

JOINING PLASTICS

FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN

Autorenrichtlinie



Richtlinie für Autoren

Das Wichtigste auf einen Blick:

- Wir benötigen Ihr Manuskript als Word-Datei (inklusive Tabellen und Abbildungen am Ende des Dokuments). Diese Datei wird für die Veröffentlichung als Peer-reviewed-Paper zunächst zur Prüfung an die Gutachter gesendet.
- Der Umfang der Word-Datei (einsprachig) sollte maximal 20.000 Zeichen betragen (inklusive Leerzeichen; von der Überschrift über die Bildunterschriften bis zum Ende des Literaturverzeichnisses). Es sollten nicht mehr als insgesamt 6 bis 8 Bilder oder Tabellen dazu kommen.
- Senden Sie die Bilder bitte zusätzlich jeweils als separate Dateien (Auflösung mindestens 300 dpi, Dateiformate: eps, jpeg, png).
- Von allen Autoren benötigen wir einen 5- bis 10-zeiligen ausformulierten Kurz-Werdegang für unsere Webseite und ein digitales Porträtfoto.
- Senden Sie Ihr Manuskript an nicole.stramka@dvs-media.info, eine Veröffentlichung zu einem abgeschlossenen IGF-Vorhaben, das beantragt wurde über die Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, zusätzlich an philipp.okon@dvs-home.de.

1. Dateien

Bitte reichen Sie folgende Dateien ein:

- eine Word-Datei (inklusive Tabellen und Abbildungen am Ende des Dokuments) für die redaktionelle Bearbeitung und das Peer-Review-Verfahren
- Beitragsbilder (inklusive Fotos von Autoren) als separate Dateien (jpeg, png, eps) mit einer Auflösung von 300 dpi (weitere Hinweise im Abschnitt 4. Bilder und Tabellen)
- von jedem Autor einen 5- bis 10-zeiligen ausformulierten Kurzwerdegang in einer Word-Datei und ein Porträtfoto

2. Formale Textgestaltung

- Der Umfang der Word-Datei (einsprachig) sollte maximal 20.000 Zeichen betragen (inklusive Leerzeichen; von der Überschrift über die Bildunterschriften bis zum Ende des Literaturverzeichnisses).
- Maßeinheiten müssen zwingend SI-konform sein. Bitte verwenden Sie keine veralteten Maßeinheiten wie At.-%, Gew.-% usw.
- Vermeiden Sie im gesamten Manuskript bitte Abkürzungen (wie Durchm. anstatt Durchmesser), besonders bei der Bildbeschriftung.
- Beachten Sie bitte auch, dass unser Zeitschriften-Design keine Platzierung von Trademark- und Copyright-Symbolen sowie keine Schreibweise in Versalien von Firmen- und Produktnamen vorsieht.

3. Gliederung des Beitrags

Ihr Beitrag besteht aus Überschrift, Autorenkasten, Kurzfassung, Hauptteil, Fazit und Ausblick sowie Referenzen.

3.1 Überschrift

Der Beitragstitel sollte max. 100 Zeichen (inklusive Leerzeichen) nicht überschreiten und knapp, aber unmissverständlich formuliert sein.

3.2 Autorenkasten

In diesem Kasten werden für alle Autoren des Beitrags jeweils folgende Daten angegeben:

- Vor- und Nachname (bitte ohne Abkürzungen),
- Titel oder akademischer Grad,
- aktuelle Berufs-/Tätigkeitsbezeichnung mit Angabe des Instituts/Arbeitgebers, inklusive Ort,
- (optional) die E-Mail-Adresse,
- ein digitales Porträtfoto und
- ein 5- bis 10-zeiliger ausformulierter Kurz-Werdegang in unserer Online-Datenbank (<https://www.joining-plastics.info/autoren>).

3.3 Kurzfassung

- Die Kurzfassung (englisch: Abstract) sollte den Inhalt des Beitrags wiedergeben.
- Sie wird auf unserer Webseite veröffentlicht.
- Sie sollte max. 1000 Zeichen (inklusive Leerzeichen) lang sein.

3.4 Hauptteil

- Der Hauptteil ist gegliedert nach der Dezimalklassifikation (bis max. dritte Ebene).
- Er beginnt mit „1. Einleitung“ und endet mit „Fazit und Ausblick“.

3.5 Referenzen

- Bitte verzichten Sie auf die automatische Referenzerstellung von Word.
- Verwenden Sie beim Zitieren bitte den numerischen Stil und vergeben Sie im Fließtext Nummern in der fortlaufenden Reihenfolge: [1], [2] usw.
- Geben Sie bitte die verwendete Literatur gesammelt am Ende des Manuskripts an:
[1] Devrient, M.; Da, X.; Frick, T.; Schmidt, M.: Experimental and simulative investigation of laser transmission welding under consideration of scattering. Physics Procedia 5 (2012) 39, pp. 117/27.
[2] Gehde, M.; Albrecht, M.: Neue Möglichkeiten zum Schweißen inkompatibler Thermoplaste. Joining Plastics – Fügen von Kunststoffen 10 (2016) Nr. 3–4, S. 202/7.
- Schreiben Sie ggf. den DOI als URL dazu, beispielsweise <https://doi.org/10.1098/rsta.2005.1678>.
- Bitte zitieren Sie (auch bei Online-Quellen) nach DIN ISO 690.

4. Bilder und Tabellen

Wir bitten Sie, die folgenden Hinweise zu beachten:

- Bilder und Tabellen werden unterschieden und jeweils fortlaufend nummeriert (Bild 1, Tabelle 1 usw.) und mindestens einmal im Text zitiert.

- Zeichnungen, Diagramme und Fotos werden in der Bildunterschrift als Bild (nicht „Abb.“ oder „Fig.“) gekennzeichnet.
- Die Bildunterschrift darf nicht in der Grafik stehen. Sie sollte den Inhalt des Bildes so wiedergeben, dass dieses selbsterklärend ist.
- Bilder fortlaufend nummerieren, Bildnummern im Manuskripttext einfügen.
- Benennungen, Bezeichnungen usw. nach den neuesten DIN-Normen, DVS-Merkblättern usw.
- Die Schriftart in allen Bildern sollte gleich sein.
- Effekte wie Füllmuster, Outline Fonts, Verläufe und Schatten bitte vermeiden
- Bilder möglichst in Farbe; Mindestauflösung 300 dpi
- Dateiformate: eps, jpeg, png

5. Kontaktadressen

- Senden Sie Ihr Manuskript bitte an nicole.stramka@dvs-media.info.
- Wenn es sich um eine Veröffentlichung zu einem abgeschlossenen IGF-Vorhaben handelt, das beantragt wurde über die Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, senden Sie Ihr Manuskript bitte zusätzlich an philipp.okon@dvs-home.de.

Hinweis zur geschlechtergerechten Sprache

Die in JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN veröffentlichten wissenschaftlichen Fachbeiträge werden im Peer-Review-Verfahren vorrangig hinsichtlich ihrer inhaltlichen Qualität geprüft. Das in den Artikeln zumeist gewählte generische Maskulinum bezieht sich dabei zugleich auf alle Geschlechteridentitäten. Wir unterstützen ausdrücklich die Verwendung einer geschlechtergerechten Sprache, verzichten aber zu Gunsten der Leserlichkeit darauf.

Überschrift
max. 100
Zeichen inkl.
Leerzeichen

Kurzfassung
max. 1.000
Zeichen inkl.
Leerzeichen

Bild
min. 300 dpi

Autorenkasten
mit allen Autoren
des Beitrags und
ihrem Porträt,
Namen, Titel,
Institut,
ihrer Tätigkeit und
E-Mail-Adresse

Hauptteil

Elastoweld – Schweißen von Verbunden aus thermoplastischen Elastomeren und Thermoplasten

Elastoweld – Welding of composites consisting of thermoplastic elastomers and thermoplastics

Kurzfassung

Thermoplastische Elastomere (TPE) bieten aufgrund guter Haftungseigenschaften zu technischen Thermoplasten (TP), die Recyclingbarkeit und hohen Designfreiheit ein großes Potenzial für die Mehrkomponententechnik. Im Rahmen des Beitrags werden daher Prozessführungsstrategien für das Laserdurchstrahl-, Heizelement- und Wärmegassensschweißen zur Herstellung alterungsbeständiger Schweißnähte mit reduzierten mechanischen Anisotropien für TPE-TP-Verbunde untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass das erste Aufschmelzen im Schweißprozess gezielt dafür genutzt werden kann, die Anisotropie zu reduzieren. In diesem Zusammenhang weisen sich insbesondere eine schonende Erwärmung (geringer Lasereintragsleistung, niedrigere Heizelementtemperatur) in Kombination mit langen Erwärmzeiten als vorteilhaft. Auch das Alterungsverhalten der TPE-TP-Verbunde konnte durch die Wahl der Prozessparameter beeinflusst werden.



Max Weiermüller, M. Sc.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Abteilung Formalauflegung und Werkstofftechnik
Research Scientist, Injection Molding Design and Materials Engineering
Institut für Kunststoffschweißung (IKS) an der WHTP Aachen
max.weiermueller@whtp-aachen.de



Simon Bölle, M. Sc.
Technische Produktstrategie für den Bereich „General Lighting“
Technical product manager for the „General Lighting“ division
Convecto Deutschland AG



Prof. Dr. rer. nat. Rainer Dahmann
Wissenschaftlicher Direktor und Leiter des Zentrums für Kunststoffanalyse und -prüfung (ZKA)
Scientific Director and Head of the Centre for Analysis and Testing of Plastics (ZKA)
Institut für Kunststoffschweißung (IKS) an der WHTP Aachen
rainer.dahmann@whtp-aachen.de



Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann
Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV) und Geschäftsführer des IKV Fachverbands
Head of the Institute for Plastic Processing (IKV) and Managing Director of the IKV Specialist Association
WHTP Aachen
christian.hopmann@whtp-aachen.de

Mehr Informationen zu den Autoren auf: www.material-group-bulletin.info/authors

Abstract

Because of their good adhesion properties to technical thermoplastics (TP), recyclability and high design freedom, thermoplastic elastomers (TPE) offer a great potential for multicomponent technology. Within the framework of the article, investigations are therefore conducted into process control strategies for laser transmission, heated tool and hot gas series welding in order to manufacture ageing-resistant welds with reduced mechanical anisotropic values for TPE/TP composites. It was possible to show that the melting in the welding process can be used in a targeted way for reducing the anisotropic values. In particular, gentle heating (low laser power and low heated tool temperature) in combination with long heating times proved to be advantageous in this connection. The ageing behaviour of the TPE/TP composites could also be influenced by the choice of the process parameters.

1. Einleitung

Das Standardverfahren zur Herstellung von TPE-TP-Verbunden ist das Mehrkomponentenspritzgießen [1–4]. Die Technologie ermöglicht die Kombination von weichen TPE und harten TP in einem Bauteil bei hoher Funktionsintegration und reduziertem Montageaufwand. Bei der Formgebung treten allerdings hohe Scher- und Abkühlraten auf, wodurch oftmals eine ausgeprägte Anisotropie der mechanischen Eigenschaften (wie Festigkeit und Dehnung) der TPE-Komponente resultiert [5–7]. Die Richtungsabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften kann bei einer häufigen Belastung quer zur Orientierung zu einer Schwachstelle des Verbunds und somit zum frühzeitigen Versagen führen. Es muss somit gegen Versagen senkrecht zur Orientierung ausgeglichen werden, was in einer Überdimensionierung und somit in dem Einsatz von nicht benötigtem Material resultiert. In vielen Anwendungsfällen ist für eine vereinfachte Auslegung von TPE-TP-Verbunden demnach eine Verbindung mit isotropen mechanischen Eigenschaften erstrebenswert.

Alternative Fertigungsverfahren zum Mehrkomponentenspritzgießen stellen die stoffschlüssigen Fügeverfahren (Kunststoffspritzgießen und Kleben) dar. Im Vergleich zum

1. Introduction
The standard procedure for manufacturing TPE/TP composites is multicomponent injection moulding [1–4]. The technology permits the combination of soft TPEs and hard TP in one component with high functional integration and a reduced scope of assembly work. However, high shearing and cooling rates arise during forming and often result in distinct anisotropic values of the mechanical properties (such as strength and strain) of the TPE component [5–7]. In the event of frequent loads transverse to the orientation, the directional dependence of the mechanical properties may lead to a weak spot in the composite and thus

to premature failure. It must thus be designed against failure perpendicular to the orientation. This results in overdimensioning and thus in the utilisation of material which is not needed in many application cases. It is therefore worth striving for a joint with isotropic mechanical properties for the simplified designing of TPE/TP composites. The material-locking joining procedures (welding and adhesive bonding of plastic) constitute alternative fabrication procedures to multicomponent injection moulding. In comparison with multicomponent injection moulding, the remelting of the mechanical properties may lead to a possibility of restoring the orientation

Mehrkompontenspritzgießen bietet das Wiederaufschmelzen der TPE im Schweißprozess eine Möglichkeit zur Rückstellung der Orientierungen und somit zur Anisotropiereduzierung im Schweißnähtbereich. Mit den stoffschlüssigen Fügeverfahren ist eine flexiblere Anpassung des Herstellungsprozesses und der Anlagentechnik an neue Geometrien oder Anwendungen möglich. Zudem können komplexe Verbindungsgeometrien umgesetzt werden, die im Mehrkomponentenspritzgießen nur mit teuren Spezialwerkzeugen realisierbar sind. Dies kann neue Anwendungen für TPE-TP-Verbunde ermöglichen, beispielsweise das Fügen von dreidimensionalen Dichtungen. Im Vergleich zum Kleben liegen die Vorteile des Schweißens zum Beispiel in den kürzeren Zykluszeiten und dem Entfall der Oberflächenvorbehandlung [8, 9]. Bei TPE-TP-Verbunden wird das Schweißen aktuell aufgrund mangelnder Erfahrungen und Erkenntnisse noch nicht in einem ähnlichen Ausmaß wie im TP-Bereich eingesetzt. Oftmals finden sich zum Schweißen von TPE auf Seiten der Rohstoff- und Maschinenhersteller lediglich Hinweise zur gemessenen Schweißbarkeit der Materialien und zu möglichen Schweißverfahren. Weiterhin und zum Heizelement-, Ultraschall-, Vibrations-, Hochfrequenz- und Laserdurchstrahlverfahren sowie grundlegende Untersuchungen erfolgt, die sich mit der Schweißbarkeit von TPE mit sich selbst sowie mit TP befassen [10–16]. Jedoch wurde bislang der Einfluss der Schweißprozessführung auf die resultierenden mechanischen Anisotropien und die Alterungsbeständigkeit forschungsgestützt nicht betrachtet.

2. Materialien und Methoden

Nachfolgend werden die Versuchsmaterialien, die Herstellung der Fügepartner sowie die verwendeten Analyseverfahren beschrieben.

2.1 Materialien

Für die experimentellen Untersuchungen wurde ein Styrol-Block-Copolymer (TPS) vom Typ „Thermolock T77AAC“ (Kraiburg TPE GmbH & Co. KG, Wülfrathburg) verwendet sowie

ein Polyblend (TPV) vom Typ „Alfater XL A70 2 G9050“ (Albis Plastic GmbH, Hamburg). Als TP-Komponente wurde ein Polypropylen (PP) vom Typ „5795“ (Sabir, Riad, Saudi-Arabien) eingesetzt. Zur Herstellung der absorbierenden Fügepartner für das Laserdurchstrahlverfahren (LDS) wurde vor dem Spritzgießen ein Massentanteil von 0,3% Ruß in die Kunststoffmatrix eingebracht. Zudem können komplexe Verbindungsgeometrien umgesetzt werden, die im Mehrkomponentenspritzgießen nur mit teuren Spezialwerkzeugen realisierbar sind. Dies kann neue Anwendungen für TPE-TP-Verbunde ermöglichen, beispielsweise das Fügen von dreidimensionalen Dichtungen. Im Vergleich zum Kleben liegen die Vorteile des Schweißens zum Beispiel in den kürzeren Zykluszeiten und dem Entfall der Oberflächenvorbehandlung [8, 9]. Bei TPE-TP-Verbunden wird das Schweißen aktuell aufgrund mangelnder Erfahrungen und Erkenntnisse noch nicht in einem ähnlichen Ausmaß wie im TP-Bereich eingesetzt. Oftmals finden sich zum Schweißen von TPE auf Seiten der Rohstoff- und Maschinenhersteller lediglich Hinweise zur gemessenen Schweißbarkeit der Materialien und zu möglichen Schweißverfahren. Weiterhin und zum Heizelement-, Ultraschall-, Vibrations-, Hochfrequenz- und Laserdurchstrahlverfahren sowie grundlegende Untersuchungen erfolgt, die sich mit der Schweißbarkeit von TPE mit sich selbst sowie mit TP befassen [10–16]. Jedoch wurde bislang der Einfluss der Schweißprozessführung auf die resultierenden mechanischen Anisotropien und die Alterungsbeständigkeit forschungsgestützt nicht betrachtet.

tionen und thus of reducing the anisotropic values in the weld region. The material-locking joining procedures permit the more flexible adaptation of the manufacturing process and the installation technology to new geometries or applications. Moreover, it is possible to implement complex joint geometries which, in multicomponent injection moulding, are only feasible with expensive special tools. This may permit new applications for TPE/TP composites, e.g. the joining of three-dimensional seals. In comparison with adhesive bonding, the advantages of welding are to be found, for example, in the shorter cycle times and the elimination of the surface pretreatment [8, 9]. At present, the welding of TPE/TP composites is not yet utilised on a similar scale to welding in the TP field because of a lack of experience and knowledge. For the welding of TPEs, the raw material and machine manufacturers often merely provide instructions about the general weldability of the materials and about possible welding procedures. Furthermore, fundamental investigations have already been conducted into heated tool, ultrasonic, vibration, high-frequency and laser transmission welding and deal with the weldability of TPEs with themselves as well as with TP [10–16]. However, the research has not yet considered the influences of

the welding process control on the resulting mechanical anisotropic values and on the ageing resistance.

2. Materials and methods

The test materials, the manufacture of the joining specimens as well as the utilised analysis procedures are described below.

2.1 Materials

A styrene block copolymer (TPS) of the „Thermolock T77AAC“ type (Kraiburg TPE GmbH & Co. KG, Wülfrathburg) as well as a polymer blend (TPV) of the „Alfater XL A70 2 G9050“ type (Albis Plastic GmbH, Hamburg) were used for the experimental investigations. A polypropylene (PP) of the „5795“ type (Sabir, Riyadh, Saudi Arabia) was utilised as the TP component. In order to manufacture the absorbing joining specimens for laser transmission welding (LW), a carbon black proportion of 0.3% by mass was compounded into the plastics before the injection moulding. Within the framework of the material characterisation, anisotropic values of the fracture forces were established at 7.4% (transparent) and 10.8% (absorbing) with TPS and at 4.2% (transparent) and 8.8% (absorbing) with TPV. The anisotropic values were calculated from the differences between the fracture forces (longitudinal and transverse), in rela-

Table 1: Übersicht der material-spezifischen Spritzgießparameter

Table 1: Overview of the material-specific injection moulding parameters

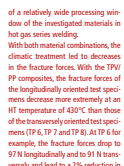
Werkstoff/Material	TP		TPS		TPV	
	transparent	absorbierend/absorbing	transparent	absorbierend/absorbing	transparent	absorbierend/absorbing
Schmelztemperatur/Melt temperature [°C]	250	260	230	230	215	225
Einspritzdruck/Injection pressure [bar]	600	600	700	700	700	700
Füllzeit/Filling time [s]	0.5/0.5	0.5/0.5	0.5/0.5	0.5/0.5	0.5/0.5	0.5/0.5
Nachdruck/Post pressure [bar]	700	800	600	700	600	700
Steindruck/Dynamic pressure [bar]	80	80	80	80	80	80
Dehnungsmaximalwert/Strainmaximal value [mm]	3	3	3	3	3	3
Druckgeschwindigkeit/Pressing speed [mm/s]	150	150	150	150	150	150
Werkzeugtemperatur/Tool temperature [°C]	40	40	40	40	40	40
Verdrehen/Pressing [°/°C]	-	-	3/60	3/60	3/60	3/60

Zwischenüberschrift

Tabellenüberschrift

Tabelle

Fazit und Ausblick



the anisotropic value for all (with the exception of TP 1), the anisotropic value drops due to the conditioning. At a high joining pressure (20 N), the distinct melt flow in the joining

[illegible][illegible]

terested sometimes in control, all the burning chemical loads during the gas firing resulted to decrease in the test specimens failed in the weld and, in part, residues of the TPG composites.

This suggests that the ageing behavior of the TPG composites is related to the exposure to the component with the lowest **modulus or temperature resistance**.

The results of the tests on the static loads on the anisotropic value of the fracture behavior proved that the TPG composites are compatible with the TSPVP composites. It was thus identified that the anisotropic value of the fracture behavior is not of the test specimens. With the TSPVP composites, this was observed only for the test specimens of the TPG composites. In particular, the influence of the alternating climatic loads on the properties of the TPG composites contributes considerable important findings for industrial applications. The results suggest that the TPG composites, as well as the TSPVP composites, any mechanical anisotropic values which may exist in the joining of the TPG composites.

Acknowledgement

The authors thank the support of the Scientific Project 2129601 of the Italian Planning Research National Association, on the basis of a research project entitled "Development of the TPG composites for the shipbuilding", promoted by the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Change, the Italian Ministry of Economic Affairs and Research Activities (MUR) within the framework of the programme "Research and Innovation for the Growth of the Italian Economy" (PRIN 2015-2018) of research and development (IGF15-00001).

We thank also to all the institutions.

Supervisors:

Federale Ministry
for Economic Affairs
and Research Activities

on the basis of a decision
of the Council of Ministers

terested sometimes in control, all the burning chemical loads during the gas firing resulted to decrease in the test specimens failed in the weld and, in part, residues of the TPG composites.

This suggests that the ageing behavior of the TPG composites is related to the exposure to the component with the lowest **modulus or temperature resistance**.

The results of the tests on the static loads on the anisotropic value of the fracture behavior proved that the TPG composites are compatible with the TSPVP composites. It was thus identified that the anisotropic value of the fracture behavior is not of the test specimens. With the TSPVP composites, this was observed only for the test specimens of the TPG composites. In particular, the influence of the alternating climatic loads on the properties of the TPG composites contributes considerable important findings for industrial applications. The results suggest that the TPG composites, as well as the TSPVP composites, any mechanical anisotropic values which may exist in the joining of the TPG composites.

Acknowledgement

The authors thank the support of the Scientific Project 2129601 of the Italian Planning Research National Association, on the basis of a research project entitled "Development of the TPG composites for the shipbuilding", promoted by the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Change, the Italian Ministry of Economic Affairs and Research Activities (MUR) within the framework of the programme "Research and Innovation for the Growth of the Italian Economy" (PRIN 2015-2018) of research and development (IGF15-00001).

We thank also to all the institutions.

Supervisors:

Federale Ministry
for Economic Affairs
and Research Activities

on the basis of a decision
of the Council of Ministers

14	Dolansky J., Gehring M., Neumeier M.: TPE BPAI – Grundlagen Spritzgießens. Fraunhofer IPT, 2014.	15	Al-Jarrah M., M., Krupa J.: Polyolefin Compounds and Materials. Fraunhofer Institute for Polymer Technology, Chem. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: International Publishing & Co. Switzerland, 2014.
16	Michael W., Lettowitsch C.: Zukunftsfähigkeit des Kunststoffes. Fraunhofer IPT, 2014.	17	Al-Jarrah M., Krupa J., Dörrer C.: Irradiation Strategy for Laser Transferred Welding of Thermoplastic Using High Intensity Laser. International Polymer Processing 28 (2013) 3, S.3005.
18	Seitz V., Wintermantel E., Schönbeger M., Hockstetter M.: Thermoplastic Elastomere (TPE). Kunststoff 14 (2004) 11, S. 727.	19	Rantakallias, S., Luoma, P., Rajamäki, V.: Laser Welding of Thermoplastic Polyurethane. Journal of Laser Micro/Nano Engineering. Physics Procedia 98 (2015) 1, pp. 2774-80. doi:10.1016/j.phpro.2015.11.074.
20	Seitz V., Wintermantel E.: Laser in der Medizintechnik. VDI 2701 (2012) 2, pp. 10.1007/978-3-662-105428-7	20	Al-Jarrah M., Dörrer C.: Radio Frequency Welding of Thermoplastic Polyurethanes. Proceedings of the 63rd Annual Meeting of Antec (ANTEC), Boston, 2005.
21	Hegmann, C.: Strukturkarakterisierung zum einseitigen Wärmeeintrag bei der Laserstrahlumwandlung. Institut für Kunststoffverarbeitung, RWTH Aachen, Abschlussbericht zum IGF-Forschungsvorhaben 136/04.	21	Al-Jarrah M.: Untersuchungen zur Schweißbarkeit thermoplastischer Elastomere (TPE). Lehrstuhl für Kunststofftechnik, Universität Erlangen, Abschlussbericht zum DFG-Forschungsvorhaben Sm 682/18-1.
22	Küffner, F.; Sommer, F.: Kautschuktechnologie: Werkstoffe Verarbeitungstechnologie. München, Vieweg+Teubner-Verlag 2013.	22	Thougthon, M.: J. Handbook of Plastics Joining – A Practical Guide. Norwich: Plastic Design Library, 2008.
23	Wittmann, J.C.; Schönbeger, M.: Schweißtechnik der Kunststoffe – Gestaltung und Festlegen von Schweißkonnexionen. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006.	23	Al-Jarrah M., Dörrer C.: A Review of the Current Status of Ultrasonic Welding and Vibration Welding of Thermoplastic Polyolefins. Welding in the World 56 (2012) 1, pp. 69-75.
24	Wittmann, J.C.; Schönbeger, M.: Schweißtechnik der Kunststoffe. Weinheim: Wiley, 2006.	24	Al-Jarrah M., Dörrer C.: Laser Transferred Welding of Polypropylene by Einwirkung von warmem Schmelz- und Schweißspray. S. 100-105.

Literaturkasten