

Longitudinales und torsionales Ultraschallschweißen – ein Verfahrensvergleich

Longitudinal and torsional ultrasonic welding - A comparison of the processes

Prof. Dr.-Ing. Michael Gehde, Dipl.-Ing. Sven Friedrich, Dipl.-Ing. René Fuhrich, TU Chemnitz, Chemnitz

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit einem ersten Vergleich der beiden Verfahren longitudinales und torsionales Ultraschallschweißen. Es werden DVS-Probekörper mit und ohne Energierichtungsgeber aus PBT geschweißt und die Prozesse hinsichtlich Zugfestigkeit optimiert. Die Ergebnisse sollen bezüglich Prozessfenster und maximal erreichbarer Zugfestigkeit gegenübergestellt werden.

1 Einleitung

Das longitudinale US-Schweißen ist ein etabliertes Verfahren in der Kunststoffbranche. Es zeichnet sich besonders durch sehr kurze Zykluszeiten aus und ist deshalb aus der Großserienfertigung nicht mehr wegzudenken. Jedoch gibt es auch Einschränkungen, die den Einsatz dieses Verfahrens nicht überall zulassen. Eines der größten Probleme stellt die Schädigung von elektronischen Bauteilen durch die Ultraschallwellen dar.

Einige dieser Nachteile scheint das torsionale US-Schweißen nicht zu besitzen. So ist es gelungen, mit diesem Verfahren Sensoren, welche beim klassischen US-Schweißen zerstört wurden, miteinander zu verbinden, ohne die Elektronik zu beschädigen. Des Weiteren ist es möglich, eine ausreichende Schmelzeschicht zu erzeugen, ohne besondere konstruktive zusätzliche Maßnahmen zur Gestaltung der Fügefläche (Energierichtungsgeber) vorzusehen. Trotzdem kann eine ähnlich niedrige Zykluszeit, wie beim klassischen longitudinalen US-Schweißen, erreicht werden [1-2].

Diese Vorteile sind auf die Einleitungsrichtung der Schwingungen in die zu fügenden Bauteile zurückzuführen. Beim klassischen longitudinalen US-Schweißen ist diese senkrecht zur Fügeebene. Die Sonotrode schlägt wie ein Hammer auf die Fügebauteile ein, was zu einer hohen mechanischen Belastung führt. Beim torsionalen US-Schweißen dreht sich die Sonotrode auf den Bauteilen hin und

	<p>Prof. Dr.-Ing. Michael Gehde Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=201566 profile: www.joining-plastics.info/?id=201566 michael.gehde@mb.tu-chemnitz.de</p>
	<p>Dipl.-Ing. Sven Friedrich Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=202095 profile: www.joining-plastics.info/?id=202095 sven.friedrich@mb.tu-chemnitz.de</p>
	<p>Dipl.-Ing. René Fuhrich Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=202975 profile: www.joining-plastics.info/?id=202975 rene.fuhrich@mb.tu-chemnitz.de</p>

her. Neben der inneren Reibung zwischen den Molekülketten wird auch Energie durch makroskopische Grenzflächenreibung zwischen den zu fügenden Bauteilen erzeugt. Dadurch ist ein Schweißen ohne Energierichtungsgeber möglich. Außerdem wird der untere Fügepartner nicht so stark mechanisch belastet.

Der vorliegende Beitrag liefert einen ersten Vergleich dieser beiden Verfahren hinsichtlich Prozessfenster und erreichbarer mechanischer Eigenschaften.

2 Stand der Technik

An der TU Chemnitz wurden bereits erste Vorversuche zum torsionalen Ultraschallschweißen durchgeführt. Dabei wurden zylindrische Probekörper auf Platten-Probekörper geschweißt.

Es konnte aufgezeigt werden, dass sich das torsionale Ultraschallschweißen von

Summary

The present article deals with an initial comparison of both longitudinal and torsional ultrasonic welding processes. DVS test specimens made of PBT with and without energy directors are welded and the processes are optimised as far as the tensile strength is concerned. The results are to be compared with regard to the process windows and the maximum attainable tensile strength.

ing area (energy directors). Nevertheless, it is possible to achieve a similarly short cycle time as in classical longitudinal US welding [1-2].

These advantages may be attributed to the direction in which the vibrations are introduced into the components to be joined. In classical longitudinal US welding, this is vertical to the joining plane. The sonotrode strikes the joining parts like a hammer and this leads to high mechanical loads. In torsional US welding, the sonotrode rotates to and fro on the components. In addition to the internal friction between the molecular chains, energy is also produced by macroscopic interfacial friction between the components to be joined. This permits welding without energy directors. Moreover, the lower joining member is not subjected to such high mechanical loads.

The present article supplies an initial comparison of both these processes with regard to the process windows and the attainable mechanical properties.

2 State of the art

Initial preliminary tests relating to torsional ultrasonic welding have already been carried out at TU Chemnitz. In this respect, cylindrical test specimens were welded on to plate test specimens.

It was possible to demonstrate that, as far as the type of energy input is concerned, torsional ultrasonic welding is categorised somewhere between classical longitudinal ultrasonic welding with internal material friction and vibra-

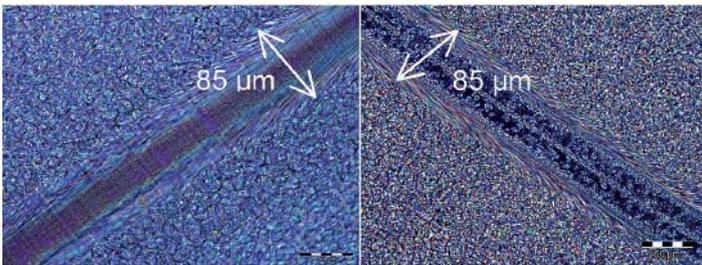


Bild 1: polarisationsoptische Dünnschnittaufnahmen
Material: PBT – Fügedruck = 8 N/mm²
Links: Vibrationsschweißnaht
Rechts: Ultraschall-Torsionsschweißnaht

Fig. 1: Polarisation-optical thin-section photographs
Material: PBT - Joining pressure = 8 N/mm²
Left: Vibration weld
Right: Torsional ultrasonic weld

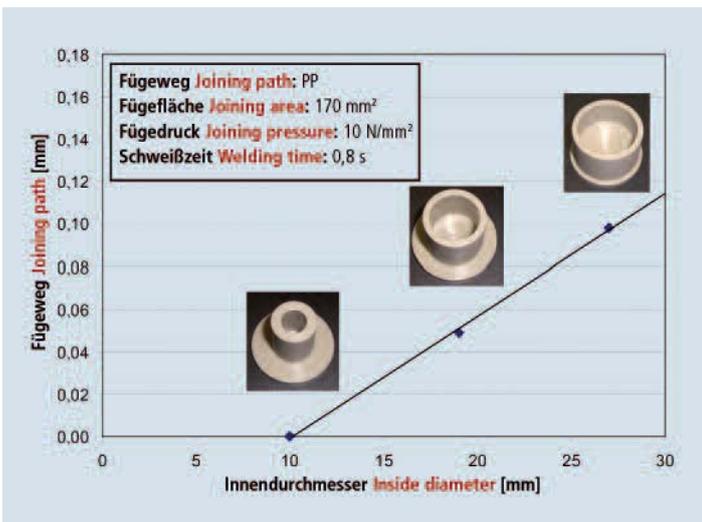


Bild 2: Fügeweg über den Durchmesser des Fügeteils bei gleichen Fügeflächen

Fig. 2: Joining path over the diameter of the joining part with identical joining areas

der Art der Energieeinbringung irgendwo zwischen den klassischen longitudinalen Ultraschallschweißen mit innerer Werkstoffreibung und dem Vibrationsschweißen mit rein äußerer Werkstoffreibung einordnet [1-2]. Bild 1 zeigt den Vergleich einer Vibrationsschweißnaht (links) und einer Ultraschall-Torsionsschweißnaht (rechts) bei gleichem Fügedruck. Es sind sowohl Ähnlichkeiten in der Schweißnahtdicke als auch im Schweißnahtaufbau zu erkennen. Um die geometrischen Einflüsse zu untersuchen wurden zylindrische Probekörper mit verschiedenen Durchmessern, aber gleicher Fügefläche hergestellt. Bild 2 zeigt, dass mit abnehmendem Zylinderdurchmesser bei gleichen Schweißparametern der Fügeweg linear abnimmt. Dies hängt mit der Amplitudenverteilung über dem Sonotrodenquerschnitt zusammen. Am Außendurchmesser der Sonotrode ist die Amplitude am größten. Im Zentrum der Sonotrode (Rotationsachse) ist sie hin-

tion welding with purely external material friction [1-2]. Fig. 1 shows the comparison of a vibration weld (left) and a torsional ultrasonic weld (right) at the same joining pressure. Similarities can be recognised not only in the weld thickness but also in the weld structure. In order to investigate the geometrical influences, cylindrical test specimens were manufactured with different diameters but the same joining area. Fig. 2 shows that the joining path decreases linearly with a decreasing cylinder diameter and identical welding parameters. This is connected with the amplitude distribution over the sonotrode cross-section. The amplitude is greatest at the outside diameter of the sonotrode. In contrast, it is zero in the centre of the sonotrode (axis of rotation). This behaviour must be taken into account particularly in the case of components which are not rotationally symmetrical since different amplitudes arise over the weld course.

tgm



**Staatliche Versuchsanstalt
Kunststoff- und Umwelttechnik**
Akkreditierte Prüf- und Überwachungsstelle

Ausfertigung von Prüf- und Überwachungsberichten nach Nationalen und Internationalen Vorschriften wie ÖNORM geprüft, ÖVGW, DVGW, SVGW, ON-CERT, GRIS, DVS, ISO, EN, DIN, Austria Gütezeichen, Trinkwassereignung



Erstellung von Befunden und Gutachten zu: Verfahrens- Werkstoffentwicklung von Kunststoffen, Schadensanalysen, LMSVG,...

Schulungen und Seminare: Kunststofftechnik, Werkstoffanalytik, Kunststoffschweißen, Kunststoffrohrleger, Muffenmonteure, Spritzguss, Extrusion,...

Kontakt: A-1200 Wien, Wexstraße 19-23
Tel.: +43 1 33126 478 E-Mail vaku@tgm.ac.at
Fax.: +43 1 33126 678 Web: www.kunststoff.ac.at

LEISTER
LASERSYSTEMS

**GLOBO
Welding**

Laser welding of plastics – perfect for 3D- and continuous applications.

- Arbitrary joining geometries in two and three dimensions
- Welding without the use of a clamping device
- Optimal synchronization of clamping pressure and energy input
- Low residual stress
- Suitable for robotic applications

**MEDTEC Stuttgart
Hall 6
Booth no. 1690**

Leister Process Technologies
Switzerland www.leister.com

NOVOLAS™

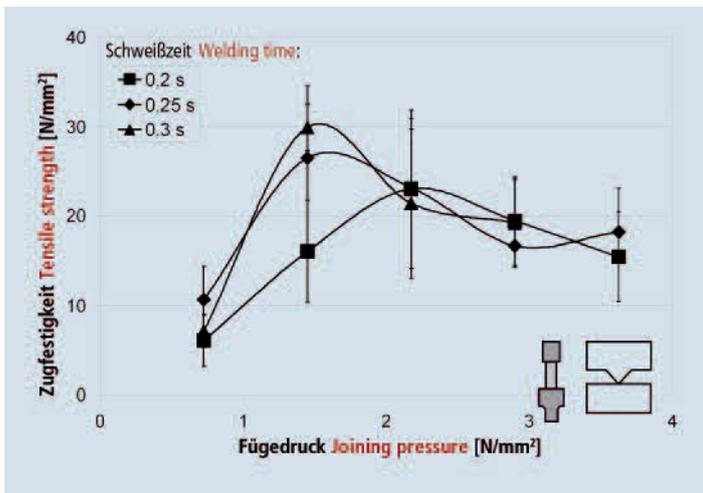


Bild 3: Zugfestigkeit in Abhängigkeit des Fügedrucks beim longitudinalen US mit ERG

Fig. 3: Tensile strength depending on the joining pressure in longitudinal US welding with EDs

gegen Null. Dieses Verhalten muss besonders bei nicht rotationssymmetrischen Bauteilen beachtet werden, da über den Nahtverlauf unterschiedliche Amplituden vorherrschen.

3 Versuchsdurchführung

Die Schweißversuche wurden auf einer torsionalen Ultraschallschweißanlage der Firma Telsonic und einer longitudinalen Ultraschallschweißanlage der Firma Branson durchgeführt. Beide Maschinen arbeiten mit einer Frequenz von 20 kHz.

Als Probekörper wurde der genormte DVS-Prüfkörper nach Richtlinie DVS 2216-1 BB1 verwendet. Dieser wurde im Spritzgießprozess aus Polybutylen-terephthalat (PBT) mit und ohne Energerichtungsgeber (ERG) hergestellt.

Um den genauen Fügeweg bestimmen zu können, wurde ein optisches Messsystem entwickelt, welches den Abstand von zwei auf den Probekörpern befindlichen Markierungen misst. Diese Methode schließt den eventuellen Fehler aus, dass ein Aufschmelzen der Ankoppelfläche zwischen Sonotrode und oberem Fügeteil mit in die Fügewegung einget.

Die Amplitude wurde ebenfalls mittels einem an der TU Chemnitz entwickeltem optischen Messverfahren bestimmt. Für die Bestimmung der mechanischen Eigenschaften wurde ein spezielles Werkzeug für die Zugprüfung konstruiert. Dieses ermöglicht den Prüfkörper so zu stützen, dass keine Biegemomente in den zu prüfenden Bereich eingeleitet werden. Gemessen wurde die Zugfestigkeit an je sechs Schweißproben

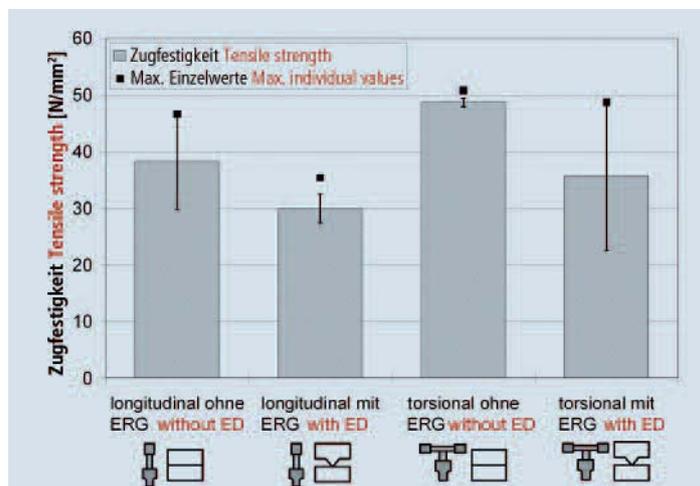


Bild 5: Zugfestigkeit in Abhängigkeit des Fügedrucks beim torsionalen US ohne ERG

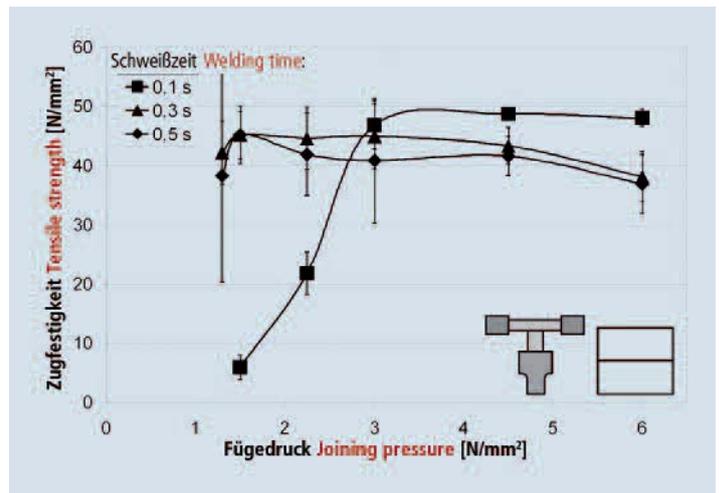


Bild 4: Zugfestigkeit in Abhängigkeit des Fügedrucks beim torsionalen US ohne ERG

Fig. 4: Tensile strength depending on the joining pressure in torsional US welding without EDs

mit gleichen Verfahrensparametern. Aufgrund der geringen Einspannlänge war eine Bestimmung der Dehnung nicht möglich.

Da beim torsionalen Ultraschallschweißen kein ERG benötigt wird, wurden beide Verfahrensvarianten (torsional und longitudinal) sowohl mit als auch ohne ERG untersucht. Für diese vier Verfahrensvarianten wurde eine Parameteroptimierung hinsichtlich der erreichbaren Reißfestigkeit durchgeführt. Dabei wurden der Fügedruck und die Schweißzeit variiert. Die Amplitude war konstant.

4 Ergebnisse

In Bild 3 ist die Zugfestigkeit über den Fügedruck für Proben, welche mittels longitudinalen Ultraschallschweißens mit ERG hergestellt wurden, dargestellt. Die Beste Nahtfestigkeit ergab sich bei

Fig. 5: Tensile strength depending on the joining pressure in torsional US welding without EDs

3 Testing method

The welding tests were carried out on a torsional ultrasonic welding installation from Telsonic and on a longitudinal ultrasonic welding installation from Branson. Both machines work at a frequency of 20 kHz.

The standardised DVS test specimen according to the DVS 2216-1 technical code, Supplement 1 was used as the test specimen. This was manufactured from polybutylene terephthalate (PBT) in the injection moulding process with and without an energy director (ED).

An optical measuring system which measures the distance between two marks located on the test specimens was developed in order to be able to determine the exact joining path. This method excludes the possible error of also incorporating any complete melting of the

probe-to-specimen surface between the sonotrode and the upper joining part into the joining path measurement. The amplitude was also determined using an optical measuring procedure developed at TU Chemnitz.

For the determination of the mechanical properties, a special tool was designed for the tensile test. This makes it possible to support the test specimen in such a way that no bending moments are introduced into the region to be tested. The tensile strength was measured on six welded specimens in each case with identical process parameters. Because of the short clamping length, it was not possible to determine the elongation.

Since no EDs are needed in torsional ultrasonic welding, both process variants (torsional and longitudinal) were investigated not only with but also without EDs. For these four process variants, the parameters were optimised with regard to the attainable ultimate strength. The joining pressure and the welding time were varied in this case. The amplitude was constant.

4 Results

Fig. 3 shows the tensile strength over the joining pressure for specimens which were manufactured by means of longitudinal ultrasonic welding with EDs. The best weld strength occurred at a joining pressure of 1.5 N/mm² and a welding time of 0.3 s.

On Fig. 4, the tensile strength is plotted over the joining pressure in torsional ultrasonic welding without EDs. In comparison with longitudinal US welding,

einem Fügedruck von 1,5 N/mm² und einer Schweißzeit von 0,3 s.

In Bild 4 ist die Zugfestigkeit über den Fügedruck beim torsionalen Ultraschallschweißen ohne ERG aufgetragen. Im Vergleich zum longitudinalen US ist auffällig, dass es nicht genau einen optimalen Arbeitspunkt gibt, sondern einen breiten Arbeitsbereich, in dem ähnlich hohe Nahtfestigkeiten erreicht werden. Die besten Ergebnisse ergaben sich bei einer Schweißzeit von 0,1 s und einem Fügedruck zwischen 3 und 6 N/mm².

Die höchsten Nahtfestigkeiten aller vier Verfahrensvarianten sind in Bild 5 dargestellt. Sowohl beim longitudinalen, als auch beim torsionalen Ultraschallschweißen führt der Einsatz eines ERG zu wesentlich niedrigeren Zugfestigkeiten gegenüber den Schweißungen ohne ERG. Die Schweißungen ohne ERG mit longitudinalen Ultraschall waren aufgrund der einfachen Probekörpergeometrie möglich. Bei komplexeren Geometrien, wie sie in der Praxis Anwendung finden, ist dies jedoch nicht realisierbar.

5 Zusammenfassung

Die beiden Verfahren longitudinalen und torsionalen Ultraschallschweißen wurden hinsichtlich ihrer maximal erreichbaren Zugfestigkeit gegenübergestellt. Dafür wurden DVS-Probekörper aus PBT mit und ohne Energierichtungsgeber geschweißt.

Die höchste Zugfestigkeit wurde beim torsionalen Ultraschallschweißen von Probekörpern ohne ERG erreicht. Diese liegt um 25 % höher als beim longitudinalen Ultraschallschweißen ohne ERG.

Bei beiden Verfahren nimmt die Zugfestigkeit stark ab, wenn Probekörper mit ERG geschweißt werden.

Des Weiteren wurde festgestellt, dass es beim torsionalen Ultraschallschweißen ein breiteres Parameterfenster gibt, in dem gleich gute Festigkeiten erreicht werden. Beim longitudinalen Ultraschallschweißen gibt es hingegen einen optimalen Prozesspunkt.

6 Kritische Bewertung

Aufgrund seiner rotationssymmetrischen Geometrie ist der verwendete Probekörper besonders für das torsionale Ultraschallschweißen geeignet, da am kompletten Umfang die gleiche Amplitude herrscht. Bei nicht rotations-symmetrischen Bauteilen können die Amplituden in der Fügenaht variieren und somit unterschiedliche Schweißbedingungen hervorrufen.

Eine Klassifizierung dieser beiden Verfahrensvarianten auf Grundlage dieser Versuche würde der Bandbreite der Verfahren nicht gerecht werden.

Die hier vorliegenden Ergebnisse gelten lediglich für den untersuchten Werkstoff (PBT) und der Bauteilgeometrie des DVS-Probekörpers. In weiteren Versuchsreihen muss geprüft werden, wie sich andere Materialien verhalten und ob eine Übertragung auf praxisrelevante Bauteilgeometrien möglich ist.

Danksagung

Besonderer Dank gilt den Firmen Branson Ultraschall, Herrmann Ultraschalltechnik und Telsonic für die Bereitstellung der Versuchsanlagen, sowie der BASF für die Unterstützung mit Versuchsmaterial.

it is conspicuous that there is not exactly an optimum working point but instead a wide working range in which similarly high weld strengths are achieved. The best results occurred at a welding time of 0.1 s and a joining pressure between 3 N/mm² and 6 N/mm². The highest weld strengths of all four process variants are shown on Fig. 5. In both longitudinal and torsional ultrasonic welding, the utilisation of an ED leads to substantially lower tensile strengths compared with the welds without EDs. The welds without EDs with longitudinal ultrasound were possible because of the simple test specimen geometry. However, this cannot be implemented in the case of more complex geometries, as are applied in practice.

5 Summary

Both longitudinal and torsional ultrasonic welding processes were compared with regard to their maximum attainable tensile strength. For this purpose, DVS test specimens made of PBT were welded with and without energy directors.

The highest tensile strength was achieved in the torsional ultrasonic welding of test specimens without EDs. This is around 25 % higher than in longitudinal ultrasonic welding without EDs. In both processes, the tensile strength decreases sharply when test specimens with EDs are welded.

Furthermore, it was established that, in torsional ultrasonic welding, there is a wider parameter window in which equally good strengths are achieved. In contrast, there is an optimum process point in longitudinal ultrasonic welding.

6 Critical assessment

Because of its rotationally symmetrical geometry, the test specimen used is particularly suitable for torsional ultrasonic welding since the same amplitude exists around the complete circumference. In the case of components which are not rotationally symmetrical, the amplitudes may vary in the joining weld and may thus give rise to different welding conditions. A classification of both these process variants on the basis of these tests would not do justice to the range of the processes.

The results available here apply merely to the investigated material (PBT) and to the component geometry of the DVS test specimen. In further series of tests, it must be checked how other materials behave and whether the results can be transferred to practice-relevant component geometries.

Expression of thanks

Particular thanks go to Branson Ultraschall, Herrmann Ultraschalltechnik and Telsonic for providing the test installations as well as to BASF for the support with test material.

Literatur References

- [1] Friedrich, S.; Gehde, M.: Torsionales Ultraschallschweißen von Polymerwerkstoffen und Hybridverbunden. TECHNOMER 2007, 20. Fachtagung über Verarbeitung und Anwendung von Polymeren, 15.-17.11.2007, Chemnitz, Germany.
- [2] Friedrich, S.; Motshev, S.; Gehde, M.: Torsionales Ultraschallschweißen. Joining Plastics, 2 (2008), p.110-114.