

# Rotatives Vibrationsschweißen – ein neuartiges Reibschweißverfahren

## Rotative vibration welding - an innovative friction welding process

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Heim, Dipl.-Ing. Stefan Jarka, Lehrstuhl Kunststofftechnik, Institut für Werkstofftechnik, Universität Kassel; Willi Fischer, Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH, Berkatal

### Kurzfassung

In diesem Bericht werden das neuartige Schweißverfahren Rotatives Vibrationsschweißen und Untersuchungsergebnisse aus Schweißversuchen mit diesem Verfahren vorgestellt. Das Rotative Vibrationsschweißen, kurz ROV, ist durch eine oszillierende Reibbewegung entlang eines Kreisbogens mit zentralem Drehpunkt gekennzeichnet und vereint Elemente des Rotations-, Winkel- und linearen Vibrationsschweißens. Bild 1 verdeutlicht das Prinzip der Reibbewegung.

Maschinenseitig wurde auf die aus Maschinen bekannte Zirkularschaltung des Herstellers Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH zurückgegriffen, in Kombination mit einem speziell entwickelten Hebelarmgetriebe zur Erzeugung der Vibrationsbewegung. Probekörper für Machbarkeitsuntersuchungen des Verfahrens wurden

entwickelt und nach dem Verschweißen innerhalb des geeigneten Prozessfensters mechanischen Prüfungen unterzogen und mikroskopisch bewertet.

Anwendungen finden sich vor allem dort, wo das Rotationsreibschweißen aufgrund nicht frei drehbarer Bauteile oder unzureichender Schweißnahteigenschaften nicht eingesetzt werden kann.

### 1. Einleitung

Das in der industriellen Serienfertigung häufig angewendete Rotationsreibschweißverfahren kommt in einigen Fällen an seine Grenzen. So muss ein Fügepartner frei drehbar sein, was aufgrund steigender Komplexität der Halbzeuge durch Funktionenintegration und große Längen bei Leitungen oder Rohren oft schwierig oder gar unmöglich ist.[1] Bei der Anwendung herkömmlicher Vibrationsreibschweißverfahren werden häufig verdeckte Schweißnähte konstruiert wie es etwa in den DVS-Richtlinien empfohlen wird. Jedoch muss Freiraum für die Reibbewegung im Bereich der Fügenahtgestaltung berücksichtigt werden. Ein weiterer zu erwartender Nachteil des Rotationsreibschweißens sind die geringeren mechanischen Kennwerte. Der Schweißfaktor von vibrationsgeschweißten Verbindungen kann beim standardmäßigen Rotationsreibschwei-

ßen meist nicht erreicht werden, da durch langsames Abbremsen aus der Reibbewegung die Verbindung geschwächt wird.[2] Nachteilig wirken sich beim Rotationsreibschweißen auch die höhere Abschmelzgeschwindigkeit und die erhöhte Fusselbildung durch längere Trockenreibphasen auf die Nahtqualität aus.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen eines von der AiF geförderten Forschungsvorhabens eine neuartige Maschinenteknologie entwickelt, die eine oszillierende Reibbewegung um einen zentralen Drehpunkt ermöglicht. Das ROV-Verfahren setzt sich aus den

### Abstract

The innovative rotative vibration welding process and investigation results from welding tests with this process are presented in this report. Rotative vibration welding (abbreviated as ROV) is characterised by an oscillating friction movement along a circular arc with a central point of rotation and unites elements of rotational, angular and linear vibration welding. Fig. 1 illustrates the principle of the friction movement.

On the machine side, that circular connection of the manufacturer Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH which is well-known from machines was used in combination with a specially developed lever arm gear unit in order to produce the vibration movement. Test specimens were developed for feasibility investigations into

the process. After the welding within the suitable process window, these test specimens were subjected to mechanical tests and were assessed microscopically.

Applications are found, above all, wherever rotational friction welding cannot be utilised because the components cannot be rotated freely or the weld properties are insufficient.

must be taken into consideration in the field of the joining weld configuration. Another disadvantage to be expected of rotational friction welding relates to the worse mechanical parameters. In most cases, the welding factor of vibration-welded joints cannot be achieved with standard rotational friction welding since the joint is weakened by the slower deceleration from the friction movement [2]. With regard to rotational friction welding, the higher deposition rate and the increased fluffing due to longer dry friction phases exert detrimental effects on the weld quality.

Against this background, an innovative machine technology which permits an oscillating friction movement around a central point of rotation was developed within the framework of a research project promoted by AiF. The ROV process is composed of the classical processes



Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Heim

Profil: [www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=202972](http://www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=202972)  
profile: [www.joining-plastics.info/?id=202972](http://www.joining-plastics.info/?id=202972)



Dipl.-Ing. Stefan Jarka

Profil: [www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=207019](http://www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=207019)  
profile: [www.joining-plastics.info/?id=207019](http://www.joining-plastics.info/?id=207019)  
[jarka@uni-kassel.de](mailto:jarka@uni-kassel.de)



Willi Fischer

Profil: [www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=207027](http://www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=207027)  
profile: [www.joining-plastics.info/?id=207027](http://www.joining-plastics.info/?id=207027)

### 1. Introduction

The rotational friction welding process frequently applied in industrial series fabrication comes up against its limits in a few cases. For instance, one joining member must be freely rotatable. Because of the rising complexity of the semi-finished products due to the integration of functions and to great lengths of lines or pipes, this is often difficult or even impossible [1]. When conventional vibration friction welding processes are applied, concealed welds are frequently designed, as is recommended in the DVS technical codes for example. However, free space for the friction movement

klassischen Verfahren des Rotationsreibschweißens, des Winkelschweißens und, lokal betrachtet, des linearen Vibrationsschweißens zusammen. Dabei sind die Amplitude mechanisch durch die Zirkularschaltung und die Frequenz durch die Motordrehzahl variabel und unabhängig voneinander einstellbar. Somit kann die Schweißgeschwindigkeit an Bauteile unterschiedlichen Durchmessers angepasst werden.

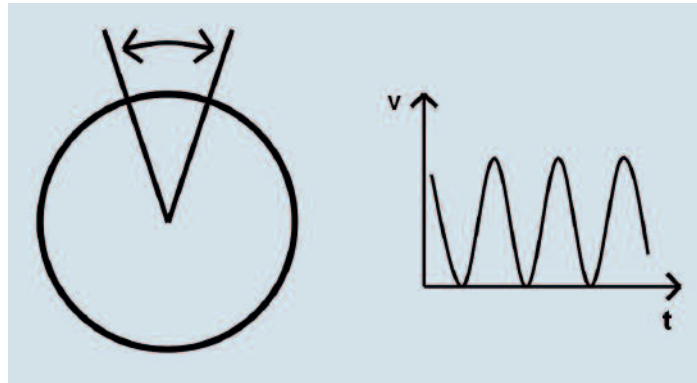
Um die Umsetzbarkeit des Schweißverfahrens untersuchen zu können, wurden geeignete Probekörpergeometrien entwickelt, mit denen Zug- und Berstdruckversuche durchgeführt wurden. Des Weiteren wurden mikroskopische Untersuchungen der Schweißnahtgefüge durchgeführt, um die Ausprägung der Naht beurteilen zu können. Vergleichende Schweißversuche mit den Verfahren Rotationsreibschweißen und biaxiales Vibrationsschweißen sollen das Potenzial der neuartigen Schweißtechnologie zeigen.

**2. Maschinentechnik**

Schwerpunkt des von 2010 bis Ende 2012 durchgeführten Forschungsprojekts war die Entwicklung einer Schweißmaschine unter Verwendung der von der Firma Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH entwickelten Zirkularschaltung. Die geeignete Technologie, um aus der dadurch generierbaren Unwuchtbewegung die erforderliche rotative Vibrationsbewegung zu erzeugen, führte zu verschiedenen Überlegungen und Prototypenmaschinen.

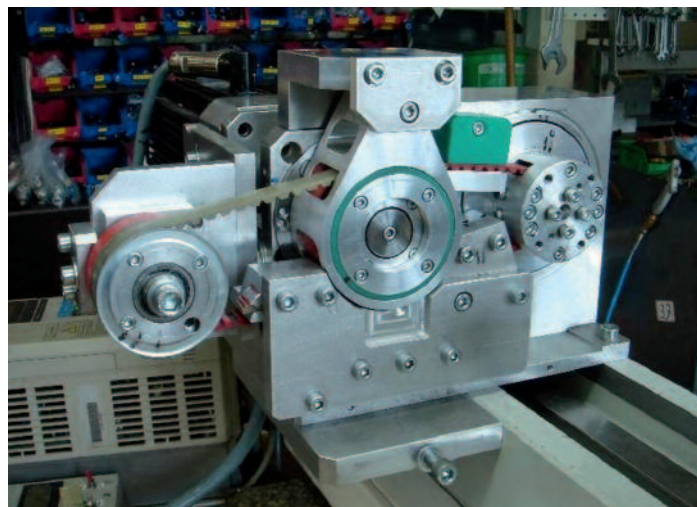
Bild 2 zeigt die erste Prototypenmaschine, bei der durch ein Riemengetriebe die Schweißbewegung erzeugt werden sollte. Jedoch war man durch Wärmeentwicklung und Einbußen bei der Steifigkeit des Aufbaus bezüglich der Frequenz stark eingeschränkt.

Mehr Erfolg versprach eine Übersetzung mittels eines speziell entwickelten Hebelarmgetriebes. Die verwendeten Federstangen und besonders massiv ausgelegten Lagerungen sorgen für Bedingungen, die das Schweißen bei üblichen Frequenzen des Vibrationsschweißens ermöglichen. Bild 3 zeigt den vollwertigen Prototyp mit der beschriebenen Maschinentechnik, welcher inzwischen in der Serienproduktion eines Automobilzulieferers dauerhaft eingesetzt wird.



**Bild 1:** Prinzip der Reibbewegung und -geschwindigkeit beim Rotativen Vibrationsschweißen

**Fig. 1:** Principle of the friction movement and speed during rotative vibration welding



**Bild 2:** Riemengetriebe der ersten Prototypenmaschine

**Fig. 2:** Belt gear unit of the first prototype machine

**3. Durchführung der Untersuchungen**

Um für die Bewertung des neuartigen Schweißverfahrens Untersuchungen durchführen zu können, wurden geeignete Probekörper entwickelt. Anforderung

of rotational friction welding, angular welding and, considered locally, linear vibration welding. In this respect, the amplitude can be adjusted mechanically by the circular connection and the frequency by the rotational speed of the

motor, in a variable way and independently of each other. Thus, the welding speed can be adapted to components with different diameters.

Suitable test specimen geometries with which tensile and bursting pressure tests were carried out were developed in order to be able to investigate the implementability of the welding process. Furthermore, microscopic investigations were conducted into the weld structure in order to be able to evaluate the distinctness of the weld. Comparative welding tests with the rotational friction and biaxial vibration welding processes should show the potential of the innovative welding technology.

**2. Machine technology**

The research project carried out from 2010 to the end of 2012 focused on the development of a welding machine using the circular connection developed by Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH. The suitable technology in order to produce the required rotative vibration movement from the imbalance movement which can be generated by the circular connection led to various deliberations and prototype machines. Fig. 2 shows the first prototype machine in which the welding movement was to be produced by a belt gear unit. However, extreme restrictions in relation to the frequency arose due to the heat development and the losses with regard to the stiffness of the structure.

More success was promised by a transmission system using a specially developed lever arm gear unit. The utilised spring rods and the bearings in a par-



**Bild 3:** vollwertige Prototypenmaschine mit Zirkularschaltung und Federstangengetriebe

**Fig. 3:** Full-size prototype machine with a circular connection and a spring rod gear unit





**Bild 4: entwickelte Proben für die Durchführung von Schweißversuchen**

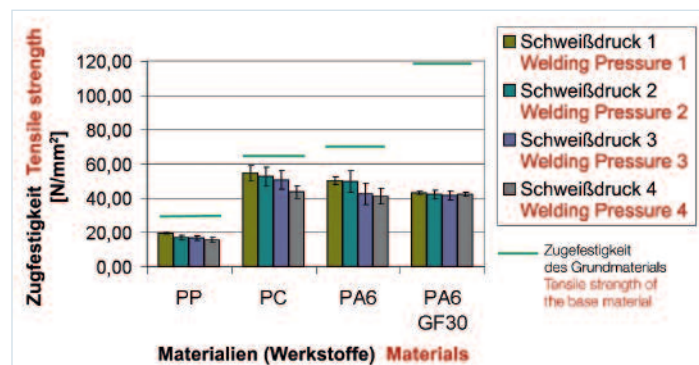
**Fig. 4: Specimen developed for the execution of welding tests**

rungen waren zum einen die Schweißbarkeit mit dem ROV-Verfahren, wofür sich eine rotationssymmetrische Füge-nahtgeometrie mit Stumpfnähten anbietet. Weiterhin sollten Zugprüfungen und Berstdruckversuche sowie mikroskopische Untersuchungen an verschweißten Proben durchgeführt werden können. Demzufolge wurde ein geschlossener Körper mit Anbindungsmöglichkeit an ein Gasdruckventil entwickelt. Rillenstrukturen ermöglichen das Einspannen in ein Klemmwerkzeug für Zugprüfungen. Bild 4 zeigt die Probengeometrien, im unverschweißten und verschweißten Zustand. Das Spritzgießwerkzeug ermöglicht durch Wechselkavitäten die Herstellung von Probekörpern in den Durchmessern 20 mm, 30 mm und 40 mm sowie mit Wanddicken von 1 mm bis 3 mm.

Vorversuche zeigten, dass mit einer Reibgeschwindigkeit im Bereich von 350 mm/s und den maschinentechnisch realisierbaren Schweißdrücken anzustrebenden Fügezeiten von 2 s bis 8 s erreicht werden können. Bei kürzeren Fügezeiten nimmt die Festigkeit durch das starke Herauspressen der Schmelze ab. Bei zu langen Fügezeiten wird riskiert, dass aufgrund des damit zusammenhängenden, geringen Fügedrucks die Feststoffreibphase nicht überwunden wird.

Die Reibgeschwindigkeit ist beim rotativen Vibrationsschweißen, wie auch beim linearen Vibrationsschweißen, als mittlere Reibgeschwindigkeit der zyklisch wechselnden, wahren Ge-

schwindigkeit anzusehen. Diese hängt ab von der Frequenz und der Amplitude. Bei den durchgeführten Untersuchungen wurden die Frequenz auf 70 Hz und die Amplitude auf 1,3 mm eingestellt, um die gewollte Reibgeschwindigkeit zu



**Bild 5: Zugfestigkeit der Schweißproben mit 40 mm Durchmesser, hergestellt mit dem Rotativen Vibrationsschweißen**

ticularly solid design ensure conditions which permit welding at frequencies customary for vibration welding. Fig. 3 shows the full-size prototype which incorporates the described machine technology and is being used permanently in the series production of an automobile component supplier in the meantime.

### 3. Execution of the investigations

Suitable test specimens were developed in order to be able to conduct investigations for the assessment of the innovative welding process. Requirements included the weldability with the ROV process for which a rotationally symmetrical joining weld geometry with butt welds is appropriate. Furthermore, it was to be possible to carry out tensile tests, bursting pressure tests and microscopic investigations on welded specimens. Consequently, a closed body was developed with the possibility of linking to a gas pressure valve. Groove structures permit fixing in a clamping tool

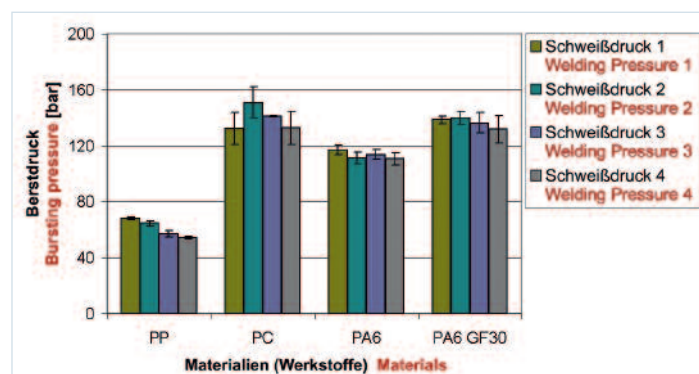
for tensile tests. Fig. 4 shows the specimen geometries, in the unwelded and welded conditions. As a result of changing cavities, the injection moulding tool allows the manufacture of test specimens in the diameters of 20 mm, 30 mm und 40 mm as well as with wall thicknesses from 1 mm to 3 mm.

Preliminary tests showed that the joining times from 2 s to 8 s to be striven for can be achieved at a friction speed in the region of 350 mm/s and at the welding pressures attainable with the machine technology. With shorter joining times, the strength decreases because the melt is pressed out to a great extent. With excessive joining times, there is a risk of the solid friction phase not being overcome due to the low joining pressure associated with them.

In the case of both rotative vibration welding and linear vibration welding, the friction speed may be viewed as the mean friction speed of the cyclically changing, true speed. This depends on the frequency and the amplitude. During the conducted investigations, the frequency was set at 70 Hz and the amplitude at 1.3 mm in order to achieve the intended friction speed. The angle of the deflection is thus dependent on the component geometry. Large component radii result in correspondingly more acute deflection angles and vice versa.

### 4. Results

The mechanical investigations show a high level of the welded joints. For example, it was possible to achieve the parameters which can be seen on Fig. 5 in the case of the specimens with a diameter of 40 mm and a wall thickness of 3 mm in the tensile test with the following materials: PP, PC as well as unreinforced and glass-fibre-reinforced PA6. The tensile strengths of the specified welded specimens are indicated at welding pressures altered in steps (the set pressures are included in Table 1). On Fig. 5, the green lines mark the respective base material strengths. In this respect, the tensile strength of the welded joint with the unreinforced materials after the process optimisation is just 25 % below the strength of the utilised material. In the case of PC, the strength of the welded joint is even just 15 % lower than the base material strength.



**Bild 6: Berstdrucke der Schweißproben mit 40 mm Durchmesser, hergestellt mit dem Rotativen Vibrationsschweißen**

**Fig. 5: Tensile strengths of the welded specimens with a diameter of 40 mm, manufactured with rotative vibration welding**

**Fig. 6: Bursting pressures of the welded specimens with a diameter of 40 mm, manufactured with rotative vibration welding**

erreichen. Der Winkel der Auslenkung ist somit abhängig von der Bauteilgeometrie. Bei großen Bauteilradien ergeben sich entsprechend kleinere Auslenkungswinkel und umgekehrt.

**4. Ergebnisse**

Die mechanischen Untersuchungen zeigen ein hohes Niveau der Schweißverbindungen. So konnten bei den Proben mit 40 mm Durchmesser und 3 mm Wandstärke im Zugversuch mit den Materialien PP, PC sowie unverstärktem und glasfaserverstärktem PA6 die in Bild 5 zu sehenden Kennwerte erreicht werden. Dargestellt sind die Zugfestigkeiten der genannten Schweißproben bei stufenweise geändertem Schweißdruck (Die eingestellten Drücke können Tabelle 1 entnommen werden).

In Bild 5 kennzeichnet die grüne Linie die jeweilige Grundmaterialfestigkeit. Dabei liegt die Zugfestigkeit der Schweißverbindung bei den unverstärkten Materialien nach der Prozessoptimierung nur 25% unterhalb der Festigkeit des verwendeten Werkstoffs. Bei PC ist die Festigkeit der Schweißverbindung sogar nur 15% geringer als die Grundmaterialfestigkeit.

Berstdruckversuche wurden mit einem elektronischen Gasdruckregelventil und Stickstoff als Medium innerhalb eines eigens entwickelten Sicherheitsbehälters durchgeführt. Dabei wurde der in der Probe anliegende Prüfdruck kontinuierlich um 1,5 bar pro Sekunde erhöht und der Ist-Wert gemessen. Die Ergebnisse der Berstdruckversuche mit den Schweißproben mit 40 mm Durchmesser sind in Bild 6 zusammengefasst. Ausgewertet wurden die Maximalwerte beim Versagen der Proben.

Um nach den ersten Untersuchungen zur Feststellung der wiederholbaren Machbarkeit des Verfahrens unter Verwendung verschiedener Materialien und unterschiedlicher Probengeometrien eine vergleichende Betrachtung mit anderen Reibschweißverfahren zu realisieren, wurden weitere Versuchsreihen durchgeführt. Dafür wurde PA6 mit 30% Glasfaserverstärkung aufgrund der hohen Relevanz in technischen Anwendungen näher untersucht. Es wurde sich auf den mittleren Probendurchmesser von 30 mm beschränkt und die Verfahren Rotationsreibschweißen und das biaxiale Zirkularschweißen zur vergleichenden Betrachtung herangezogen.

**Tabelle 1: eingestellte Schweißdrücke beim Verarbeiten verschiedener Werkstoffe**

**Table 1: Welding pressures set for the processing of various materials**

Material	Schweißdruck Welding pressure [N/mm <sup>2</sup> ]			
	1	2	3	4
PP	3,8	5,3	6,7	8,2
PC	1,0	1,4	1,9	2,3
PA6	4,5	5,3	6,0	6,7
PA6 GF30	2,3	3,8	5,3	6,7

Die in Bild 7 zusammengefassten Ergebnisse der Versuche zeigen die Zugfestigkeit der mit den genannten Verfahren hergestellten Schweißverbindungen unter Variation des Schweißdrucks im Bereich von 1,6 bis 6 N/mm<sup>2</sup> (Schweißdruck 1 < Schweißdruck 2 < Schweißdruck 3 < Schweißdruck 4).

Dabei zeigt sich ein hohes Niveau der Festigkeiten beim Rotativen Vibrations-schweißen bei gleichzeitig vergleichsweise geringer Streuung der Werte. Das damit in Konkurrenz stehende Rotationsreibschweißen bewegt sich bezüglich der Schweißnahtfestigkeiten auf deutlich niedrigerem Niveau.

Die mikroskopischen Untersuchungen der glasfaserverstärkten Proben, hergestellt mit den genannten Reibschweißverfahren, zeigten deutliche Unterschiede in der Ausprägung der Schweißnaht. Bild 8 zeigt eine vergleichende Übersicht der Schweißnähte im Auflicht. Dabei

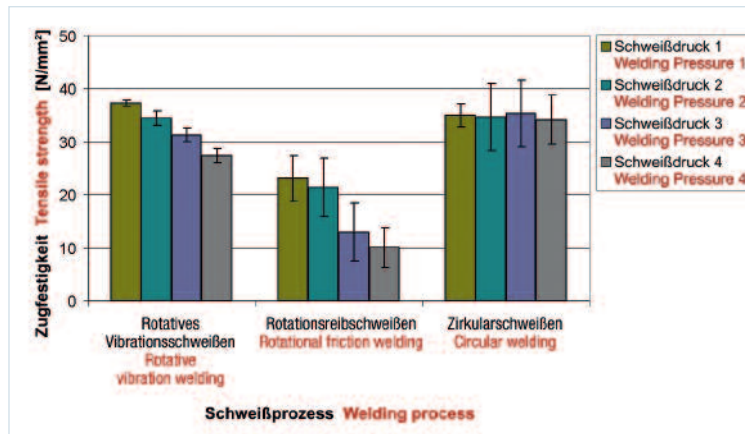
With an electronic gas pressure regulating valve and with nitrogen as the medium, bursting pressure tests were performed inside a safety tank developed specifically for this purpose. In this respect, the test pressure applied to the specimen was increased continuously by 1.5 bar per second and the actual value was measured. The results of the bursting pressure tests with the welded specimens with a diameter of 40 mm are compiled on Fig. 6. The maximum values when the specimens failed were evaluated.

Further series of tests were carried out in order to make a comparative consideration with other friction welding processes so that the feasibility of reliably repeating the process using various materials and different specimen geometries could be established. To this end, more detailed investigations were conducted

on PA6 with 30 % glass fibre reinforcement because of the high relevance in technical applications. The mean specimen diameter was restricted to 30 mm and reference was made to the rotational friction and biaxial circular welding processes for the comparative consideration. The test results compiled on Fig. 7 show the tensile strengths of the welded joints manufactured with the specified processes while varying the welding pressure in the range of 1.6 - 6 N/mm<sup>2</sup> (Welding Pressure 1 < Welding Pressure 2 < Welding Pressure 3 < Welding Pressure 4).

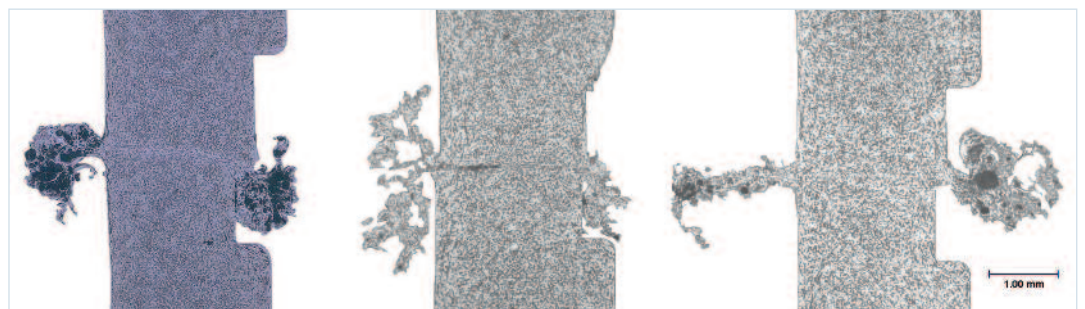
In this respect, it is shown that the strengths have a high level in the case of rotative vibration welding with comparatively slight variation in the values at the same time. The rotational friction welding competing with it exhibits values on a substantially lower level with regard to the weld strengths.

The microscopic investigations on the glass-fibre-reinforced specimens, manufactured with the specified friction welding processes, indicated substantial differences in the distinctness of the weld. Fig. 8 shows a comparative overview of the welds in reflected light. Here, it is possible to recognise imperfections in the weld formation in the



**Bild 7: Zugfestigkeit der Schweißproben mit 30 mm Durchmesser, hergestellt mit drei unterschiedlichen Reibschweißverfahren**

**Fig. 7: Tensile strengths of the welded specimens with a diameter of 30 mm, manufactured with three different friction welding processes**



**Bild 8: vergleichende Betrachtung der Nahtausbildung bei unterschiedlichen Schweißverfahren im Auflicht bei 50-facher Vergrößerung**

**Fig. 8: Comparative consideration of the weld formation in the case of different welding processes in reflected light at a magnifying power of 50x**



sind beim Rotationsreißschweißen Fehlstellen in der Nahtausbildung zu erkennen. Die Anbindung beim Zirkularschweißen erscheint, wie bei dem neuen ROV-Verfahren, sauber ausgebildet. Diese Erkenntnisse decken sich mit den mechanischen Untersuchungen. Beim ROV-Verfahren bildet sich die Schweißwulst außerdem deutlich kompakter aus als bei den anderen Verfahren.

## 5. Fazit

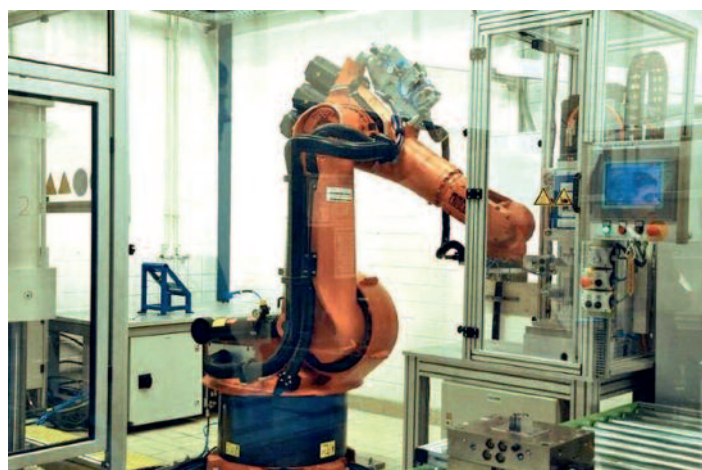
Die Betrachtung der Weg-Zeit-Verläufe und die Prozessführung zeigen, genauso wie die Wiederholbarkeit beim Schweißen, dass es sich beim Rotativen Vibrationsschweißen um einen robusten Prozess handelt. Vor allem bei kleinen Bauteilen war der Prozess mit wegrelativer Schweißstellung am einfachsten zu beherrschen.

Im Verfahrensvergleich hat sich gezeigt, dass sich das neue Verfahren auf dem hohen Niveau bewährter Vibrationsschweißverfahren bewegt. Die besondere Eignung für rotationsymmetrische Bauteile macht das Verfahren zu einer geeigneten Alternative gegenüber anderen Reißschweißverfahren, im speziellen gegenüber dem Rotationsreißschweißen.

## 6. Ausblick

Besonderes Potential bietet das Verfahren in Bezug auf die folgenden drei Aspekte, die auch im weiteren Verlauf der Forschungstätigkeiten des Instituts und der Firma Fischer Kunststoff-Schweißtechnik verfolgt werden:

Ein negatives Kriterium des Reißschweißens ist häufig die Fusselbildung.[3] Durch die Art der Schweißbewegung ist eine beim Vibrationsschweißen neue Schweißnahtgestaltung möglich. Die Fügezonen können ohne besonderen Freiraum abgedeckt werden, da bei rotationsymmetrischen Teilen kein Raum für die Vibrationsbewegung erforderlich ist. Dadurch sind Fügenahtgeometrien, in Anlehnung an die Empfehlungen der DVS-Richtlinien und ähnlich wie beim Rotationsreißschweißen, denkbar. Diese neue Möglichkeit der Nahtgestaltung und die damit einhergehende deutliche Reduzierung der austretenden Partikel lässt ein enormes Anwendungspotential des Verfahrens vermuten.[4] Erste Vorversuche haben das zu erwartende Potential bestätigt. Vor allem bei rotationsymmetrischen Anwendungen ist



**Bild 9:** in eine wandlungsfähige Produktionsanlage eingebundenes Schweißmaschinen-Basismodul mit Zirkularschweißkopf (rechts) und Handlingsystem (links)

**Fig. 9:** Basic welding machine module incorporated into a transformable production installation and equipped with a circular welding head (right) and a handling system (left)

häufig der Medientransport unter strengen Sauberkeitsanforderungen gefragt. Nach den geplanten, weiteren Untersuchungen kann eine verbindliche Aussage getroffen werden, ob das Verfahren bei Anwendungen genutzt werden kann, die bisher kein Reißschweißen zuließen. Im Bereich der Antriebstechnik wird neben der Zirkularschaltung und der Getriebeübersetzung ein weiteres Maschinenkonzept verfolgt. Dabei handelt es sich um eine direkt vom Elektromotor realisierte Reibbewegung. Das Schweißwerkzeug ist entsprechend starr mit dem Elektromotor verbunden, wie es beim Rotationsreißschweißen üblich ist. Die Regelungstechnik des Elektroantriebs übernimmt dann die Erzeugung der sinusartigen Hin- und Herbewegung des Schweißwerkzeugs. Bei den üblichen Frequenzen und Amplituden des Verfahrens ist sofort zu erkennen, dass die Anforderungen an den Motor und die Regelungseinheit enorm hoch sind. Erste Untersuchungen haben aber inzwischen gezeigt, dass die beschriebene Maschinenteknik grundsätzlich machbar ist. Der daraus resultierende, besonders kompakte Aufbau des Antriebs eröffnet folgende Möglichkeit:

Im Zusammenhang mit den entstehenden Vorteilen durch die beschriebene, direkte Antriebstechnik ist geplant, einen ROV-Schweißkopf nach dem untersuchten Verfahrensprinzip zu entwickeln und in eine bereits bestehende Produktionszelle des Instituts der Universität Kassel (siehe Fachbeitrag in Joining Plastics – Fügen von Kunststoffen, 3-4/2012, S. 201-

weld configuration which is new in the case of vibration friction welding. The joining zones can be covered without any particular free space since no space is required for the vibration movement with rotationally symmetrical parts. Joining weld geometries with reference to the recommendations in the DVS technical codes and similar to the case of rotational friction welding are thus conceivable. This new possibility for the weld configuration and the associated substantial reduction in the emerging particles are leading to the assumption of an enormous application potential of the process [4]. Initial preliminary tests have confirmed the potential to be expected. Above all in the case of rotationally symmetrical applications, there is frequently a demand for media transport with strict cleanliness requirements. After the planned, further investigations, it will be possible to make a binding statement about whether the process can be used for applications which have not allowed friction welding until now.

In the field of drive technology, another machine concept is being pursued in addition to the circular connection and the gear transmission. This is a friction movement made directly by the electric motor. The welding tool has a correspondingly rigid connection with the electric motor, as is customary in the case of rotational friction welding. The regulation technology of the electric drive is then responsible for producing the sinusoidal back and forth movements of the welding tool. At the usual frequencies and amplitudes of the process, it can be recognised immediately that the requirements on the motor and the regulation unit are enormously stringent. However, initial investigations have meanwhile shown that the described machine technology is fundamentally feasible. The resulting, particularly compact structure of the drive is opening up the following possibility: In conjunction with the advantages resulting from the described, direct drive technology, it is planned to develop an ROV welding head according to the investigated process principle and to integrate it into a production cell already existing at the institute at the University of Kassel (see specialist article in Joining Plastics - Fügen von Kunststoffen, 3-4/2012, page 201-207 [5]). In this

case of rotational friction welding. As with the new ROV process, the fusion in circular welding appears to be formed cleanly. These findings coincide with the mechanical investigations. With the ROV process, the welding bead also has a considerably more compact formation than with the other processes.

## 5. Conclusion

Just like the repetition reliability during the welding, the consideration of the displacement/time courses and the process control show that rotative vibration welding constitutes a robust process. Above all in the case of small components, the process with welding setting in relation to the displacement is easiest to master.

In the comparison of the processes, it has been shown that the new process is on the same high level as proven vibration welding processes. The particular suitability for rotationally symmetrical components makes the process a suitable alternative to other friction welding process, especially to rotational friction welding.

## 6. Prospects

The process offers particular potential in relation to the three following aspects which will also be pursued in the further course of the research activities of the institute and Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH:

One negative criterion of friction welding is frequently the fluffing [3]. The type of the welding movement permits a

207 [5]) zu integrieren. Dabei wird die Schweißmaschine in die Basisstation, die das Maschinengestell, die Steuerungstechnik und das Bedienfeld umfasst sowie den Schweißhub übernimmt, und den Schweißkopf selber, der die Reibbewegung realisiert, aufgeteilt. So können mit einer Basismaschine mehrere Schweißverfahren umgesetzt werden. Ein automatisierbares Handlingsystem übernimmt dabei den Schweißkopfwechsel. Bild 9 zeigt die Produktionszelle des Instituts mit Zirkularschweißkopf, die unter anderem mit der Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH entwickelt wurde.

### Danksagung

Realisiert werden konnten die Entwicklung der Schweißmaschinenteknologie und die Forschungsarbeiten zum Verfahren im Rahmen eines von der AiF geförderten Projekts. Wir danken der Firma Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH für die Bereitstellung der Maschinenteknik.

respect, the welding machine is divided into the base station which encompasses the machine frame, the control technology and the operating field and is responsible for the welding stroke and the welding head itself which effects the friction movement. Thus, several welding processes can be implemented with one basic machine. In this case, the welding head is changed by a handling system which can be automated. Fig. 9 shows the production cell at the institute which has a circular welding head and was developed, amongst others, with Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH.

### Expression of thanks

It was possible to carry out the development of the welding machine technology and the research work on the process within the framework of a project promoted by AiF. We thank Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH for providing the machine technology.

### Literatur References

- [1] Hopmann, C; Böttcher, A.; Fragner, J: Funktionsintegrierte Kunststofflösungen für die zukünftige Mobilität. Entwicklung innovativer Verarbeitungstechnologien für das Automobil der Zukunft, Schriftenreihe Kunststofftechnik (VDI), Band 4330, 2013, S. 13-24.
- [2] Fischer, W.: Rotationsschweißen, Fachvortrag im Rahmen der Tagung „Fügen von Kunststoffen“, im SKZ, Kunststoff-Zentrum, Würzburg, 26.05.2011.
- [3] Heim et al: Abrieb- und Fusselminimierung beim Vibrationsschweißen, Carl Hanser Verlag, Kunststoffe 3, 2006, S. 45-48.
- [4] Taschenbuch DVS-Merkblätter und Richtlinien - Fügen von Kunststoffen, DVS Media GmbH, Düsseldorf, 2010.
- [5] Heim, H.-P.; Hasse, C.: Wandlungsfähig und flexibel: Ein neues Produktionskonzept für die Kunststoffverarbeitung – auch für die Fügetechnik, DVS Media GmbH, Joining Plastics - Fügen von Kunststoffen, 3-4/2012, S. 201-207.