiten und einer verkürzten Prozesskette sowie der Lösbarkeit der Verbindung [1]. Beim wärmeunterstützten Press-

fügen wird eine thermoplastische Matrix des Faserverbundwerkstoffs durch eine Erwärmung über die Schmelztemperatur an eine metallische Struktur gefügt, sodass eine Art Schmelzklebung zwischen den Fügeteilen entsteht [2]. Bei der Umsetzung dieser Füge-technik erweist sich, wie auch bei anderen Füge-techniken, die Differenz der thermischen Ausdehnungskoeffizienten als eine wesentliche Herausforderung. Diese ist auch als sogenannte $\Delta\alpha$ -Problematik bekannt und führt bei Wärmezufuhr zu unterschiedlichen Längenänderungen der beteiligten Fügepartner, sodass es zur Ausbildung von inneren Spannungen bzw. zu ei-

1. Introduction

Hybrid components consist of combinations of various materials. In this case, metals and fibre-reinforced plastics are combined in order to unite the respective advantages of both material groups with each other and to increase the lightweight construction potential in this way. When hybrid structures are manufactured in the automobile industry, heat-assisted press joining offers an approach with a promising future. The advantages of this procedure relate not only to short process times and a shortened process chain but also to the detachability of the joint [1]. In the case of heat-assist-

ed press joining, a thermoplastic matrix of the fibre composite material is joined to a metallic structure as a result of heating up to above the melting temperature. This leads to a kind of fusion bond between the joining parts [2]. When this joining technology is implemented, the difference between the coefficients of thermal expansion proves to be an essential challenge, as in the case of other joining technologies too. This is also known as the so-called $\Delta\alpha$ problem and, when heat is supplied, leads to different changes in the lengths of the joining members involved. This may cause the formation of internal stresses, the distortion of the

nem Verzug des hybriden Bauteils oder im schlimmsten Fall dem Versagen der Fügeverbindung kommen kann (Bild 1) [3]. Die entstehenden Spannungen lassen sich unterteilen in Spannungen innerhalb der Fügepartner sowie Spannungen in der Grenzfläche zwischen Metall und FVK [4]. Insbesondere die Spannungen in der Grenzfläche steigen dabei mit zunehmender Differenz zwischen den Wärmeausdehnungskoeffizienten an, da die Grenzfläche diese Spannungen aufnehmen muss. Die im Bauteil vorliegenden Spannungen sind ein Resultat der vorliegenden Materialdehnungen, welche über das Hook'sche Gesetz miteinander in Verbindung stehen. Aufgrund dieses Zusammenhangs besteht die Möglichkeit, durch den Einsatz sogenannter faseroptischer Sensoren (FOS), über die Erfassung der Dehnungen innerhalb der Grenzfläche einen Rückschluss auf die hier vorliegenden Spannungen zu ermöglichen. Dabei ist der Aufbau von im Verbund entstehenden Dehnungen zum größten Teil auf Vorgänge während der Abkühlung zurückzuführen, da erst ab einem Unterschreiten der Schmelztemperatur Kräfte im pressgefügt Verbund übertragen werden können [5]. So können bei teilkristallinen Thermoplasten, zum Beispiel Polyamid 6, die aufgrund unterschiedlicher Materialdehnungen entstehenden Kräfte erst ab der Kristallisationstemperatur übertragen werden. Im Bereich zwischen der Schmelztemperatur und der Kristallisationstemperatur kann die thermoplastische Matrix noch geringfügig relaxieren und überträgt daher keine Kräfte [6]. Im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchungen werden FOS eingesetzt, um eine In-situ-Bestimmung von Dehnungen während der Bau-

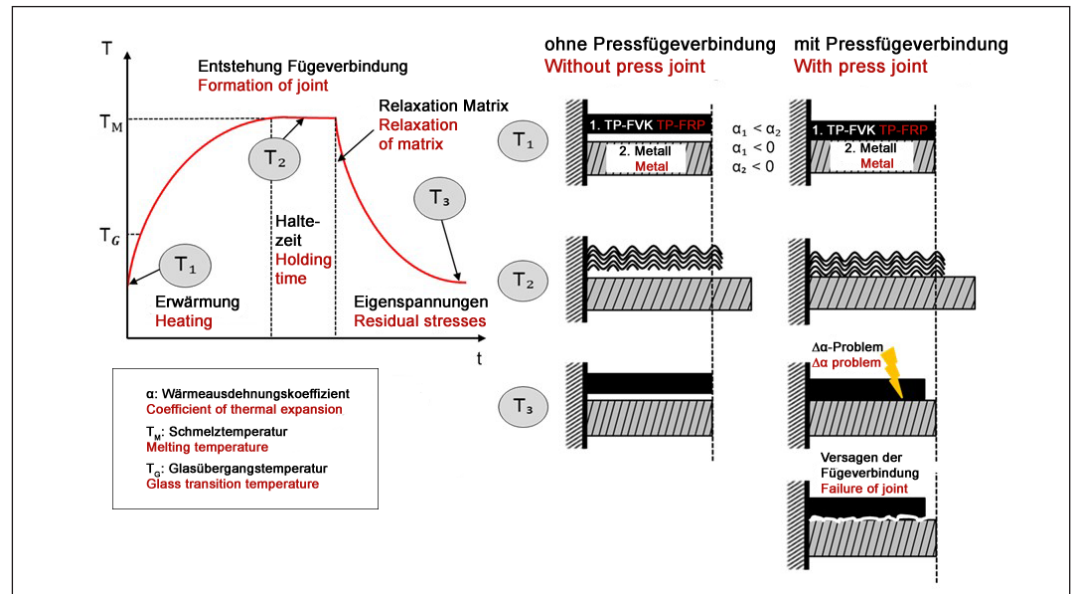


Bild 1: Schematische Darstellung des Deformationsverhaltens von pressgefügt Hybridstrukturen in Anlehnung an [2]

Fig. 1: Schematic representation of the deformation behaviour of press-joined hybrid structures with reference to [2]

teilherstellung zu ermöglichen. Neben der reinen Erfassung der im Prozess entstehenden Dehnungen wurden Betrachtungen zum Einfluss unterschiedlicher Materialkombinationen, Geometrien sowie Prozessparameter vorgenommen. Da der Herstellungsprozess nicht der einzige Prozess ist, bei dem thermisch bedingte Spannungen in einem Bauteil entstehen können, wurde darüber hinaus noch der Durchlauf eines Hybridbauteils durch den Trockner einer Kathodischen Tauchlackierung (KTL) simuliert. Dieser Prozess könnte aufgrund seiner hohen Temperaturen von etwa 180°C zu einem beschleunigten Relaxieren der im Herstellungsprozess entstandenen Spannungen führen [5].

2. Versuchsaufbau

In diesem Kapitel werden die eingesetzten Materialien und Materialkombinationen, die Probenkörper, die FOS sowie das Vorgehen zur Probenherstellung kurz vorgestellt.

hybrid component or, in the worst case, the failure of the joint (Fig. 1) [3]. The arising stresses may be divided into stresses inside the joining members as well as stresses at the interface between the metal and the FCP [4]. In this respect, particularly the stresses at the interface rise as the difference between the coefficients of thermal expansion increases since the interface must absorb these stresses.

The stresses existing in the component are a result of the existing material strains which are associated with each other via Hook's law. On the basis of this connection, there is the possibility of permitting a conclusion about the stresses existing here using so-called fibre-optic sensors (FOSs), by detecting the strains inside the interface. In this respect, the build-up of strains arising in the composite may largely be attributed to processes during the cooling since forces can only be transmitted in the press-joined composite when the

temperature drops below the melting temperature [5]. In the case of semi-crystalline thermoplastics (e.g. Polyamide 6), the forces resulting from different material strains can thus only be transmitted from the crystallisation temperature. In the range between the melting temperature and the crystallisation temperature, the thermoplastic matrix can still relax slightly and therefore does not transmit any forces [6].

Within the framework of the investigations presented here, FOSs are utilised in order to permit the in-situ determination of strains during the component manufacturing. In addition to the pure detection of the strains arising in the process, the influences of different material combinations, geometries and process parameters were taken into consideration. Since the manufacturing process is not the only process in which thermally induced stresses may arise in a component, the passage of a hybrid component through a cathodic dip painting (CDP) drier was simulated in addition. Because of its high temperatures of approx. 180°C, this process could lead to the accelerated relaxation of the stresses which have arisen in the manufacturing process [5].

2. Test setup

This chapter includes a brief presentation of the utilised materials

Tabelle 1: Ausgewählte Kennwerte der verwendeten Materialien
Table 1: Selected parameters of the utilised materials

	Einheit Unit	DC01	AlMg3	PP+GF	PA6+CF
Wärmeausdehnungskoeffizient* Coefficient of thermal expansion	1/Kx10 ⁻⁶	11,7	23,5	18,2	4,9
Kristallisationstemperatur** Crystallisation temperature	°C	-	-	120,6	186,8
Schmelztemperatur** Melting temperature	°C	-	-	166,3	221,6
E-Modul*** Modulus of elasticity	MPa	210000	70500	70000	95000

* Mittels TMA-Messungen entsprechend DIN EN ISO 11359 bestimmt Determined using TMA measurements according to DIN EN ISO 11359

** Mittels DSC-Messungen entsprechend DIN EN ISO 11357-2:2014 Using DSC measurements according to DIN EN ISO 11357-2:2014

*** Herstellerangabe laut Datenblatt Manufacturers' information according to data sheets

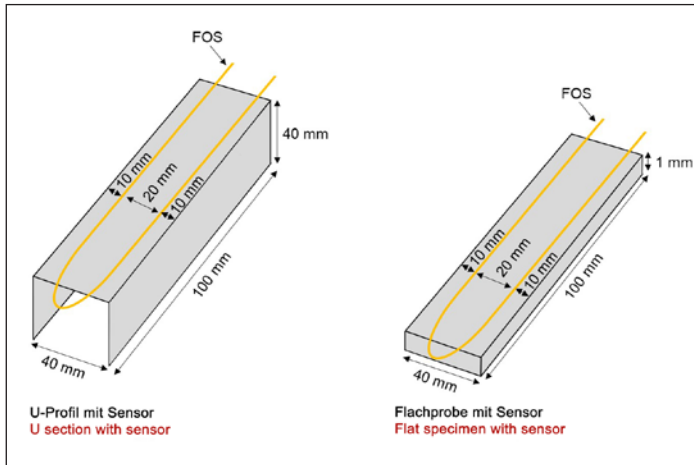


Bild 2: Verwendete Probengeometrien und Sensorpositionierung

Fig. 2: Utilised specimen geometries and sensor positioning

2.1 Eingesetzte Materialien und verwendete Probenkörper

Für die Herstellung der Hybridproben wurden zwei unterschiedliche Metalle und zwei faserverstärkte Kunststoffe (FVK) ausgewählt. Als Metallkomponenten dienten die Stahl-Feinblechsorte DC01 (1.0330, unbeschichtet, Dicke $t = 1$ mm) und eine Aluminiumlegierung AlMg₃ (3.3535, $t = 1$ mm). Bei den verwendeten Faserverbundkunststoffen handelte es sich um ein Polyamid 6 mit einem Volumenanteil von 40% Kohlenstofffasern (PA6+CF, 5-Lagen, unidirektional (UD), endlosfaserverstärkt, $t = 0,9$ mm) und ein Polypropylen mit einem Volumenanteil von 30% Glasfasern (PP+GF, 5-Lagen, UD, endlosfaserverstärkt, $t = 0,85$ mm). Die Wärmeausdehnungskoeffizienten sowie weitere ausgewählte Materialkennwerte der betrachteten Materialien können Tabelle 1 entnommen werden. Die dargestellten Wärmeausdehnungskoeffizienten der FVK werden parallel zur Faserorientierung ermittelt, da diese Ausrichtung für die Ausbildung der Eigenspannungen in der Fügeanordnung (Bild 1) die größere Relevanz aufzeigen. Die Untersuchungen wurden anhand von Flachproben und U-Profilen (in Anlehnung an DIN EN 1464) durchgeführt. Die beiden Probengeometrien sind in Bild 2 dargestellt.

2.2 Faseroptische Sensoren

Zur Ermittlung der entstehenden Dehnungen innerhalb der Grenz-

schicht zwischen Metall und FVK kommt das Messsystem OBR4600 der Firma Luna zum Einsatz. Der Messaufbau besteht bei diesem System aus einer Ausleseinheit und einer passiven Sensorfaser. Das Messprinzip basiert darauf, dass Licht aus der Ausleseinheit in die Faser gesendet wird und innerhalb der Faser die Eigenschaften des Lichts abhängig von Temperatur und Dehnungszustand charakteristisch modifiziert werden. Hierzu besitzt die Sensorfaser optische Reflektoren in der Glasfaser, wobei jeder Reflektor eine charakteristische Basiswellenlänge besitzt, welche Temperatur- und Dehnungsänderungen wahrnimmt. Jeder Reflektor kann für die Auswertung als ein Messpunkt wahrgenommen werden. Dies ermöglicht die ortsauflösende Erfassung von unterschiedlichen Dehnungen und Temperaturen entlang der Sensorfaser, die entsprechend Bild 3 in die Grenzfläche eingelegt wird. Aufgrund des direkten Zusammenhangs zwischen Dehnung und Spannung kann durch die Dehnungsmessergebnisse auf den jeweiligen Spannungszustand geschlossen werden, indem das lineare Elastizitätsgesetz angewendet wird. Aus dieser theoretischen Betrachtung kann gezeigt werden, dass höhere Dehnungen in höheren Spannungen resultieren sollten. Folglich können die ermittelten Dehnungen als Interpretationsgrundlage für die Ausbildung der Spannungen in der Grenzfläche angesehen werden.

and material combinations, the test specimens, the FOSs as well as the specimen manufacturing procedure.

2.1 Utilised materials and test specimens

Two different metals and two fibre-reinforced plastics (FRPs) were selected for the manufacturing of the hybrid specimens. The DC01 steel sheet grade (1.0330, uncoated, thickness $t = 1$ mm) and an AlMg₃ aluminium alloy (3.3535, $t = 1$ mm) served as the metal components. The utilised fibre composite plastics were a Polyamide 6 with a carbon fibre proportion of 40% by volume (PA6+CF, five layers, unidirectional (UD), continuous fibre reinforcement, $t = 0.9$ mm) and a polypropylene with a glass fibre proportion of 30% by volume (PP+GF, five layers, UD, continuous fibre reinforcement, $t = 0.85$ mm). The coefficients of thermal expansion as well as further selected parameters of the materials under consideration are indicated in Table 1. The portrayed coefficients of thermal expansion of the FRPs are established parallel to the fibre orientation since this orientation is more relevant to the formation of the residual stresses in the joining arrangement (Fig. 1). The investigations were conducted using flat specimens and U sections (with reference to DIN EN 1464). Both specimen geometries are portrayed on Fig. 2.

2.2 Fibre-optic sensors

The OBR4600 measuring system from Luna is utilised in order to es-

tablish the strains arising inside the interface between the metal and the FRP. In the case of this system, the measuring setup consists of a read-out unit and a passive sensor fibre. The measuring principle is based on the fact that light from the read-out unit is transmitted into the fibre and, inside the fibre, the properties of light are modified characteristically depending on the temperature and the strain condition. For this purpose, the sensor fibre has optical reflectors in the glass fibre and each reflector has a characteristic basic wavelength which detects any temperature or strain changes. For the evaluation, each reflector may be perceived as one measuring point. This permits the local-resolution detection of different strains and temperatures along the sensor fibre which is inserted into the interface corresponding to Fig. 3. Because of the direct connection between the strain and the stress, the measured results for the strain can be used in order to draw conclusions about the stress condition in question by applying the linear elasticity law. From this theoretical consideration, it can be shown that higher strains should result in higher stresses. Consequently, the established strains may be viewed as the interpretation basis for the formation of the stresses at the interface.

2.3 Specimen manufacturing

The specimens were manufactured on a „Polystat 200T“ heating press from Servitec Maschinen-service GmbH. The joining temper-

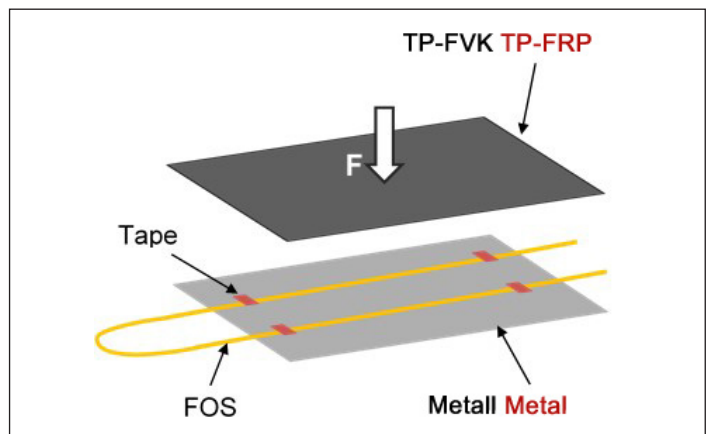


Bild 3: Schematische Darstellung des Messaufbaus

Fig. 3: Schematic representation of the measuring setup

2.3 Probenherstellung

Die Probenherstellung erfolgte auf einer Heizpresse „Polystat 200T“ der Firma Servitec Maschinenservice GmbH. Die Füge Temperaturen wurden entsprechend der eingesetzten thermoplastischen FVK gewählt ($T_{PA6} = 250^{\circ}\text{C}$ und $T_{PP} = 190^{\circ}\text{C}$) und für 20 min konstant gehalten, bevor die Abkühlung erfolgte. Als Aufheiz- und Abkühlrate kommt eine Rate von 30 K/min zum Einsatz. Von diesem Standardprozess erfolgte eine Variation der Abkühlrate um ± 15 K/min. Der Anpressdruck im Pressenzylinder beträgt bei allen hier vorgestellten Ergebnissen 10 bar. Die Messung der Dehnungen mit Hilfe der FOS erfolgte über den gesamten Herstellungsprozess ausgehend von Raumtemperatur bis zum Erreichen der Raumtemperatur nach der Abkühlung (Bild 4). Anhand der definierten Temperaturpunkte (Bild 1) können die über die Gesamtlänge der FOS ermittelten Dehnungsmesswerte für die verschiedenen Dehnungsstadien lokal dargestellt werden, wobei über die Zeit als auch über die Temperatur und den Ort gemittelt werden kann, was eine sehr komplexe Auswertung zur Folge hat.

Die Analyse der gemessenen Dehnungen erfolgt in einem Messbereich in der Probenmitte. Dafür wird für den Faserhinweg der Bereich der Messposition 50 mm bis 100 mm und für den Faserrückweg der Bereich zwischen der Messposition 200 mm bis 250 mm ausgewählt. Für die Auswertung werden die Dehnungen über den Hin- und Rückweg an charakteristischen Temperaturpunkten gemittelt, um die Dehnungsbildung in einem bestimmten Messbereich analysieren zu können. Weiterhin werden die Messwerte über 5 Proben gemittelt, um die Schwankungen statistisch auszugleichen. Die gemittelten Messwerte stellen daher eine Verteilung über den Probekörper in einem definierten Messbereich dar und keine exakten Einzelwerte. Als Beispiel für eine lokale Dehnungsmessung ist eine Messung über den Zeitverlauf an der Messposition 50 mm dargestellt (Bild 5).

Ergänzend zu den Betrachtungen des Herstellungsprozesses wur-

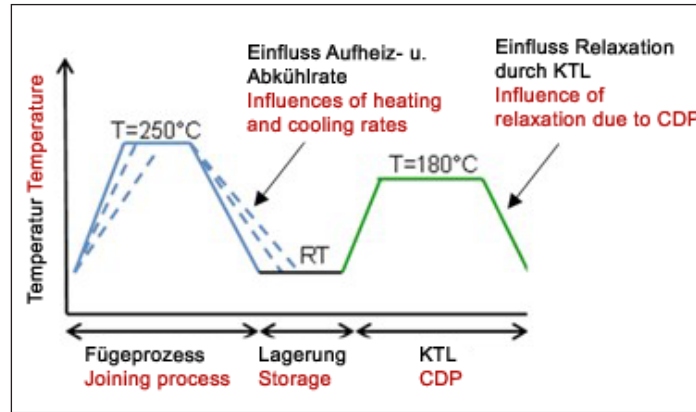


Bild 4: Darstellung des Temperaturverlaufs eines Bauteils während der Produktion

Fig. 4: Representation of the temperature course of a component during production

de eine Untersuchung zum Einfluss nachgeschalteter Prozesse vorgenommen. Hierfür wurde der Durchlauf der Probenkörper durch einen simulierten KTL-Trocknungsvorgang vorgenommen. Die Proben wurden hierfür in einem Ofen für 30 min auf 180°C erwärmt, wobei eine konstante Erfassung der Dehnungen durch die FOS erfolgte.

2.4 Bestimmung der Verbindungsfestigkeit

Zur Evaluierung des Einflusses thermisch bedingter Dehnungen auf die Verbindungsfestigkeit wurden Schälversuche in Anlehnung an DIN EN 1464 an den zuvor vorgestellten Materialkombinationen durchgeführt. Die Prüfgeschwindigkeit bei den Versuchen beträgt 100 mm/min.

atures were chosen corresponding to the utilised thermoplastic FRPs ($T_{PA6} = 250^{\circ}\text{C}$ and $T_{PP} = 190^{\circ}\text{C}$) and were kept constant for 20 min before the cooling was carried out. A rate of 30 K/min was utilised as the heating and cooling rate. From this standard process, the cooling rate was varied by ± 15 K/min. In the case of all the results presented here, the pressing-on pressure in the press cylinder was 10 bar. The strains were measured with the aid of the FOSs throughout the manufacturing process starting from the room temperature until the room temperature was reached after the cooling (Fig. 4). Using the defined temperature points (Fig. 1), the measured values for the strain which are established over the entire length of the FOSs can be portrayed locally for the var-

ious strain stages. In this respect, a mean value can be formed not only using the time but also using the temperature and the location. This results in a very complex evaluation. The measured strains are analysed in a measuring region in the centre of the specimen. For this purpose, the region between the measuring positions from 50 mm to 100 mm is selected for the outward fibre path and the region between the measuring positions from 200 mm to 250 mm for the return fibre path. For the evaluation, the mean values of the strains are formed at characteristic temperature points using the outward and return paths in order to be able to analyse the strain formation in a certain measuring region. Furthermore, the mean value of the measured values is formed over five specimens in order to compensate for the fluctuations statistically. The mean measured values therefore constitute a distribution over the test specimen in a defined measuring region and no exact individual values. A measurement over the time course at the 50 mm measuring position is portrayed as an example of a local strain measurement (Fig. 5).

As a supplement to the considerations about the manufacturing process, an investigation was conducted into the influences of downstream processes. For this purpose, the test specimens passed through

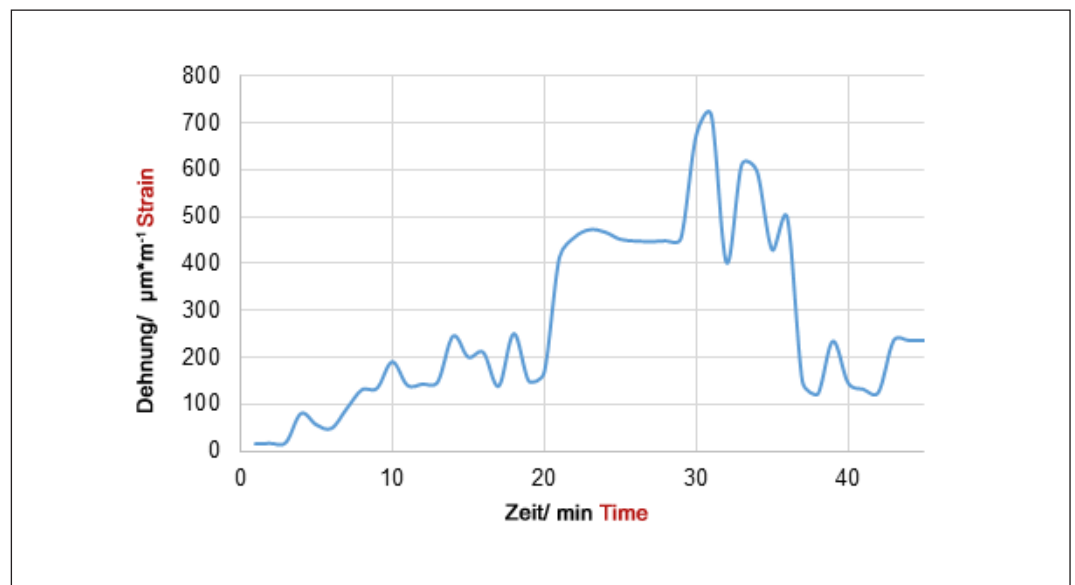


Bild 5: Messverlauf an der Position 50 mm

Fig. 5: Measuring course at the 50 mm position

3. Ergebnisse und Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der verschiedenen Parametervariationen vorgestellt und diskutiert. Die Ergebnisdarstellung beginnt mit der Vorstellung der Dehnungsmessung an Flachproben bevor der Einfluss der Probengeometrie und der Verbindungsfestigkeit, diskutiert wird. Zum Abschluss wird ein nachgeschalteter thermischer Prozess (KTL-Trockner) betrachtet.

3.1 Dehnungsmessung an Flachproben

Die Dehnungsmessung an Flachproben wird nur im unmodifizierten Standard-Herstellungsprozess bei einer Füge­temperatur von 190°C (PP+GF) bzw. 250°C (PA6+CF), einer Aufheiz- und Abkühlrate von 30 K/min und einem Anpressdruck von 10 bar durchgeführt.

Die mit Hilfe der eingebrachten FOS ermittelten Restdehnungen betragen 342 $\mu\text{m/m}$ (Al-PA6+CF), 298 $\mu\text{m/m}$ (DC01-PA6+CF), 281 $\mu\text{m/m}$ (AlPP+GF) und 251 $\mu\text{m/m}$ (DC01-PP+GF). Diese Dehnungen stellen den überlagerten Dehnungszustand nach dem Herstellungsprozess eines Hybridbauteils in der Grenzfläche bei Raumtemperatur dar. Bei näherer Betrachtung der Werte und dem Vergleich mit den jeweils ermittelten Wärmeausdehnungskoeffizienten (Tabelle 1) zeigt sich, dass die Restdehnungen entsprechend der Unterschiede

zwischen den Wärmeausdehnungskoeffizienten der einzelnen Materialien ausfallen. Einen Sonderfall stellt dabei die Kombination DC01-PP+GF dar, da bei dieser der Wärmeausdehnungskoeffizient des thermoplastischen Fügeteils größer ist als der des Metalls. Trotz einer zum DC01-PA6+CF vergleichbaren Differenz der Wärmeausdehnungskoeffizienten werden hier geringere Restdehnungen erfasst. Verantwortlich hierfür können zwei Faktoren sein, zum einen die im Vergleich zu PA6 geringere Kristallisationstemperatur des PP und zum anderen die geringere Steifigkeit des PP gegenüber der des DC01. Die Theorie, dass größere Unterschiede zwischen den Wärmeausdehnungskoeffizienten zu größeren Restdehnungen nach der Abkühlung führen, konnte somit für Fälle, in denen das Metallteil größere Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzt, anhand der Messwerte an den Flachproben bestätigt werden.

3.2 Einfluss der Probengeometrie

Zur Betrachtung des Geometrieinflusses wurde ein U-Profil herangezogen. Hierbei sollte durch die Erhöhung der geometrischen Steifigkeit eine zusätzliche Verformungsbehinderung erreicht werden. Die Probenherstellung erfolgte in Anlehnung an die zuvor vorgestellten Referenzversuche. Die ermittelten Restdehnungen betragen für das U-Profil

a simulated CDP drying process by heating the specimens up to 180°C in an oven for 30 min. In this respect, the strains were detected constantly using the FOSs.

2.4 Determination of the joint strength

In order to evaluate the influences of thermally induced strains on the joint strength, peeling tests with reference to DIN EN 1464 were carried out on the material combinations presented above. The testing speed during the tests was 100 mm/min.

3. Results and discussion

The results of the various parameter variations are presented and discussed in this chapter. The portrayal of the results begins with the presentation of the strain measurements on flat specimens before the influences of the specimen geometry and the joint strength are discussed. Finally, consideration is given to a downstream thermal process (CDP drier).

3.1 Strain measurements on flat specimens

The strain measurements on flat specimens are taken only in the unmodified standard manufacturing process at a joining temperature of 190°C (PP+GF) or 250°C (PA6+CF), a heating and cooling rate of 30 K/min and a pressing-on pressure of 10 bar.

The residual strains established with the aid of the incorporated FOSs are 342 $\mu\text{m/m}$ (Al-PA6+CF), 298 $\mu\text{m/m}$ (DC01-PA6+CF), 281 $\mu\text{m/m}$ (Al-PP+GF) and 251 $\mu\text{m/m}$ (DC01-PP+GF). These strains constitute the superimposed strain condition after the manufacturing process for a hybrid component at the interface at the room temperature. When the values are considered more closely and compared with the coefficients of thermal expansion established in each case (Table 1), it is shown that the residual strains turn out to correspond to the differences between the coefficients of thermal expansion of the individual materials. In this respect, the DC01-PP+GF combination constitutes a special case since, with this, the coefficient of thermal expansion of the thermoplastic joining part is greater than that of the metal. In spite of the fact that the difference in the coefficients of thermal expansion is comparable with DC01-PA6+CF, lower residual strains are detected here. Two factors may be responsible for this. Not only is the crystallisation temperature of PP lower than that of PA6 but the stiffness of PP is also lower than that of DC01. Using the measured values on the flat specimens, the theory that greater differences between the coefficients of thermal expansion lead to greater residual strains after the cooling could thus be confirmed for cases in which the metal parts have greater coefficients of thermal expansion.

3.2 Influence of the specimen geometry

In order to consider the influence of the geometry, reference was made to a U section. In this respect, additional deformation restraint was to be achieved by increasing the geometrical stiffness. The specimens were manufactured according to the reference tests presented above. For the U section, the established residual strains are 305 $\mu\text{m/m}$ (Al-PA6+CF), 245 $\mu\text{m/m}$ (DC01-PA6+CF), 251 $\mu\text{m/m}$ (Al-PP+GF) and 206 $\mu\text{m/m}$ (DC01-PP+GF). Thus, the characteristics of the measured values correspond to those of the measured values of the flat specimen but

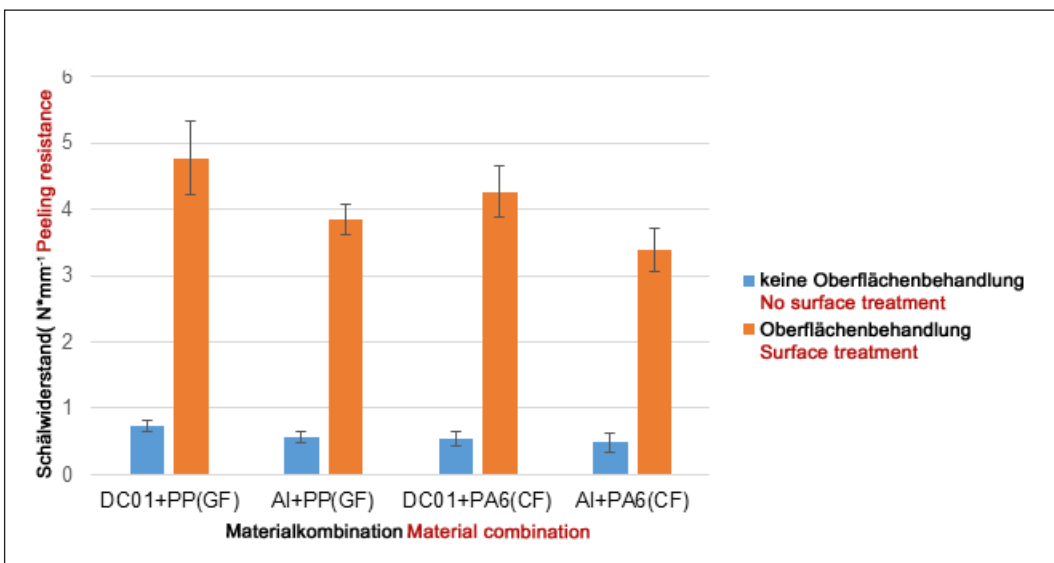


Bild 6: Vergleich der Schälwiderstände für den Materialeinfluss

Fig. 6: Comparison of the peeling resistances for the material influence

305 $\mu\text{m}/\text{m}$ (Al-PA6+CF), 245 $\mu\text{m}/\text{m}$ (DC01-PA6+CF), 251 $\mu\text{m}/\text{m}$ (Al-PP+GF) und 206 $\mu\text{m}/\text{m}$ (DC01-PP+GF). Damit entsprechen die Messwerte in der Ausprägung denen der Flachprobe; allerdings sind die Werte geringer. Dies wird auf die Erhöhung des Flächenträgheitsmoments des Probenkörpers zurückgeführt. Im Falle der U-Profile ist eine Korrelation der Restdehnungen mit den Differenzen der thermischen Ausdehnungskoeffizienten nur bei zwei der vier Materialkombinationen vorhanden, wodurch ein allgemeiner Nachweis der Theorie nicht eindeutig möglich ist. Die geometrische Steifigkeit eines Bauteils hat somit einen Einfluss auf die Restdehnungen von Hybridbauteilen. Aufgrund der höheren Relevanz eines U-Profils gegenüber einer Flachprobe wird in den folgenden Versuchsreihen lediglich auf die U-Profil-Geometrie zurückgegriffen.

3.3 Einfluss der Verbindungsfestigkeit

Die Betrachtungen zum Einfluss der Verbindungsfestigkeit basieren auf der Steigerung der Schälfestigkeit der Pressfügeverbindungen durch den Einsatz einer Oberflächenvorbehandlung (Sandstrahlen). Dies führt zu einer Steigerung der Oberflächenrauheit gegenüber der gereinigten Referenz. Auf DC01 konnte durch die Oberflächenvorbehandlung die gemittelte Rauheit (R_a) von 6,8 μm auf 24,4 μm gesteigert werden, bei Aluminium von 5,1 μm auf 22 μm . Diese Vergrößerung der Oberfläche in Kombination mit dem Abtrag etwaiger Oxidschichten resultiert in einer Steigerung der Schälfestigkeit

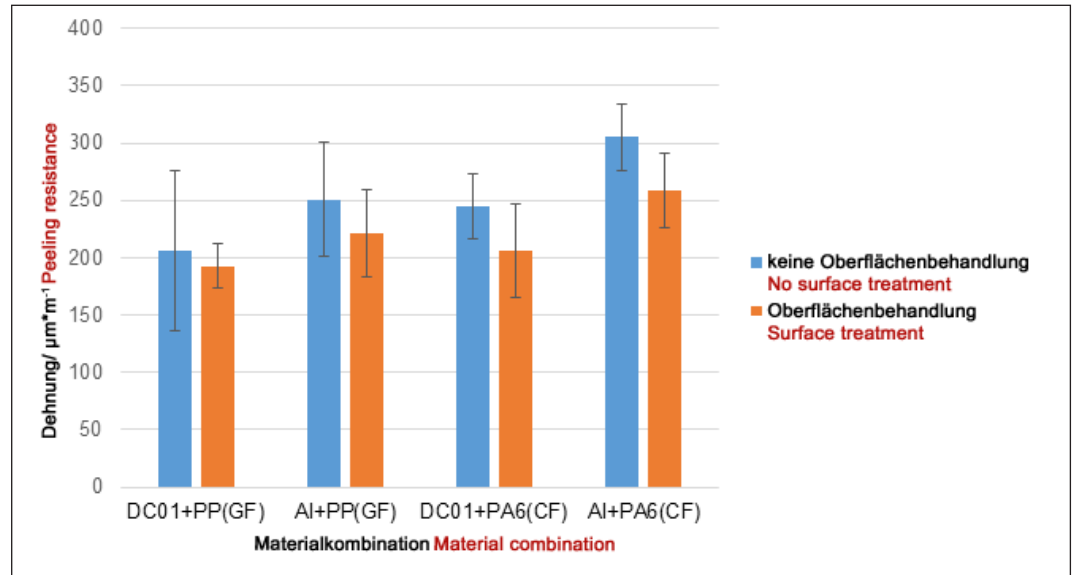


Bild 7: Vergleich der gemittelten Dehnungswerte bei T_3

Fig. 7: Comparison of the mean strain values at T_3

aller betrachteten Materialkombinationen. Die Schälwiderstände für die unbehandelten Metallsubstrate als auch die Schälwiderstände für die sandgestrahlten Metallsubstrate sind in Bild 6 dargestellt. Für die sandgestrahlten U-Profile ergeben sich im Vergleich zu den unvorbehandelten U-Profilen (Abschnitt 3.2) geringere Restdehnungen (Bild 7). Durch die Korrelation der Schälwiderstände und Restdehnungen kann die Theorie bestätigt werden, dass höhere Restdehnungen der jeweiligen Probenreihe zu geringeren Schälwiderständen führen. Die These, dass eine Verringerung der Restdehnung aufgrund einer Behinderung der Ausdehnung während der Erwärmung entsteht, lässt sich aufgrund der kontinuierlichen Messung während des Herstellungsprozesses ausschließen, da sich die Messwerte der unbehandelten Bauteile beim

the values are lower. This is attributed to the increase in the geometrical moment of inertia of the test specimen. As far as the U sections are concerned, the residual strains correlate with the differences in the coefficients of thermal expansion only in the case of two of the four material combinations. Therefore, general proof of the theory is not possible unambiguously. The geometrical stiffness of a component thus has an influence on the residual strains of hybrid components. Because a U section is more relevant than a flat specimen, merely the U section geometry is used in the following test series.

3.3 Influence of the joint strength

The considerations about the influence of the joint strength are based on the rise in the peeling strengths

of the press joints due to the utilisation of a surface pretreatment (sandblasting). This leads to a rise in the surface roughness compared with the cleaned reference. Due to the surface pretreatment, it was possible to raise the mean roughness (R_a) from 6.8 μm to 24.4 μm on DC01 and from 5.1 μm to 22 μm in the case of aluminium. In combination with the removal of any oxide coatings, this enlargement of the surface results in rises in the peeling strengths of all the material combinations under consideration. Not only the peeling resistances for the untreated metal substrates but also the peeling resistances for the sandblasted metal substrates are portrayed on Fig. 6. The sandblasted U sections exhibit lower residual strains than the unpretreated U sections in Chapter 3.2 (Fig. 7). Due to the correlation between the peeling resistances and

Literatur References

- [1] Lohse, H.: Thermoplastische Systemlösungen im Automobilbau, Adhäsion Kleben & Dichten 9/2005.
- [2] Ageorges, C.; Ye, L.; Hou, M.: Advances in fusion bonding techniques for joining thermoplastic matrix composites: a review, Composites: Part A, Bd. 32, pp. 839/57, 2001.
- [3] Schmale, C.: Einfluss einer induktiv beschleunigten Härtingsreaktion auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften einer Klebverbindung unter Schlagbeanspruchung. Dissertation, Universität Paderborn, 2010.
- [4] Parlevliet, P. P.; Bersee, H. E. N.; Beukers, A.: Residual stresses in thermoplastic composites - A study of the literature - Part I: Formation of residual stresses, Composites: Part A, Bd. 37, pp. 1847/57, 2006.
- [5] Dietrich, R. G.: Analyse der Wärmeausdehnungs-Inkompatibilität bei Klebverbindungen aus CFK, Stahl und Aluminium bei der Fertigung einer lackierten Karosserie; Dissertation, Technische Universität München, 2018.
- [6] Chapman, T. J.; Gillespie, J. W.; Pipes, R. B.; Manson, J. A. E.; Seferis, J. C.: Prediction of process-induced residual-stresses in thermoplastic composites, Journal of Composite Materials, Bd. 24, Nr. 6, pp. 616/43, 1990.

Erreichen der Schmelztemperatur (Messpunkt T_2 Bild 1) mit denen der sandgestrahlten Probenkörper decken. Die resultierenden Unterschiede zwischen den unbehandelten und sandgestrahlten Proben müssen daher auf die während der Abkühlung stattfindende Anbindung zurückgeführt werden. Dabei gilt grundsätzlich, dass die Kraftübertragung erst nach dem Unterschreiten der Kristallisationstemperatur beginnen kann. Die Korrelation der Restdehnungen mit den ermittelten Schälwiderständen ist allerdings aufgrund der stark variierten Oberflächenstruktur nicht abschließend möglich gewesen und ist daher die Basis für zukünftige Forschungen.

3.4 Einfluss der Abkühlraten

Um den Einfluss der zuvor bereits diskutierten Abkühlrate genauer zu betrachten, wurde die Standardabkühlrate um ± 15 K/min auf unbehandelten Oberflächen variiert. Somit ergibt sich eine langsame Abkühlung mit einer Abkühlrate von 15 K/min und eine schnelle Abkühlung (45 K/min). Dabei sollte eine langsamere Abkühlung der Matrix mehr Zeit zur Kettenumlagerung geben und somit zu geringeren Restdehnungen führen. Diese These kann anhand der Messwerte der Materialkombination DC01-PA6+CF bestätigt werden. So konnten die Restdehnungen bei einer langsamen Abkühlung auf 224 $\mu\text{m/m}$ im Vergleich zur Standardabkühlrate von 245 $\mu\text{m/m}$ gesenkt werden. Die Beschleunigung der Abkühlung führt dagegen zu höheren Restdehnungen (261 $\mu\text{m/m}$). Durch eine Verlangsamung der Abkühlrate wird dem Material somit ausreichend Zeit für interne Relaxationsvorgänge gegeben, welche durch eine schnellere Abkühlung unterdrückt werden. Bei der Betrachtung der Aluminiumlegierung konnte der Einfluss der langsamen Abkühlung allerdings nicht in ähnlichem Maße beobachtet werden. Hier betrug die Dehnungsreduzierung gegenüber dem Standardprozess lediglich 7 $\mu\text{m/m}$. Die Ergebnisse zur schnellen Abkühlung und der damit einhergehenden Erhöhung der Restdehnung (+38 $\mu\text{m/m}$) konnte

aber auch bei dieser Materialkombination (Al-PA6+CF) beobachtet werden.

3.5 Einfluss KTL-Trockner

Zur Beurteilung eines nachgeschalteten thermischen Prozesses wurde der Durchlauf durch einen KTL-Trockner im Labor simuliert (Abschnitt 2.3). Die Probenkörper haben dabei den Standardherstellungsprozess auf unbehandelten Oberflächen durchlaufen und im Anschluss den KTL-Trockner (mit langsamer Abkühlrate 15 K/min). Für die hier vorgestellten Untersuchungen werden lediglich die Probenkörper auf Basis des PA6+CF herangezogen, da dieses Material beim KTL-Trocknerdurchlauf nicht erneut aufschmilzt. Die nach dem KTL-Durchlauf bei Raumtemperatur ermittelten Restdehnungen betragen 298 $\mu\text{m/m}$ (Al-PA6+CF) und 251 $\mu\text{m/m}$. Im Vergleich zu den Messwerten zum Zeitpunkt T_3 haben sich somit durch den zusätzlichen Temperaturschritt nahezu keine Änderungen der Restdehnung ergeben. Ein signifikanter Spannungsabbau durch eine beschleunigte Relaxation des thermoplastischen Materials kann somit nicht beobachtet werden.

4. Schlussbemerkung

Die vorgestellten Messungen einer In-situ-Dehnungsmessung während der Herstellung eines Hybridbauteils lassen erkennen, dass die gewählte Messmethodik mit FOS grundsätzlich geeignet ist, um Dehnungen in der Grenzfläche zu erfassen. Anhand der Messungen konnte gezeigt werden, dass sich die Restdehnungen durch gezielte Variation von Prozess- und Geometrieparametern beeinflussen lassen. So zeigte die Veränderung der Bauteilsteifigkeit auf der Metallseite, dass sich die Verformungen auf diese Weise reduzieren lassen. Darüber hinaus wirkt sich eine Steigerung der Anbindungsfestigkeit ebenfalls positiv auf die nach dem Herstellungsprozess vorliegenden Restdehnungen aus, da die Restdehnungen reduziert werden. Die ermittelten Messwerte bieten hierbei großes Potenzial für zukünftige Untersu-

the residual strains, it is possible to confirm the theory that higher residual strains in the respective specimen series lead to lower peeling resistances. The thesis that a decrease in the residual strain is caused by the restraint of the expansion during the heating can be excluded as a result of the continuous measurement during the manufacturing process since the measured values of the untreated components when the melting temperature is reached (T_2 measuring point on Fig. 1) coincide with those of the sandblasted test specimens. The resulting differences between the untreated and sandblasted specimens must therefore be attributed to the bonding taking place during the cooling. In this respect, it is basically true that the force transmission can only begin after the temperature has dropped below the crystallisation temperature. However, it has not been conclusively possible to correlate the residual strains with the established peeling resistances as a result of the extremely varied surface structures. Therefore, this correlation is the basis for future research projects.

3.4 Influence of the cooling rate

For more precise consideration of the influence of the cooling rate already discussed above, the standard cooling rate was varied by ± 15 K/min on untreated surfaces. This results in slow cooling at a cooling rate of 15 K/min and in quick cooling (45 K/min). In this respect, the slower cooling of the matrix should provide more time for chain rearrangement and thus lead to lower residual strains. This thesis can be confirmed using the measured values of the DC01-PA6+CF material combination. Thus, it was possible to lower the residual strains to 224 $\mu\text{m/m}$ with slow cooling in comparison with 245 $\mu\text{m/m}$ at the standard cooling rate. In contrast, the acceleration of the cooling leads to higher residual strains (261 $\mu\text{m/m}$). Due to the deceleration of the cooling rate, the material is thus given sufficient time for internal relaxation processes which are suppressed by quicker cooling. In any case, when

the aluminium alloy was considered, it was not possible to observe the influence of the slow cooling to a similar extent. Here, the reduction in the strain compared with the standard process was merely 7 $\mu\text{m/m}$. However, the results of the quick cooling and of the associated increase in the residual strain (+38 $\mu\text{m/m}$) could not be observed with this material combination (Al-PA6+CF) either.

3.5 Influence of the CDP drier

In order to assess a downstream thermal process, the passage through a CDP drier was simulated in the laboratory (Chapter 2.3). In this respect, the test specimens have passed through the standard manufacturing process on untreated surfaces and subsequently through the CDP drier (at a slow cooling rate of 15 K/min). For the investigations presented here, reference was merely made to the test specimens on the basis of PA6+CF since this material does not melt completely once again when it passes through the CDP drier. The residual strains established at the room temperature after the CDP passage are 298 $\mu\text{m/m}$ (Al-PA6+CF) and 251 $\mu\text{m/m}$. In comparison with the measured values at the T_3 point in time, the additional temperature step thus results in hardly any changes in the residual strain. Thus, it is not possible to observe any significant stress relief due to the accelerated relaxation of the thermoplastic material.

4. Concluding remarks

The presented in-situ strain measurements during the manufacturing of a hybrid component reveal that the chosen measuring methodology with FOSs is fundamentally suitable for the detection of strains at the interface. On the basis of the measurements, it was possible to show that the residual strains can be influenced by varying process and geometry parameters in a targeted manner. Thus, the alteration in the component stiffness on the metal side showed that the deformations can be reduced in this way. Furthermore, a rise in the bonding strength also exerts positive effects on the residual strains existing after the man-

chungen mit Blick auf verschiedene Oberflächenmodifikationen. Der Prozesseinfluss wurde anhand von Variationen der Abkühlraten diskutiert, die gezeigt haben, dass eine Beschleunigung der Abkühlrate bei den betrachteten Proben zu einer Erhöhung der verbleibenden Dehnungen führte. Eine Reduzierung der Abkühlrate konnte hingegen lediglich bei einer der hier vorgestellten Materialkombinationen zu einer Reduzierung beitragen. Für eine detaillierte Darstellung der ermittelten Ergebnisse sowie eine umfassende Auswertung aller betrachteten Prozessparameter wird auf den Abschlussbericht zum Projekt (19513 N/1) verwiesen. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass zukünftige Forschungsansätze mit Hilfe von FOS und den damit möglichen In-situ-Messungen zu einem besseren Verständnis der

inneren Dehnungen bzw. Spannungen von Hybridbauteilen beitragen können.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben Nr. 19.513 N / DVS-Nr. 11.063 der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, Aachener Str. 172, 40223 Düsseldorf, wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (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:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ufacturing process since the residual strains are reduced. In this respect, the established measured values offer great potential for future investigations in view of various surface modifications. The process influence was discussed on the basis of variations in the cooling rates which have shown that the acceleration of the cooling rates of the specimens under consideration led to increases in the remaining strains. In contrast, a reduction in the cooling rate was able to contribute to a reduction merely with one of the material combinations presented here. For a detailed portrayal of the established results as well as a comprehensive evaluation of all the process parameters under consideration, attention is drawn to the final report on the project (19513 N/1). The conducted investigations show that future research approaches with the aid of FOSs and the thus possible in-situ

measurements may contribute to a better understanding of the internal strains and stresses of hybrid components.

Acknowledgement

The IGF Project 19.513 N / DVS No. 11.063 of the research association „Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf“ was, on the basis of a resolution of the German Bundestag, promoted by the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy via AiF within the framework of the programme for the promotion of joint industrial research.

Supported by:



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Energy

on the basis of a decision
by the German Bundestag



LEISTER
LASER PLASTIC WELDING

**Your Experts
in Laser Plastic
Welding.**

www.leister.com



swiss made

We know how.

Thermografie zur Qualitätssicherung beim Ultraschallschweißen

Thermography for quality assurance in the case of ultrasonic welding

Dipl.-Ing. Christopher Pommer, Dr. Eduard Kraus, Dr. Benjamin Baudrit, Dr. Thomas Hochrein, Prof. Dr. Martin Bastian SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg

Kurzfassung

Zur Bewältigung hoher Stückzahlen werden zum Verbinden von Bauteilen meist Serienschweißverfahren wie das Ultraschallschweißen eingesetzt. Obwohl das Ultraschallschweißen ein sehr verbreitetes Fügeverfahren ist, können dennoch Qualitätsschwankungen auftreten, die nicht durch die Überwachungsparameter der Schweißmaschine erkannt werden. Ziel eines abgeschlossenen Forschungsprojekts am Kunststoff-Zentrum – SKZ war es daher, eine Inline-Qualitätskontrolle mittels Thermografie zu untersuchen, um die Grenzen sowie Potenziale dieser Prozessüberwachungsmethode zu definieren. Im Rahmen des Projekts wurde jedoch kein alternativer Überwachungsparameter für das Ultraschallschweißen entwickelt, vielmehr wurde eine ergänzende Qualitätssicherungsmöglichkeit geschaffen, um die Lücke nicht detektierbarer Fehlerquellen durch eine Maschinenüberwachung mit Hilfe der Thermografie zu schließen und damit weiter einen Schritt Richtung 100% Kontrolle durch zerstörungsfreie Prüfung zu gehen.

Abstract

In order to cope with high quantities, series welding procedures such as ultrasonic welding are utilised for the joining of components in most cases. Although ultrasonic welding is a very widespread joining procedure, it may nevertheless lead to quality fluctuations which are not recognised by the monitoring parameters of the welding machine. The objective of a concluded research project at the South German Plastics Centre (SKZ) was therefore to investigate inline quality control by means of thermography in order to define both the limits and potentials of this process monitoring method. However, no alternative monitoring parameters for ultrasonic welding were developed within the framework of the project. Instead, a supplementary quality assurance possibility was created in order to close the gap of non-detectable defect sources using machine monitoring with the aid of thermography and thus to take one more step towards 100% checking by means of non-destructive testing.



Dipl.-Ing. Christopher Pommer

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=306975
 profile: www.joining-plastics.info/?id=306975
c.pommer@skz.de



Dr. Eduard Kraus

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=202415
 profile: www.joining-plastics.info/?id=202415
e.kraus@skz.de



Dr. Benjamin Baudrit

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=202414
 profile: www.joining-plastics.info/?id=202414
b.baudrit@skz.de



Dr. Thomas Hochrein

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=307382
 profile: www.joining-plastics.info/?id=307382
t.hochrein@skz.de



Prof. Dr. Martin Bastian

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=202088
 profile: www.joining-plastics.info/?id=202088
m.bastian@skz.de

1. Einleitung

Mit Schweißzeiten meist unter 1 s wird das Ultraschallschweißen als sehr schnelles Fügeverfahren in vielen Branchen (u. a. im Automotive-, Elektro- und Health-Care-Bereich) bei hohen Stückzahlen eingesetzt. Ultraschallschweißmaschinen arbeiten meist sehr genau und zuverlässig. Auch besitzt kein anderes Serienschweißverfahren eine größere Anzahl an standardisierten Maschinenüberwachungskenngrößen, mit denen die Stabilität und die Reproduzierbarkeit des Schweißprozesses

überwacht werden können [1–3]. Trotz der Präzision solcher Maschinen erfolgt das Monitoring des Schweißprozesses stets nur maschinenseitig [4, 5]. Die Überwachungskenngrößen ermöglichen jedoch keine Aussage, wie sich die eingebrachten Schwingungen in Form von Energie in einem Bauteil ausbreiten und dort absorbiert werden [6, 7]. Somit ist nicht bekannt, wie viel Energie tatsächlich für den Schweißprozess zur Verfügung steht oder welchen Einfluss Störgrößen auf die Schallausbreitung zeigen. Einen neuarti-

1. Introduction

With welding times mostly under 1 s, ultrasonic welding is utilised as a very quick joining procedure in many sectors (amongst others, in the automotive, electrical and health care fields) in the case of high quantities. In most cases, ultrasonic welding machines work in a very exact and reliable way. Moreover, no other series welding procedure has a larger number of standardised machine monitoring parameters with which the stability and reproducibility of the welding process can be monitored

[1–3]. In spite of the precision of such machines, the welding process is always monitored on the machine side only [4, 5]. However, the monitoring parameters do not permit any statements about how the input oscillations propagate in a component in the form of energy and are absorbed there [6, 7]. Thus, it is not known how much energy is actually available for the welding process or what influences disturbing variables exert on the sound propagation. An innovative approach is offered by thermography which can make a statement

gen Ansatz bietet die Thermografie, die durch Bewertung der Oberflächenerwärmung diesbezüglich eine Aussage treffen kann. Hierzu fehlten bisher jedoch grundlegende Untersuchungen sowie die Festlegung von aussagefähigen Auswertungsmethoden für eine Prozessbewertung.

2. Experimentelles

2.1 Hypothese

Beim Ultraschallschweißen entsteht Wärme durch Dissipation (innere molekulare Reibung) infolge von Deformationen und Grenzflächenreibung aufgrund von Relativbewegungen der Fügeflächen. Das Prinzip beruht darauf, Energie in Form einer mechanischen Schwingung in das zu schweißende Bauteil einzuleiten und den Kunststoff in der vorgesehenen Schweißnahtgeometrie gezielt aufzuschmelzen. Im theoretischen Idealfall wird die gesamte Energie ohne Verluste in die Fügezone eingebracht, um den Kunststoff dort aufzuschmelzen [6–8]. Als neuartiger Ansatz wurde die oberflächennahe Erwärmung durch Absorption der Schallenergie durch das Dämpfungsverhalten des Kunststoffs sowie eventuell auftretender Prozessschwankungen thermografisch erfasst. Die Temperaturverteilung gibt dabei Hinweise auf die Energieeinbringung in das Bauteil während des Schweißprozesses. Hierbei ist weniger die Bestimmung der Absoluttemperatur relevant, sondern vielmehr die Änderung der Bauteiltemperatur im Vergleich zu einer Referenzschweißung. Die Erwärmung der Schweißnaht selbst oder die Wärmeleitung der erwärmten Schweißnaht bis an die Oberfläche werden dabei nicht betrachtet. Eine thermografische Bewertung ist somit bei Nah- und Fernfeldschweißungen sowie verschiedenen Bauteilgeometrien möglich.

2.2 Materialauswahl und Prüfkörper

Für das Projekt wurden zwei im Automobilbereich relevante Materialien Polyamid 6.6 (PA6.6, Zytel 101L NC010) ohne Glasfaser und Polyamid 6.6 mit 30% Glasfasern (PA6.6 GF30, Zytel 70G30L NC010) der Firma DuPont verwendet. Für die grundlegenden Versuchsreihen wurde ein

nach DVS-Richtlinie 2216-1 Beiblatt 1 (DVS – Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V.) definierter Prüfkörper sowie ein Demonstrator (Deckel/Gehäuse-Verbindung) verwendet (Bild 1). Der DVS-Prüfkörper besitzt eine Dachnaht mit einem umlaufenden Energie richtungsgeber mit einer Höhe von etwa 0,6 mm und einem Winkel von etwa 90°. Die Bestimmung der Schweißnahtfestigkeit erfolgte in Zug-Versuchen mit konstanter axialer Prüfgeschwindigkeit von 10 mm/s bis zum Versagen.

Die Demonstratoren wurden mit zwei unterschiedlichen industriell eingesetzten Schweißnahtgeometrien (Dach- und Quetschnaht) gemäß DVS-Richtlinie 2216-1 hergestellt. Für die Prüfung wurden Dichtheitsprüfungen (Überdruck 600 mbar mit Luft, bis zum visuellen Erkennen von Luftblasen) durchgeführt sowie der Maximaldruck beim Bersten (Druckanstieg 1,0 bar/s, Prüfmedium Wasser bei 23°C) ermittelt. Nach allen mechanischen Prüfungen wurde die Bruchfläche betrachtet und der Bruchmechanismus visuell (spröde oder duktil) bewertet.

2.3 Einflüsse auf den Schweißprozess

Als maßgebliche Schweißparameter sind Amplitude, Schweiß- und Haltekraft, Schweißgeschwindigkeit, Schweißweg, Schweiß- und Haltezeit sowie die zum Schweißen benötigte Energie zu nennen [1]. Beim Ultraschallschweißen wird zwischen einer kraft- und einer geschwindigkeitsgeregelten Pro-

in this regard by assessing the surface heating. However, on this subject, there have not yet been any fundamental investigations or the stipulation of any meaningful evaluation methods for a process assessment.

2. Experiments

2.1 Hypothesis

In the case of ultrasonic welding, heat is caused by dissipation (internal molecular friction) as a consequence of deformations and interfacial friction resulting from relative movements of the joining faces. The principle is based on the introduction of energy in the form of a mechanical oscillation into the component to be welded and on the targeted complete melting of the plastic in the planned weld geometry. In the theoretical ideal case, the entire energy is input into the joining zone without any losses in order to melt the plastic completely there [6–8]. As an innovative approach, the near-surface heating was thermographically detected by absorbing the sound energy due to the damping behaviour of the plastic as well as any process fluctuations which may arise. In this respect, the temperature distribution provides indications about the energy input into the component during the welding process. Here, it is not so much the determination of the absolute temperature which is relevant but instead the change in the component temperature in comparison with a reference weld. In this case, no consideration is given to the heating of the weld itself or to the heat conduction of the heated weld as far as

the surface. A thermographic assessment is thus possible with near-field and far-field welds as well as various component geometries.

2.2 Material selection and test specimen

Two materials relevant in the automotive field, i.e. Polyamide 6.6 (PA6.6, Zytel 101L NC010) without glass fibres and Polyamide 6.6 with 30% glass fibres (PA6.6 GF30, Zytel 70G30L NC010) from DuPont, were used for the project. A test specimen defined according to the DVS 2216-1 technical code, Supplement 1 (DVS German Welding Society) as well as a demonstrator (cover/housing joint) were used for the fundamental test series (Fig. 1). The DVS test specimen has a roof weld with an all-around energy director with a height of approx. 0.6 mm and an angle of approx. 90°. The weld strength was determined in tensile tests at a constant axial testing speed of 10 mm/s until failure.

The demonstrators were manufactured with two different industrially utilised weld geometries (roof and pinch-off welds) according to the DVS 2216-1 technical code. For the testing, leak tests (excess pressure: 600 mbar with air, until the visual recognition of air bubbles) were carried out and the maximum pressure until bursting (pressure rise: 1.0 bar/s, testing medium: water at 23°C) was established. After all the mechanical tests, the fracture faces were viewed and the fracture mechanisms were assessed visually (brittle or ductile).

2.3 Influences on the welding process

The amplitude, the welding and holding forces, the welding speed, the welding path, the welding and holding times as well as the energy needed for welding may be specified as decisive welding parameters [1]. In the case of ultrasonic welding, a distinction is made between force-regulated and speed-regulated process control. A defined force is set in the case of the force-regulated process. Depending on the material, the component and the weld geometry, this results in a speed profile

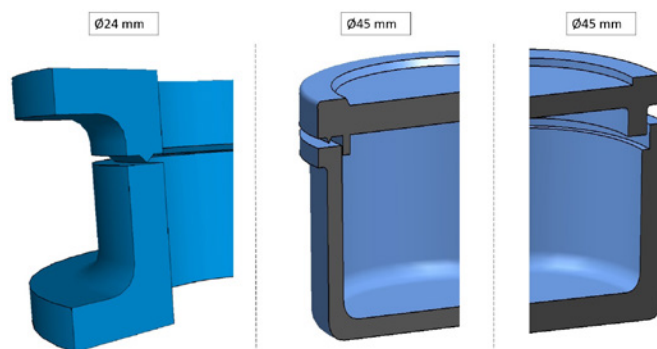


Bild 1: Darstellung eines DVS-Prüfkörpers (links) und eines Demonstrators mit Dachnaht (Mitte) und Quetschnaht (rechts)

Fig. 1: Representation of a DVS test specimen (left) and of demonstrators with a roof weld (centre) and a pinch-off weld (right)

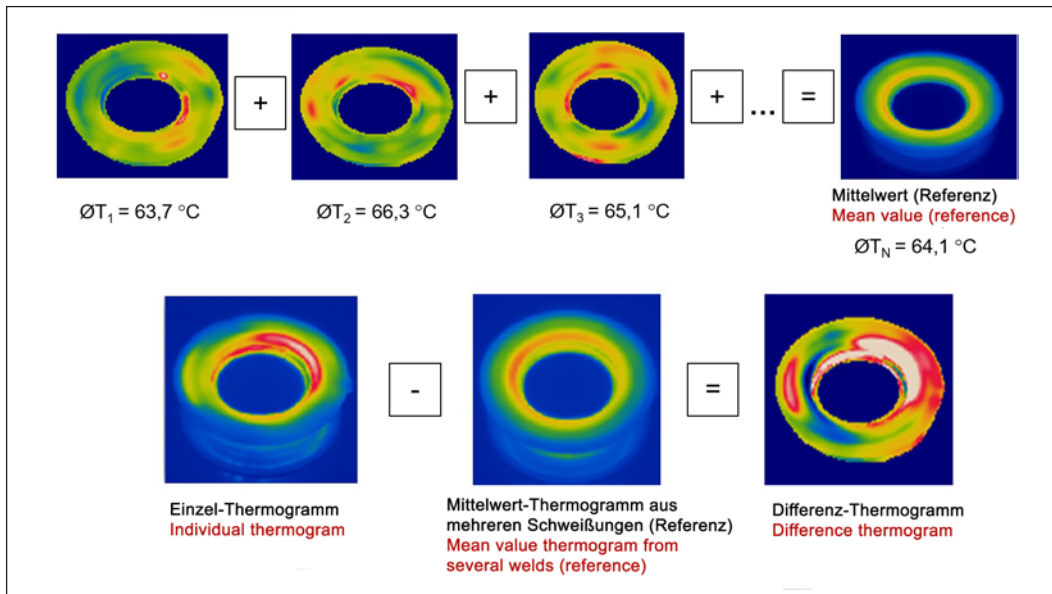


Bild 2: Prinzip der Mittelwertbildung bzw. Referenz aus mehreren Einzelschweißungen (oben) sowie Darstellung eines Ist-Einzel-Thermogramms, eines Mittelwert- bzw. Referenz-Thermogramms und Berechnung eines entsprechenden Differenz-Thermogramms (unten)

Fig. 2: Principle of the mean value formation and reference from several individual welds (top) as well as representation of an actual individual thermogram and a mean value or reference thermogram and calculation of a corresponding difference thermogram (bottom)

zessführung unterschieden. Beim kraftgeregelten Prozess wird eine definierte Kraft eingestellt. In Abhängigkeit des Werkstoffs und des Bauteils sowie der Schweißnahtgeometrie resultiert hieraus ein Geschwindigkeitsprofil (Zeit/Weg-Verlauf) [3, 4]. Beim geschwindigkeitsgeregelten Prozess wird eine Geschwindigkeit festgelegt, die einem konstanten Fügwegverlauf während des gesamten Schweißprozesses entspricht. Aus dieser Einstellung stellt sich in Abhängigkeit des Abschmelzvorgangs ein Kraftprofil ein [9, 10]. Für beide Prozesse gelten die gleichen Abschaltkriterien. Hierfür wird häufig der relative oder absolute Schweißweg gewählt [11]. Für das Forschungsprojekt wurde eine Schweißmaschine von der Firma MS Ultraschall GmbH des Typs „MS soniTOP Genesis“, Baujahr 2017 mit einer Arbeitsfrequenz von 20 kHz zur Verfügung gestellt. Diese Schweißmaschine verfügt über einen elektrischen Servomotor, mit dem ein kraft- und geschwindigkeitsgeregelter Schweißprozess umgesetzt werden kann. Unter Variation der maßgeblichen Schweißparameter Kraft bzw. Geschwindigkeit sowie Amplitude wurden mindestens 10 Schweißungen je Parametersatz durchgeführt. Als Abschaltkriterium zum Beenden des

Schweißprozesses wurde stets ein relativer Schweißweg von 0,6 mm festgelegt.

Die Spritzgussbedingungen der zu schweißenden Bauteile können u. a. einen Einfluss auf die molekularen Kettenlängen oder die Kristallinität der Materialien haben und dadurch den Ultraschallschweißprozess beeinflussen [12, 13]. Ausgehend von Standard-Spritzgussparametern (unter anderem Massetemperatur: 275°C und Werkzeugtemperatur: 80°C wurden die Massetemperatur (260°C und 310°C) sowie die Werkzeugtemperatur (60°C und 90°C) an der oberen und unteren Grenze gemäß Herstellerempfehlungen der Datenblätter variiert.

In Absprache mit den Industrievertretern des projektbegleitenden Ausschusses (pbA) wurden weitere mögliche Einflussfaktoren auf den Schweißprozess des Demonstrators definiert. Als besonders relevant wurden neben den Einfluss von Spritzgussparametern, eine fehlerhafte Positionierung von Bauteilen sowie Beschädigungen am Energie richtungsgeber (ERG), beispielsweise durch Behandlung des Bauteiles als Schüttgut bewertet. Des Weiteren wurde eine Winkelabweichung von etwa 2° zwischen Bauteilhalterung und Sonotrode als fehlerhafte Justierung nachgestellt.

(time/displacement course) [3, 4]. A speed which corresponds to a constant joining path course throughout the welding process is stipulated in the case of the speed-regulated process. A force profile arises from this setting depending on the deposition process [9, 10]. The same switching-off criteria apply to both processes. The relative or absolute welding path is frequently chosen for this purpose [11]. A welding machine from MS Ultraschall GmbH (type: „MS soniTOP Genesis“, year of construction: 2017, working frequency: 20 kHz) was made available for the research project. This welding machine is equipped with an electric servo motor with which force-regulated and speed-regulated welding processes can be implemented. At least ten welds were executed per parameter set with variation of the decisive welding parameters (force, speed and amplitude). A relative welding path of 0.6 mm was always stipulated as the switching-off criterion for the termination of the welding process.

The injection moulding conditions of the components to be welded may have, amongst others, influences on the molecular chain lengths or crystallinity of the materials and thus on the ultrasonic welding process [12, 13]. Starting from stand-

ard injection moulding parameters (amongst others, mass temperature: 275°C and tool temperature: 80°C), the mass temperatures (260°C and 310°C) as well as the tool temperatures (60°C and 90°C) were varied at the upper and lower limits according to the manufacturer's recommendations on the data sheets.

Further possible influencing factors on the welding process for the demonstrator were defined in consultation with the industrial representatives on the Project-Accompanying Committee. In addition to the influences of injection moulding parameters, the incorrect positioning of components as well as damage to the energy director (e.g. by treating the component as bulk material) were rated as particularly relevant. Furthermore, an angular deviation of approx. 2° between the component holder and the sonotrode was reset as incorrect adjustment.

For the transferability of the results to industrial components, welds were finally carried out on various products from industrial representatives on the Project-Accompanying Committee.

2.4 Thermography

Thermography is generally understood to be the pictorial representation of the radiation distribution on a surface [14]. In thermography as a non-destructive testing procedure, a fundamental distinction is made between the active and passive methods. In this respect, active means that an energy source is utilised for thermal excitation while the inherent heat from the manufacturing or processing step (e.g. welding process) is exploited in the case of the passive method [15].

Usually, so-called histograms are elaborated for the recording of a thermogram. With the aid of these histograms, it is possible to record, in numerical terms, how frequently a temperature is present on a thermogram [16, 17]. In order to be able to evaluate a large number of welds efficiently, evaluation software from SKZ was refined for the assessment of thermograms [18]. This software permits not only classic temperature measurement and recording but

Für die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf industrielle Bauteile wurden abschließend Schweißungen von verschiedenen Produkten bei Industrievertretern des pbA durchgeführt.

2.4 Thermografie

Unter Thermografie wird im Allgemeinen das bildhafte Darstellen der Strahlungsverteilung auf einer Oberfläche verstanden [14]. In der Thermografie wird als zerstörungsfreies Prüfverfahren grundsätzlich zwischen der aktiven und der passiven Methode unterschieden. Aktiv bedeutet dabei, dass eine Energiequelle zur thermischen Anregung eingesetzt wird, während bei der passiven Methode die Eigenwärme des Herstellungs- oder Verarbeitungsschritts (beispielsweise des Schweißprozesses) genutzt wird [15].

Üblicherweise werden zur Erfassung eines Thermogramms sogenannte Histogramme erstellt, mit deren Hilfe zahlenmäßig erfasst werden kann, wie häufig eine Temperatur in einem Thermogramm vorhanden ist [16, 17]. Um effizient eine Vielzahl an Schweißungen auswerten zu können, wurde eine Auswertungssoftware des SKZ für die Bewertung von Thermogrammen weiterentwickelt [18]. Diese Software ermöglicht neben der klassischen Temperaturmessung und -aufzeichnung zudem die Erstellung rechnerischer und visueller Mittelwerte aus mehreren Schweißungen sowie die Erzeugung von sogenannten Differenzbildern. Anhand von Temperaturunterschieden einzelner Pixel können somit visuelle Unterschiede nachvollziehbar dargestellt und messtechnisch erfasst werden (Bild 2).

3. Ergebnisse

3.1 Auswertung von Thermografieaufnahmen

Für die quantitative Auswertung der Thermogramme wurde die mittlere Oberflächentemperatur $\bar{\theta}_T$ des Bauteils mit der Kontaktfläche mit der Sonotrode festgelegt. Für die Betrachtung mehrerer Schweißungen (Anzahl N) einer Versuchsreihe konnten mittels der am SKZ entwickelten Software beliebig viele Einzelschweißungen ($\bar{\theta}_{Tx}$) zu einem repräsentativen Mittelwert ($\bar{\theta}_{TN}$) zusammengefasst

werden. Einzelne Schweißungen wiesen eine inhomogene Temperaturverteilung an der Oberfläche auf. Wurden diese jedoch zu einem Mittelwert zusammengefasst, konnte eine gleichmäßige Temperaturverteilung festgestellt werden (Bild 2 oben).

Eine thermografische Auswertung sollte möglichst zeitnah nach dem Prozessende erfolgen. Der früheste Auswertungszeitpunkt ist dabei abhängig von der Haltezeit und dem Zeitpunkt, zu welchem die gesamte zu betrachtende Bauteiloberfläche von der Sonotrode freigegeben wird. In dem Projekt wurde der Auswertungszeitpunkt etwa 0,8 s nach der Haltezeit definiert, eine Triggerung erfolgte reproduzierbar durch ein Ausgangssignal der Maschinensteuerung. Die Kontaktzeit der Sonotrode mit der Bauteiloberfläche (Haltezeit) sowie die Temperatur der Sonotrode und der Umgebung zeigten einen Einfluss auf die gemessene Temperatur der Bauteiloberfläche. Dies musste bei der Gegenüberstellung von verschiedenen Thermogrammen stets berücksichtigt werden.

3.2 Einfluss von Schweißparametern

Bei Variation der Schweißparameter von PA6.6 konnte eine direkte Abhängigkeit der mittleren Oberflächentemperatur von den Maschinenüberwachungsparametern

also the elaboration of arithmetical and visual mean values from several welds as well as the production of so-called difference images. On the basis of temperature differences between individual pixels, it is thus possible to portray visual differences in a comprehensible way and to record them using measuring technology (Fig. 2).

3. Results

3.1 Evaluation of thermograms

The mean surface temperature $\bar{\theta}_T$ of the component with the contact area with the sonotrode was stipulated for the quantitative evaluation of the thermograms. For the consideration of several welds (number: N) in a test series, it was possible to use the software developed at SKZ in order to combine any number of individual welds ($\bar{\theta}_{Tx}$) into a representative mean value ($\bar{\theta}_{TN}$). Individual welds exhibited inhomogeneous temperature distributions on the surfaces. However, when these were combined into a mean value, it was possible to establish a uniform temperature distribution (Fig. 2, top).

A thermographic evaluation should be made as soon as possible after the end of the process. In this respect, the earliest point in time for evaluation is dependent on the holding time and the point in time when the entire component surface to be

viewed is released by the sonotrode. In the project, the point in time for evaluation was defined at approx. 0.8 s after the holding time and the triggering was carried out in a reproducible way using an output signal from the machine controller.

The contact time of the sonotrode with the component surface (holding time) as well as the temperatures of the sonotrode and the surroundings exerted influences on the measured temperature of the component surface. This always had to be taken into account when comparing various thermograms.

3.2 Influences of welding parameters

When the welding parameters for PA6.6 were varied, it was possible to prove that the mean surface temperature is directly dependent on the machine monitoring parameters (welding energy and welding time) for the force-regulated welding process (Fig. 3). These connections applied to the DVS test specimen, to the demonstrators with roof and pinch-off welds as well as to the speed-regulated welding process. On the basis of these connections, the welding process can thus, in principle, be assessed by means of thermography.

However, an optimum mean surface temperature could not be defined

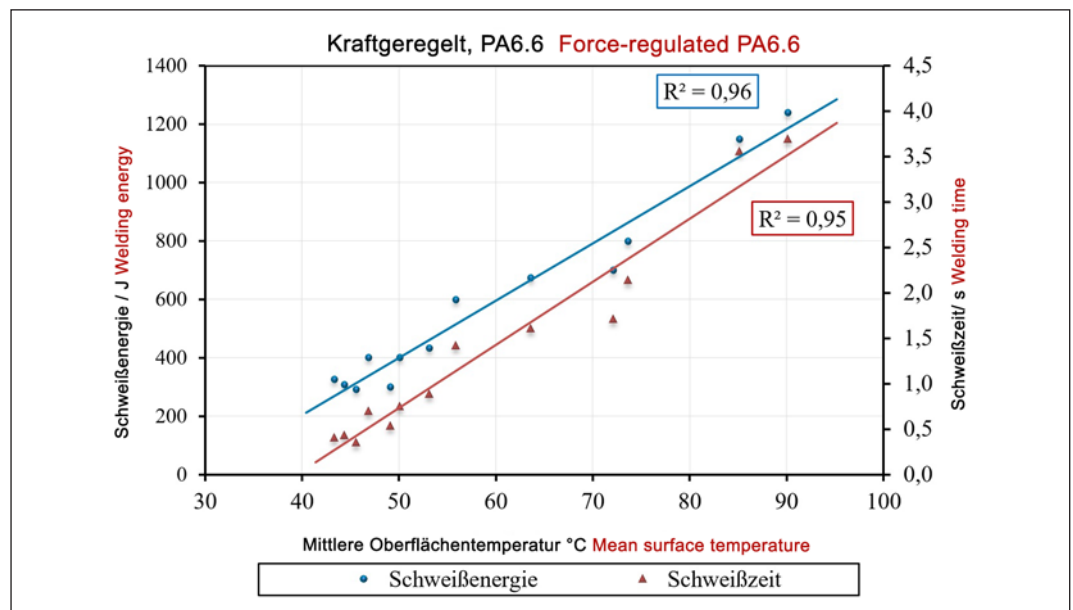


Bild 3: Zusammenhang der Schweißenergie, der Schweißzeit und der mittleren Oberflächentemperatur

Fig. 3: Connections between the welding energy, the welding time and the mean surface temperature

Schweißenergie und Schweißzeit für den kraftgeregelten Schweißprozess nachgewiesen werden (Bild 3). Diese Zusammenhänge galten für den DVS-Prüfkörper sowie für den Demonstrator mit einer Dach- und Quetschnaht sowie für den geschwindigkeitsgeregelten Schweißprozess. Basierend auf diesen Zusammenhängen ist also eine Bewertung des Schweißprozesses mittels Thermografie prinzipiell möglich. Eine optimale mittlere Oberflächentemperatur konnte für den DVS-Prüfkörper jedoch nicht definiert werden. Vielmehr konnte eine Clusterung aufgezeigt werden, bei der für mittlere Oberflächentemperaturen unter etwa 55°C höhere Festigkeiten zu erwarten waren. Bei über 55°C hingegen resultierten niedrigere Festigkeiten und höhere Streuungen der Temperatur. Bei einem stabilen reproduzierbaren Prozess lag die Temperaturstreuung unter 5%. Die Abhängigkeit von Schweißnahtfestigkeit und Oberflächentemperatur folgte mit einem mäßigen Bestimmtheitsmaß ($R^2 = \text{etwa } 0,73$) einer linearen Funktion (Bild 4). Eine direkte Abhängigkeit der Zugfestigkeit von der mittleren Oberflächentemperatur konnte hauptsächlich für den kraftgeregelten Schweißprozess gefunden werden. Eine direkte Abhängigkeit der mittleren Oberflächentemperatur von der Schweißenergie und -zeit konnte hingegen sowohl

beim kraft- als auch geschwindigkeitsgeregelten Schweißprozess für den DVS-Prüfkörper sowie den Demonstrator nachgewiesen werden.

3.3 Thermografische Auswertung bei Variation der Spritzgussparameter

Geänderte Werkzeugtemperaturen sowie eine fehlende Vortrocknung zeigten keinen deutlichen Einfluss auf das an der Oberfläche erfasste Erwärmungsverhalten oder die Zugfestigkeit. Bei der thermografischen Betrachtung nach dem Schweißprozess konnte für alle gewählten Schweißparameter bei PA6.6 mit geänderter Masstetperatur niedrigere Oberflächentemperaturen im Vergleich zu den Standard-Spritzgussparametern gemessen werden. Beim DVS-Prüfkörper sowie beim Demonstrator kam es vor allem bei geringen Schweißkräften bzw. -geschwindigkeiten zu Festigkeitsunterschieden. Die Unterschiede wurde dabei mit steigender Schweißkraft geringer (Bild 5). Bei einer Materialcharakterisierung konnten Unterschiede in der Viskositätszahl (zum Beispiel verursacht durch eine Reduzierung der Kettenlängen im Spritzgussprozess) und der Kristallinität nachgewiesen werden, die den Schweißprozess entsprechend beeinflussen und somit Ursache für das festgestellte Verhalten sein können [12, 13]. PA6.6 GF30

for the DVS test specimen. Instead, it was possible to highlight clustering in which higher strengths were to be expected for mean surface temperatures under approx. 55°C. In contrast, temperatures over 55°C resulted in lower strengths and greater scattering of the temperature. In the case of a stable reproducible process, the temperature scattering was under 5%. With a moderate coefficient of determination ($R^2 = \text{approx. } 0.73$), the dependency of the weld strength on the surface temperature followed a linear function (Fig. 4). A direct dependency of the tensile strength on the mean surface temperature could be found mainly for the force-regulated welding process. In contrast, it was possible to prove that the mean surface temperature is directly dependent on the welding energy and time in both the force-regulated and speed-regulated welding processes not only for the DVS test specimen but also for the demonstrator.

3.3 Thermographic evaluation with variation of the injection moulding parameters

Changed tool temperatures as well as the lack of predrying did not exert any distinct influences on the heating behaviour detected on the surface or on the tensile strength. During the thermographic consid-

eration after the welding process, it was possible to measure lower surface temperatures than those with the standard injection moulding parameters for all the chosen welding parameters with PA6.6 at a changed mass temperature. With the DVS test specimen as well as with the demonstrator, it was primarily low welding forces and speeds which led to strength differences. In this respect, the differences became smaller as the welding force rose (Fig. 5). During the material characterisation, it was possible to prove differences in the viscosity number (e.g. caused by a reduction in the chain lengths in the injection moulding process) and the crystallinity which influence the welding process correspondingly and may thus be a cause of the established behaviour [12, 13]. Due to the glass fibre proportion, PA6.6 GF30 did not exert any measurable influences of the injection moulding parameters on the mean surface temperature or on the strength. Here the glass fibre proportion is decisive for the sound conduction and the resulting weld seam quality.

3.4 Thermographic evaluation of the component orientation and a defective energy director

During a visual assessment of the thermograms, it was possible to recognise distinctly conspicuous features with regard to angular deviations and damaged energy directors. In the case of an angular deviation, decreased heating was discernible in the region with less contact to the sonotrode. The bursting pressure established in this respect was substantially below the values without any angular deviations. If an energy director was damaged, all the welds were leaky. In part, it was possible to assign the leaky points locally on the demonstrator using thermography (Fig. 6).

3.5 Transferability to industrial components

All in all, the results of the DVS test specimen were transferable to the demonstrator and could be proven even in the case of industrial components made of Polyamide 6 with glass fibres (PA6 GF30), Polyamide

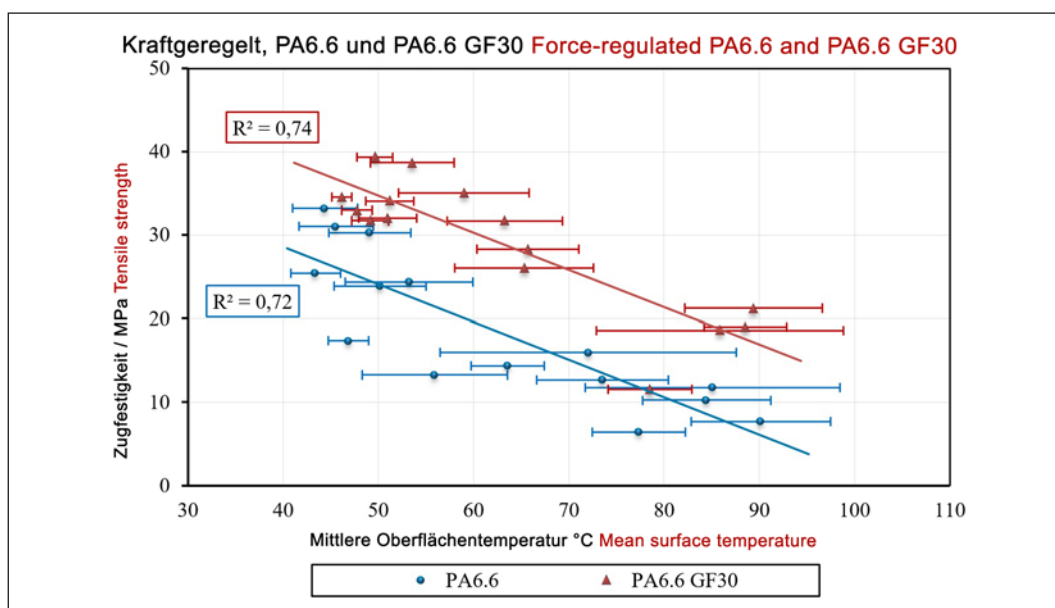


Bild 4: Abhängigkeit der Zugfestigkeit von der mittleren Oberflächentemperatur bei Variation der Prozessparameter eines DVS-Prüfkörpers

Fig. 4: Dependency of the tensile strength on the mean surface temperature with variation of the process parameters for a DVS test specimen

zeigte durch den Glasfaseranteil keinen messbaren Einfluss der Spritzgussparameter auf die mittlere Oberflächentemperatur und die Festigkeit. Hier ist der Glasfaseranteil maßgebend für die Schallleitung und die resultierende Schweißnahtqualität.

3.4 Thermografische Auswertung der Bauteilausrichtung und eines defekten Energierichtungsgebers

Bei einer visuellen Bewertung der Thermogramme konnten deutliche Auffälligkeiten bei Winkelabweichungen und beschädigten ERG erkannt werden. Bei einer Winkelabweichung war eine verringerte Erwärmung im Bereich mit geringerem Kontakt zur Sonotrode feststellbar. Der dabei ermittelte Berstdruck lag deutlich unterhalb der Werte ohne Winkelabweichung. Bei einem beschädigten ERG waren alle Schweißungen undicht. Die undichten Stellen konnten teilweise anhand der Thermografie lokal am Demonstrator zugeordnet werden (Bild 6).

3.5 Übertragbarkeit auf industrielle Bauteile

Die Ergebnisse des DVS-Prüfkörpers waren insgesamt auf den Demonstrator übertragbar und konnten auch bei industriellen Bauteilen aus Polyamid 6

mit Glasfasern (PA6 GF30), Polyamid 6.6 mit Glasfasern (PA6.6 GF30), Polypropylen (PP) und Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) nachgewiesen werden. Aussagen bezüglich der zu erwartenden Festigkeit bei unveränderten Schweißparametern im Serienprozess konnten während der Projektlaufzeit jedoch nicht mit ausreichender Zuverlässigkeit getroffen werden. Weitere Untersuchungen zur Aussagefähigkeit der Thermografie beim Ultraschallschweißen sind hierzu in Planung.

6.6 with glass fibres (PA6.6 GF30), polypropylene (PP) and acrylonitrile butadiene styrene (ABS). However, during the project period, it was not possible to make any statements with regard to the strength to be expected with unaltered welding parameters in the series process with sufficient reliability. On this subject, there are plans to conduct further investigations into the meaningfulness of thermography in the case of ultrasonic welding.

4. Summary and outlook
Thermography offers a large number of new possibilities for assessing an ultrasonic welding process. Within the framework of this research project at SKZ, it was highlighted that, in principle, thermography can be utilised as quality control. Using the evaluation method stipulated in the project (mean surface temperatures of components), it was possible to make comparable statements with regard to the welding

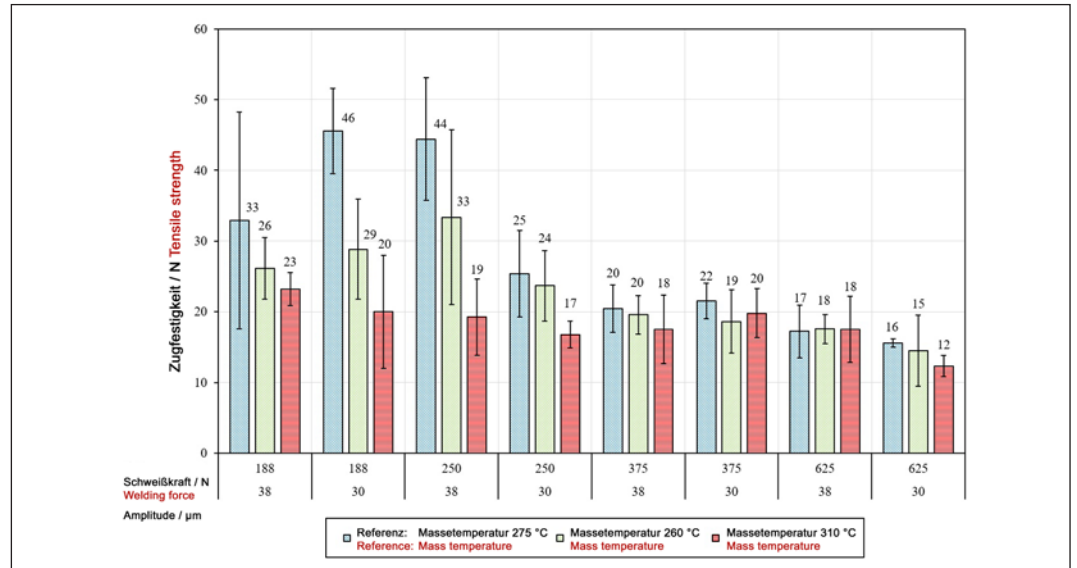


Bild 5: Zugfestigkeit in Abhängigkeit der Spritzgussparameter bei Variation der Prozessparameter eines DVS-Prüfkörpers aus PA6.6

Fig. 5: Tensile strength depending on the injection moulding parameters with variation of the process parameters for a DVS test specimen made of PA6.6

HSK

HSK Kunststoff Schweißtechnik GmbH
HSK plastic welding equipment

Zilzkreuz 1
D-53604 Bad Honnef
Germany

Tel.: +49 (0) 22 24-90 175-01
Fax: +49 (0) 22 24-90 175-03



Warmgasschweißgeräte und Schweißextruder
hot air welders and welding extruders



Heizleisten
table heaters

Heizwendelschweißen
electro fusion welding



Industrieextruder
industrial extruders



Planenschweißen
wedge welding



Rohrschweißen
pipe butt welding

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die Thermografie bietet eine Vielzahl an neuen Möglichkeiten, um einen Ultraschallschweißprozess zu bewerten. Dass die Thermografie prinzipiell als Qualitätskontrolle eingesetzt werden kann, wurde im Rahmen dieses Forschungsprojektes am SKZ aufgezeigt.

Mittels der im Projekt festgelegten Auswertungsmethode der mittleren Oberflächentemperatur von Bauteilen konnten vergleichbare Aussagen bezüglich des Schweißprozesses getroffen werden, wie mit den Maschinenüberwachungsparametern Schweißenergie und -zeit. Dies bedeutet, dass die Thermografie zur Bewertung des Ultraschallschweißprozesses generell geeignet und aussagefähig ist.

Der große Vorteil der Thermografie liegt in der bildhaften Darstellung, der Vielzahl an unterschiedlichen Auswertungsmöglichkeiten sowie der schnellen industriellen Umsetzbarkeit auf verschiedene Schweißmaschinen und Produkten. So können Prozesseinflüsse visuell bewertet und Unregelmäßigkeiten am Bauteil lokal zugeordnet werden.

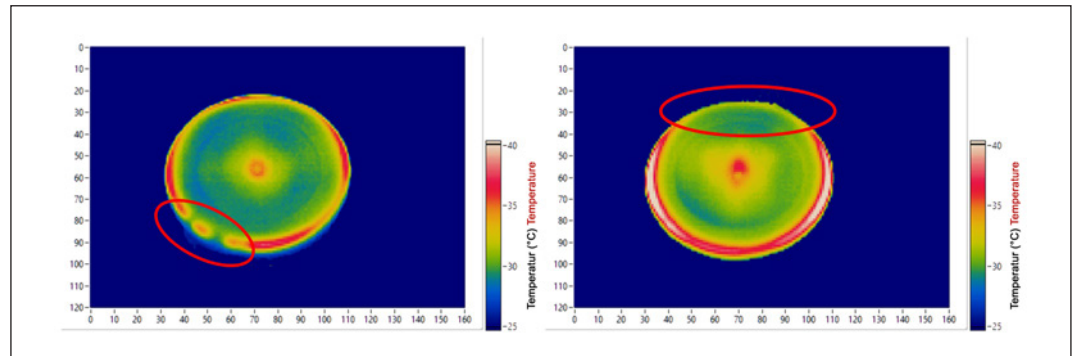


Bild 6: Thermogramm eines Demonstrators aus PA6.6 mit defektem Energierichtungsgeber (links) und bei fehlerhafter Positionierung bzw. Winkelabweichung (rechts)

Fig. 6: Thermograms of demonstrators made of PA6.6 with a defective energy director (left) and with incorrect positioning or angular deviation (right)

Im Rahmen des Projekts konnten zwar noch nicht alle Abhängigkeiten und Einflüsse des Ultraschallschweißprozesses auf die thermografische Erfassung untersucht bzw. erklärt werden. Dennoch steht bereits mit diesen aktuellen Erkenntnissen eine weitere Möglichkeit zur Fehleranalyse des Ultraschallschweißprozesses zur Verfügung und ermöglicht neue Ansätze für Forschung und industrielle Anwendungen [19].

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 19563 N der Forschungsvereinigung Kunststoff-Zentrum wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsver-

process, as with the machine monitoring parameters (welding energy and time). This means that thermography is generally suitable and meaningful for the assessment of the ultrasonic welding process.

The great advantage of thermography lies in the pictorial representation, the multitude of different evaluation possibilities as well as the fast industrial applicability to different welding machines and products. Thus, process influences can be assessed visually and any irregularities on the component can be assigned locally.

Within the framework of the project, it has not yet been possible to inves-

tigate or explain all the dependencies and influences of the ultrasonic welding process on the thermographic recording. Nevertheless, these latest findings are already providing another possibility for defect analysis of the ultrasonic welding process and are permitting new approaches for research and industrial applications [19].

Acknowledgement

The IGF Project 19563 N of the Research Association of the Plastics Centre was, on the basis of a resolution of the German Bundestag, promoted by the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (BMWi)

Literatur References

- [1] Habenicht, G.; Ritter, J.: Ultraschallschweißen von Thermoplasten, 1989.
- [2] Strohfuss, W.: Schwarze Magie: Ultraschallfügen, 1995.
- [3] Feintechnik R. Rittmeyer GmbH: Lausige Wellen – Ein Ratgeber für Praktiker, 2017.
- [4] Haberstroh, E.; Kuhlmann, K.: Prozessführung beim Ultraschallschweißen, Kunststoffe, no. 7, 2004.
- [5] Menges, G.; El Barbari, N.: Parameteroptimierung beim Ultraschallschweißen – Niedriger Druck und hohe Amplitude, Plastverarbeiter, vol. 38, no. 3, 1987.
- [6] Menges, G.; Potente, H.: Schallfelder und Energieumsetzung beim Ultraschallschweißen von Kunststoffen, 1969.
- [7] Potente H.: Zur Frage der Energieumwandlung beim Ultraschallschweißen von Thermoplasten, 1971.
- [8] Hopmann, C.; Van Aaken, A: Ultraschallschweißen zur sicheren Prozessgestaltung beim Ultraschallschweißen hygroskopischer Thermoplaste am Beispiel von Polyamiden, Joining Plastics – Fügen von Kunststoffen 6 (2012) Nr. 3–4.
- [9] Barton, J.: Advanced Melt Flow Controls Of Servo Ultrasonic Welding For Medical Devices, Medical Design Briefs, 2016.
- [10] Marcus, M.: The Benefits of Servo-Driven Ultrasonic Welding, Assembly Magazine, 2013.
- [11] Moll, H.; Kostrzewa, M.; Wilke, L.: Ultraschallschweißen von DVS-Prüfkörpern mit Energierichtungsgebern aus ABS, Joining Plastics – Fügen von Kunststoffen 1 (2007) Nr. 1.
- [12] DVS Media GmbH: DVS 2216 – Ultraschallschweißen von Kunststoffserienschiweißteilen – Prozessbezeichnung, Maschinen und Geräte, Einflussgrößen, Konstruktion, Qualitätssicherung. Taschenbuch DVS-Merkblätter und -Richtlinien: Fügen von Kunststoffen, 2020.
- [13] Potente, H.: Untersuchung der Schweißbarkeit thermoplastischer Kunststoffe mit Ultraschall, 1971.
- [14] Optris infrared measurements: Grundlagen der berührungslosen Temperaturmessung.
- [15] Vollmer, M.; Möllmann, K.: Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications, Wiley-VCH, 2010.
- [16] VDI/VDE 3511 Blatt 1 – Grundlagen und Übersicht über besondere Temperaturmessverfahren.
- [17] Gruner, K.: Grundlagen der berührungslosen Temperaturmessung – Strahlungsthermometrie, 2004.
- [18] Horlemann, S.; Baudrit, B.: Passive Thermographie als zerstörungsfreies Prüfverfahren beim Schweißen von Kunststoffen, Joining Plastics, no. 9, 2015.
- [19] Eichhorn F.; Pommer C.: Vier Kameras ermöglichen 100-Prozent-Kontrolle: Thermografie zur Inline-Prozesskontrolle beim Kunststoff-Serienschweißen, QZ, 2019.

einigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Wir danken dem BMWi für die Bereitstellung der finanziellen Mittel. Des Weiteren bedankt sich das SKZ bei dem projektbegleitenden Ausschuss für die rege Teilnahme und dem hilfreichen Input für die Durchführung des Projekts sowie für bereitgestellte Materialien der Firma DuPont, Maschinen der Firma MS Ultraschall und industrielle Bauteile. Das SKZ ist Mitglied der Zuse-Gemeinschaft. Diese ist ein Verbund unabhängiger, industrienaher Forschungseinrichtungen, die das Ziel verfolgen, die Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der Industrie, insbesondere des Mittelstandes, durch Innovation und Vernetzung zu verbessern.

Die gesamten Forschungsergebnisse können einem umfangreichen Forschungsbericht entnommen, der über das SKZ bezogen werden kann. Aktuell läuft ein weiteres Projekt zur Qualitätssicherung für manuelle und teilautomatisierte Schweißungen von Behältern und Bahnen mittels Thermografie (IGF-Nr. 20774 N, bis 31.10.2021). Interessierte Firmen sind jederzeit eingeladen, als Mitglieder im projektbegleitenden Ausschuss mitzuwirken und die Forschungsarbeiten in dem Projekt mitzugestalten sowie sich über die aktuellen Ergebnisse kostenfrei informiert zu werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

via the Federation of Industrial Research Associations (AiF) within the framework of the programme for the promotion of joint industrial research (IGF). We thank BMWi for providing the financial resources. SKZ would also like to thank the project-supporting committee for their active participation and helpful input for the implementation of the project, as well as for materials provided by DuPont, machines by MS Ultraschall and industrial components.

The SKZ is a member of the Zuse community. This is an association of independent, industry-oriented research institutions that pursue the goal of improving the performance and competitiveness of industry, especially of small and medium-sized enterprises, through innovation and networking.

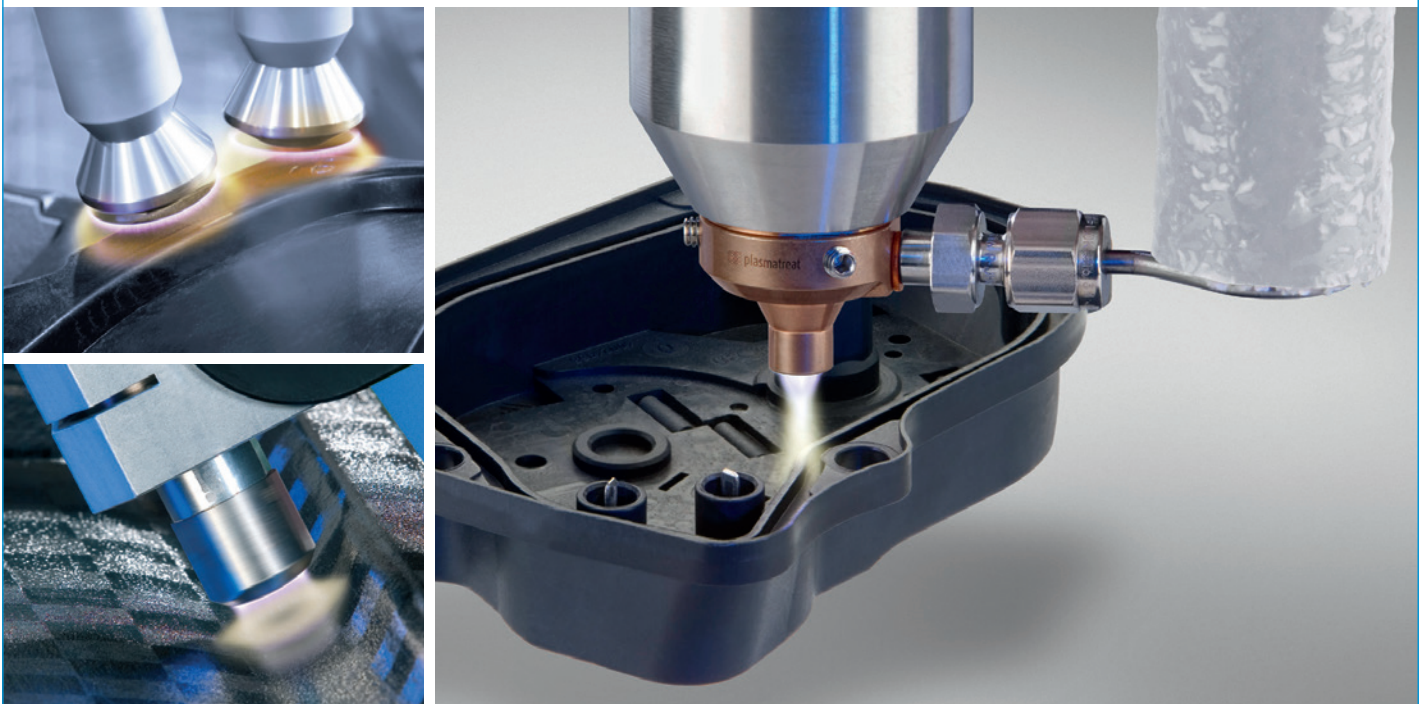
The complete research results can be found in a comprehensive research report, which can be ordered from SKZ. Currently, a further project for quality assurance for manual and semi-automated welding of containers and webs by means of thermography (IGF No. 20774 N, until 31.10.2021) is in progress. Interested companies are always invited to participate as members of the project-accompanying committee and to help shape the research work in the project and to be informed about the current results free of charge.

Supported by:



on the basis of a decision
by the German Bundestag

 **plasmatreat**



Oberflächenbehandlung von höchster Qualität durch Openair-Plasma®

Zuverlässige Feinstreinigung, präzise Oberflächenaktivierung, funktionelle Nanobeschichtung - prozesssichere Plasmatechnologie, inlinefähig und umweltfreundlich.

Informieren Sie sich unter
www.plasmatreat.de



Klebtechnische Fügetechniken für additiv gefertigte Kunststoffbauteile

Adhesive bonding joining technologies for additively manufactured plastic components

Julian Hesselbach, M. Sc.; Heinrich Leicht, M. Sc.; Dr. Eduard Kraus, Dr. Benjamin Baudrit, Dr. Thomas Hochrein, Prof. Dr. Martin Bastian, SKZ- KFE gGmbH, Würzburg

Kurzfassung

Die Druckscherfestigkeit von Klebverbindungen an lasergesinterten PA12- bzw. Polyamid-12-Bauteilen wurde mit Klebstoffen aus unterschiedlichen Klassen untersucht. Zur Steigerung der Verbindungsqualität wurden die Fügeteile mit Atmosphärendruckplasma oder Beflammen vorbehandelt. Die Fügeverbindungen wurden anschließend beschleunigt gealtert. Es hat sich gezeigt, dass Klebstoffe teilweise in die Oberflächenstruktur der lasergesinterten Bauteile eindringen können, was zu einem speziellen Bruchbild führt. Durch Vorbehandlung der Fügefläche ließ sich die Festigkeit einiger Klebungen deutlich steigern. Die beste Alterungsstabilität zeigten Klebungen mit Epoxidklebstoffen.

1. Motivation und Grundlagen

Der Einsatz der additiven Fertigung nimmt in der Industrie immer mehr zu, da kleine Serien mit hoher geometrischer Vielfalt schnell und kostengünstig produziert werden können [1, 2]. Durch die additive Fertigung können im Vergleich zur konventionellen Produktion, beispielsweise Spritzguss, hohe Kosten für notwendige Formwerkzeuge eingespart werden. Dagegen ist die limitierte Größe des Bauraums ein Nachteil, da damit die maximale Bauteilgröße begrenzt wird. Um diese Grenze zu umgehen, sind Fügeverfahren für additiv gefertigte Bauteile notwendig. Das Kleben ist dabei eine prinzipiell gut geeignete Fügetechnik, da weder thermische Belastungen der Bauteile, wie



Julian Hesselbach, M. Sc.

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=400286
profile: www.joining-plastics.info/?id=400286

j.hesselbach@skz.de



Heinrich Leicht, M. Sc.

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=307381
profile: www.joining-plastics.info/?id=307381

h.leicht@skz.de



Dr. Eduard Kraus

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=202415
profile: www.joining-plastics.info/?id=202415

e.kraus@skz.de



Dr. Benjamin Baudrit

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=202414
profile: www.joining-plastics.info/?id=202414

b.baudrit@skz.de



Dr. Thomas Hochrein

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=307382
profile: www.joining-plastics.info/?id=307382

t.hochrein@skz.de



Prof. Dr. Martin Bastian

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=202088
profile: www.joining-plastics.info/?id=202088

m.bastian@skz.de

beim Schweißen, noch Spannungskonzentrationen, wie beim Schrauben oder Nieten, auftreten. Insbesondere die Möglichkeit, additiv gefertigte Kunststoffbauteile mit anderen Werkstoffen wie Metallen oder Keramiken zu verbinden, ist ein großer Vorteil der Klebtechnik [3]. Da sich die Qualität der Komponenten in der additiven Fertigung von der in der konventionellen Fertigung unterscheidet, insbesondere in Bezug auf Oberflächenstruktur und -zusammensetzung, lassen

Abstract

The compressive shear strengths of adhesive-bonded joints on laser-sintered PA12 (Polyamide 12) components were investigated with adhesives from different classes. In order to raise the joint quality, the joining parts were pretreated with atmospheric-pressure plasma or flame treatment. The joints were subsequently aged in an accelerated process. It has been shown that, in part, adhesives can penetrate into the surface structures of the laser-sintered components, thus leading to special fracture patterns. Due to the pretreatment of the joining faces, it was possible to substantially raise the strengths of some adhesive-bonded joints. The best ageing stability was shown by adhesive-bonded joints with epoxy adhesives.

component size is thus restricted. In order to circumvent this restriction, there is a need for joining procedures for additively manufactured components. In this respect, adhesive bonding is a joining technology which is very suitable in principle since neither thermal loads on the components (as in the case of welding) nor stress concentrations (as in the case of screwing or riveting) arise. In particular, the possibility of joining additively manufactured plastic components with other materials such as metals or ceramics is one great advantage of adhesive bonding technology [3]. Since the qualities of the components in additive manufacturing differ from those in conventional manufacturing (particularly in relation to the surface

sich Vorbehandlungs- und Klebprozesse nicht ohne Weiteres übertragen. Aus diesem Grund arbeitet das Kunststoff-Zentrum – SKZ, ein Gründungsmitglied der Zuse-Gemeinschaft, an einem Projekt der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF-Nr.: 19629 N) zum Thema „Erforschung des Einflusses material- und prozessbezogener Eigenschaften additiv gefertigter Kunststoffbauteile auf Klebprozesse zur Erhöhung der Klebqualität“.

In diesem Projekt (01.09.2017 bis 29.02.2020) wurden die beiden additiven Fertigungsverfahren Laser Sintering (LS) und Fused Deposition Modeling (FDM) eingesetzt, um die Klebeignung daran zu ermitteln. Untersucht wurde der Einfluss verschiedener Fertigungsparameter (Baurichtungen und Nachbehandlungsverfahren wie Glasperlenstrahlen, Vibrationsschleifen und chemisches Glätten) sowie Vorbehandlungsverfahren¹ (Atmosphärendruckplasma und Beflammen) auf die Haftfestigkeit bei Verwendung verschiedener Klebstoffklassen (Polyurethane, Epoxide, 2K-Methylmethacrylate und Cyanacrylate).

In der Klebtechnik spielt die Benetzung der Fügeteile mit dem Klebstoff eine zentrale Rolle. Ohne ausreichende Benetzung kann keine oder nur eine nicht ausreichende Kraftübertragung stattfinden. Aus diesem Grund ist die Benetzung ein notwendiges, jedoch ein nicht hinreichendes Kriterium für gute Adhäsion [4–6]. Um die Benetzung bzw. die Benetzbarkeit von Kunststoffbauteilen sicherzustellen, werden oftmals¹ Kontaktwinkelmessungen herangezogen. Hierbei wird die Tropfenkontur einer Testflüssigkeit auf der Kunststoffoberfläche unter Gegenlicht betrachtet. Ein kleiner Kontaktwinkel mit einer sehr breiten Tropfenbasis zeigt eine gute Benetzung an [7–10].

Im Rahmen der Untersuchungen des Forschungsprojekts wurde das Ziel gesetzt, die Adhäsion des Klebstoffs auf der Oberfläche zu verbessern. Dafür wurden adhäsions-

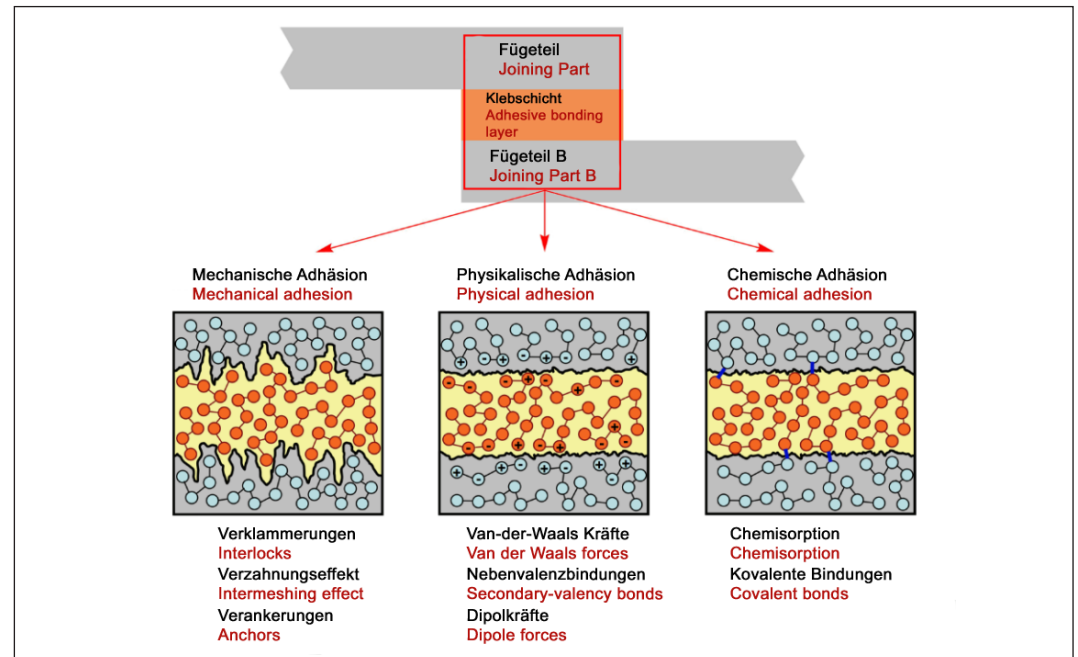


Bild 1: Schematische Darstellung der drei Adhäsionsmechanismen nach [11]

Fig. 1: Schematic representation of the three adhesion mechanisms according to [11]

verbessernde Maßnahmen wie die Atmosphärendruckplasmavorbehandlung (ADP) eingesetzt. Diese funktionalisieren die Fügefläche und wirken sich neben der Beeinflussung der Benetzung eines Klebstoffs auch positiv auf die Wechselwirkung mit Klebstoffmolekülen aus. Es kommt durch stärkere Wechselwirkung zu einer erhöhten Adhäsion. Prinzipiell wird Adhäsion in drei Mechanismen unterteilt (Bild 1).

Es wird zwischen mechanischer, physikalischer und chemischer Adhäsion unterschieden. Chemische Adhäsion tritt bei einer chemischen Reaktion der Klebstoffmoleküle mit der Substratoberfläche auf und spielt hier eine eher untergeordnete Rolle. Mechanische Adhäsion zeigt sich zum Beispiel durch Verklammerung des Klebstoffs mit der Fügeteiloberfläche und ist für additiv gefertigte Kunststoffe aufgrund der großen Oberflächenrauheit von größerer Bedeutung. Die physikalische Adhäsion, die durch Funktionalisierung der Oberfläche mittels Vorbehandlungsverfahren verbessert werden kann, spielt ebenfalls eine wichtige Rolle, da diese die Wech-

structure and composition), pretreatment and adhesive bonding processes cannot be transferred without further ado. For this reason, the South German Plastics Centre (SKZ), a founding member of the Zuse Association, is working on a Joint Industrial Research project (IGF no.: 19629 N) on the subject of „Exploring the influences of material-related and process-related properties of additively manufactured plastic components on adhesive bonding processes in order to increase the adhesive bonding quality“.

In this project (from September 1, 2017 to February 29, 2020), two additive manufacturing procedures, i.e. laser sintering (LS) and fused deposition modelling (FDM), were utilised in order to establish the adhesive bonding suitability with them. Investigations were conducted into the influences of various manufacturing parameters (construction directions and post-treatment procedures such as glass bead blasting, vibration grinding and chemical smoothing) as well as pretreatment procedures¹ (atmospheric-pressure plasma and flame treatment) on the bonding strengths using various ad-

hesive classes (polyurethanes, epoxies, 2C methyl methacrylates and cyanoacrylates).

In adhesive bonding technology, the wetting of the joining parts with the adhesive plays a central role. Without sufficient wetting, no force transmission can take place or this is only insufficient. For this reason, the wetting is a necessary but inadequate criterion for good adhesion [4–6]. In order to ensure the wetting or wettability of plastic components, reference is often made to contact angle measurements. In this respect, the droplet contour of a test fluid on the plastic surface is viewed against the light. An acute contact angle with a very wide droplet base indicates good wetting [7–10].

The objective set within the framework of the investigations in the research project was to improve the adhesion of the adhesive to the surface. Adhesion-improving measures such as atmospheric-pressure plasma (APP) pretreatment were utilised for this purpose. These functionalise the joining face and not only influence the wetting of an adhesive but also exert positive effects on the interaction with adhesive molecules.

¹ Vorbehandlung bezieht sich in dem Fall auf den Fügeprozess Kleben, während Nachbehandlung auf den additiven Fertigungsprozess bezogen wird. Nachbehandlung wird dadurch vor der Vorbehandlung durchgeführt.

¹ In this case, the pretreatment relates to the adhesive bonding joining process while the post-treatment is related to the additive manufacturing process. The post-treatment is thus carried out before the pretreatment.

Tabelle 1: Auswahl der verwendeten Klebstoffe
Table 1: Selection of the utilised adhesives

Abkürzung Abbreviation	Klebstoffklasse Adhesive class	Klebstoffe Adhesive	Hersteller Manufacturer
1K-STP 1C STP	1K-Silanterminiertes Polymer 1C silane-terminated polymer	Sikaflex 552	Sika
2K-Acrylat 2C acrylate	2K-Methylmethacrylat 2C methyl methacrylate	RK7300	Weicon
2K-Epoxid 2C epoxy	2K-Epoxidharz 2C epoxy resin	SJ8665	Delo
1K-Cyanacrylat 1C cyanoacrylate	1K-Cyanacrylat 1C cyanoacrylate	DB4084	Drei Bond

selwirkung des Substrats mit dem Klebstoff aufgrund von nebenvalenten Bindungen beschreibt. Diese Bindungen, auch Dipol-Kräfte genannt, treten vor allem bei sehr engem Kontakt zwischen den Molekülen auf, weshalb eine gute Benetzung sichergestellt sein muss [3, 11–13].

2. Materialien und Methoden

Die gezeigten Ergebnisse wurden mit Kunststoffbauteilen aus PA12 (PA2200 der Firma EOS GmbH), die im LS-Verfahren gefertigt wurden, erzielt. Im Forschungsprojekt wurden mit insgesamt 14 Klebstoffen Klebverbunde mit unterschiedlichen Fertigungsparametern, Vorbehandlungszuständen und Nachbehandlungsschritten geklebt und mit herkömmlichen Fertigungsverfahren wie dem Spritzguss verglichen. Auszugsweise werden hier Ergebnisse von vier Klebstoffen aus unterschiedlichen Materialklassen (Tabelle 1) vorgestellt.

Bei den gezeigten Ergebnissen wurde die Oberflächen unter anderem mit Atmosphärendruckplasma-Vorbehandlung (Plasmatreat FG5001 mit Rotationsdüse RD2004, 1.000 mm/min bei 10 mm Abstand) als auch mit Beflammen (Arcotec FTM 101 DR mit Brenner B1M-100, Brenngas Propan-Luft-Gemisch Verhältnis 1:22,5, 5.000 mm/min, Abstand 60 mm) aktiviert. Als mechanische Prüfung wurde der Linearscher-Versuch (LSV) eingesetzt. Hierbei handelt es sich um ein nicht genormtes Prüfverfahren, mit dem Druckscherfestigkeiten von Klebverbindungen bestimmt werden können. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass spröde Substrate während der Prüfung nicht im Grundmaterial versagen, wie bei den in der Klebtechnik üblichen Zugscher-Prüfungen nach DIN 1465. Somit können

nicht auswertbare Ergebnisse weitgehend vermieden und die Klebeverbindung mit dem entsprechenden Bruchbild gezielt charakterisiert werden. Der verwendete Aufbau des Probekörpers ist schematisch in Bild 2 dargestellt. Der Probekörper sowie das Prüfverfahren sind in [14] genauer beschrieben.

Durchgeführt wurde der LSV mit der Anlage „SPA 600“ der Firma Widos GmbH. Die Prüfung erfolgte mit einer Scherrate von 5 mm/min. Die auftretenden Kräfte sowie der zurückgelegte Weg werden dabei aufgezeichnet. Aus der ermittelten Bruchkraft und der definierten Klebfläche kann anschließend die Bruchspannung ermittelt werden.

Ein Teil der Klebverbindungen wurde vor der Prüfung noch beschleunigt gealtert, um die Alterungsstabilität zu untersuchen. Dies wurde im „Tira clima Tcc 4060 Klimawechselschrank“ entsprechend der „PV 1200“ der VW AG durchgeführt. Es wurden insgesamt 28 Temperatur-/Feuchte-Zyklen gefahren.

Stronger interaction leads to increased adhesion. In principle, adhesion is divided into three mechanisms (Fig. 1).

A distinction is made between mechanical, physical and chemical adhesion. Chemical adhesion arises during a chemical reaction of the adhesive molecules with the substrate surface and plays a rather subordinate role here. Mechanical adhesion is shown, for example, by the interlocking of the adhesive with the joining part surface and is more significant for additively manufactured plastics because of the great surface roughness. Physical adhesion which can be improved by functionalising the surface using pretreatment procedures also plays an important role since this describes the interaction of the substrate with the adhesive as a result of secondary-valency bonds. These bonds, also called dipole forces, primarily arise in the case of very close contact between the molecules. For this reason, it is necessary to ensure good wetting [3, 11–13].

2. Materials and methods

The indicated results were achieved with plastic components which were made of PA12 (PA2200 from EOS GmbH) and were manufactured in the LS procedure. In the research project, adhesive-bonded joints were executed with different manufacturing parameters, pretreatment conditions and post-treatment steps using 14 adhesives in total and were compared with traditional manufacturing procedures such as injection moulding. Here, results of four adhesives from different material classes (Table 1) are presented as excerpts.

In the case of the indicated results, the surfaces were activated, amongst other methods, not only with atmospheric-pressure plasma pretreatment (Plasmatreat FG5001 with the RD2004 rotation nozzle, 1,000 mm/min at a distance of 10 mm) but also with flame treatment (Arcotec FTM 101 DR with the B1M-100 torch, propane fuel gas / air mixture in a ratio of 1:22.5, 5,000 mm/min, distance: 60 mm). The linear shear test (LST) was utilised as mechanical testing. This constitutes a non-standardised test procedure with which compressive shear strengths of adhesive-bonded joints can be determined. The advantage of this procedure relates to the fact that brittle substrates do not fail in the base material during the testing, as in the

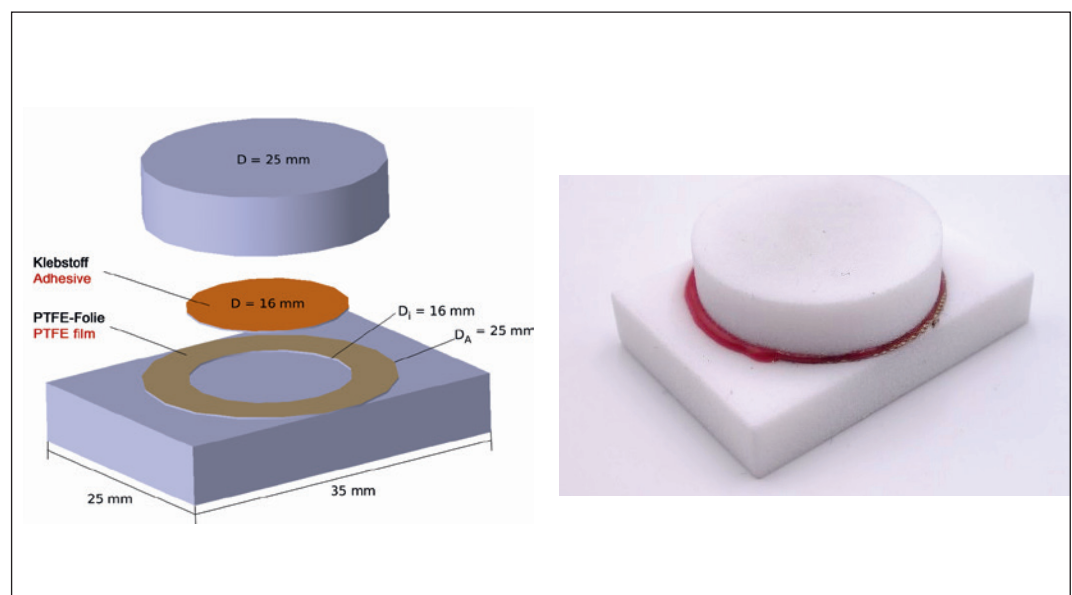


Bild 2: Schematische Darstellung eines LSV-Probekörpers (links) und der geklebte PA12-Probekörper (rechts)

Fig. 2: Schematic representation of an LST specimen (left) and the adhesive-bonded PA12 test specimen (right)

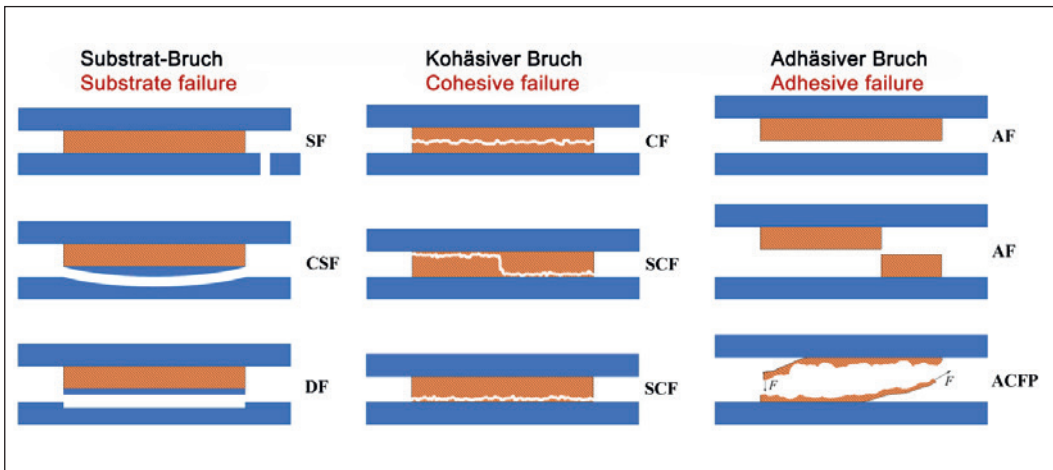


Bild 3: Überblick über relevante Bruchbilder nach DIN EN ISO 10365. Unterschieden wird zwischen Bruch im Substrat (blau), Bruch in der Klebschicht (orange, kohäsiver Bruch) und Bruch in der Grenzschicht zwischen Klebschicht und Substrat (adhäsiver Bruch). (SF: Substratversagen; CF: kohäsives Versagen; AF: adhäsives Versagen; CSF: kohäsiver Substratbruch; SCF: Spezielles kohäsives Versagen)

Fig. 3: Overview of relevant fracture patterns according to DIN EN ISO 10365. A distinction is made between a fracture in the substrate (blue), a fracture in the adhesive bonding layer (orange, cohesive failure) and a fracture in the boundary layer between the adhesive bonding layer and the substrate (adhesive failure). (SF: substrate failure; CF: cohesive failure; AF: adhesive failure; CSF: cohesive substrate failure; SCF: special cohesive failure)

Die Bewertung der Bruchbilder der gebrochenen Klebverbindungen erfolgte in Anlehnung an DIN EN ISO 10365. Hierbei wurden jeweils die Bruchfläche auf Kunststoffseite und die Bruchfläche des Einschraubadapters betrachtet. Bild 3 zeigt auszugsweise einen Überblick über relevante Bruchbilder.

3. Ergebnisse und Diskussion

Aus den durchgeführten Klebversuchen konnte zunächst ein dominant auftretendes Bruchbild, das auf adhäsives Versagen hingedeutet hat, abgeleitet werden. Eine genauere Betrachtung der Bruchfläche zeigte jedoch, dass Materialrückstände des additiv gefertigten Bauteils im Klebstoff zurückblieben. Das Bruchbild unterschied sich von rein adhäsivem Versagen (AF) durch einige Partikel, die von der Sinteroberfläche des PA12-Probekörpers abgelöst wurden. Weiterhin blieben auch im Substrat Rückstände des Klebstoffs zurück. Aus diesem Grund wurde dieses Bruchverhalten als überwiegend kohäsiver Substratbruch (CSF) klassifiziert. Die Untersuchung der Klebfuge mittels Computertomografie zeigt die Ursache für dieses Bruchverhalten. In Bild 4 ist der CT-Schnitt einer Klebverbindung zweier PA12-Fügeteile (dunkelgrau) dargestellt. Der hellgraue Klebstoff weist eine Klebschichtdicke von etwa 200 µm

auf. Diese Klebschichtdicke wurde mit Hilfe von Glaskugeln (weiß) als Abstandshalter sichergestellt. Die Porosität des lasergesinterten Materials ist durch Lufteinschlüsse (schwarz) erkennbar. Innerhalb der Klebschicht sind ebenfalls Lufteinschlüsse ersichtliche. Diese resultieren aus der porösen Oberflächenstruktur, in die der Klebstoff nach dem Fügen beider Fügeteile eindringt. Durch das Eindringen in die oberflächennahen Poren verdrängt der Klebstoff vorhandene Luft. Diese Luft sammelt sich anschließend in der Klebschicht und

case of the tensile shear tests according to DIN 1465 which are customary in adhesive bonding technology. Thus, non-evaluable results can be avoided to a great extent and the adhesive-bonded joint can be characterised in a targeted way with the corresponding fracture pattern. The utilised setup of the test specimen is portrayed schematically on Fig. 2. The test specimen as well as the test procedure are described more precisely in Kraus et al. [14]. The LST was carried out with the „SPA 600“ installation from Widos GmbH. The testing took place at a

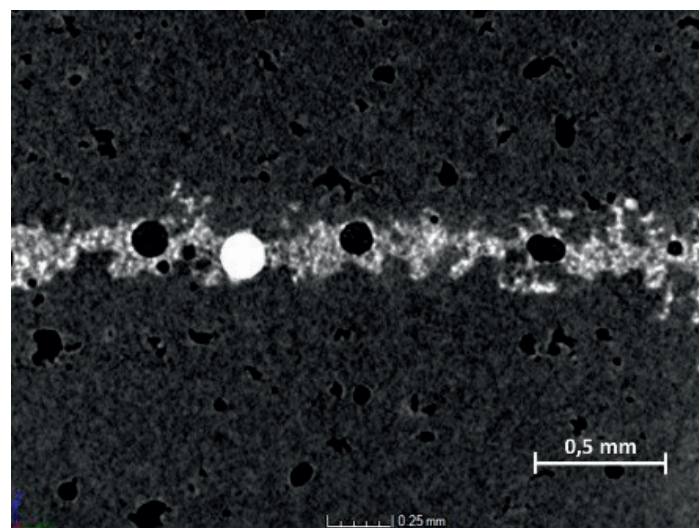


Bild 4: Computertomografischer Schnitt durch eine Klebverbindung zwischen zwei additiv gefertigten PA12-Bauteilen

Fig. 4: Computer tomograph section through an adhesive-bonded joint between two additively manufactured PA12 components

shear rate of 5 mm/min. The arising forces as well as the covered path were recorded in this respect. It was subsequently possible to establish the fracture stress from the established fracture force and the defined adhesive bonding face.

Some of the adhesive-bonded joints were also aged in an accelerated process before the testing in order to investigate the ageing stability. This was carried out in the „Tira clima Tcc 4060 alternating climate cabinet“ corresponding to the „PV 1200“ from VW AG. A total of 28 temperature/humidity cycles were executed.

The fracture patterns of the fractured adhesive-bonded joints were assessed with reference to DIN EN ISO 10365. In this respect, the fracture face on the plastic side and the fracture face of the screw-in adapter were viewed in each case. Fig. 3 shows an overview of relevant fracture patterns as excerpts.

3. Results and discussion

First of all, it was possible to derive from the executed adhesive bonding tests a dominantly arising fracture pattern which suggested adhesive failure. However, closer consideration of the fracture face showed that material residues of the additively manufactured component were left behind in the adhesive. The fracture pattern differed from purely adhesive failure (AF) due to a few particles which were detached from the sintered surface of the PA12 test specimen. Furthermore, residues of the adhesive were left behind in the substrate too. For this reason, this fracture behaviour was classified as predominantly cohesive substrate failure (CSF). The investigation of the adhesive-bonded joint by means of computer tomography shows the cause of this fracture behaviour. The CT section through an adhesive-bonded joint between two PA12 joining parts (dark grey) is portrayed on Fig. 4. The light-grey adhesive exhibits an adhesive bonding layer thickness of approx. 200 µm. This adhesive bonding layer thickness was ensured with the aid of glass balls (white) as spacers. The porosity of the laser-sintered mate-

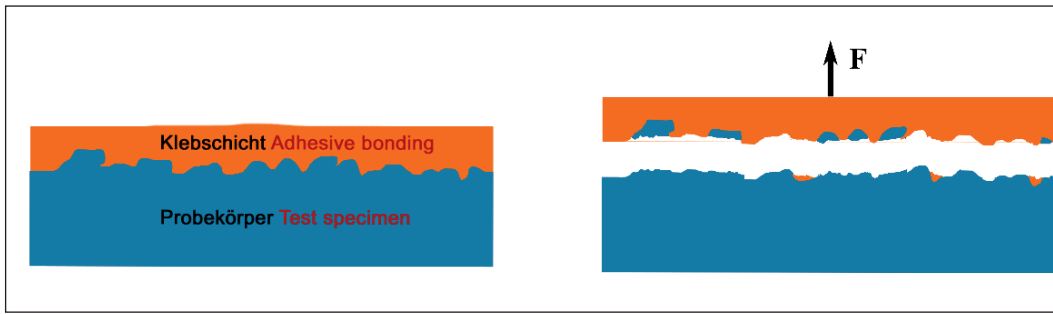


Bild 5: Schematische Darstellung des kohäsiven Substratversagens (CSF) in Folge einer Krafteinwirkung (F) bei Klebverbindungen von lasergesinterten PA12-Fügeteilen

Fig. 5: Schematic representation of the cohesive substrate failure (CSF) as a consequence of a force effect (F) in the case of adhesive-bonded joints between laser-sintered PA12 joining parts

ist deshalb dort in der CT-Aufnahme sichtbar.

Wesentliche Erkenntnis aus dieser Untersuchung ist das Eindringen des Klebstoffs in Poren, was dafür sorgt, dass zwischen Klebstoff und Fügeteil keine glatte Grenzfläche auftritt. Eine schematische Darstellung dieses Eindringens in die Poren ist in Bild 5 (links) gezeigt. Kommt es nun zur Belastung dieser Klebverbindung bis hin zum Bruch, so verbleiben Reste des Klebstoffs im Fügeteil und Fügeteilreste im Klebstoff (Bild 5 rechts). Das dadurch auftretende Bruchbild ist überwiegend ein kohäsiver Substratbruch (CSF).

Aufgrund dieses Bruchverhaltens wirken sich Änderungen der Parameter bei der additiven Fertigung,

insbesondere hinsichtlich der Orientierung des Bauteils bzw. der Klebfläche im Bauraum, kaum auf die Klebfestigkeit aus. Jede untersuchte Baurichtung (liegend, 45° schräg orientiert und stehend) zeigt annähernd die gleiche Klebfestigkeit, obwohl diese sich in der Oberflächenstruktur unterscheiden. Ein ähnliches Verhalten der Baurichtungsabhängigkeit zeigte sich auch im thematisch verwandten Projekt GeneSys der TU Braunschweig (IGF Nr. 19206 N) [14]. Die weiteren Untersuchungen wurden mit liegend orientierten Proben durchgeführt.

Um die Maximalfestigkeit der Klebverbindung möglichst auszunutzen, wurde auf adhäsionssteigernde Maßnahmen zurückgegriffen. Hierbei wurde zum einen die Vorbehand-

rial ist recognisable by air inclusions (black).

Air inclusions are also evident inside the adhesive bonding layer. These result from the porous surface structure into which the adhesive penetrates after the joining of both joining parts. Due to the penetration into the pores close to the surface, the adhesive dispels any existing air. This air subsequently collects in the adhesive bonding layer and is thus visible there on the CT scan.

One essential finding from this investigation is the penetration of the adhesive into pores. This ensures that there is no smooth interface between the adhesive and the joining part. A schematic representation of this penetration into the pores is

shown on Fig. 5, left. If this adhesive-bonded joint is then subjected to loads until it fractures, residues of the adhesive remain in the joining part and joining part residues in the adhesive (Fig. 5, right). The fracture pattern caused by this is predominantly a cohesive substrate failure (CSF).

As a result of this fracture behaviour, changes in the parameters during additive manufacturing, particularly with regard to the orientation of the component or the adhesive bonding face in the construction space, exert hardly any effects on the adhesive bonding strength. All the investigated construction directions (horizontal, 45° diagonal orientation and upright) exhibit approximately the same adhesive bonding strengths although these have different surface structures. Similar behaviour of the construction direction dependence was also shown in the thematically related GeneSys project at the Braunschweig University of Technology (IGF no.: 19206 N) [14]. The further investigations were carried out with horizontally oriented specimens.

Adhesion-raising measures were taken in order to exploit the maximum strength of the adhesive-bonded joint if at all possible. Not only the pretreatment using atmospher-

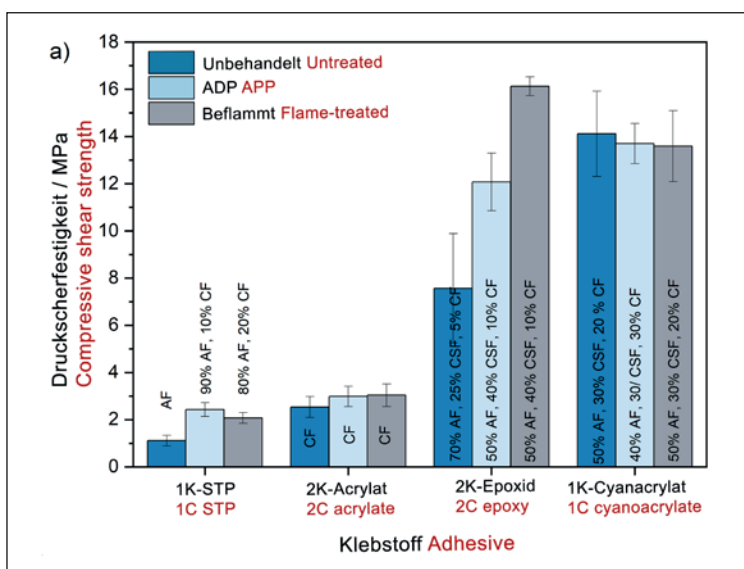


Bild 6: Klebfestigkeiten verschiedener Klebstoffe auf lasergesintertem PA12 im unbehandelten und mittels ADP bzw. Beflammen vorbehandelten Zustand (Links). Rechts: Bruchbilder von Klebungen mit dem Epoxid-Klebstoff; CSF oberflächennaher Partikel an unbehandeltem Substrat (oben) und vermehrtes Herausbrechen von Partikeln aus dem Substrat nach ADP-Behandlung (unten)

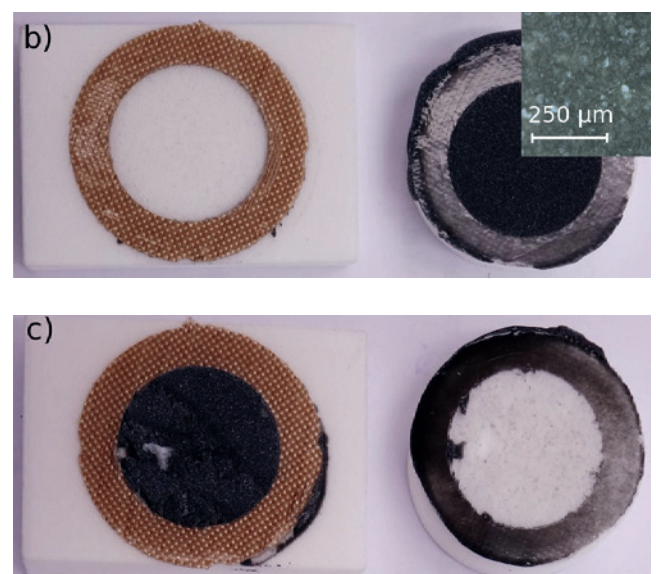


Fig. 6: Adhesive bonding strengths of various adhesives on laser-sintered PA12 in the untreated condition and in the condition pretreated using APP or flame treatment (left). Right: fracture patterns of adhesive-bonded joints with the epoxy adhesive; CSF: particle close to the surface on an untreated substrate (top) and increased breaking of particles out of the substrate after APP treatment (bottom)

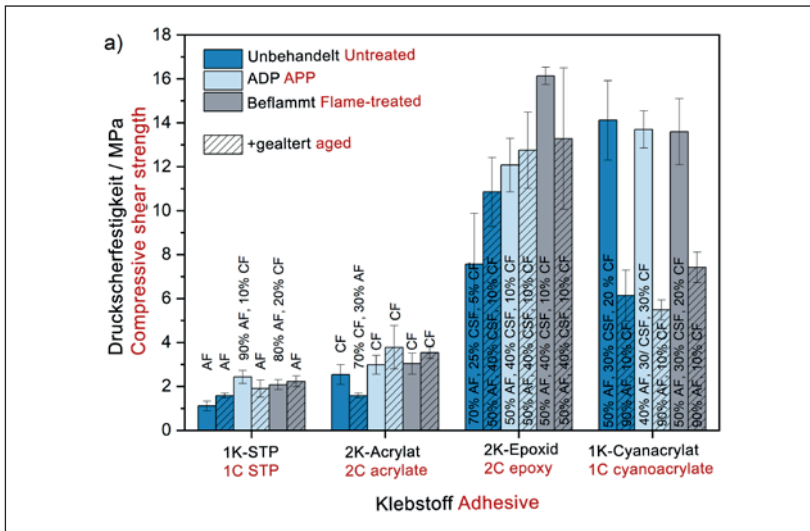


Bild 7: Links: Klebfestigkeiten verschiedener Klebverbindungen vor und nach einer beschleunigten Alterung. Rechts: Bruchbilder von Klebungen mit dem Cyanoacrylat-Klebstoff; CSF mit Anteil CF an nicht gealterter Probe (oben) und CSF an gealterter Probe (unten)

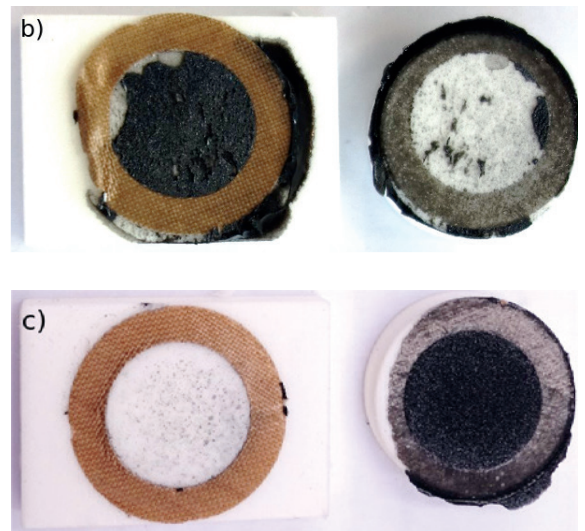


Fig. 7: Left: adhesive bonding strengths of various adhesive-bonded joints before and after accelerated ageing. Right: fracture patterns of adhesive-bonded joints with the cyanoacrylate adhesive; CSF with a CF proportion on a non-aged specimen (top) and CSF on an aged specimen (bottom)

lung mittels Atmosphärendruckplasma (ADP) und zum anderen das Beflammen verwendet.

Im Folgenden werden exemplarisch Ergebnisse zu Klebversuchen an vier Klebstoffen auf PA12 mit verschiedenen Oberflächenzuständen verglichen. Bild 6 zeigt den Vergleich der Untersuchungen an unvorbehandelten PA12-Oberflächen und an mittels ADP bzw. Beflammen vorbehandelten Oberflächen. Durch Vorbehandlung kann bei Klebverbindungen mit dem 1K-STP-Klebstoff und dem 2K-Epoxid-Klebstoff eine Steigerung der Festigkeit erreicht werden. Verbindungen mit dem 1K-STP-Klebstoff erreichen nach der Vorbehandlung des Substrats teilweise die Maximalfestigkeit und der Klebstoff zeigt ein teilweise kohäsives Versagen. Das Bruchbild des Epoxid-Klebstoffs zeigt dagegen ein überwiegend kohäsives Versagen oberflächennaher PA12-Partikel (Bild 6 oben). Durch Vorbehandlung des Substrats mittels ADP verändert sich die Klassifizierung des Bruchbilds nicht, aber es brechen deutlich mehr Partikel aus der Oberfläche heraus (Bild 6 unten). Dies kann auf die bessere Benetzung der rauen Oberfläche des gesinterten PA12-Fügeteils nach der Vorbehandlung zurückgeführt werden. Bei Klebverbindungen mit dem Cyanoacrylat-Klebstoff ist keine Steigerung der Festigkeit durch

Vorbehandlung des Fügeteils zu erzielen. Der niedrigviskose Klebstoff benetzt hier bereits im unbehandelten Zustand die raue Fügeteiloberfläche gut, sodass eine Steigerung der Adhäsion durch Vorbehandlung der Fügeteiloberfläche nicht notwendig ist.

Für einen erfolgreichen Einsatz von Klebverbindungen aus lasergesinterten PA12-Bauteilen ist es notwendig, die Langzeiteigenschaften zu kennen. Deshalb wurden die Klebverbindungen mit einem Klimawechseltest beschleunigt gealtert. Die Festigkeitswerte dieser Proben sind in Bild 7 dargestellt. Beim Vergleich der Verbindungsfestigkeiten mit dem 1K-STP-Klebstoff vor und nach der Alterung fällt auf, dass die Alterung einen eher geringen Einfluss aufweist. Allerdings zeigt die Änderung des Bruchbilds bei vorbehandelten Proben von einem adhäsiven Versagen mit kohäsivem Anteil vor der Alterung zu einem rein adhäsiven Versagen nach der Alterung, dass die Adhäsionszone geschwächt wird. Manche gealterte Proben, zum Beispiel die des STP-Klebstoffs, des Epoxid-Klebstoffs im unbehandelten Zustand und des Acrylat-Klebstoffs mit ADP behandeltem Substrat, weisen sogar höhere Festigkeiten auf, als vergleichbare Proben vor der Alterung. Dies ist auf nachträgliche Vernetzungsvorgänge durch die Einwirkung von Temperatur und

ic-pressure plasma (APP) but also the flame treatment were used in this respect.

Below, results of adhesive bonding tests using four adhesives on PA12 with various surface conditions are compared as examples. Fig. 6 shows the comparison of the investigations on unpretreated PA12 surfaces and on surfaces pretreated using APP or flame treatment. Pretreatment can be used in order to achieve rises in the strengths of adhesive-bonded joints with the 1C STP adhesive and the 2C epoxy adhesive. After the pretreatment, joints with the 1C STP adhesive partly achieve the maximum strength and the adhesive exhibits partly cohesive failure. In contrast, the fracture pattern of the epoxy adhesive exhibits predominantly cohesive failure of the PA12 particles close to the surface (Fig. 6, top). The pretreatment of the substrate using APP does not alter the classification of the fracture pattern but substantially more particles break out of the surface (Fig. 6, bottom). This may be attributed to the better wetting of the rough surface of the sintered PA12 joining part after the pretreatment. In the case of adhesive-bonded joints with the cyanoacrylate adhesive, it is not possible to achieve any rise in the strength by pretreating the joining part. Here, the low-viscosity adhe-

sive already wets the rough joining part surface well in the untreated condition. Thus, it is not necessary to raise the adhesion by pretreating the joining part surface.

For the successful utilisation of adhesive-bonded joints consisting of laser-sintered PA12 components, it is necessary to know the long-time properties. Therefore, the adhesive-bonded joints were aged in an accelerated process with an alternating climate test. The strength values of these specimens are portrayed on Fig. 7. When the joint strengths with the 1C STP adhesive before and after the ageing are compared, it is conspicuous that the ageing exhibits a rather small influence. However, the change in the fracture pattern in the case of pretreated specimens from adhesive failure with a cohesive proportion before the ageing to purely adhesive failure after the ageing shows that the adhesion zone is weakened. Some aged specimens (e.g. those with the STP adhesive, the epoxy adhesive in the untreated condition and the acrylate adhesive with an APP-treated substrate) even exhibit higher strengths than comparable specimens before the ageing. This may be attributed to subsequent crosslinking processes caused by temperature and moisture effects during the accelerated ageing. The adhesive-bonded

Literatur References

- [1] Gebhardt, A.: 3D Drucken in Deutschland. Entwicklungsstand, Potenziale, Herausforderungen, Auswirkungen und Perspektiven. Berichte aus dem Maschinenbau. Düren: Shaker 2015.
- [2] Allison, A. u. Scudamore, R.: Additive Manufacturing. Strategic Research Agenda.
- [3] Habenicht, G.: Kleben. Grundlagen, Technologien, Anwendungen. VDI-Buch. Berlin: Springer 2009.
- [4] Zachmann, T.: Einfache Benetzungskontrolle in wenigen Sekunden. JOT Journal für Oberflächentechnik (2018) 5.
- [5] Gleich, H.: Zusammenhang zwischen Oberflächenenergie und Adhäsionsvermögen von Polymerwerkstoffen am Beispiel von PP und PBT und deren Beeinflussung durch die Niederdruck-Plasmatechnologie, Universität Duisburg-Essen Dissertation. Duisburg 2004.
- [6] Dutschk, V.: Oberflächenkräfte und ihr Beitrag zu Adhäsion und Haftung in glasfaserverstärkten Thermoplasten, Technische Universität Dresden Dissertation. Dresden 2000.
- [7] Kraus, E., Orf, L., Baudrit, B., Heidemeyer, P., Bastian, M., Bonenberger, R., Starostina, I. u. Stoyanov, O.: Analysis of the low-pressure plasma pretreated polymer surface in terms of acid–base approach. Applied Surface Science 371 (2016), pp. 365/75.
- [8] Kraus, E., Orf, L., Heilig, M., Baudrit, B., Starostina, I. u. Stoyanov, O.: Characterization of Polymer Surfaces by the Use of Different Wetting Theories Regarding Acid-Base Properties. International Journal of Polymer Science 2017 (2017), pp. 1/7.
- [9] Kraus, E., Orf, L., Starostina, I. u. Stoyanov, O.: Improvement of polymeric material adhesion by UV laser and plasma pretreatment. Berichte aus der Materialwissenschaft. Aachen: Shaker Verlag 2017.
- [10] Gennes, P.-G. de, Brochard-Wyart, F. u. Quere, D.: Capillarity and Wetting Phenomena. Drops, Bubbles, Pearls, Waves. New York: Springer New York 2004.
- [11] Achereiner, F.: Verbesserung von Adhäsionseigenschaften verschiedener Polymerwerkstoffe durch Gasphasenfluorierung, Universität Erlangen-Nürnberg Dissertation. Erlangen 2009.
- [12] Pocius, A. V.: Adhesion and adhesives technology. An introduction. Cincinnati, Ohio: Hanser Publications 2012.
- [13] Schindel-Bidinelli, E. H. u. Guthertz, W.: Konstruktives Kleben. Ein Lehrgang. Weinheim: VCH 1988.
- [14] Kraus, E., Baudrit, B., Heidemeyer, P. u. Bastian, M.: Der Festigkeit schnell auf der Spur. adhäsion KLEBEN & DICHTEN 58 (2014) 9, S. 43/7.
- [15] Schlussbericht IGF-Vorhaben Nr. 19206 N. Klebeignung generativ gefertigter Systeme (Genesys), Stamm, E. u. Türrck, E.

Feuchtigkeit während der beschleunigten Alterung zurückzuführen. Die Klebungen mit dem Cyanacrylat zeigen einen deutlichen Festigkeitsverlust nach dem Alterungsprozess. Dies ist auf die Hydrolyseinstabilität von Cyanacrylaten zurückzuführen. Auch am Bruchbild lässt sich eine Verminderung der Adhäsion feststellen. Im nicht gealterten Zustand zeigt die Probe ein CSF-Versagen mit kohäsivem Anteil (Bild 7 oben), im gealterten Zustand (Bild 7 unten) liegt dagegen ein CSF-Versagen vor, bei dem nur noch wenige Polymerpartikel auf der Klebstoffseite zu erkennen sind. Die beste Stabilität gegenüber der beschleunigten Alterung zeigten Klebverbindungen mit dem 2K-Epoxid-Klebstoff. Mit diesem wurden auch gleichzeitig die höchsten Festigkeiten erzielt. Beim Vergleich unbehandelter Proben mit vorbehandelten Proben zeigt sich, dass die vorbehandelten Proben in den meisten Fällen nach der beschleunigten Alterung noch immer eine höhere Festigkeit aufweisen, als die nicht gealterten und unbehandelten Proben.

4. Zusammenfassung und Ausblick

In den Untersuchungen konnte gezeigt werden, welcher mechani-

schen Belastung Klebverbindungen unterschiedlicher Klebstoffe aus verschiedenen Klebstoffklassen und additiv gefertigten bzw. lasergesinterten PA12-Bauteilen standhalten können. Die Scherfestigkeit der Fügeverbindungen im Ausgangszustand kann durch entsprechende Vorbehandlung mittels Atmosphärendruckplasma (ADP) oder Beflammen maximiert werden. Es können dabei Druckscherfestigkeiten bis zu 14 MPa bei dem 2K-Epoxid- und dem Cyanacrylat-Klebstoff erreicht werden. Werden die Klebungen beschleunigt gealtert, so verlieren Klebungen mit dem Cyanacrylat-Klebstoff schneller an Festigkeit. Deshalb sind für Klebungen, die Feuchtigkeit ausgesetzt sind, eher Epoxid-Klebstoffe zu empfehlen.

Insbesondere die computertomografische Untersuchung zeigte ein spezielles Verhalten hinsichtlich der porösen Oberfläche von lasergesintertem Material. Benetzt der Klebstoff die Oberfläche prinzipiell und ist zusätzlich die Viskosität des Klebstoffs relativ gering, kann er in die oberflächennahen Poren eindringen und sorgt so für eine bessere Kraftübertragung durch mechanische Adhäsion [12]. Die Benetzbarkeit muss hierfür sichergestellt sein

joints with the cyanoacrylate exhibit substantial strength losses after the ageing process. This may be attributed to the hydrolysis instability of cyanoacrylates. A decrease in the adhesion can be established in the fracture pattern too. In the non-aged condition, the specimen exhibits CSF with a cohesive proportion (Fig. 7, top). In contrast, there is, in the aged condition (Fig. 7, bottom) CSF in which just a few polymer particles can still be recognised on the adhesive side. The best stability in relation to the accelerated ageing was shown by adhesive-bonded joints with the 2C epoxy adhesive with which the highest strengths were also achieved at the same time. When untreated specimens are compared with pretreated specimens, it is shown that, in most cases, the pretreated specimens still exhibit higher strengths after the accelerated ageing than the non-aged and untreated specimens.

4. Summary and outlook

In the investigations, it was possible to show what mechanical loads adhesive-bonded joints using different adhesives from various adhesive classes and additively manufactured or laser-sintered PA12 com-

ponents can withstand. The shear strengths of the joints in the initial condition can be maximised by means of corresponding pretreatment using atmospheric-pressure plasma (APP) or flame treatment. In this respect, tensile shear strengths up to 14 MPa can be achieved with the 2C epoxy and cyanoacrylate adhesives. When the adhesive-bonded joints are aged in an accelerated process, adhesive-bonded joints with the cyanoacrylate adhesive lose strength more quickly. Therefore, epoxy adhesives should tend to be recommended for adhesive-bonded joints which are exposed to moisture.

In particular, the computer tomograph investigation exhibited special behaviour with regard to the porous surface of laser-sintered material. If the adhesive wets the surface in principle and the viscosity of the adhesive is relatively low in addition, it can penetrate into the pores close to the surface and thus ensures better force transmission due to mechanical adhesion [12]. For this purpose, the wettability must be ensured and can be improved using physical pretreatment methods such as the APP pretreatment [3].

und lässt sich durch physikalische Vorbehandlungsmethoden wie der ADP-Vorbehandlung verbessern [3]. Hinsichtlich industrieller Anwendung von geklebten additiv gefertigten Bauteilen ist also die Verwendung einer Vorbehandlung zur Maximierung der Klebfestigkeit sehr zu empfehlen.

Beim Einsatz additiv gefertigter Komponenten in tragenden Strukturen wird oftmals das Leichtbaupotenzial aufgrund der Freiheiten dieses Fertigungsverfahrens ausgeschöpft. Hierfür können beispielsweise die Wandstärken im Vergleich zu den untersuchten Substratdicken von 6 mm reduziert werden, um eine größere Gewichtsersparnis zu erzielen. Diese geringere Bauteildicke

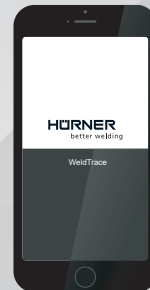
führt dazu, dass die Kraftübertragung der Fügeverbindung weniger vom verwendeten Klebsystem als von der Maximalfestigkeit des additiv gefertigten Bauteils abhängt. Zur Übertragung hoher Lasten ist für das Bauteil an kritischen Stellen der Fügeverbindung eine Verstärkung und ein klebgerechtes Design notwendig. Hierbei stellt die Designfreiheit des Fertigungsverfahrens einen Vorteil gegenüber konventioneller Fertigung dar. Diese Designfreiheit muss hinsichtlich einer Gestaltung der Klebflächen bspw. durch Verwendung gezielter Strukturelemente, die die Klebfestigkeit erhöhen, genutzt werden. Diese Strukturen sind daher aktuell Gegenstand von Untersuchungen im SKZ.

With regard to the industrial application of adhesive-bonded additively manufactured components, it is thus very recommended to use a pretreatment in order to maximise the adhesive bonding strength.

When additively manufactured components are utilised in load-bearing structures, the lightweight construction potential is often exhausted because of the freedoms of this manufacturing procedure. For example, the wall thicknesses can be reduced for this purpose in comparison with the investigated substrate thicknesses of 6 mm in order to achieve a greater weight saving. This lower component thickness means that the force transmission of the joint is less dependent on the utilised adhesive

bonding system than on the maximum strength of the additively manufactured component. For the transmission of high loads, a reinforcement and a design appropriate for adhesive bonding are necessary for the component at critical points of the joint. In this respect, the design freedom of the manufacturing procedure constitutes one advantage over conventional manufacturing. This design freedom must be exploited with regard to the configuration of the adhesive bonding faces, e.g. by using targeted structural elements which increase the adhesive bonding strength. Therefore, these structures are currently the object of investigations at SKZ.

HÜRNER
better welding



WeldTrace App

Download the app
HÜRNER WeldTrace
now



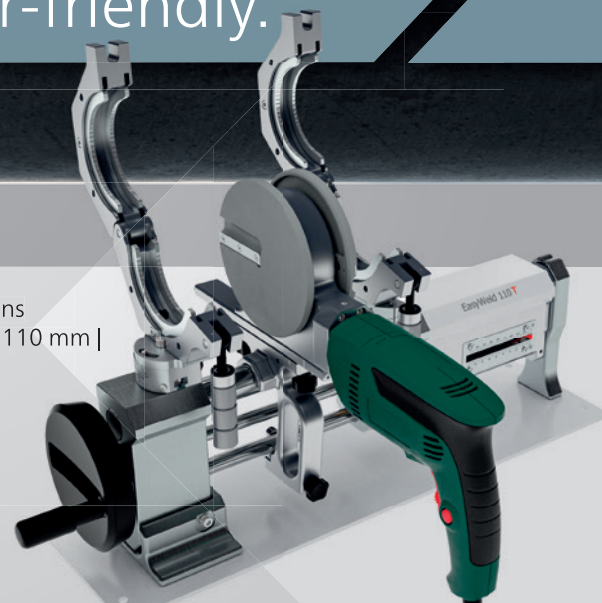
Mobile. Handy. User-friendly.

HÜRNER Whiteline EasyWeld 110 T

HÜRNER's EasyWeld 110 (T) is your professional solution for butt-welding applications with PE, PP, and PVDF pipes and fittings for all pressure ratios, from O.D. 20 through 110 mm | ½ through 4 inch (Tees O.D. 20 through 90 mm | ½ through 3 inch).

User-friendly and handy enough to be at home at any place, both on worksites and in workshops!

HÜRNER Schweißtechnik GmbH
Nieder-Ohmener Str. 26 | 35325 Mücke
info@huerner.de | www.huerner.de



Wechseldehnungsschweißen – Entwicklung einer Fügetechnologie für 3D-Geometrien

Alternating strain welding - Development of a joining technology for 3D geometries

Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner, Dr.-Ing. Isabel Fiebig, Sascha Vogtschmidt, M. Sc., Universität Paderborn, Kunststofftechnik Paderborn, Fachgebiet Kunststoffverarbeitung, Paderborn

Kurzfassung

Das Wechseldehnungsschweißen wurde als neue Fügetechnik für konventionell nicht vibrationsschweißbare gewölbte 3D-Geometrien entwickelt, wobei die Energieeintrbringung über interferierende Scher- und Dehnungsdissipation erfolgt. Ziel war es, Geometrien mit komplexen Nahtstrukturen bei kürzeren Zykluszeiten gegenüber den bisher eingesetzten Verfahren zu schweißen. Beim Wechseldehnungsschweißen wird durch alternierende Dehnbewegungen in einen über Infrarotstrahlung anplastifizierten Schmelzefilm zusätzliche Energie dissipiert, wodurch sich eine vollständige Schweißnaht ausbildet. Die Untersuchungen zeigten, dass mit diesem Verfahren Bauteile mit komplexen Nahtgeometrien, das heißt mit Abweichungen zwischen Vibrationsweißachse und Fügefläche größer 30°, in kurzer Zeit geschweißt werden können. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Materialviskosität, der initialen Schmelzschichtdicke nach der Infrarotvorwärmung und der Schweißnahtfestigkeit konnte ermittelt werden.



Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=201648

profile: www.joining-plastics.info/?id=201648

volker.schoeppner@ktp.upb.de



Dr.-Ing. Isabel Fiebig

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=307426

profile: www.joining-plastics.info/?id=307426



Sascha Vogtschmidt, M. Sc.,

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=400289

profile: www.joining-plastics.info/?id=400289

Abstract

Alternating strain welding was developed as a new joining technology for curved 3D geometries which cannot be vibration-welded conventionally. In this respect, the energy is input by means of interfering shear and strain dissipation. The objective was to weld geometries with complex weld structures in shorter cycle times than with the procedures utilised until now. In the case of alternating strain welding, alternating strain movements serve to dissipate additional energy into a melt film partially plastified by infrared radiation, thus leading to the formation of a complete weld. The investigations showed that components with complex weld geometries, i.e. with deviations greater than 30° between the vibration welding axis and the joining face, can be welded in a short time with this procedure. It was possible to determine a significant connection between the material viscosity, the initial melt layer thickness after the infrared preheating and the weld strength.

1. Einleitung

Das Schweißen von Kunststoffbauteilen mit dreidimensionalen Fügezonen stellt sowohl eine technische als auch eine wirtschaftliche Herausforderung dar. Wirtschaftlich attraktive Schweißverfahren mit vergleichsweise kurzen Zykluszeiten, zu denen das Ultraschall- und Vibrationsschweißen zählen, setzen oftmals ebene Fügeflächen voraus, damit die zum Schweißen benötigte Energie in diese Bereiche eingeleitet werden kann. Selbst bei optimalen Voraussetzungen können in der industriellen Anwendung oftmals keine hohen Schweißfaktoren realisiert werden [1]. Vor allem Abweichungen von der ebenen Fügefläche stellen eine große Heraus-

forderung beim Vibrationsschweißen dar. Laut DVS-Richtlinie sind beim linearen Vibrationsschweißen Abweichungen bis zu 10° zwischen Vibrationsschweißachse und Fügefläche (nachfolgend als Fügewinkel bezeichnet) schweißbar [2]. Untersuchungen von Bates u. a. bezüglich des Vibrationsschweißens von Bauteilen, deren Fügeflächen von der Vibrationsschweißachse abweichen, zeigten darüber hinaus, dass Bauteile mit höheren Fügewinkeln vibrationsgeschweißt werden können, die Schweißnahtfestigkeit in den angewinkelten Bereichen jedoch mit zunehmendem Fügewinkel stark abnimmt [3]. Die abnehmende Schweißnahtfestigkeit bei steigendem Fügewinkel ist durch eine Über-

1. Introduction

The welding of plastic components with three-dimensional joining zones constitutes a challenge in both technical and economic respects. Often, plane joining faces are the prerequisite for economically attractive welding procedures with comparatively short cycle times, including ultrasonic and vibration welding, so that the energy needed for welding can be introduced into these regions. Even with optimum prerequisites, it is often not possible to attain high welding factors in industrial application [1]. Above all, deviations from the plane joining face constitute a great challenge as far as vibration welding is concerned. According to the DVS technical code,

deviations up to 10° between the vibration welding axis and the joining face (designated as the joining angle below) are weldable in the case of linear vibration welding [2]. Moreover, investigations which Bates et al. conducted with regard to the vibration welding of components whose joining faces deviate from the vibration welding axis showed that components with greater joining angles can be vibration-welded but the weld strength in the angled regions decreases extremely as the joining angle increases [3]. The decreasing weld strength with a rising joining angle is due to the superimposition of a normal component on the shear movement typical of the procedure. As illustrated on Fig. 1,

lagerung der verfahrenstypischen Scherbewegung mit einer Normalkomponente bedingt. Diese Überlagerung führt, wie Bild 1 veranschaulicht, zum Abheben der Fügepartner und dadurch zu einer verminderten Energieeinbringung. Um dreidimensionale Geometrien zuverlässig schweißen zu können, muss deshalb in den meisten Fällen auf vergleichsweise langsame und damit kostenintensive Verfahren zurückgegriffen werden [4], zu denen beispielsweise das Infrarot- und das Warmgasstumpfschweißen zählen [5, 6]. Alternativ muss auf Verfahren zurückgegriffen werden, die hinsichtlich der Akquisition höhere Kosten verursachen, zum Beispiel das Laserschweißen. Beim Laserdurchstrahlschweißen ist des Weiteren zu beachten, dass bedingt glasfaserverstärkte Kunststoffe geschweißt werden können, die industriell aufgrund des guten Eigenschaftsprofils häufig eingesetzt werden. Um dieser Problematik der begrenzten Einsatzfähigkeit der Schweißverfahren entgegenzuwirken, wurde das Wechseldehnungsschweißen entwickelt. Das Verfahren kombiniert das schnelle Vibrationsschweißen mit einer Infrarotvorwärmung und gliedert sich in die folgenden Phasen: die Vorwärmphase, die Umstellphase, die Wechseldehnungsphase sowie die Abkühlphase. Dabei wird durch überlagerte Scher- und Dehnungsdissipation (Wechseldehnungsphase) weitere Energie in die initial erzeugte Schmelzeschicht (Vorwärmphase) eingebracht, um den Schmelzefilm zu vergrößern. Um die Funktionsweise dieses Verfahrens nachzuweisen, wurde die Wärmeenergieeinbringung über Wechseldehnung im Rahmen von Voruntersuchungen für unterschiedliche Materialien überprüft. Während der Wechseldehnungsphase wird die zuvor plastifizierte initiale Schmelzeschicht stark durch die Vibrationsbewegung gedehnt. Für eine Schweißverbindung hoher Qualität ist es deshalb unabdingbar, dass die Schmelze in dieser Prozessphase nicht abreißt. Aus diesem Grund wurde im Rahmen der Voruntersuchungen neben der Wärmeenergieeinbringung über Wechseldehnung ebenfalls die Dehnfähigkeit

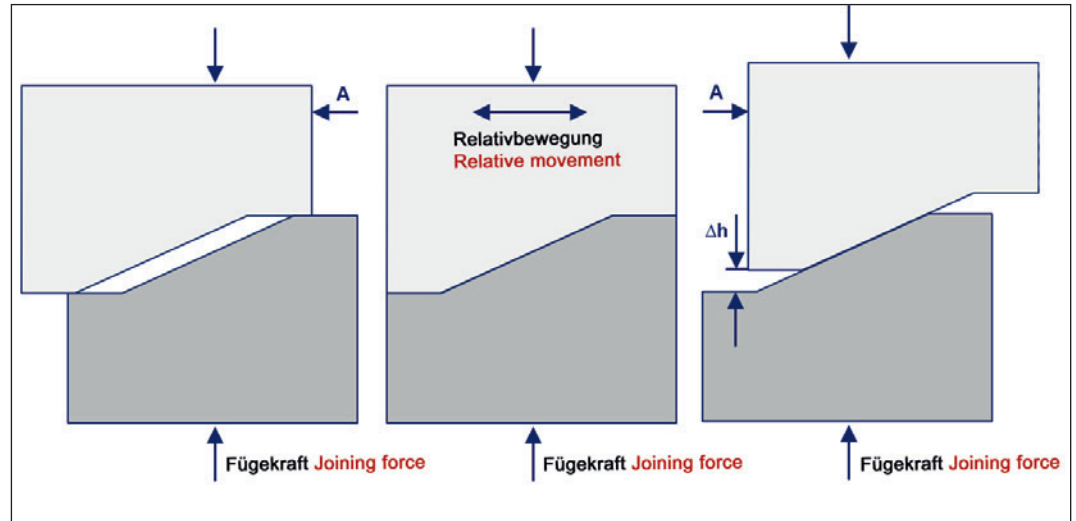


Bild 1: Schematische Darstellung der Problematik beim Vibrationsschweißen von Bauteilen mit dreidimensionalen Nahtgeometrien

Fig. 1: Schematic representation of the problems during the vibration welding of components with three-dimensional weld geometries

von Kunststoffschmelze analysiert. Die Voruntersuchungen bildeten somit die Basis für die Schweißuntersuchungen an Plattenprüfkörpern mit unterschiedlichen Füge winkeln. Ziel der Schweißuntersuchungen war es, die Prozessgrenzen für unterschiedliche Materialien zu eruieren und den Einfluss der Materialeigenschaften sowie der Prozessparameter auf die Schweißnahtqualität zu ermitteln.

2. Experimenteller Aufbau

Für die Voruntersuchungen bezüglich der Dehnfähigkeit von Kunststoffschmelze und der Wärmeenergieeinbringung über Wechseldehnung wurde ein separater Prüfstand entwickelt und in Betrieb genommen.

this superimposition leads to the lifting of the joining members and thus to a reduced energy input. In order to be able to weld three-dimensional geometries reliably, comparatively slow and thus cost-intensive procedures must therefore be used in most cases [4], including (for example) infrared and hot gas butt welding [5, 6]. As an alternative, it is necessary to use procedures which cause higher costs with regard to acquisition, e.g. laser beam welding. In the case of laser beam transmission welding, it must also be borne in mind that glass-fibre-reinforced plastics which are frequently utilised industrially because of the good profile of properties can be welded to

a limited extent. Alternating strain welding was developed in order to counteract these problems associated with the restricted usability of the welding procedures. The procedure combines quick vibration welding with infrared preheating and is divided into the following phases: the preheating phase, the change-over phase, the alternating strain phase as well as the cooling phase. In this respect, superimposed shear and strain dissipation (alternating strain phase) serves to introduce further energy into the initially produced melt layer (preheating phase) in order to enlarge the melt film. As proof of the functioning method of this procedure, the heat input by alternating strain was checked within the framework of preliminary investigations for different materials. During the alternating strain phase, the previously plastified initial melt layer is subjected to extreme strains by the vibration movement. For a high-quality welded joint, it is therefore indispensable that the melt does not tear in this process phase. For this reason, not only the heat input by alternating strain but also the extensibility of plastic melt were analysed within the framework of the preliminary investigations. Thus, the preliminary investigations formed the basis for the welding investigations on plate test specimens with different joining angles. The objectives of the welding investigations were to find out the process limits

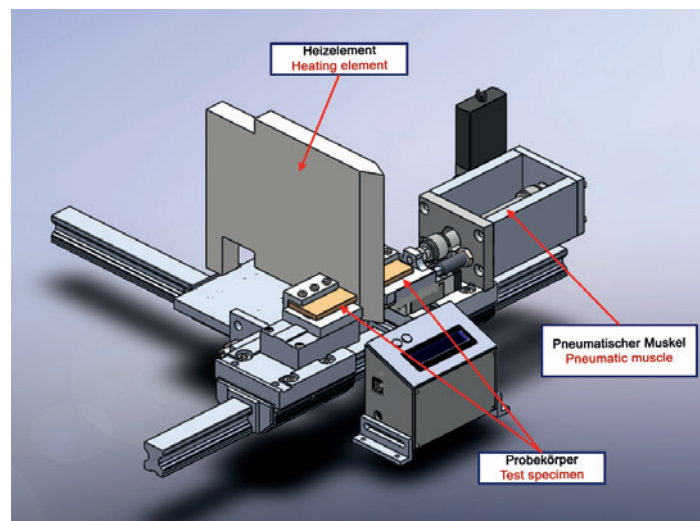


Bild 2: Aufbau des Versuchsstands zur Ermittlung der Dehnfähigkeit von Kunststoffschmelze und der Wärmeenergieeinbringung über Wechseldehnung (rechts)

Fig. 2: Setup of the test bench in order to determine the extensibility of plastic melt and the heat input by alternating strain (right)

Dieser besteht aus einem mobilen Heizelement und einem pneumatischen Muskel, mit dessen Hilfe die Schmelzeschicht belastet wurde. Der Aufbau des Prüfstands ist schematisch in Bild 2 dargestellt. Mit Hilfe des Heizelements können die thermoplastischen Prüfkörper erwärmt und definierte Schmelzeschichten erzeugt werden. Im Rahmen der Voruntersuchungen wurden die Komponenten bei geringem Druck (Verhinderung der Schmelzeverdrängung in den Schweißwulst) gefügt und die schmelzeflüssige Schweißnaht durch den pneumatischen Muskel belastet. Die Untersuchungen gliederten sich dabei in eine statische Belastung zur Ermittlung der maximalen Schmelzedehnung und eine dynamische Belastung der Schmelze zur Ermittlung der Wärmeeinbringung über Wechseldehnung. Bild 3 zeigt den Ablauf der Voruntersuchungen bezüglich der Dehnfähigkeitsanalyse (linke Seite) sowie der Wärmeeinbringung über Wechseldehnung (rechte Seite). Die Schweißuntersuchungen erfolgten an einer linearen Vibrations-schweißmaschine mit servomotorisch betriebener Hubtisch und einer integrierten Infrarotvorwärmeinheit. Das aus zwei Schwingmagneten und vier Hochleistungs-Metallfedern bestehende Schwingssystem ermöglicht Amplituden zwischen 0,35 und 1 mm (Peak to Peak: 0,7 bis 2 mm) bei Frequenzen bis maximal 260 Hz. Bei der Frequenz handelt es sich jedoch nicht um eine anpassbare Variable, da diese durch die Federsteifigkeit des Schwingssystems und die Masse des Aufnahmewerkzeugs vorgegeben ist. Die Arbeitsfrequenz der hier dargestellten Untersuchungen lag bei 230 Hz. Die initiale Schmelzeschicht wurde mittels kurzweiliger Zwillingsrohr-Infrarotstrahler generiert, deren Maximum der Spektrumskurve zwischen etwa 1 und 1,4 μm liegt. Die Vorwärmeinheit ist in zehn Strahler separiert, deren maximale Leistung bei 200 W/cm liegt.

3. Dehnfähigkeit von Kunststoffschmelze

Zur Ermittlung der Dehnfähigkeit der Kunststoffschmelze wurden zunächst definierte Schmelzeschich-

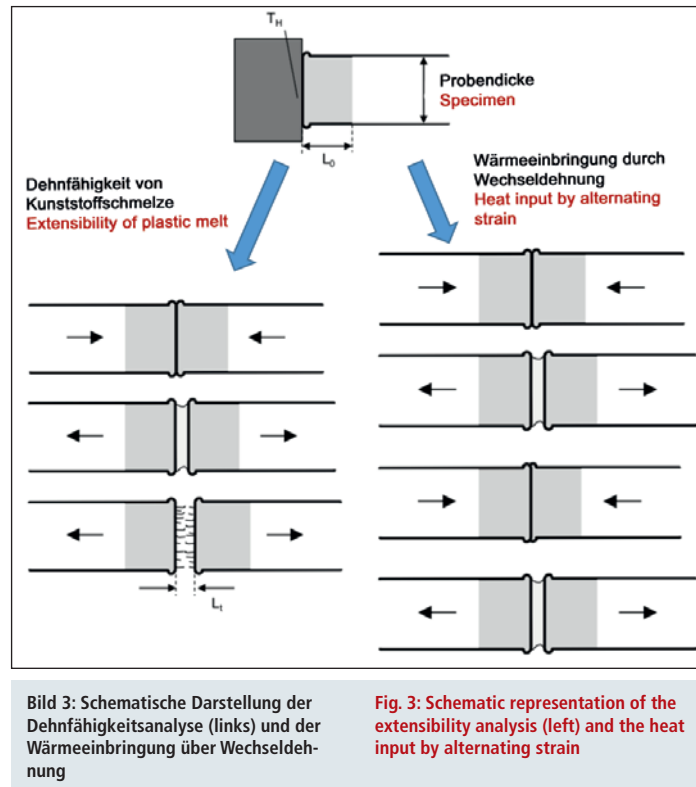


Bild 3: Schematische Darstellung der Dehnfähigkeitsanalyse (links) und der Wärmeeinbringung über Wechseldehnung

Fig. 3: Schematic representation of the extensibility analysis (left) and the heat input by alternating strain

ten L_0 durch Kontakterwärmung am Heizelement erzeugt und die plastifizierten Oberflächen bei geringem Druck gefügt. Ziel dessen war die möglichst geringe Schmelzeverdrängung in den Schweißwulst. Die resultierende Gesamtschmelzeschicht, nachfolgend als initiale Schmelzeschicht bezeichnet, setzt sich aus der doppelten Schmelzeschicht L_0 zusammen, da beide Fügepartner in gleichem Maße plastifiziert wurden. Im Anschluss an den Fügeprozess ohne Abkühlphase wurde zur Ermittlung der maximalen Schmelzedehnung ein Fügepart mit hoher Geschwindigkeit aus der Fügezone herausgezogen. Der Schmelzeabriss L_1 konnte dann durch Aufnahmen mit einer Hochgeschwindigkeitskamera detektiert werden. Bild 4 zeigt die Dehnfähigkeit bzw. den Schmelzeabriss diverser Kunststofftypen bei unterschiedlichen initialen Schmelzeschichtdicken. Die Untersuchungen zeigten, dass Kunststoffschmelze eine hohe Dehnfähigkeit aufweist, diese jedoch im Einzelnen stark vom Material und den inkludierten Füllstoffen abhängt. Die Schmelze unverstärkter Materialien kann um ihre eigene Dicke und darüber hinaus gedehnt werden. Demgegenüber kann die Schmelze faserver-

gations with regard to the extensibility analysis (left side) as well as to the heat input by alternating strain (right side).

The welding investigations were conducted on a linear vibration welding machine with a servomotor-operated lifting table and an integrated infrared preheating unit. The oscillation system consisting of two oscillation magnets and four high-performance metal springs permits amplitudes between 0.35 mm and 1 mm (peak to peak: 0.7 - 2 mm) at frequencies up to max. 260 Hz. However, the frequency does not represent an adjustable variable since this is determined by the spring stiffness of the oscillation system and the mass of the holder tool. The working frequency of the investigations portrayed here was 230 Hz. The initial melt layer was generated using short-wave twin-tube infrared radiators whose maximum of the spectrum curve is between approx. 1 μm and 1.4 μm . The preheating unit is separated into ten radiators whose maximum power is 200 W/cm.

3. Extensibility of plastic melt

In order to determine the extensibility of the plastic melt, defined melt layers L_0 were firstly produced by means of contact heating on the heating element and the plastified surfaces were joined at a low pressure. The objective of this was to force as little melt as possible into the welding bead. The resulting total melt layer (designated as the initial melt layer below) is composed of twice the melt layer L_0 since both joining members were plastified to the same extent. After the joining process without a cooling phase, one joining part was pulled out of the joining zone at a high speed in order to determine the maximum melt strain. Then, it was possible to detect the melt tear L_1 using photographs taken with a high-speed camera. Fig. 4 shows the extensibilities and melt tears of various plastic types with different initial melt layer thicknesses. The investigations showed that plastic melt exhibits a high extensibility but, in each individual case, this is extremely dependent on the material and the in-

stärker Thermoplaste weniger stark bis zum Schmelzeabriss gedehnt werden. Des Weiteren vergrößert sich die maximale Schmelzedehnfähigkeit von unverstärkten Materialien mit zunehmender initialer Schmelzeschichtdicke. Bei verstärkten Materialien wiederum ist dieser Effekt nicht zu verzeichnen. Für die Schweißuntersuchungen muss demzufolge die initiale Schmelzeschichtdicke an die jeweilige Amplitude und das Material angepasst werden. Andernfalls ist mit einem Schmelzeabriss und einer geringen Schweißnahtfestigkeit zu rechnen.

4. Wärmeeinbringung über Wechseldehnung

Im ersten Schritt der Untersuchungen zur Wärmeeinbringung über Wechseldehnung wurden die plastifizierten Bereiche der Probekörper simultan zur vorangegangenen Dehnfähigkeitsanalyse unter geringem Druck gefügt, um diese anschließend mit unterschiedlichen Frequenzen dynamisch zu belasten. Die betrachteten Frequenzen lagen bei 0,50 und 100 Hz. Um den Wärmeeintrag durch Wechseldehnung aufzuzeigen, wurden im nächsten Schritt der Untersuchungen die Wärmeeinflusszonen von dynamisch belasteten und unbelasteten Proben mikroskopisch analysiert. Diesbezüglich zeigte sich eine Vergrößerung der Wärmeeinflusszone von belasteten Proben im Vergleich zu unbelasteten Proben. Weiterführend wurde die Oberflächentempe-

ratur von belasteten und unbelasteten Proben zu unterschiedlichen Zeitpunkten mit einer Wärmebildkamera ermittelt. Ziel war es, Unterschiede in Bezug auf das Abkühlverhalten der Probekörperoberflächen festzustellen und somit auf eine Temperaturerhöhung durch die dynamische Belastung im Inneren der Schweißnaht zu schließen. Es zeigte sich, dass die dynamisch belasteten Schweißnähte (50 und 100 Hz) im Vergleich zu den unbelasteten Probekörpern (0 Hz) weniger schnell abkühlen (Bild 4, rechts). Sowohl die Vergrößerung der Wärmeeinflusszone als auch die höhere Temperatur der Probekörper nach der dynamischen Belastung im Vergleich zur unbelasteten Schmelze lassen darauf schließen, dass über Dehnungsdissipation zusätzliche Wärmeenergie in plastifizierte Materialien eingebracht werden kann.

5. Schweißuntersuchungen

Die Voruntersuchungen bezüglich der Dehnfähigkeit von Kunststoffschmelze und der Wärmeeinbringung über Wechseldehnung bildeten die Grundlage für die nachfolgend beschriebenen Schweißuntersuchungen. Zunächst wurden Schweißversuche an Probekörpern mit Füge winkeln von 30° durchgeführt, um die Funktionsweise des Wechseldehnungsschweißens auf der Vibrationsschweißmaschine nachzuweisen. Auf Basis dieser erfolgreichen Schweißungen folgte die Erweiterung der Probekörpergeometrie. Die

included fillers. The melts of unreinforced materials can be extended by their own thicknesses and beyond. In contrast, the melts of fibre-reinforced thermoplastics can be extended to a lesser extent until the melt tear. Furthermore, the maximum melt extensibilities of unreinforced materials increase along with the initial melt layer thicknesses. In turn, this effect cannot be recorded in the case of reinforced materials. For the welding investigations, the initial melt layer thickness must consequently be adapted to the amplitude in question and to the material. Otherwise, a melt tear and a low weld strength must be expected.

4. Heat input by alternating strain

In the first step of the investigations into the heat input by alternating strain, the plastified regions of the test specimens were joined at a low pressure at the same time as the preceding extensibility analysis in order to subject these to dynamic loading at different frequencies thereafter. The considered frequencies were 0.50 Hz and 100 Hz. In order to indicate the heat input by alternating strain, the heat-affected zones of specimens subjected to dynamic loading and without any loading were analysed microscopically in the next step of the investigations. In this regard, it was shown that the heat-affected zones of specimens subjected to loading were larger than those of specimens without any

loading. The surface temperatures of specimens subjected to loading and without any loading were then determined with a thermal imaging camera at different points in time. The objectives were to establish any differences in relation to the cooling behaviour of the test specimen surfaces and thus to conclude that the temperature inside the weld is increased by the dynamic loading. It was shown that the welds subjected to dynamic loading (50 Hz and 100 Hz) cool down less quickly than the test specimens without any loading (0 Hz), Fig. 4, right. Not only the enlargement of the heat-affected zones but also the higher temperatures of the test specimens after the dynamic loading in comparison with the melt without any loading permit the conclusion that additional heat energy can be input into plastified materials by means of strain dissipation.

5. Welding investigations

The preliminary investigations with regard to the extensibility of plastic melt and to the heat input by alternating strain formed the foundation for the welding investigations described below. First of all, welding tests were carried out on test specimens at a joining angle of 30° in order to prove the functioning method of alternating strain welding on the vibration welding machine. On the basis of these successful welds, this was followed by the extension of the test specimen geometry. The

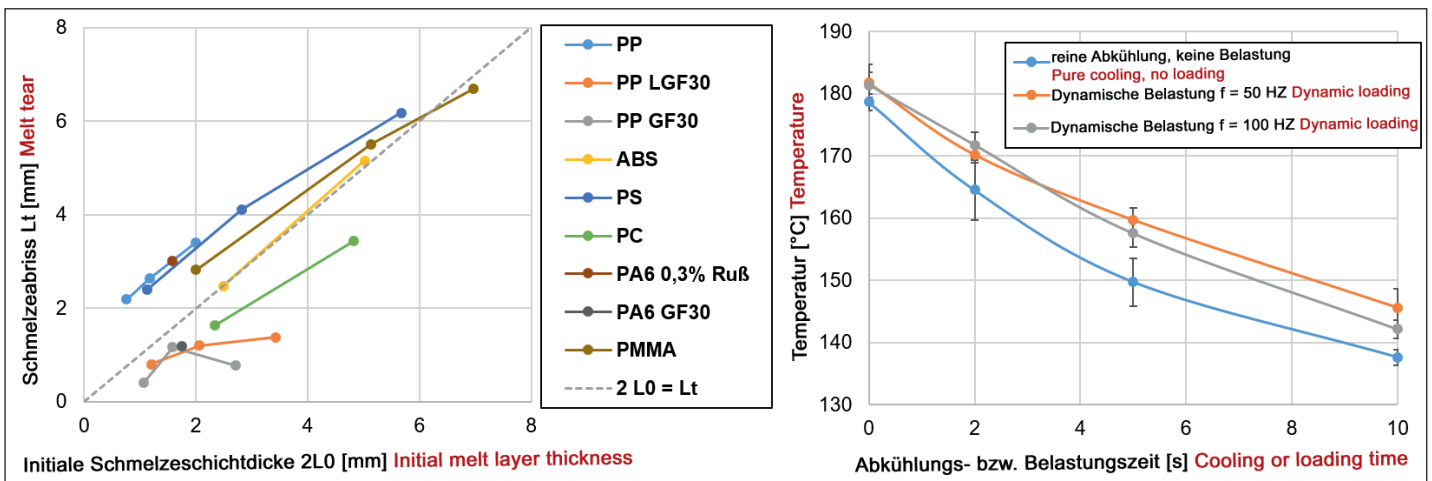


Bild 4: Ergebnisse der Dehnfähigkeitsanalyse (links) und der Analyse der Temperaturentwicklung von belasteten und unbelasteten PP-Schweißnähten (rechts)

Fig. 4: Results of the extensibility analysis (left) and of the analysis of the temperature development of PP welds subjected to loading and without any loading (right)

komplexeren Probekörper, die für die nachfolgenden Untersuchungen verwendet wurden, bestehen aus einer ebenen Fläche und einem angewinkelten Bereich (Bild 5). Dabei wurde der Fügewinkel der angewinkelten Bereiche sukzessiv von 30° auf 60° gesteigert. Durch den Einsatz dieser kombinierten Probekörper ließen sich die kritischen (angewinkelten) und unkritischen (ebenen) Bereiche direkt miteinander vergleichen. Während der Untersuchungen wurden neben den unterschiedlichen Fügewinkeln folgende Parameter variiert: die initiale Schmelzeschichtdicke durch die Variation der Strahlerleistung und der Strahlerlaufzeit, der Fügedruck sowie die Schweißzeit. Da große Amplituden auf der einen Seite das Risiko für einen Schmelzeabriss erhöhen und auf der anderen Seite das initial plastifizierte Material vermehrt in die Fügezone drücken können, wurde für die Schweißuntersuchungen die geringste Auslenkung (0,35 mm, minimale Amplitude der Schweißanlage) ausgewählt. Dieser Zusammenhang gilt vor allem für Materialien mit niedriger Schmelzeviskosität. Bei geringem Restanteil der Schmelze in der Fügezone kann lediglich begrenzt zusätzliche Wärme in die Schweißnaht initiiert werden. Die Gefahr, dass unaufgeschmolzene Bereiche kollidierten, nahm mit steigender Amplitude zu. Dies führte zu geringeren Schweißnahtfestigkeiten in den angewinkelten Bereichen. Im Rahmen der Schweißuntersuchungen und deren Prüfung wurden sowohl die kritischen als auch die unkritischen Bereiche separat betrachtet, um Unterschiede in den Schweißnähten der verschiedenen Bereiche zu detektieren. Das bedeutet, dass auf der einen Seite die mechanische Festigkeit der unterschiedlichen Bereiche ermittelt und auf der anderen Seite die Schweißnähte der ebenen als auch der angewinkelten Segmente mikroskopisch analysiert wurden. Im folgenden Schritt der Untersuchungen wurden zunächst Schweißungen mit minimal zulässiger initialer Schmelzeschichtdicke durchgeführt, um die Strahlerlaufzeit gering zu halten. Demzufolge wurde die Dicke

der Schmelzeschicht so gewählt, dass die Vibrationsbewegung durch eben jene Schicht gerade noch kompensiert werden konnte und keine Kollision der unaufgeschmolzenen Bereiche erfolgte. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden Probekörper aus Polypropylen (Moplen HP501H), Polyamid 6 (Durethan B30S) und einem PC-ABS-Blend (Bayblend T85 XF) verwendet. Die Prüfung der mechanischen Eigenschaften zeigte, dass bei niedrigen Fügewinkeln für alle Materialien sowohl Schweißungen in den ebenen als auch in den angewinkelten Bereichen realisiert werden konnten, die hohe Nahtfestigkeiten aufwiesen (im Bereich der Grundmaterialfestigkeit). Die mikroskopischen Betrachtungen der kritischen und unkritischen Bereiche zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bereichen auf. Im Gegensatz dazu veränderten sich die Festigkeit und die Schweißnahtmorphologie bei höheren Fügewinkeln stark. So konnten für Materialien mit vergleichsweise zähflüssiger Schmelze bei einem Fügewinkel von 45° noch hohe Schweißfaktoren erreicht werden (für PP und PC-ABS: $f_s > 0,7$). Im Gegenzug dazu ließen sich für das niedrigviskosere Polyamid deutlich geringere Festigkeiten feststellen. Dieser Zusammenhang lässt darauf schließen, dass das dünnflüssige Material verstärkt durch den anliegenden Fügedruck und die alternierende Vibrationsbewegung aus der Fügezone gedrückt wurde. Diese Problematik zeigte sich ebenfalls bei den Schweißungen von Probekörpern mit Fügewinkeln von 60°. Dort konnten zunächst lediglich geringe Schweißnahtfestigkeiten ermittelt werden. Den Grund dafür zeigte die mikroskopische Analyse der Schweißnähte aus den angewinkelten Bereichen. Die Schweißnähte der untersuchten Materialien wiesen einerseits deutliche Fehlstellen auf und andererseits ließen sich jeweils zwei unterschiedliche Wulstbereiche identifizieren (Bild 6, linke Seite). Diese Beobachtung lässt darauf schließen, dass vor der Wechseldehnungsphase, das heißt der Vibrationsbewegung, ein Großteil der initial erzeugten Schmelze trotz geringer

more complex test specimens which were used for the subsequent investigations consist of a plane face and an angled region (Fig. 5). In this respect, the joining angles of the angled regions were raised successively from 30° to 60°. Due to the utilisation of these combined test specimens, it was possible to compare the critical (angled) and uncritical (plane) regions with each other directly. During the investigations, there were variations not only in the joining angles but also in the following parameters: the initial melt layer thickness caused by the variation in the radiator power and the radiator running time, the joining pressure as well as the welding time. Since great amplitudes may not only increase the risk of a melt tear but also press more of the initially plastified material into the joining zone, the smallest deflection (0.35 mm, minimum amplitude of the welding installation) was selected for the welding investigations. This connection primarily applies to materials with low melt viscosities. If the proportion of melt remaining in the joining zone is low, merely a limited amount of additional heat can be initiated into the weld. With a rising amplitude, there was an increasing danger of collisions between regions without complete melting. This led to lower weld strengths in the angled regions. Within the framework of the welding investigations and their testing, both the critical and uncritical

regions were considered separately in order to detect any differences in the welds in the various regions. This means that not only were the mechanical strengths of the different regions determined but the welds in both the plane and angled segments were also analysed microscopically. In the following step of the investigations, welds with minimum permissible initial melt layer thicknesses were executed first of all in order to keep the radiator running time short. Consequently, the thickness of the melt layer was chosen in such a way that precisely this layer could just compensate for the vibration movement and there were no collisions between the regions without complete melting. Test specimens made of polypropylene (Moplen HP501H), Polyamide 6 (Durethan B30S) and a PC-ABS blend (Bayblend T85 XF) were used within the framework of these investigations. The testing of the mechanical properties showed that, at small joining angles, it was possible to execute welds exhibiting high strengths (in the range of the base material strength) in both the plane and angled regions for all the materials. The microscopic considerations of the critical and uncritical regions did not indicate any significant differences between the regions. In contrast with this, there were extreme changes in the strengths and the weld morphologies at greater joining angles. Thus, high welding factors could still be achieved for

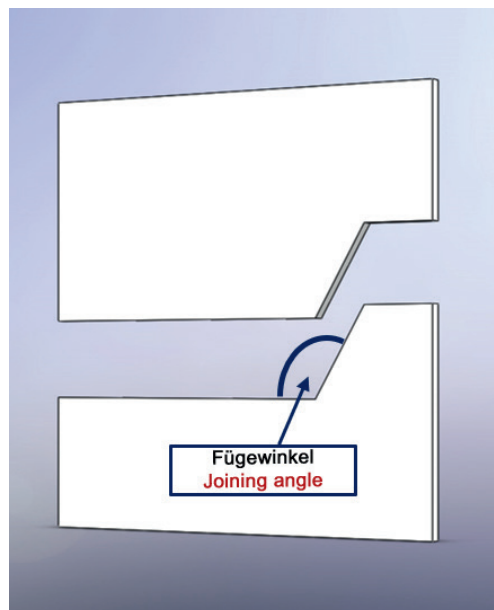


Bild 5: Probekörpergeometrie aus ebenen und angewinkelten Bereichen

Fig. 5: Test specimen geometry consisting of plane and angled regions

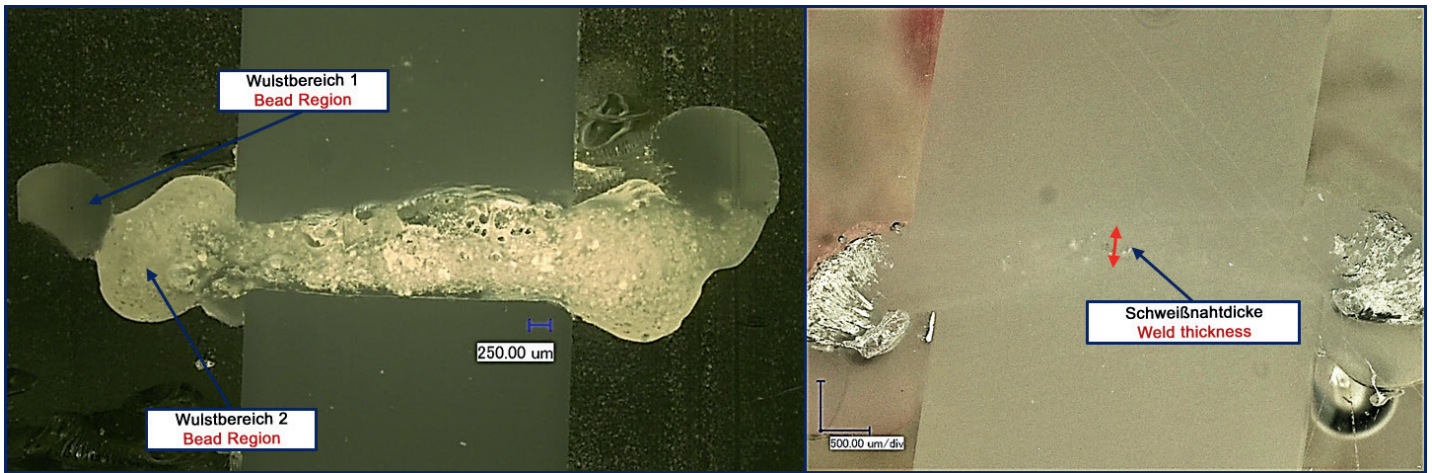


Bild 6: Mikroskopische Aufnahmen der Schweißnähte bei variierender initialer Schmelzeschichtdicke (links: 0,3 mm; rechts: 1,0 mm)

Fig. 6: Micrographs of the welds with varying initial melt layer thicknesses (left: 0.3 mm; right: 1.0 mm)

Fügedrücke in den Wulst gedrückt wurde. Im eigentlichen Vibrationsprozess verbleibt lediglich ein geringer Schmelzeanteil in der Fügezone, der schließlich durch die Vibrationsbewegung belastet wird. Das in der Fügezone verbliebene Material wird dann vor allem aufgeschäumt. Die niedrigen Schweißnahtfestigkeiten resultieren aus dieser aufgeschäumten Struktur.

Mit dem Ziel, für alle Materialien eine gesteigerte Schweißnahtfestigkeit bei höheren Fügewinkeln zu erreichen, wurde im Anschluss an die Untersuchungen mit geringer initialer Schmelzeschichtdicke eben jene Schmelzeschicht durch eine Anpassung der IR-Strahler-Parameter (Bestrahlungszeit und Leistung) erhöht. Durch die größere initiale Schmelzeschicht sollte ein größerer Teil des plastifizierten Materials nach dem Aufbringen des Fügedrucks in der Fügezone verbleiben und eine Verdrängung in den Wulst vermieden werden. Die Parameterveränderung erwies sich als erfolgreich, da sich für den Fügewinkel von 45° bei allen untersuchten Materialien höhere Schweißnahtfestigkeiten ermitteln ließen. Die Schweißnähte wiesen nun Schweißfaktoren von $f_s > 0,5$ auf. Durch diese Prozessoptimierung konnten ebenfalls PP-Probekörper mit einem Fügewinkel von 60° erfolgreich geschweißt werden ($f_s = 0,7$). Die resultierende PP-Schweißnaht ist exemplarisch auf der rechten Seite von Bild 6 dargestellt. Wie zu erkennen, sind wiederum zwei unterschiedliche Wulstbe-

reiche zu identifizieren, die Fehlstellen sind jedoch deutlich minimiert vorzufinden. Grund dafür war die größere Schmelzmenge in der Fügezone, in die Energie eingeleitet werden konnte. Bei niedrigviskosen Materialien und hohen Fügewinkeln konnte der festigkeitssteigernde Effekt einer größeren initialen Schmelzeschicht nicht festgestellt werden. Die vergleichsweise dünnflüssige Schmelze wird weiterhin zu großen Teilen aus der Fügezone gedrängt und die Fehlstellenbildung wird begünstigt. Bild 7 zeigt die maximal ermittelten Schweißnahtfestigkeiten in der Ebene (0°) und den angewinkelten Bereichen bei erhöhter initialer Schmelzeschichtdicke (Fügewinkel 30°...60°).

6. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Wie zuvor beschrieben, soll das Wechseldehnungsschweißen eine Alternative zu den herkömmlichen Schweißverfahren darstellen. Aus diesem Grund wurde im Anschluss an die Schweißuntersuchungen die Wirtschaftlichkeit des Wechseldehnungsschweißens analysiert. Dazu wurde das neu entwickelte Verfahren mit den etablierten Schweißverfahren für dreidimensionale Nahtgeometrien hinsichtlich der fixen Kosten (Anschaffungskosten, Raumkosten, usw.), der variablen Kosten (Energiekosten) sowie der verfahrensspezifischen Zykluszeiten verglichen [4–6]. Dadurch konnten sowohl die individuellen Maschinenstundensätze als auch die Anzahl an

materials with comparatively viscous melts at a joining angle of 45° (for PP and PC-ABS: $f_s > 0.7$). On the other hand, it was possible to establish substantially lower strengths for the lower-viscosity polyamide. This connection permits the conclusion that the liquid material was increasingly pressed out of the joining zone by the applied joining pressure and the alternating vibration movement. These problems were also shown in the case of the welds on test specimens at a joining angle of 60°. There, merely low weld strengths could be determined at first. The microscopic analysis of the welds from the angled regions showed the reason for this. On the one hand, the welds on the investigated materials exhibited distinct imperfections. On the other hand, it was possible to identify two different bead regions in each case (Fig. 6, left side). This observation permits the conclusion that, before the alternating strain phase (i.e. the vibration movement), a large proportion of the initially produced melt was pressed into the bead in spite of low joining pressures. In the actual vibration process, merely a small proportion of the melt remains in the joining zone and is ultimately subjected to loading by the vibration movement. Then, the material remaining in the joining zone is primarily foamed. The low weld strengths result from this foamed structure.

With the objective of achieving higher weld strengths at greater joining angles for all the materials, precise-

ly that melt layer was increased by adapting the IR radiator parameters (radiation exposure time and power) after the investigations with low initial melt layer thicknesses. Due to the greater initial melt layer, a larger proportion of the plastified material should remain in the joining zone after the application of the joining pressure and should not be forced into the bead. The change in the parameters proved to be successful since it was possible to determine higher weld strengths for the joining angle of 45° with all the investigated materials. The welds now exhibited welding factors of $f_s > 0.5$. This process optimisation also permitted the successful welding of PP test specimens at a joining angle of 60° ($f_s = 0.7$). On the right side of Fig. 6, the resulting PP weld is portrayed as an example. As can be recognised, it is once again possible to identify two different bead regions but the imperfections can be found in a substantially minimised form. The reason for this was the larger melt quantity in the joining zone into which energy could be introduced. In the case of low-viscosity materials and great joining angles, it was not possible to establish the strength-increasing effect of a greater initial melt layer. Large proportions of the comparatively liquid melt continue to be forced out of the joining zone and the formation of imperfections is favoured. Fig. 7 shows the maximum determined weld strengths in the plane (0°) and in the angled regions with increased

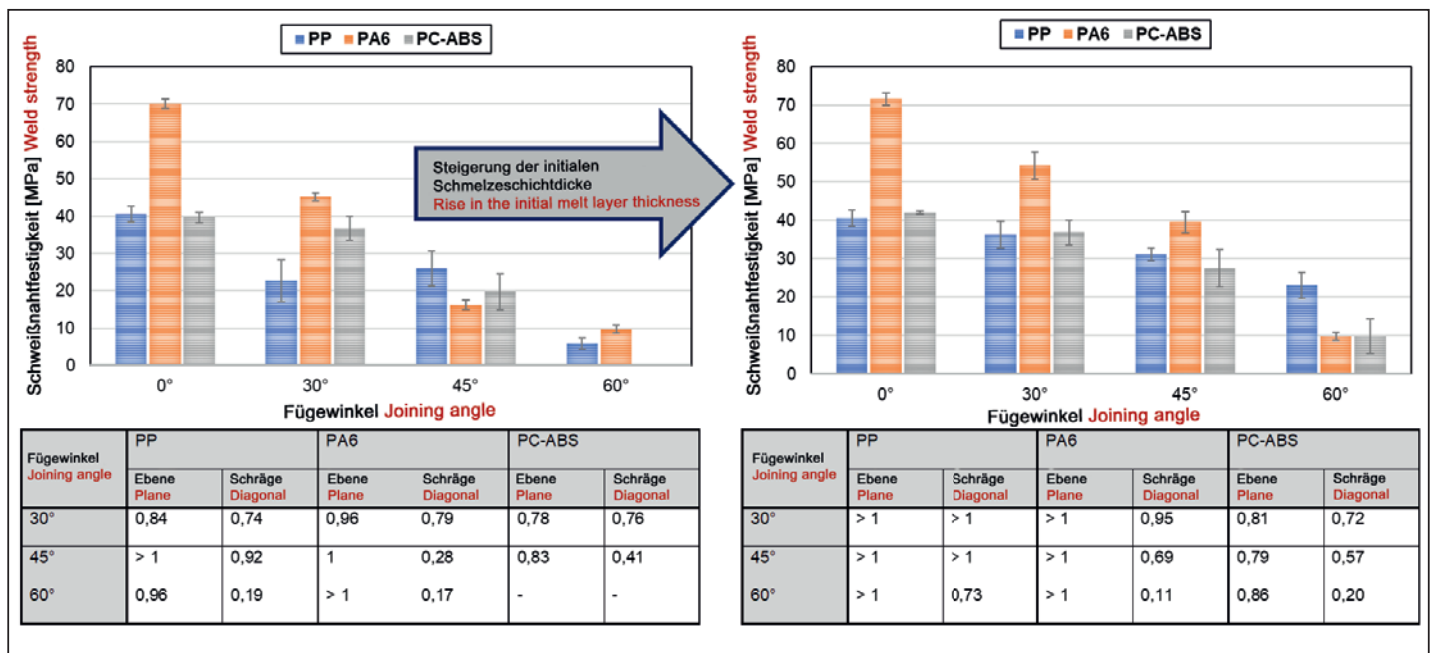


Bild 7: Maximale Kurzzeitzugfestigkeiten der Schweißnähte aus den ebenen und den angewinkelten Bereichen bei variierender initialer Schmelzeschicht (links: geringe initiale Schmelzeschicht; rechts: erhöhte initiale Schmelzeschicht)

Fig. 7: Maximum short-time tensile strengths of the welds from the plane and angled regions with varying initial melt layers (left: thin initial melt layer; right: increased initial melt layer)

Schweißungen berechnet werden, die mit dem jeweiligen Schweißverfahren im Betrachtungszeitraum (ein Geschäftsjahr, in dem die Maschine kontinuierlich im Mehrschichtbetrieb läuft) durchführbar sind. Auf Basis dieser Kalkulationen wurden maschinenspezifische Stückkosten ermittelt, die ebenfalls in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einfließen.

Wie Friedrich zeigte, stellte sich das Vibrationsschweißen als kostengünstigstes Verfahren im Rahmen der vergleichenden Betrachtung zwischen dem IR-, dem Warmgasstumpf- und dem Vibrationsschweißen mit Infrarotvorwärmung heraus, begründet durch die niedrigen Investitionskosten, dem damit verbundenen niedrigen Maschinenstundensatz (8,55 €/h) und die kurzen Zykluszeiten (etwa 22 s) [4]. Sobald Bauteile mit komplexen, dreidimensionalen Nahtgeometrien gefertigt werden müssen, kann das herkömmliche Vibrationsschweißen jedoch aufgrund der bereits beschriebenen Restriktionen nicht mehr eingesetzt werden. Hinsichtlich der variablen Kosten und der Fixkosten kann das Wechseldehnungsschweißen mit dem Vibrationsschweißen mit Infrarotvorwärmung verglichen werden [4]. Folglich ergibt sich für das Wechseldehnungsschweißen

ein zum Vibrationsschweißen mit IR-Vorwärmung analoger Maschinenstundensatz von 14,93 €/h. Bei den durchgeführten Schweißuntersuchungen wurden Zykluszeiten von 38 s erreicht. Das bedeutet, dass das Wechseldehnungsschweißen bei den betrachteten Gegebenheiten (Probekörpergeometrien, Schweißmaschinen, usw.) hinsichtlich der Zykluszeit Vorteile gegenüber dem IR- (etwa 52 s), Heizelement- (45 s) oder Warmgasstumpfschweißen (45 s) aufweist. Mit dem Laserstrahlschweißen können zwar Schweißungen in kürzerer Zeit realisiert werden, jedoch sind dort höhere Maschinenstundensätze aufgrund der deutlich teureren Maschinenteknik zu verzeichnen. Zusammenfassend bedeutet das, dass die Kosten des Wechseldehnungsschweißens mit den Kosten der alternativen Schweißverfahren, mit denen dreidimensionale Nahtgeometrien gefertigt werden können, vergleichbar sind. Demzufolge kann der Einsatz des Wechseldehnungsschweißens bei bestimmten Anwendungen wirtschaftlich sinnvoll sein.

7. Ergebnisse

Die dargestellten Untersuchungen zeigen, dass Kunststoffschmelze eine hohe Dehnfähigkeit aufweist. Diese ist jedoch abhängig von der

initial melt layer thicknesses (joining angle: 30°...60°).

6. Consideration of economic viability

As described above, alternating strain welding should constitute an alternative to the conventional welding procedures. For this reason, the economic viability of alternating strain welding was analysed after the welding investigations. For this purpose, the newly developed procedure was compared with the established welding procedures for three-dimensional weld geometries with regard to the fixed costs (procurement costs, room costs etc.), the variable costs (energy costs) as well as the procedure-specific cycle times [4-6]. Thus, it was possible to calculate not only the individual machine hour rates but also the number of welds feasible with the respective welding procedures in the period under consideration (one business year in which the machine runs continuously in multi-shift operation). Machine-specific unit costs were determined on the basis of these calculations and were also incorporated into the consideration of economic viability.

As Friedrich showed, vibration welding turned out to be the most cost-favourable procedure within the framework of the comparative

consideration between IR, hot gas butt and vibration welding with infrared heating, justified by the low investment costs, the associated low machine hour rate (€ 8.55/h) and the short cycle times (approx. 22 s) [4]. However, as soon as components with complex, three-dimensional weld geometries must be joined, conventional vibration welding can no longer be utilised because of the already described restrictions. With regard to the variable costs and the fixed costs, alternating strain welding can be compared with vibration welding with infrared preheating [4]. For alternating strain welding, this consequently results in a machine hour rate of € 14.93/h which is analogous to vibration welding with IR preheating. Cycle times of 38 s were achieved during the conducted welding investigations. This means that, with regard to the cycle times, alternating strain welding exhibits advantages over IR welding (approx. 52 s), heated tool welding (45 s) or hot gas butt welding (45 s) in the case of the considered conditions (test specimen geometries, welding machines etc.). Although welds can be executed in shorter times with laser beam welding, higher machine hour rates must be recorded there because of the substantially more expensive machine technology. In

materialspezifischen Viskosität und den im Material enthaltenen Additiven. Des Weiteren konnte die Wärmeeinbringung über Wechseldehnung durch den Vergleich von belasteten und unbelasteten Schmelzen nachgewiesen werden.

Die Voruntersuchungen ermöglichen weiterführende Schweißuntersuchungen mit dem Ziel, Bauteile mit dreidimensionalen Nahtgeometrien zu fügen. In diesem Zusammenhang konnten Bauteile mit Fügewinkeln über 30° geschweißt werden. Für niedrige Winkel ergaben sich hohe Schweißnahtfestigkeiten, für höhere Fügewinkel stellte sich jedoch ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Schweißnahtgüte und der Viskosität der Materialien heraus. Je niedriger die Viskosität und je höher der Fügewinkel, desto geringer fielen die Schweißfaktoren aus. Dies lässt sich durch den gesteigerten Quetschfluss der Schmelze in den Schweißwulst erklären und die daraus resultierenden Fehlstellen in der Schweißnaht.

Das Wechseldehnungsschweißen kann mit den herkömmlichen Verfahren zum Schweißen von dreidimensionalen Nahtkonturen verglichen werden. Der Einsatz des neu entwickelten Schweißverfahrens kann deshalb bei bestimmten Anwendungen als wirtschaftlich sinnvoll erachtet werden.

8. Schlussbemerkung

Das Wechseldehnungsschweißen weist ein hohes Potenzial auf, wenn Bauteile mit dreidimensionalen Nahtgeometrien in kurzer Zeit geschweißt werden sollen. Nach Abwägung der wirtschaftlichen und prozesstechnischen Aspekte kann der industrielle Einsatz des Verfahrens sinnvoll sein. Zur Vorbereitung des industriellen Einsatzes sind jedoch weiterführende Untersuchungen notwendig, die in einem beantragten Nachfolgeprojekt erfolgen sollen.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben Nr. 19.031 N / DVS-Nr. 11.035 der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, Aachener Str. 172, 40223 Düsseldorf, wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (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

summary, this means that the costs of alternating strain welding are comparable with the costs of the alternative welding procedures with which three-dimensional weld geometries can be joined. Hence, the utilisation of alternating strain welding may be economically sensible for certain applications.

7. Results

The portrayed investigations show that plastic melt exhibits a high extensibility. However, this is dependent on the material-specific viscosity and on the additives contained in the material. Furthermore, it was possible to prove the heat input by alternating strain by comparing melts subjected to loading and without any loading.

The preliminary investigations permitted more detailed welding investigations with the objective of joining components with three-dimensional weld geometries. In this connection, it was possible to weld components at joining angles over 30°. Small angles resulted in high weld strengths but, for greater joining angles, there turned out to be significant connections between the weld qualities and the viscosities of the materials. The lower the viscosity was and the greater the joining angle was, the lower the welding factors turned out to be. This may be explained by the increased pinch-off flow of the melt into the welding bead and the resulting imperfections in the weld.

Alternating strain welding can be compared with the conventional procedures for the welding of

three-dimensional weld contours. The utilisation of the newly developed welding procedure may therefore be regarded as economically sensible for certain applications.

8. Concluding remarks

Alternating strain welding exhibits a high potential when components with three-dimensional weld geometries are to be welded in a short time. After weighing up the economic and process technology aspects, the industrial utilisation of the procedure may be sensible. However, more detailed investigations are necessary as preparation for industrial utilisation and are to be conducted in a follow-up project for which an application has been submitted.

Acknowledgement

The IGF Project 19.031 N / DVS No. 11.035 of the research association „Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf“ was, on the basis of a resolution of the German Bundestag, promoted by the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy via AiF within the framework of the programme for the promotion of joint industrial research.

Supported by:



on the basis of a decision
by the German Bundestag

Literatur References

- [1] Gehde, M. und Friedrich, S: Zum Einfluss der Schwingrichtung beim linearen Vibrationsschweißen. *Joining Plastics – Fügen von Kunststoffen* 9 (2015), Nr. 2, S. 99/105.
- [2] DVS-Richtlinie 2217: Vibrationsschweißen von Formteilen und Halbzügen aus thermoplastischen Kunststoffen in der Serienfertigung. *Taschenbuch DVS-Merkblätter und -Richtlinien – Fügen von Kunststoffen* (2020), S. 870/97.
- [3] Bates, P. J., Dai, X. Y., und Wu, C-Y: Vibration Welding Non-Planar Surfaces. *ANTEC* (2005), S. 2487/91.
- [4] Friedrich, S: Schweißen von Kunststoffen in der Großserienfertigung – Einfluss der Anforderungen an die technische Sauberkeit. *Technomer* (2019).
- [5] Lakemeyer, P: Entwicklung und Analyse neuartiger Verfahrensvarianten zum quasisimultanen Laserdurchstrahlschweißen unter der Berücksichtigung der Temperaturentwicklung. *Dissertation, Universität Paderborn*, 2018.
- [6] Endemann, U., und Mochev, S: Mehr als nur heiße Luft. *Kunststoffe* (2016), Nr. 2, S. 76/9.

JOINING PLASTICS

FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN

Herausgeber:

DVS – Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V.

Verlag:

DVS Media GmbH, Postfach 101965, 40010 Düsseldorf, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf, Telefon: (0211) 1591-0, Telefax: -150, E-Mail: media@dvs-media.info, Internet: www.dvs-media.eu, Geschäftsführung: Dirk Sieben.

Redaktion:

Dipl.-Ing. Dietmar Rippegather (Leitung/verantwortlich), Telefon: (0211) 1591-276, Telefax: -350, dietmar.ripegather@dvs-media.info.de; Nicole Stramka M. A., Telefon: -289, Telefax: -350, nicole.stramka@dvs-media.info.

Redaktionsbeirat:

Dr. rer. nat. Benjamin Baudrit, Dr.-Ing. Tobias Beiß, Prof. Dr.-Ing. Dietmar Drummer, Dipl.-Ing. Thomas Frank, Dr.-Ing. Sven Friedrich, Prof. Dr.-Ing. Michael Gehde, Dr.-Ing. Odo Karger, Dipl.-Ing. Axel Janssen, Dr. Joachim Natrop, Dr.-Ing. Matthias Pöge, Prof. Dr. Ulrich Andreas Russek, B. Eng. Wirtschaftsingenieur Sebastian Schlegel, Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner, Dr. Mike Troughton, Dr.-Ing. Marco Wacker, Dipl.-Ing. Leo Wolters.

Anzeigen:

Markus Winterhalter (Leitung), Telefon: (0211) 1591-142, markus.winterhalter@dvs-media.info; Britta Wingartz, Telefon: -155, britta.wingartz@dvs-media.info. Gültig ist zurzeit die Preisliste Nr. 14 vom 1. Januar 2020.

Übersetzungen:

Ian Widdows.

Vertrieb:

DVS Media GmbH, Leserservice, Telefon: (06123) 92 38-145, Telefax: -244, E-Mail: dvsmedia@vuserice.de.

Bezugsbedingungen:

„JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN“ erscheint vierteljährlich im Jahr. Sie erhalten „JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN“ im Rahmen der Mitgliedschaft im DVS zu ermäßigten Bezugsbedingungen. Im Abonnement können Sie „JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN“ durch den Buchhandel oder direkt beim Verlag beziehen. Einzelheft: 20,00 € (zuzüglich Versandkosten), jährliche Bezugskosten Print und Online: 72,00 €, zuzüglich Versandkosten (Inland: 10,00 €, Ausland: 15,00 €, Luftpost auf Anfrage).

Druck:

D+L Printpartner, Bocholt.

Urheber- und Verlagsrecht:

Die Zeitschrift „JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN“ sowie alle in dieser Zeitschrift enthaltenen Beiträge, Bilder und Tabellen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung ohne Einwilligung der DVS Media GmbH strafbar. Mit Annahme des Manuskripts gehen das Recht zur Veröffentlichung sowie die Rechte zur Übersetzung, zur Vergabe von Nachdruckrechten, zur elektronischen Speicherung in Datenbanken, zur Herstellung von Sonderdrucken und Fotokopien an den Verlag über.

ISSN 1864-3450

Publisher:

DVS – Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V.

Publishing house:

DVS Media GmbH, P.O. Box 101965, 40010 Düsseldorf, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf, Germany, telephone: +49 (0)211 1591-0, fax: -150, e-mail: media@dvs-media.info, Internet: www.dvs-media.eu, management: Dirk Sieben.

Editorial Department:

Dipl.-Ing. Dietmar Rippegather (manager/responsible for production), telephone: +49 (0)211 1591-276, fax: -350, dietmar.ripegather@dvs-media.info; Nicole Stramka M. A., telephone: -289, fax: -350, nicole.stramka@dvs-media.info.

Editorial advisory board:

Dr. rer. nat. Benjamin Baudrit, Dr.-Ing. Tobias Beiß, Prof. Dr.-Ing. Dietmar Drummer, Dipl.-Ing. Thomas Frank, Dr.-Ing. Sven Friedrich, Prof. Dr.-Ing. Michael Gehde, Dr.-Ing. Odo Karger, Dipl.-Ing. Axel Janssen, Dr. Joachim Natrop, Dr.-Ing. Matthias Pöge, Prof. Dr. Ulrich Andreas Russek, B. Eng. Wirtschaftsingenieur Sebastian Schlegel, Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner, Dr. Mike Troughton, Dr.-Ing. Marco Wacker, Dipl.-Ing. Leo Wolters.

Advertising:

Markus Winterhalter (manager), telephone: +49 (0)211 1591-142, markus.winterhalter@dvs-media.info; Britta Wingartz, telephone: -155, britta.wingartz@dvs-media.info. Price list no. 14, dated January 1, 2020 is valid at present.

Translations:

Ian Widdows.

Distribution:

DVS Media GmbH, Leserservice, Telefon: +49 (0)6123 92 38-145, fax: -244, e-mail: dvsmedia@vuserice.de.

Purchase conditions:

„JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN“ will be published every three months. As a member of DVS, you will receive „JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN“ with discounted purchase conditions. You as a subscriber will be able to purchase „JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN“ via the book trade or directly from the publishing house. Single issue: € 20.00 (plus shipping costs), annual purchase costs print and online: € 72.00 plus shipping costs (Germany: € 10.00, abroad: € 15.00, air mail upon request).

Printing:

D+L Printpartner, Bocholt, Germany.

Copyright and publishing law:

The journal „JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN“ as well as all the articles, figures and tables included in this journal are protected by copyright. With the exception of the cases authorised by law, any utilisation without the consent of DVS Media GmbH will be liable to prosecution. When the manuscript is accepted, the right of publication and the rights to the translation, to the granting of reprinting rights, to the electronic storage in databases and to the manufacture of offprints and photocopies are transferred to the publishing house.

ISSN 1864-3450

Veröffentlichung in / **Publication in:**

FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN – JOINING PLASTICS

1.1	Hersteller von Schweißmaschinen für die Serienfertigung Manufacturers of welding machines for the serial production
1.2	Hersteller von Schweißmaschinen für den Apparate-, Behälter- und Rohrleitungsbau Manufacturers of welding machines for the apparatus engineering, tank-, and pipelineconstruction
2	Hersteller von Halbzeugen Manufacturers of semi-finished products
3	Rohstoffe und Hilfsstoffe Raw and auxiliary materials
4	Messen und Prüfen Measuring and testing
5	Mechanisches Fügen von Kunststoffen Mechanical joining of plastics
6	Kleben von Kunststoffen Adhesive bonding of plastics
7	Ausbildung, Weiterbildung und Prüfung Education, further training and examination
8	Dienstleistungen/Ingenieurbüros Services/Engineering consultants
9	Messen, Tagungen und Veranstaltungen Trade fairs, conferences and events
10	Produkte aus Kunststoff Products of plastics

© DVS Media GmbH

Ansprechpartner / **Contact person:** Vanessa Wollstein
Aachener Straße 172 Tel.: +49 211 1591-152
40223 Düsseldorf Fax: +49 211 1591-150
E-Mail: vanessa.wollstein@dvs-media.info

1.1 Hersteller von Schweißmaschinen für die Serienfertigung Manufacturers of welding machines for serial production

▼ Laserstrahlsschweißen Laser welding

01040



CEMAS Germany GmbH
Rüttelweg 4, 63843 Niedernberg
☎ +49 (0)6028/80778-100 ☎ +49 (0)6028/80778-200
E-Mail: info@cemas-germany.com
Internet: www.cemas-germany.com



JENOPTIK Automatisierungstechnik GmbH
Konrad-Zuse-Straße 6, D-07745 Jena
☎ +49 (0)3641/65-2570 ☎ +49 (0)3641/65-2571
E-Mail: automation.marketing@jenoptik.com
Internet: www.automation-jenoptik.com



LPKF Welding Equipment GmbH
Alfred-Nobel-Straße 55-57, D-90765 Fürth
☎ +49 (0)911/669859-0 ☎ +49 (0)911/669859-77
E-Mail: info.laserwelding@lpkf.com
Internet: www.lpkf-laserwelding.de

▼ Reibschweißen Friction welding

01060



BRANSON ULTRASCHALL
Niederlassung der EMERSON Technologies
GmbH & Co. OHG
Waldstraße 53-55, D-63128 Dietzenbach
☎ +49 (0)6074/497-0 ☎ +49 (0)6074/497-199
E-Mail: info@branson.de
Internet: www.bransoneurope.de



CEMAS Germany GmbH
Rüttelweg 4, 63843 Niedernberg
☎ +49 (0)6028/80778-100 ☎ +49 (0)6028/80778-200
E-Mail: info@cemas-germany.com
Internet: www.cemas-germany.com

▼ Ultraschallschweißen Ultrasonic welding

01080



BRANSON ULTRASCHALL
Niederlassung der EMERSON Technologies
GmbH & Co. OHG
Waldstraße 53-55, D-63128 Dietzenbach
☎ +49 (0)6074/497-0 ☎ +49 (0)6074/497-199
E-Mail: info@branson.de
Internet: www.bransoneurope.de



CEMAS Germany GmbH
Rüttelweg 4, 63843 Niedernberg
☎ +49 (0)6028/80778-100 ☎ +49 (0)6028/80778-200
E-Mail: info@cemas-germany.com
Internet: www.cemas-germany.com



Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG
Decostraße 3-9, D-76307 Karlsbad
☎ +49 (0)7248/79-0 ☎ +49 (0)7248/79-39
E-Mail: info@herrmannultraschall.com
Internet: www.herrmannultraschall.com



INGENIA GmbH
Hauptstraße 72, D-56858 Altlay
☎ +49 (0)6543 5049-0 ☎ +49 (0)6543 5049-0
E-Mail: info@ingenia-gmbh.de
Internet: www.ingenia-gmbh.de



KLN Ultraschall AG
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277
E-Mail: info@kln.de
Internet: www.kln.de



RINCO ULTRASONICS AG
Industriestraße 4, CH-8590 Romanshorn
☎ +41 (0)714664100 ☎ +41 (0)714664101
E-Mail: info@rincoultrasonics.com
Internet: www.rincoultrasonics.com



SONOTRONIC Nagel GmbH
Becker-Göring-Straße 17-25, D-76307 Karlsbad
☎ +49 (0)7248 9166-0 ☎ +49 (0)7248 9166-157
E-Mail: info@sonotronic.de
Internet: www.sonotronic.de



TELSONIC AG
Industriestraße 6b, CH-9552 Bronschhofen
☎ +41 (0)7191 398-88 ☎ +41 (0)7191 398-77
E-Mail: main@ch.telsonic.com
Internet: www.telsonic.com

▼ Ultraschall-Fügesysteme Ultrasonic bonding systems

01085



CEMAS Germany GmbH
Rüttelweg 4, 63843 Niedernberg
☎ +49 (0)6028/80778-100 ☎ +49 (0)6028/80778-200
E-Mail: info@cemas-germany.com
Internet: www.cemas-germany.com



Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG
Decostraße 3-9, D-76307 Karlsbad
☎ +49 (0)7248/79-0 ☎ +49 (0)7248/79-39
E-Mail: info@herrmannultraschall.com
Internet: www.herrmannultraschall.com



KLN Ultraschall AG
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277
E-Mail: info@kln.de
Internet: www.kln.de

▼ Ultraschall-Siegelsysteme Ultrasonic sealing systems

01090



CEMAS Germany GmbH
Rüttelweg 4, 63843 Niedernberg
☎ +49 (0)6028/80778-100 ☎ +49 (0)6028/80778-200
E-Mail: info@cemas-germany.com
Internet: www.cemas-germany.com



Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG
Decostraße 3-9, D-76307 Karlsbad
☎ +49 (0)7248/79-0 ☎ +49 (0)7248/79-39
E-Mail: info@herrmannultraschall.com
Internet: www.herrmannultraschall.com



KLN Ultraschall AG
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277
E-Mail: info@kln.de
Internet: www.kln.de



SONOTRONIC Nagel GmbH
Becker-Göring-Straße 17-25, D-76307 Karlsbad
☎ +49 (0)7248 9166-0 ☎ +49 (0)7248 9166-157
E-Mail: info@sonotronic.de
Internet: www.sonotronic.de

▼ Vibrationsschweißen
Vibration welding

01100

BRANSON

BRANSON ULTRASCHALL
Niederlassung der EMERSON Technologies
GmbH & Co. OHG
Waldstraße 53-55, D-63128 Dietzenbach
☎ +49 (0)6074/497-0 ☎ +49 (0)6074/497-199
E-Mail: info@branson.de
Internet: www.bransoneurope.de



CEMAS Germany GmbH
Rüttelweg 4, 63843 Niedernberg
☎ +49 (0)6028/80778-100 ☎ +49 (0)6028/80778-200
E-Mail: info@cemas-germany.com
Internet: www.cemas-germany.com



KLN Ultraschall AG
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277
E-Mail: info@kln.de
Internet: www.kln.de

▼ Infrarotschweißen
Infrared welding

01110



AGRU Kunststofftechnik GmbH
Ing. Pesendorfer-Straße 31, A-4540 Bad Hall
☎ +43 7258 790
E-Mail: sales@agru.at
Internet: www.agru.at/de

BRANSON

BRANSON ULTRASCHALL
Niederlassung der EMERSON Technologies
GmbH & Co. OHG
Waldstraße 53-55, D-63128 Dietzenbach
☎ +49 (0)6074/497-0 ☎ +49 (0)6074/497-199
E-Mail: info@branson.de
Internet: www.bransoneurope.de



CEMAS Germany GmbH
Rüttelweg 4, 63843 Niedernberg
☎ +49 (0)6028/80778-100 ☎ +49 (0)6028/80778-200
E-Mail: info@cemas-germany.com
Internet: www.cemas-germany.com



KLN Ultraschall AG
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277
E-Mail: info@kln.de
Internet: www.kln.de



Eugen Riexinger GmbH & Co. KG
Egartenring 2, 75378 Bad Liebenzell
☎ +49 (0)7052-93090-0 ☎ +49 (0)7052-93090-33
E-Mail: info@riex.de
Internet: www.riex.de

▼ Heizelementschweißen
Heated tool welding

01140



AGRU Kunststofftechnik GmbH
Ing. Pesendorfer-Straße 31, A-4540 Bad Hall
☎ +43 7258 790
E-Mail: sales@agru.at
Internet: www.agru.at/de

BRANSON

BRANSON ULTRASCHALL
Niederlassung der EMERSON Technologies
GmbH & Co. OHG
Waldstraße 53-55, D-63128 Dietzenbach
☎ +49 (0)6074/497-0 ☎ +49 (0)6074/497-199
E-Mail: info@branson.de
Internet: www.bransoneurope.de



CEMAS Germany GmbH
Rüttelweg 4, 63843 Niedernberg
☎ +49 (0)6028/80778-100 ☎ +49 (0)6028/80778-200
E-Mail: info@cemas-germany.com
Internet: www.cemas-germany.com



FRANK GmbH
Starkenburgerstraße 1, D-64546 Mörfelden-Walldorf
☎ +49 (0)6105/4085-0 ☎ +49 (0)6105/4085-249
E-Mail: info@frank-gmbh.de
Internet: www.frank-gmbh.de



INGENIA GmbH
Hauptstraße 72, D-56858 Alttay
☎ +49 (0)6543 5049-0 ☎ +49 (0)6543 5049-0
E-Mail: info@ingenia-gmbh.de
Internet: www.ingenia-gmbh.de



KLN Ultraschall AG
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277
E-Mail: info@kln.de
Internet: www.kln.de



Leister Technologies Deutschland GmbH
Rohrstr. 16, D-58093 Hagen
☎ +49 2331 9594 0
E-Mail: info.de@leister.com
Internet: www.leister.de



Eugen Riexinger GmbH & Co. KG
Egartenring 2, 75378 Bad Liebenzell
☎ +49 (0)7052-93090-0 ☎ +49 (0)7052-93090-33
E-Mail: info@riex.de
Internet: www.riex.de



SONOTRONIC Nagel GmbH
Becker-Göring-Straße 17-25, D-76307 Karlsbad
☎ +49 (0)7248 9166-0 ☎ +49 (0)7248 9166-157
E-Mail: info@sonotronic.de
Internet: www.sonotronic.de



Wegener International GmbH
Ernst-Abbe-Straße 30, D-52249 Eschweiler
☎ +49 (0)2403/70484-0 ☎ +49 (0)2403/70484-99
E-Mail: info@wegenerwelding.de
Internet: www.wegenerwelding.de

▼ Rotationsschweißen
Rotation welding

01160



KLN Ultraschall AG
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277
E-Mail: info@kln.de
Internet: www.kln.de

▼ Plattenschweißen
Sheet welding

01180



HERZ GmbH Kunststoff- & Wärmetechnologie
Biberweg 12, D-56566 Neuwied
☎ +49 (0)2622/81086 ☎ +49 (0)2622/81080
E-Mail: info@herz-gmbh.com
Internet: www.herz-gmbh.com



Wegener International GmbH
Ernst-Abbe-Straße 30, D-52249 Eschweiler
☎ +49 (0)2403/70484-0 ☎ +49 (0)2403/70484-99
E-Mail: info@wegenerwelding.de
Internet: www.wegenerwelding.de

▼ Warmverstemmen
Hot riveting 01190



KLN Ultraschall
A Crest Group Company
KLN Ultraschall AG
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277
E-Mail: info@kln.de
Internet: www.kln.de

▼ Heiß-Luft-Vernieten
Hot Air Staking 01195



KLN Ultraschall
A Crest Group Company
KLN Ultraschall AG
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277
E-Mail: info@kln.de
Internet: www.kln.de



Leister Technologies Deutschland GmbH
Rohrstr. 16, D-58093 Hagen
☎ +49 2331 9594 0
E-Mail: info.de@leister.com
Internet: www.leister.de

1.2 Hersteller von Schweißmaschinen für den Apparate-, Behälter- und Rohrleitungsbau
Manufacturers of welding machines for the apparatus engineering, tank- and pipeline construction

▼ Extrusionsschweißen
Extrusion welding 01220



FRANK GmbH
Starkenburgerstraße 1, D-64546 Mörfelden-Walldorf
☎ +49 (0)6105/4085-0 ☎ +49 (0)6105/4085-249
E-Mail: info@frank-gmbh.de
Internet: www.frank-gmbh.de



HERZ GmbH Kunststoff- & Wärmetechnologie
Biberweg 12, D-56566 Neuwied
☎ +49 (0)2622/81086 ☎ +49 (0)2622/81080
E-Mail: info@herz-gmbh.com
Internet: www.herz-gmbh.com



Leister Technologies Deutschland GmbH
Rohrstr. 16, D-58093 Hagen
☎ +49 2331 9594 0
E-Mail: info.de@leister.com
Internet: www.leister.de



Munsch Kunststoff-Schweißtechnik GmbH
Im Staudchen, D-56235 Ransbach-Baumbach
☎ +49 (0)2623/898-80 ☎ +49 (0)2623/898-85
E-Mail: info@munsch.de
Internet: www.munschwelding.com



Wegener International GmbH
Ernst-Abbe-Straße 30, D-52249 Eschweiler
☎ +49 (0)2403/70484-0 ☎ +49 (0)2403/70484-99
E-Mail: info@wegenerwelding.de
Internet: www.wegenerwelding.de

▼ Heizelementschweißen
Heated tool welding 01240



FORSTHOFF GmbH
Freiheitstr. 24, 42719 Solingen
☎ +49 212 336052 ☎ +49 212 336916
E-Mail: info@forsthoffwelding.com
Internet: www.forsthoffwelding.com



HERZ GmbH Kunststoff- & Wärmetechnologie
Biberweg 12, D-56566 Neuwied
☎ +49 (0)2622/81086 ☎ +49 (0)2622/81080
E-Mail: info@herz-gmbh.com
Internet: www.herz-gmbh.com



Eugen Riexinger GmbH & Co. KG
Egartenring 2, 75378 Bad Liebenzell
☎ +49 (0)7052-93090-0 ☎ +49 (0)7052-93090-33
E-Mail: info@riex.de
Internet: www.riex.de



Wegener International GmbH
Ernst-Abbe-Straße 30, D-52249 Eschweiler
☎ +49 (0)2403/70484-0 ☎ +49 (0)2403/70484-99
E-Mail: info@wegenerwelding.de
Internet: www.wegenerwelding.de

▼ Warmgasschweißen
Hot gas welding 01280



FORSTHOFF GmbH
Freiheitstr. 24, 42719 Solingen
☎ +49 212 336052 ☎ +49 212 336916
E-Mail: info@forsthoffwelding.com
Internet: www.forsthoffwelding.com



FRANK GmbH
Starkenburgerstraße 1, D-64546 Mörfelden-Walldorf
☎ +49 (0)6105/4085-0 ☎ +49 (0)6105/4085-249
E-Mail: info@frank-gmbh.de
Internet: www.frank-gmbh.de



HERZ GmbH Kunststoff- & Wärmetechnologie
Biberweg 12, D-56566 Neuwied
☎ +49 (0)2622/81086 ☎ +49 (0)2622/81080
E-Mail: info@herz-gmbh.com
Internet: www.herz-gmbh.com



Leister Technologies Deutschland GmbH
Rohrstr. 16, D-58093 Hagen
☎ +49 2331 9594 0
E-Mail: info.de@leister.com
Internet: www.leister.de



Wegener International GmbH
Ernst-Abbe-Straße 30, D-52249 Eschweiler
☎ +49 (0)2403/70484-0 ☎ +49 (0)2403/70484-99
E-Mail: info@wegenerwelding.de
Internet: www.wegenerwelding.de

▼ Sondermaschinenbau
Special purpose machinery manufacture 01310



INGENIA GmbH
Hauptstraße 72, D-56858 Altlay
☎ +49 (0)6543 5049-0 ☎ +49 (0)6543 5049-0
E-Mail: info@ingenia-gmbh.de
Internet: www.ingenia-gmbh.de



Eugen Riexinger GmbH & Co. KG
Egartenring 2, 75378 Bad Liebenzell
☎ +49 (0)7052-93090-0 ☎ +49 (0)7052-93090-33
E-Mail: info@riex.de
Internet: www.riex.de



Wegener International GmbH
Ernst-Abbe-Straße 30, D-52249 Eschweiler
☎ +49 (0)2403/70484-0 ☎ +49 (0)2403/70484-99
E-Mail: info@wegenerwelding.de
Internet: www.wegenerwelding.de

▼ Heizelementstumpfschweißmaschinen
Hot plate butt welding machines 01320



AGRU Kunststofftechnik GmbH
Ing. Pesendorfer-Straße 31, A-4540 Bad Hall
☎ +43 7258 790
E-Mail: sales@agru.at
Internet: www.agru.at/de



INGENIA GmbH
Hauptstraße 72, D-56858 Altlay
☎ +49 (0)6543 5049-0 ☎ +49 (0)6543 5049-0
E-Mail: info@ingenia-gmbh.de
Internet: www.ingenia-gmbh.de



Wegener International GmbH
Ernst-Abbe-Straße 30, D-52249 Eschweiler
☎ +49 (0)2403/70484-0 ☎ +49 (0)2403/70484-99
E-Mail: info@wegenerwelding.de
Internet: www.wegenerwelding.de

2 Hersteller von Halbzeugen
Manufacturers of semi-finished products

▼ Platten aus thermoplastischen Kunststoffen
Sheet made of thermoplastics

02010



AGRU Kunststofftechnik GmbH
Ing. Pesendorfer-Straße 31, A-4540 Bad Hall
☎ +43 7258 790
E-Mail: sales@agru.at
Internet: www.agru.at/de



Röchling Engineering Plastics
SE & Co. KG
Röchlingstraße 1, D-49733 Haren
☎ +49 (0)5934 701-0 ☎ +49 (0)5934/701-299
E-Mail: info@roechling-plastics.com
Internet: www.roechling.com



SIMONA AG
Teichweg 16, D-55606 Kirm
☎ +49 (0)6752/14-0 ☎ +49 (0)6752/14-211
E-Mail: mail@simona.de
Internet: www.simona.de

▼ Rundstäbe aus thermoplastischen Kunststoffen
Rod made of thermoplastics

02020



AGRU Kunststofftechnik GmbH
Ing. Pesendorfer-Straße 31, A-4540 Bad Hall
☎ +43 7258 790
E-Mail: sales@agru.at
Internet: www.agru.at/de



Röchling Engineering Plastics
SE & Co. KG
Röchlingstraße 1, D-49733 Haren
☎ +49 (0)5934 701-0 ☎ +49 (0)5934/701-299
E-Mail: info@roechling-plastics.com
Internet: www.roechling.com



SIMONA AG
Teichweg 16, D-55606 Kirm
☎ +49 (0)6752/14-0 ☎ +49 (0)6752/14-211
E-Mail: mail@simona.de
Internet: www.simona.de

▼ Profile (U-Profil, Hohlprofile) aus thermoplastischen
Kunststoffen
Profiles (U-profiles, square tubes) made of thermoplastics

02030



Röchling Engineering Plastics
SE & Co. KG
Röchlingstraße 1, D-49733 Haren
☎ +49 (0)5934 701-0 ☎ +49 (0)5934/701-299
E-Mail: info@roechling-plastics.com
Internet: www.roechling.com



SIMONA AG
Teichweg 16, D-55606 Kirm
☎ +49 (0)6752/14-0 ☎ +49 (0)6752/14-211
E-Mail: mail@simona.de
Internet: www.simona.de

▼ Schweißdraht aus thermoplastischen Kunststoffen
Welding rod made of thermoplastics

02040



AGRU Kunststofftechnik GmbH
Ing. Pesendorfer-Straße 31, A-4540 Bad Hall
☎ +43 7258 790
E-Mail: sales@agru.at
Internet: www.agru.at/de



Röchling Engineering Plastics
SE & Co. KG
Röchlingstraße 1, D-49733 Haren
☎ +49 (0)5934 701-0 ☎ +49 (0)5934/701-299
E-Mail: info@roechling-plastics.com
Internet: www.roechling.com



SIMONA AG
Teichweg 16, D-55606 Kirm
☎ +49 (0)6752/14-0 ☎ +49 (0)6752/14-211
E-Mail: mail@simona.de
Internet: www.simona.de

▼ Rohre und Formteile
Pipes and Fittings

02050



AGRU Kunststofftechnik GmbH
Ing. Pesendorfer-Straße 31, A-4540 Bad Hall
☎ +43 7258 790
E-Mail: sales@agru.at
Internet: www.agru.at/de



SIMONA AG
Teichweg 16, D-55606 Kirm
☎ +49 (0)6752/14-0 ☎ +49 (0)6752/14-211
E-Mail: mail@simona.de
Internet: www.simona.de

▼ Fertigteile
Finished Components

02060



Röchling Engineering Plastics
SE & Co. KG
Röchlingstraße 1, D-49733 Haren
☎ +49 (0)5934 701-0 ☎ +49 (0)5934/701-299
E-Mail: info@roechling-plastics.com
Internet: www.roechling.com



SIMONA AG
Teichweg 16, D-55606 Kirm
☎ +49 (0)6752/14-0 ☎ +49 (0)6752/14-211
E-Mail: mail@simona.de
Internet: www.simona.de

4 Messen und Prüfen
Measuring and testing

▼ Funkenprüfgeräte
Sparktester

04010



Wegener International GmbH
Ernst-Abbe-Straße 30, D-52249 Eschweiler
☎ +49 (0)2403/70484-0 ☎ +49 (0)2403/70484-99
E-Mail: info@wegenerwelding.de
Internet: www.wegenerwelding.de

5 Mechanisches Fügen von Kunststoffen
Mechanical joining of plastic

▼ Kunststoff-Nietanlagen
Plastic joining by hot forming

05010



Leister Technologies Deutschland GmbH
Rohrstr. 16, D-58093 Hagen
☎ +49 2331 9594 0
E-Mail: Info.de@leister.com
Internet: www.leister.de

6 Kleben von Kunststoffen
Adhesive bonding of plastics

▼ MMA Methacrylat-Klebstoffe
MMA methyl methacrylate adhesives

06020



WEICON GmbH & Co. KG
Königsberger Straße 255, D-48157 Münster
☎ +49 (0)251/9322-0 ☎ +49 (0)251/9322-244
E-Mail: info@weicon.de
Internet: www.weicon.com

7 Ausbildung, Weiterbildung und Prüfung
Education, further training and examination

▼ Ausbildung, Weiterbildung, Prüfung
Education, further training, examination 07020

SKZ
Das Kunststoff-Zentrum
SKZ - KFE gGmbH
Praxislehrgänge
Frankfurter Straße 15-17, D-97082 Würzburg
☎ +49 (0)931/4104-184 ☎ +49 (0)931/4104-277
E-Mail: training@skz.de
Internet: www.skz.de

GSI SLV
Nord
SLV Nord gGmbH
Zum Handwerkszentrum 1, D-21079 Hamburg
☎ +49 (0)40/35905-400 ☎ +49 (0)40/35905-722
E-Mail: info@slv-nord.de
Internet: www.slv-nord.de

TÜVRheinland®
Genau. Richtig.

TÜV Rheinland Industrie Service GmbH
Kunststoff Kompetenzzentrum Mendig
Am Flugplatz 17, 56743 Mendig
☎ +49 2652 9343-725
E-Mail: kunststofftechnik@de.tuv.com
Internet: www.tuv.com

▼ Schweißfehlerbewertung nach DVS 2202
Assessment of defects in welded joints according to DVS 2202 07040

SKZ
Das Kunststoff-Zentrum
SKZ - KFE gGmbH
Praxislehrgänge
Frankfurter Straße 15-17, D-97082 Würzburg
☎ +49 (0)931/4104-184 ☎ +49 (0)931/4104-277
E-Mail: training@skz.de
Internet: www.skz.de

▼ Schweißprüfungen nach DVS 2212-1
Welding qualification test according to DVS 2212-1 07060

GSI SLV
Nord
SLV Nord gGmbH
Zum Handwerkszentrum 1, D-21079 Hamburg
☎ +49 (0)40/35905-400 ☎ +49 (0)40/35905-722
E-Mail: info@slv-nord.de
Internet: www.slv-nord.de

TÜVRheinland®
Genau. Richtig.

TÜV Rheinland Industrie Service GmbH
Kunststoff Kompetenzzentrum Mendig
Am Flugplatz 17, 56743 Mendig
☎ +49 2652 9343-725
E-Mail: kunststofftechnik@de.tuv.com
Internet: www.tuv.com

8 Dienstleistungen / Ingenieurbüros
Services / Engineering consultants

▼ Produktprüfung, Schadensanalytik
Product Testing, Damage Analysis 08010

SKZ
Das Kunststoff-Zentrum
SKZ - Testing gGmbH
Prüfung, Überwachung, Zertifizierung
Friedrich-Bergius-Ring 22, D-97076 Würzburg
☎ +49 (0)931/4104-0 ☎ +49 (0)931/4104-477
E-Mail: testing@skz.de
Internet: www.skz.de

▼ Statische Berechnung
Structural analysis 08020

Röchling

Röchling Engineering Plastics
SE & Co. KG
Röchlingstraße 1, D-49733 Haren
☎ +49 (0)5934 701-0 ☎ +49 (0)5934/701-299
E-Mail: info@roechling-plastics.com
Internet: www.roechling.com

TÜVRheinland®
Genau. Richtig.

TÜV Rheinland Industrie Service GmbH
Kunststoff Kompetenzzentrum Mendig
Am Flugplatz 17, 56743 Mendig
☎ +49 2652 9343-725
E-Mail: kunststofftechnik@de.tuv.com
Internet: www.tuv.com

Calveta Die Statik-Software für
Kunststoffbehälter

Ingenieurbüro Waltemath
Furkastraße 3A, D-12107 Berlin
☎ +49 (0)30/79700818 ☎ +49 (0)30/79700819
E-Mail: info@calveta.de
Internet: www.calveta.de

▼ Software
Software 08040

Röchling

Röchling Engineering Plastics
SE & Co. KG
Röchlingstraße 1, D-49733 Haren
☎ +49 (0)5934 701-0 ☎ +49 (0)5934/701-299
E-Mail: info@roechling-plastics.com
Internet: www.roechling.com

SIMONA

SIMONA AG
SIMONA® SmartTank entwickelt durch LU Software
Engineering GmbH, Dr.-Ing. Ingo Lukas
Teichweg 16, D-55606 Kirm
☎ +49 (0)6752/14-0 ☎ +49 (0)6752/14-211
E-Mail: mail@simona.de
Internet: www.simona.de

Calveta Die Statik-Software für
Kunststoffbehälter

Ingenieurbüro Waltemath
Furkastraße 3A, D-12107 Berlin
☎ +49 (0)30/79700818 ☎ +49 (0)30/79700819
E-Mail: info@calveta.de
Internet: www.calveta.de

▼ Engineering / Technische Beratung zu allen Verfahren und Automati-
sierungslösungen 08060
Engineering / Technical advice for processes and automation

KLN Ultraschall
A Crest Group Company

KLN Ultraschall AG
Odenwaldstrasse 8, D-64646 Heppenheim
☎ +49 (0)6252/14-0 ☎ +49 (0)6252/14-277
E-Mail: info@kln.de
Internet: www.kln.de

▼ Behälterberechnungsprogramm nach den DVS Standards
Tank calculation programme following DVS standards 08100

Röchling

Röchling Engineering Plastics
SE & Co. KG
Röchlingstraße 1, D-49733 Haren
☎ +49 (0)5934 701-0 ☎ +49 (0)5934/701-299
E-Mail: info@roechling-plastics.com
Internet: www.roechling.com

SIMONA

SIMONA AG
SIMONA® SmartTank entwickelt durch LU Software
Engineering GmbH, Dr.-Ing. Ingo Lukas
Teichweg 16, D-55606 Kirm
☎ +49 (0)6752/14-0 ☎ +49 (0)6752/14-211
E-Mail: mail@simona.de
Internet: www.simona.de

Calveta Die Statik-Software für
Kunststoffbehälter

Ingenieurbüro Waltemath
Furkastraße 3A, D-12107 Berlin
☎ +49 (0)30/79700818 ☎ +49 (0)30/79700819
E-Mail: info@calveta.de
Internet: www.calveta.de

9 Messen, Tagungen und Veranstaltungen
Trade fairs, conferences and events

▼ Seminare, Fachtagungen, Kongresse
Workshops, Symposia, Congresses 09010

SKZ
Das Kunststoff-Zentrum

SKZ - KFE gGmbH
Tagungen und Seminare
Frankfurter Straße 15-17, D-97082 Würzburg
☎ +49 (0)931/4104-164 ☎ +49 (0)931/4104-277
E-Mail: training@skz.de
Internet: www.skz.de

Firmenindex / Index to Companies

Firma / Company	Produkt / Product
AGRU Kunststofftechnik GmbH	01110, 01140, 01320, 02010, 02020, 02040, 02050
Branson Ultraschall Emerson Industrial Automation	01060, 01080, 01100, 01110, 01140
CEMAS Germany GmbH	01040, 01060, 01080, 01085, 01090, 01100, 01110, 01140
FORSTHOFF GmbH	01240, 01280
FRANK GmbH	01140, 01220, 01280
Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co KG	01080, 01085, 01090
HERZ GmbH Kunststoff- und Wärmetechnologie	01180, 01220, 01240, 01280
INGENIA GmbH	01080, 01140, 01310, 01320
JENOPTIK Automatisierungstechnik GmbH	01040
KLN Ultraschall AG	01080, 01085, 01090, 01100, 01110, 01140, 01160, 01190, 01195, 08060
Leister Technologies Deutschland GmbH	01140, 01195, 01220, 01280, 05010
LPKF WeldingEquipment GmbH	01040

Firma / Company	Produkt / Product
MUNSCH Kunststoff-Schweißtechnik GmbH	01220
Eugen Riexinger GmbH & Co. KG	01110, 01140, 01240, 01310
RINCO ULTRASONICS AG	01080
Röchling Engineering Plastics SE & Co. KG	02010, 02020, 02030, 02040, 02060, 08020, 08040, 08100
SIMONA AG	02010, 02020, 02030, 02040, 02050, 02060, 08040, 08100
SKZ - KFE gGmbH	07020, 07040, 08010, 09010
Schweißtechnische Lehr- und Versuchs- anstalt Nord gGmbH	07020, 07060
SONOTRONIC Nagel GmbH	01080, 01090, 01140
TELSONIC AG	01080
TÜV Rheinland Industrie Service GmbH	07020, 07060, 08020
Ingenieurbüro Waltemath	08020, 08040, 08100
Wegener International GmbH	01140, 01180, 01220, 01240, 01280, 01310, 01320, 04010
WEICON GmbH & Co. KG	06020

Produktliste / List of Products

1.1 Hersteller von Schweißmaschinen für die Serienfertigung / Manufacturers of welding machines for serial production

01020	Hochfrequenzschweißen / High frequency welding
01040	Laserstrahlschweißen / Laser welding
01060	Reibschweißen / Friction welding
01070	Zirkular-Reibschweißen / Circular friction welding
01080	Ultraschallschweißen / Ultrasonic welding
01081	Schulung im Bereich Schweißkonstruktion beim Ultraschallschweißen / Training in the field of weld seam design for ultrasonic welding
01085	Ultraschall-Fügesysteme / Ultrasonic bonding systems
01090	Ultraschall-Siegelsysteme / Ultrasonic sealing systems
01100	Vibrationsschweißen / Vibration welding
01110	Infrarotschweißen / Infrared welding
01120	Gas-Konvektionsschweißen / Gas-convection welding
01140	Heizelementschweißen / Heated tool welding
01150	Heizkontaktschweißen / Heat contact welding
01160	Rotationsschweißen / Rotation welding
01180	Plattenschweißen / Sheet welding
01185	Wärmeimpulsschweißen / Thermal impuls welding
01190	Warmverstemmen / Hot riveting
01195	Heiß-Luft-Vernieten / Hot Air Staking

1.2 Hersteller von Schweißmaschinen für den Apparate-, Behälter- und Rohrleitungsbau / Manufacturers of welding machines for the apparatus engineering, tank- and pipe-line construction

01220	Extrusionsschweißen / Extrusion welding
01240	Heizelementschweißen / Heated tool welding
01260	Rotationsschweißen / Rotation welding
01280	Wärmgasschweißen / Hot gas welding
01300	Heizwendelschweißen / Electro fusion welding
01310	Sondermaschinenbau / Special purpose machinery manufacture
01320	Heizelementstumpfschweißmaschinen / Hot plate butt welding machines

2 Hersteller von Halbzeugen / Manufacturers of semi-finished products

02010	Platten aus thermoplastischen Kunststoffen / Sheet made of thermoplastics
02020	Rundstäbe aus thermoplastischen Kunststoffen / Rod made of thermoplastics
02030	Profile (U-Profile, Hohlprofile) aus thermoplastischen Kunststoffen / Profiles (U-profiles, square tubes) made of thermoplastics
02040	Schweißdraht aus thermoplastischen Kunststoffen / Welding rod made of thermoplastics
02050	Rohre und Formteile / Pipes and Fittings
02060	Fertigteile / Finished Components

3 Rohstoffe und Hilfsstoffe / Raw and auxiliary materialsBezugsquellenverzeichnis Buyers guide

4 Messen und Prüfen / Measuring and testing

04010	Funkenprüfgeräte / Sparktester
04020	Ionisationsgeräte / Antistatic equipment

5 Mechanisches Fügen von Kunststoffen / Mechanical joining of plastic

05010	Kunststoff-Nietanlagen / Plastic joining by hot forming
-------	---

6 Kleben von Kunststoffen / Adhesive bonding of plastics

06010	Acrylklebesysteme / Acrylic bonding systems
06020	MMA Methamethylacrylat-Klebstoffe / MMA methyl methacrylate adhesives

7 Ausbildung, Weiterbildung und Prüfung / Education, further training and examination

07020	Ausbildung, Weiterbildung, Prüfung / Education, further training, examination
07040	Schweißfehlerbewertung nach DVS 2202 / Assessment of defects in welded joints according to DVS 2202
07060	Schweißerprüfungen nach DVS 2212-1 / Welding qualification test according to DVS 2212-1

8 Dienstleistungen / Ingenieurbüros / Services / Engineering consultants

08010	Produktprüfung, Schadensanalytik / Product Testing, Damage Analysis
08020	Statische Berechnung / Structural analysis
08040	Software / Software
08060	Engineering / Technische Beratung zu allen Verfahren und Automatisierungslösungen / Engineering / Technical advice for processes and automation
08080	Schweißen von Versuchsreihen und Vorserienmustern und Kleinserien im Lohnauftrag / Welding of test runs, pilot lots and small runs on a piece basis
08100	Behälterberechnungsprogramm nach den DVS Standards / Tank calculation programme following DVS standards

9 Messen, Tagungen und Veranstaltungen / Trade fairs, conferences and events

09010	Seminare, Fachtagungen, Kongresse / Workshops, Symposia, Congresses
-------	---

10 Produkte aus Kunststoff / Products of plastic

10010	Abluftwäscher / Exhaust air scrubber
10020	Behälter aus Kunststoff / Containers in plastic
10030	Ventilatoren aus Kunststoff / Plastic fans

Preisliste/Pricelist

PRINT + ONLINE

Auflage:	4.000 Exemplare/
Circulation:	4,000 copies
Erscheinung:	3 x jährlich/
Frequency:	3 issues per annum
Sprache:	Deutsch/Englisch/
Language:	German/English

Jetzt mit verbesserter Internetpräsenz!

Ihr kompletter Firmeneintrag inklusive Logo und Verlinkung zu Ihrer Homepage erscheint auf www.joining-plastics-bzv.de und das komplett **ohne zusätzliche Kosten**.

Die neue Online-Präsenz verdoppelt die Reichweite Ihrer Werbemaßnahmen.

Now with improved internet presence!

Your complete company entry including logo and linking to your homepage appears at www.joining-plastics-bzv.de/en and that **without any additional costs** whatever.

The new online presence doubles the range of your advertising measures.

Die Vorteile auf einen Blick/The advantages at a glance:

- Für jeden etwas dabei/Something for everyone:** Der Branchenführer ist nach 11 thematisch unterteilten Hauptgruppen mit zahlreichen relevanten Stichwörtern sortiert/Organised topically into 11 main groups with numerous relevant keywords
- Zielsicher/Directed:** Die klare Gliederung führt den Benutzer schnell und treffsicher ans Ziel/the precise classification leads the user to a result accurately
- Alles auf einen Blick/At a glance:** Jeder Eintrag umfasst die vollständige Firmenanschrift inklusive E-Mail- und Internet-Adresse/Complete listing of your entries including email and Internet address
- Länderübergreifende Kontakte/Cross-national contacts:** Die Veröffentlichung in unserer zweisprachigen Zeitschrift ermöglicht Ihnen eine Kontaktaufnahme auch über Deutschlands Grenzen hinaus/The bilingual magazine offers the opportunity to develop new international contacts
- Kosten sparen/Save costs:** Wir bieten Ihnen attraktive Staffelpreise nach Anzahl der Stichwörter/Attractive scale prices on basis of number of keywords
- Zusätzlich und kostenfrei/In addition and at no charge:** Der Eintrag im Internet unter www.joining-plastics-bzv.de und mit einer Verlinkung zu Ihrer Homepage/Your entry on the internet on www.joining-plastics-bzv.de/en with a link to your homepage
- Kostenlose Veröffentlichung Ihres Firmenlogos im Internet unter www.joining-plastics-bzv.de und in der Zeitschrift.** Senden Sie Ihr Logo (jpg-Datei) an folgende E-Mail-Adresse: vanessa.wollstein@dvs-media.info/Free Publication of your company logo on the internet on www.joining-plastics-bzv.de/en as well as in the magazine. Please send the logo (jpg-file) to: vanessa.wollstein@dvs-media.info
- Beginn der Einträge jeden Monat möglich** (Abgabe-Termin: 15. des Vormonats)/Start of entries is possible in each month (deadline: the 15th of the previous month)

Ihre Ansprechpartnerin:

Your contact person:

Vanessa Wollstein



DVS Media GmbH
Postfach 10 19 65, 40010 Düsseldorf
P: +49 211 1591-152
F: +49 211 1591-150
E-Mail: vanessa.wollstein@dvs-media.info
Internet: www.dvs-media.eu

Preise/Prices:

Anzahl der Stichwörter Number of keywords	Kosten pro Jahr/pro Stichwort in EUR* Costs per annum/per keyword in EUR*
1	75,00
2 – 5	70,00
6 – 10	65,00
ab/from 11	60,00

* Auf alle Preise wird die derzeitige MwSt. erhoben.

* The prices are subject to VAT.

Bestellformular/ Order

Ja, bitte veröffentlichen Sie den folgenden Eintrag im Bezugsquellenverzeichnis:

Yes, please publish the following entry in the buyers guide:

Firma/ Company

Straße, Hausnummer bzw. Postfach/ Street Address - P.O. Box

PLZ, Wohnort/ Postal Code, City

Telefon/ Phone

Fax

E-Mail/ email

Internet

Hauptgruppe bitte ankreuzen:/ Please mark the main group:

- ☐ 1.1 Hersteller von Schweißmaschinen für die Serienfertigung/ Manufacturers of welding machines for the serial production
- ☐ 1.2 Hersteller von Schweißmaschinen für den Apparate-, Behälter- und Rohrleitungsbau/ Manufacturers of apparatus engineering, tank- and pipeline construction
- ☐ 2 Hersteller von Halbzeugen/ Manufacturers of semi-finished products
- ☐ 3 Rohstoffe und Hilfsstoffe/ Raw and auxiliary materials
- ☐ 4 Messen und Prüfen/ Measuring and testing
- ☐ 5 Mechanisches Fügen von Kunststoffen/ Mechanical joining of plastics
- ☐ 6 Kleben von Kunststoffen/ Adhesive bonding of plastics
- ☐ 7 Ausbildung, Weiterbildung und Prüfung/ Education, further training and examination
- ☐ 8 Dienstleistungen/ Ingenieurbüros/ Engineering consultants
- ☐ 9 Messen, Tagungen und Veranstaltungen/ Trade fairs, conferences and events
- ☐ 10 Produkte aus Kunststoff/ Products of plastic

Stichwörter/ Keywords:

- | | |
|----------|----------|
| 1. _____ | 4. _____ |
| 2. _____ | 5. _____ |
| 3. _____ | 6. _____ |

Für weitere Stichwörter bitte separates Blatt verwenden/ For further keywords please use a separate sheet

Die bereits bestehende Stichwörterliste kann mit neuen - zur Hauptgruppe passenden - Stichwörtern ergänzt werden.
It's possible to add new keywords to the existing list of keywords (appropriate to the main group).

Die Einträge im Branchenführer erfolgen jeweils mit einer Laufzeit von 12 Monaten bis auf Widerruf.
Abbestellungen werden zum Ende des jeweiligen Bezugsjahres unter Einhaltung einer Frist von 6 Wochen angenommen. Stichtag ist jeweils der 15. des Monats.
The entries in the Industry Guide take place in each case with a term of 12 month until they are canceled.
Discontinuation will be accepted at the end of a subscription year considering 6 weeks notice. Deadline is the 15th of each month.

Zusätzlich und kostenfrei: Der Eintrag im Internet unter www.joining-plastics-bzv.de, mit einer Verlinkung zu Ihrer Homepage sowie die Veröffentlichung Ihres Firmenlogos.
Bitte senden Sie das Bestellformular mit Ihrem Logo (jpg-Datei) an folgende E-Mail Adresse: vanessa.wollstein@dvs-media.info.
In addition and at no charge: Your entry on the internet on www.joining-plastics-bzv.de/en with a link to your homepage and also the Publication of your company logo.
Please send the order formular with your logo (jpg-file) to: vanessa.wollstein@dvs-media.info.

Ansprechpartner/ Contact person

Bestellzeichen/ Sign

Datum/ Date

Unterschrift/ Signature

Inserentenverzeichnis JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN
Advertiser listing JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN

DVS Media GmbH	Düsseldorf/D	2. Umschlagseite / IFC, 131, 132, 139, 146, 3. Umschlagseite / IBC
Frank GmbH	Mörfelden-Walldorf/D	143
HSK Kunststoff Schweißtechnik GmbH	Bad Honnef/D	161
Hürner Schweißtechnik GmbH	Mücke/D	171
Leister Technologies AG	Kaegswil/CH	155
MUNSCH Kunststoff-Schweißtechnik GmbH	Ransbach-Baumbach/D	133
Plasmatreat GmbH	Steinhagen/D	163
ProByLas AG	Root/CH	137
RINCO ULTRASONICS AG	Romanshorn/CH	141
Röchling Engineering Plastics SE & Co.KG	Haren/D	4.Umschlagseite / BC
Telsonic AG	Bronschhofen/CH	135
tgm Fachbereich Kunststoff- und Umwelttechnik	Wien/A	145
Wegener International GmbH	Eschweiler/D	Titel / FC, 129


Fachbuchreihe Schweißtechnik

**Taschenbuch DVS-Merkblätter und -Richtlinien:
Fügen von Kunststoffen**

Die Neuauflage unseres Fachbuches enthält sämtliche Merkblätter, Richtlinien und Richtlinienentwürfe in deutscher Sprache, die sich mit dem Fügen im Rohrleitungs-, Behälter- und Anlagenbau sowie in der Serienfertigung beschäftigen.

Weiterhin werden die in englischer Sprache erhältlichen Richtlinien sowie die mittlerweile erschienenen korrespondierenden DIN EN-Normen genannt. Ebenso sind die Ausbildungs- und Prüfungsrichtlinien in dieser Auflage enthalten.

Gegenüber der 17. Auflage enthält die aktuelle Auflage 42 neue beziehungsweise überarbeitete Dokumente aus allen Bereichen des Kunststofffügens.

Vollständigkeit, Aktualität und die internationale Perspektive machen das Taschenbuch unverzichtbar für alle, die sich fachlich mit dem Fügen von Kunststoffen befassen.

18. Auflage, erschienen: Dezember 2019
1586 Seiten, 1428 Bilder u. Abb. / 372 Tabellen
Best.-Nr.: 102082, ISBN: 978-3-96144-082-5

Preis: 124,00 EUR

DVS Media GmbH • Aachener Straße 172 • 40223 Düsseldorf
T +49 211 1591 162 • F +49 211 1591 150 • vertrieb@dvs-media.info • www.dvs-media.eu

Now 4 grades!

Polystone® CubX®

Fast, safe and efficient construction of rectangular tanks.

The tank construction sheet Polystone® CubX® featuring a unique inner cube structure for outstanding stiffness-weight ratio. Potential steel reinforcement reductions of up to 100%. The time saving in tank construction is substantial.

Time savings
in tank
construction

Classic

- **Polystone® P CubX®**
using Polystone® P (PP), tried-and-tested for decades worldwide in the construction of rectangular and round tanks

Flame retardant

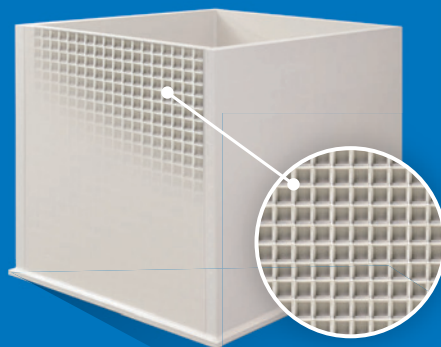
- **Polystone® PPs CubX®**
flame retardant (BI) for applications which require fire protection

UV resistant

- **Polystone® P CubX® PG-UV stabilized white**
UV resistant for outdoor use

Stress cracking resistant

- **Polystone® G CubX®**
Covering sheets made of Polystone® G (PE100 RC) with very good stress cracking resistance and UV resistance for outdoor use



New

www.roechling-industrial.com/cubx
cubx@roechling-plastics.com

Röchling Engineering Plastics SE & Co. KG
Röchlingstr. 1 | 49733 Haren | Germany | T +49 5934 701-0

Polystone® PPs CubX®

Polystone® P CubX®

Polystone® P CubX® PG-UV
stabilized white

Polystone® G CubX® black

