

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 anna.linz@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 anna.linz@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 Wärmegasserienschweißen 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.

1. Einleitung

Das Standardverfahren zur Herstellung von TPE-TP-Verbunden ist das Mehrkomponentenextrudieren [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 eine Überdimensionierung und somit in dem Einsatz von nicht benötigtem Material resultiert. In vielen Anwendungsfällen ist für eine vereinfachte Auslegung von TPE-TP-Verbunden dennoch eine Verbindung mit isotropen mechanischen Eigenschaften erstrebenswert.

Alternative Fertigungsverfahren zum Mehrkomponentenextrudieren stellen die stoffschlüssigen Fügeverfahren (Kunststoffschweißen und Kleben) dar. Im Vergleich zum



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



Simon Böhl, M. Sc.
Technische Produktstrategie für den Bereich „General Lighting“
Technical product manager for the „General Lighting“ division
Gowetto 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 e.V.
Head of the Institute for Plastic Processing (IKV) and Managing Director of the IKV e.V. / Institute for Plastic Processing
IKV Aachen
christian.hopmann@whtp-aachen.de

Mehr Informationen zu den Autoren auf: More information on the authors at: www.ikv-whtp-aachen.de

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.

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 weak spot in the composite and thus

Mehrkompontenextrudieren 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 Mehrkomponentenextrudieren 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 Oberflächenverbehandlung [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 belassen [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.

Im Rahmen der Werkstoffcharakterisierung wurde eine Anisotropie der Bruchkräfte beim TPS von 7,4% (transparent) bzw. 10,8% (absorbierend) und beim TPV von 4,2% (transparent) bzw. 8,8% (absorbierend) ermittelt. Die Anisotropie wurde aus der Differenz der Bruchkräfte (Längs und quer) bezogen auf die Bruchfläche der Längs-Proben berechnet. Darüber hinaus wurden die optischen Eigenschaften der Fügepartner charakterisiert, um den Energieeintrag in die Fügezone beim LDS zu beurteilen. Hierzu wurde eine Messung des Transmissionsgrads sowie die Bestimmung der Intensitätsverteilung nach Durchstrahlung der transparenten Fügepartner (Dicke $d = 2$ mm) durchgeführt (Bild 1).

Die Bestimmung des Transmissionsgrads und die Intensitätsmessungen wurden mithilfe eines Laseraggregats und deal mit der Verletzbarkeit von TPEs mit 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, Riad, 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-

Zwischenüberschrift

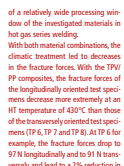
Tabellenüberschrift

Tabelle

Table 1: Übersicht der material-spezifischen Spritzgießparameter
Table 1: Overview of the material-specific injection moulding parameters

Werkstoff/Material	TP		TPS		TPV	
	transparent	absorbierend	transparent	absorbierend	transparent	absorbierend
Schmelztemperatur Melt temperature [°C]	250	260	230	230	215	225
Einjektionsdruck 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 Deformation limit [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
Verdichtungsdruck Densifying pressure [bar]	-	-	3/60	3/60	3/60	3/60

Fazit und Ausblick



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

ing climatic loads on the fracture behaviour of the welds as well as the resulting anisotropic values are typically more indifferent than with the PVP compounds, it is merely compensated by the higher temperatures during joining processes: at an HIF temperature of 210°C with a heating time of 25 s, the climatisation of the test specimens leads to decreases in the anisotropic values (TP 6 and TP 8).

3.3 Hot gas series welding

The tests were executed on a force-regulated hot gas welding machine from KYT Beifeld which is equipped with a nozzle that is horizontally directed. Due to the split construction of the heated tool, both separating zones can be temperature separated. Nitrogen was used as the welding gas. The temperature of the tool was kept constant during all the tests. In the upper heated tool, the volumetric flow rate is 10 l/min. The volumetric flow rate of the lower heated tool is 15 l/min. The nozzle diameter is 2 mm in order to compensate for the chimney effect. The nozzle diameter was 2 mm. When the results from the tensile shear tests are considered, it is conspicuous that the results in the case of LTW and HIF welding differ in the fracture behaviour arise depending on the considered process parameters (Fig. 7).

The established standard deviations of the test results are in the case of LTW and HIF welding. This is indicative

of the fracture faces (TP 3, 3TP and TP5). However, this can be compensated for by the alternating cyclic loads. The lowest anisotropic value after the climatic loads on the TP5 is 1.05, which is not significantly influenced at TP3. It is not possible to detect any reductions in the anisotropic values due to the climatic loads with the exception of TP1 for the TP5/TP9 combination.

4. Summary

In the case of all the considered welding procedures, the anisotropic values in the ageing behaviour could be influenced by the welding parameters and the welding parameters. In particular, gentle heating (lower laser power and lower heat input) in combination with long heating times turned out to be the most effective way to reduce the anisotropic values. Due to the gentle heating, there is more time for thermal conduction processes in the material. This favours the reorienting of the orientation in the case of hot gas laser series welding, a high joining pressure also led to a distinct melt line in the joining phase which led to the reorientation of the macromolecules. The ageing behaviour of the welding process sometimes leads to the mechanical properties exhibit inverse directional dependence.

The ageing behaviour could also be influenced by the process control. In the case of the hot gas laser series, increases in the fracture forces were observed

involved sometimes control, the alternating plastic loads during hot gas testing resulted in decreases in the strength of the test specimens failed in the weld and, in part, residues of the TPE component. The authors are not aware of any other studies that have been conducted to the component with the low-temperature or temperature-resistant media or temperature-resistant media on the anisotropic loads of the factor behavior proved to be a problem. The authors are familiar with the TWPV computers, it was thus identified that the anisotropic load of the test specimens was not of the test specimens. With the TWPV computers, this was observed only for the test specimens of the test specimens. In particular, the influences of the alternating plastic loads on the test specimens of the test specimens constitute quite an important finding for industrial applications. The results suggest that the test specimens, in particular, any mechanical analysis which may exist in the joining of the test specimens.

Danksagung
(optional)

17 Delany, T.; Gefring, M.; Neumeier, H. *TPE-Blatt – Grundlagen Spezialkunststoffe*; Carl Hanser Verlag: München, 2010.

18 Michael, W.; Lettowicz, C.; Schäfers, J. *Handbuch der Verformungsarten*. Kunststoffe 54 (2004) 5–15.

19 Kricheldorf, H. R. *Thermoplastische Elastomere* (TPE). *Kunststoffe* 69 (1999) 10, S. 176/82.

20 Seitz, V.; Wittenmetz, A.; Schmitt, M.; Hübner, M.; Thermoelastoplastische Elastomere (TPE) 14 (2014) 11, S. 17–27.

21 Bublert, I.; Kojewnik, S.; Weydel, H.P.; Naik, S.; Schmalz, J.; Möggendor, G. H. *Democompatibility of standard cyclic copolymers for use in prosthetic devices*. *Journal of Materials in Medicine and Biology*, Vol. 27 (2010) 10, 2, Article number 3. DOI: 10.1007/s10053-010-9156-7

22 Kricheldorf, H. R. *Thermoplastische Elastomere*. In: *Handbuch der Verformungsarten von thermoplastischen Kunststoffen und dessen Beschreibung innerhalb eines Prozesssimalations, Institut für Kunststoffverarbeitung, Universität, Abteilungsleiter zum GGF-Forschungsseminar 2008*. Nr. 18/2004, 2016.

23 Röhremsen, F.; Sommer, F. *Kautschuktechnologie: Werkstoffverarbeitung*. Carl Hanser Verlag: München, 2014.

24 Dillhey, U.; Brandenburg, A. *Schweißelastische Fertigungsverfahren 3 – Gestaltung und Fertigkeit von Schweißelastischen Konstruktionen*. Berlin, 1996.

25 Hübner, G. *Kleben – erfolgreich und fehlerfrei*. Braunschweig: Vieweg: 2006. *Friedrich Vieweg Verlagsgesellschaft mbH*, 2001.

26 Al-Jarrah, A.M.; Madad, M.; Kragel, J. *Polyolefin Composites and Materials – An Advanced Text*. Elsevier: Amsterdam, 2010.

27 Kricheldorf, H. R. *Thermoplastische Elastomere*. Chem. Verlagsges. New York, Dordrecht, London: International Publishing & AG Switzerland, 1999.

28 Kricheldorf, H. R.; Doves, C. *Irradiation Strengthening for Laser Sintering Welding of Thermoplastic Using High Brilliance Laser Sources*. *International Polymeric Processing* 28 (2017) 3, 1–5, 2005.

29 Kricheldorf, H. R.; Doves, C. *Thermoplastic Laser Sintering of Transparent Polymers by Using Quasi-Stimulated Raman Off-resonance Scattering*. *Physics Procedia* 79 (2015) 10, pp. 272/804. DOI: 10.1016/j.prophys.2015.09.001

30 Rüdler, R.; Smith, D. *Radiation Grafting Welding of Thermoplastic Vulcanizates*. *Proceedings of the 63rd Annual Technical Conference (ANTEC)*, 1997.

31 Schmalenberger, E. *Untersuchungen zur Schweißelastung thermoplastischer Elastomere* (TPE). Lehrstuhl für Kunststofftechnologie, Universität der Bundeswehr München, Abschlussbericht zum GGF-Forschungsseminar 2008 Nr. 62/2016, 2016.

32 Troughton, M. J. *Handbook of Plastics Joining – A Practical Guide*. Elsevier: Amsterdam, 2002.

33 Wu, C.-Y.; Brenette, A.; Mokhtarzadeh, A. *Comparison of Ultrasonic Welding and Vibration Welding of Thermoplastic Polyolefin*. *Welding World* 2007, 19(1), 1–10.

34 N. N. *EN ISO 20141: Kunststoffe – Bestimmung des Verhaltens bei Einwirkung von warmem Wasser, Spritzwasser und Salzwasser*. 2014.