

Flexibles Kunststofffügezentrum für Reibschweißverfahren

Flexible plastics joining centre for friction welding procedures

Jan-Michael Geck, M. Sc.; Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Heim, Institut für Werkstofftechnik, Universität Kassel; Willi Fischer, Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH, Berkatal

Kurzfassung

In diesem Bericht wird die Neuentwicklung eines flexiblen Kunststofffügezentrums vorgestellt. Das Fügezentrum ist in der Lage, verschiedene Reibschweißverfahren kombiniert an einem Bauteil einzusetzen. Durch die Werkstückaufnahme auf einem in X-Y- und Z-Richtung verfahrbaren Untertisch können mit den Reibschweißverfahren Rotationsschweißen, Zirkularschweißen und ROV-Verfahren an unterschiedlichen Positionen des Bauteils Schweißungen in einer Aufspannung vorgenommen werden. In diesem Bericht wird der Maschinenaufbau erläutert und es werden Ergebnisse von Schweißungen gezeigt, die mit dem Prototypen hergestellt wurden. Die Entwicklung des Verfahrens wurde in einem Kooperationsprojekt zwischen der Firma Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH und dem Institut für Werkstofftechnik der Universität Kassel durchgeführt.

1. Einleitung

Im Bereich der Kunststoffschweißtechnik sind Maschinen in der Regel auf eine Verfahrensvariante und eine einzelne Schweißung je Bauteil beschränkt. Daher müssen unterschiedliche Fügevorgänge an einem Bauteil zumeist an unterschiedlichen Maschinen vorgenommen werden, was wertvolle Zykluszeit benötigt und häufig weitere manuelle Manipulationen erforderlich macht. Um mit der Entwicklung hin zu schlanken und flexiblen Produktionssystemen im Rahmen immer schneller auftretender Design- und Marktveränderungen schritthalten zu können, wächst die Nachfrage nach flexiblen, modularen und automatisierten Maschinen, die in Fertigungs-, Bearbeitungs- und Montagezellen koordiniert werden können. Dieser Trend wird durch den zunehmenden Einsatz komplexer, leichter Kunststoffbauteile verstärkt, da diese häufig an mehreren Fügstellen mit unterschiedlichen Verfahren an weitere Bauteile angebunden werden. Vor diesem Hintergrund wurde das im Rahmen von „Hessen Modellprojekte“ aus Mitteln der Loewe-Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz (Förderlinie 3: KMU-Verbundvorhaben) geförderte Projekt

	<p>Jan-Michael Geck, M. Sc. Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=307277 profile: www.joining-plastics.info/?id=307277</p>
	<p>Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Heim Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=202972 profile: www.joining-plastics.info/?id=202972 heim@uni-kassel.de</p>
	<p>Willi Fischer Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=207027 profile: www.joining-plastics.info/?id=207027</p>

„FlexFueg“ (HA-Projekt-Nr.: 460/15-02) durchgeführt. Es ist ein Fügezentrum entwickelt worden, das Flexibilität, Modularität und Automation für das Schweißen von Kunststoffbauteilen ermöglicht, indem mehrere unterschiedliche Fügeoperationen vollautomatisiert nacheinander auf derselben Station ausgeführt werden können. Das Bearbeitungszentrum selbst kann dabei vollständig in einen bestehenden Material- und Informationsfluss integriert werden. Das auf das Fügen von Kunststoff-

Abstract

The development of a new flexible plastics joining centre is presented in this report. The joining centre is capable of utilising various friction welding procedures on one component in a combined method. Because the workpiece holder is located on a bottom table which is displaceable in the X, Y and Z directions, welds can be executed in different positions on the component in one clamping operation with the friction welding procedures (rotational welding, circular welding and the ROV procedure). This report explains the machine setup and shows results of welds which were manufactured with the prototype. The procedure was developed in a cooperation project between Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH and the Institute for Materials Engineering at the University of Kassel.

tems within the framework of design and market changes which are arising ever more quickly, there is a growing demand for flexible, modular and automated machines which can be coordinated in fabrication, processing and assembly cells. This trend is being reinforced by the increasing utilisation of complex, light plastic components since these are frequently connected to further components at several joints with different procedures. The "FlexFueg" project (HA project no.: 460/1502) which was promoted from funds of the "LOEWE" federal state offensive for the development of scientific-economic excellence (Promotion Line 3: joint SME projects) within the framework of "Hessen Modellprojekte" was executed against this background. A joining centre which permits flexibility, modularity and automation for the welding of plastic components has been developed by being able to carry out several different joining operations after each other on the same station in a fully automated method. In this respect, the processing centre itself can be completely integrated into existing material and information flows. Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH is a company which has specialised in the joining of plastics and,

1. Introduction

In the field of plastics welding technology, machines are restricted to one procedural variant and one single welding operation per component as a rule. In most cases, different joining operations on one component must therefore be carried out using different machines. This needs valuable cycle time and frequently makes further manual manipulations necessary. In order to be able to keep pace with the development towards lean and flexible production sys-

fen spezialisierte Unternehmen Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH hat für dieses Vorhaben gemeinsam mit dem Fachgebiet Kunststofftechnik des Instituts für Werkstofftechnik der Universität Kassel einen voll funktionsfähigen Prototyp entwickelt, der mehrere Fügeprozesse mit unterschiedlichen Schweißverfahren an einem oder mehreren Bauteilen in einem Zyklus vornehmen und dazwischen selbständig dreidimensional positionieren kann, durch einheitliche Schnittstellen und ein an der Maschine befindliches Magazin für Module ein unkompliziertes Anbinden unterschiedlicher Schweißmodule ermöglicht, softwareseitig dafür ausgelegt ist, in ein flexibles Produktionssystem integriert zu werden und querkompatibel zu bestehenden Maschinen und Modulen des Herstellers ist.

In diesem Bericht wird das Gesamtkonzept der Anlage vorgestellt. Das Projekt „FlexFueg“ umfasste im Wesentlichen die Entwicklung eines Prototypen und eine daran anschließende einfache Validierung mittels exemplarischer Schweißungen. Weil einige Firmeninterna nicht freigegeben werden sollen, werden in diesem Bericht nur einige Schweißungen mit PP gezeigt. Grundsätzlich ist das Fügezentrum jedoch nicht hinsichtlich der Anwendbarkeit für verschiedene Materialien eingeschränkt. Weitere Informationen können direkt beim Schweißmaschinenhersteller erfragt werden.

2. Darstellung der Gesamtanlage (Fügezentrum)

Damit unterschiedliche Schweißverfahren auf einer Maschine eingesetzt werden können, ist eine modulare Bauweise erforderlich, die im vorliegenden Projekt über eine Basismaschine realisiert wurde, welche unterschiedliche Füge-Module aufnehmen kann und über die Reglertechnik für die vorgesehenen Verfahren verfügt. Die im Entwicklungsprojekt dafür hinsichtlich der Modulbauweise gestellten Anforderungen an die flexible Fügeanlage waren unter anderem:

- Die flexible Anlage soll die drei Reibschweißverfahren Zirkularschweißen (ZS), das Rotationsschweißen (ROT) und das vor wenigen Jahren neu entwickelte rotative Vibrationsschweißen (ROV) in Kombination ermöglichen.
- Die genannten Verfahren müssen dazu mit einer einheitlichen mechanischen und elektrischen Schnittstelle ausge-

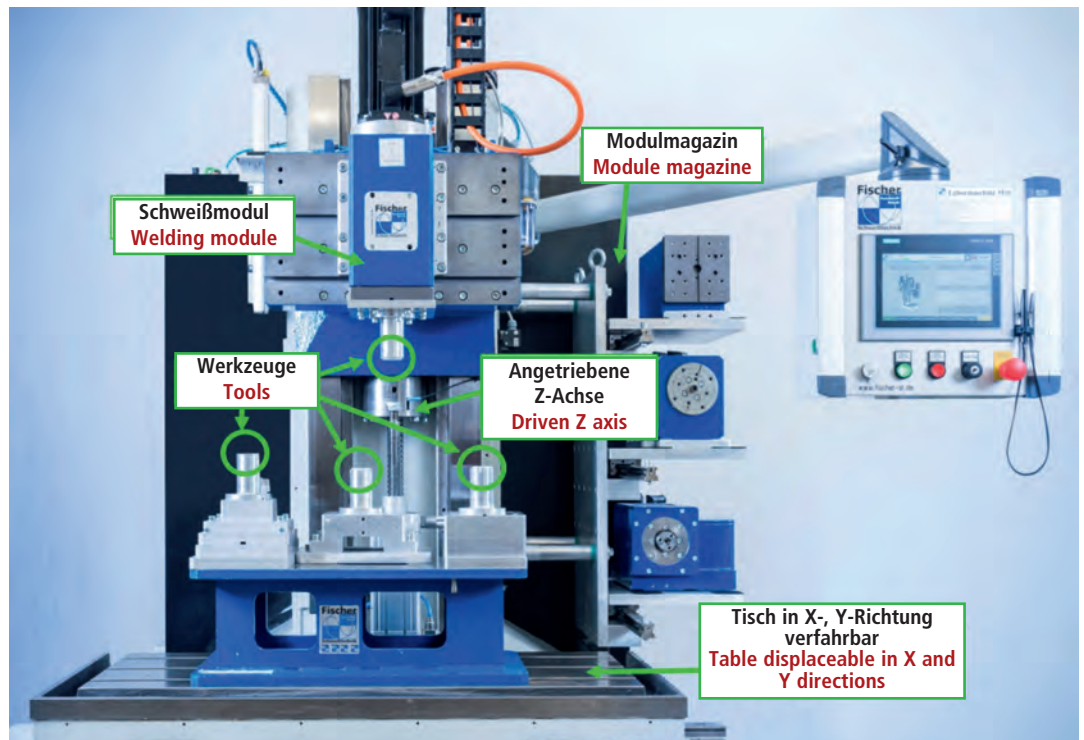


Bild 1: Aufbau des Prototyps des flexiblen Fügezentrums

Fig. 1: Setup of the prototype of the flexible joining centre

rüstet werden; die einzelnen Verfahren werden als Module ausgelegt, welche flexibel in den Gesamtprozess integriert werden können, indem sie an die Schnittstellen angedockt werden.

- Die Parametereingabe und Prozessvisualisierung soll mittels einer Steuerungssoftware ermöglicht werden, die für jede Schweißtechnologie eine eigene Oberfläche bietet.

Basis des im Forschungsvorhaben verwirklichten Prototyps eines flexiblen Fügezentrums war eine CNC-Fräsmaschine, die vollständig demontiert und generalüberholt wurde. Im Anschluss wurde sie mit neuen Aktuatoren und einem neuartigen Schnittstellensystem ausgestattet, wodurch ein unkompliziertes Anbinden und Austauschen von Füge-Modulen ermöglicht wird.

Der Maschinentisch ist in X- und Y-Richtung verfahrbar, damit der Schweißprozess vollständig automatisiert ablaufen kann und keine manuelle Manipulation erforderlich ist. Die Z-Achse dient dem Verfahren des Füge-Moduls sowohl für die Positionierung als auch das präzise Fügen, wobei, je nach Prozessanforderung, kraft geregelt über einen Kraftsensor oder weggeregelt bis zu einer definierten Soll-Fügeposition verfahren werden kann. In Bild 1 ist der Prototyp im Überblick abgebildet, mit drei Probekörpern auf

for this project, has developed, together with the Plastics Technology Group of the Institute for Materials Engineering at the University of Kassel, a fully functional prototype which can perform several joining processes with different welding procedures on one or more components in one cycle, can independently position itself in three dimensions in between, permits the uncomplicated linking of different welding modules using uniform interfaces and a module magazine located on the machine, is equipped with software designed to be integrated into a flexible production system and exhibits cross compatibility with existing machines and modules of the manufacturer.

The overall concept of the installation is presented in this report. The „Flex-Fueg“ project essentially encompassed the development of a prototype and subsequent simple validation using welding operations as examples. Because some internal company matters should not be released, only a few welding operations with PP are shown in this report. However, the joining centre is basically not restricted with regard to the applicability to various materials. Further information may be requested directly from the welding machine manufacturer.

2. Description of the overall installation (joining centre)

A modular construction method which, in the present project, was implemented using a basic machine which can accommodate different joining modules and is equipped with the regulator technology for the planned procedures is required in order to utilise different welding procedures on one machine. The requirements on the flexible joining installation which were set in the development project for this purpose with regard to the modular construction method were (amongst others):

- The flexible installation should permit combinations of the three friction welding procedures: circular welding (CW), rotational welding (ROT) and the rotative vibration welding (ROV) procedure newly developed just a few years ago.
- For this purpose, the specified procedures must be equipped with uniform mechanical and electrical interfaces; the individual procedures are designed as modules which can be integrated into the overall process in a flexible way by docking them on to the interfaces.
- The parameter input and the process visualisation should be made possible using control software which offers a

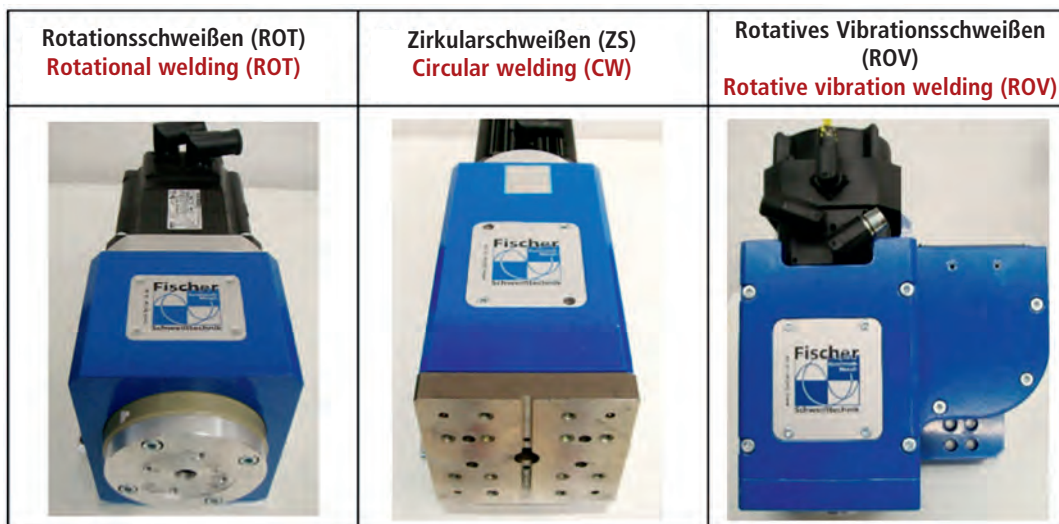


Bild 2: Fotos der drei verwendeten Fügemodule, von links nach rechts; Rotationsschweißen, Zirkularschweißen, ROV-Schweißen

Fig. 2: Photographs of the three utilised joining modules, from left to right: rotational welding, circular welding and ROV welding

Tabelle 1: Schweißparameter feste X-Y-Z-Position
Table 1: Welding parameters in fixed X, Y and Z positions

Parametersatz Set of parameters	Setup 1	Setup 2	Setup 3
Frequenz [Hz] Frequency [Hz]	130		
Fügeweg [mm] Joining path [mm]	1		
Schweißdruck [MPa] Welding pressure [MPa]	5,89	8,84	5,89
durchschn. Reibgeschwindigkeit [mm/s] Average friction speed [mm/s]	327	327	462

dem Tisch in unterschiedlichen X-, Y- und Z-Positionen. Der derzeitige Aufbau erlaubt hohe Regelgenauigkeiten in einem Spektrum von 0,8-20 kN Fügekraft.

3. Darstellung der Fügemodule

In dem Projekt wurden Module für drei unterschiedliche Reibschweißverfahren, nämlich das Zirkularschweißen (ZS), Rotationsschweißen (ROT) und rotative Vibrationsschweißen (ROV), weiterentwickelt und mit einer einheitlichen mechanischen und elektrischen Schnittstelle ausgerüstet, über die sie an die Basismaschine angeschlossen werden. Parametereingabe und Prozessvisualisierung erfolgen dabei mittels einer speziell angepassten Steuerungssoftware, die für jede Schweißtechnik eine eigene Oberfläche bietet.

Die Module für das ZS sind mit einer digitalen Prozessparameterumstellung ausgestattet, die es ermöglicht, Schwin-

gungsamplitude und Frequenz als Parameterprofile im Verlauf des Schweißprozesses zu verändern. Dazu ist eine Reglertechnik mit Synchronisation und einem Hauptantrieb als Master und einem Steuerantrieb als Slave installiert, die in Kombination über Phasenverschiebung die zirkulare Schweißbewegung induzieren.

Da der ROT-Prozess bekanntlich kürzeste Bremszeiten erfordert, damit das Material in der Schweißnaht nicht noch während der Rotation erstarrt, werden die Module aus beliebiger Schweißdrehzahl in <100 ms winkelgenau geregelt abgebremst. Hierfür ist ein entsprechender Antriebsregler mit CNC-Funktion und Kaskaden-Rampenregelung mit einem Hauptantrieb installiert.

ROV als Variante des Rotationsschweißens hat eine reversierende Schweißkinematik, die im Zentrum der Fügegeometrie arbeitet. [1], [2] Die Schweißpa-

separate interface for each welding technology.

The flexible joining centre prototype implemented in the research project was based on a CNC milling machine which was completely dismantled and subjected to a general overhaul. Thereafter, it was equipped with new actuators and an innovative interface system. This permits the uncomplicated linking and substitution of joining modules.

The machine table can be displaced in the X and Y directions so that the welding process can take place in a completely automated mode and no manual manipulation is required. The Z axis serves to displace the joining module not only for the positioning but also for the precise joining. In this respect, the module can, depending on the process requirement, be displaced as far as defined nominal joining position in a force-regulated method using a force sensor or in a path-regulated method.

An overview of the prototype is portrayed on Fig. 1, with three test specimens on the table in different X, Y and Z positions. The current setup permits high regulating accuracies in a joining force spectrum from 0.8 kN to 20 kN.

3. Description of the joining modules

In the project, modules for three different friction welding procedures, i.e. circular welding (CW), rotational welding (ROT) and rotative vibration welding (ROV), were refined and equipped with uniform mechanical and electrical in-

terfaces via which they are connected to the basic machine. In this respect, the parameter input and the process visualisation are carried out using specially adjusted control software which offers a separate interface for each welding technology.

The modules for CW are equipped with a digital process parameter changeover system which makes it possible to alter the oscillation amplitude and the frequency as parameter profiles in the course of the welding process. For this purpose, the installed regulator technology features synchronisation, a main drive as the master and a control drive as the slave. In combination, these induce the circular welding movement via phase displacement.

Since it is known that the ROT process requires the shortest braking times so that the material in the weld does not yet solidify during the rotation, the modules are decelerated from any rotational speed for welding in < 100 ms at precise angles in a regulated method. A corresponding drive regulator with a CNC function and cascade ramp regulation with a main drive is installed for this purpose.

ROV as a variant of rotational welding has reversing welding kinematics which work in the centre of the joining geometry [1], [2]. The welding parameters (frequency and radian measure) are automatically calculated via the required welding speed and are implemented via a highly dynamic direct CNC drive which is equipped with integrated cooling and does not need any further mechanical components. It can be used for joining parts with diameters up to 60 mm. Basically, ROV offers the advantage over ROT that, in practice, it has proven to be substantially more robust in relation to geometrical deviations of the joining members such as distortion since the rotation is limited to a small angle. Moreover, larger or longer hollow parts which cannot be rotated completely can thus also be welded with each other as media-tight joints in a small space. Fig. 2 shows the three utilised modules.

4. Investigations

The investigations described below are intended to show whether the joining centre achieves satisfactory welding results with regard to two aspects:

- Are set operating points approached

parameter Frequenz und Bogenmaß werden über die erforderliche Schweißgeschwindigkeit automatisch berechnet und über einen hochdynamischen CNC-Direktantrieb mit integrierter Kühlung realisiert, der keine weiteren mechanischen Komponenten benötigt. Mit ihm können Teile mit bis zu 60 mm Durchmesser gefügt werden. Grundsätzlich bietet das ROV zum ROT den Vorteil, dass es sich in der Praxis als deutlich robuster gegenüber geometrischen Abweichungen der Fügepartner wie Verzug gezeigt hat, da die Drehung auf einen kleinen Winkel begrenzt ist. Außerdem können so auch größere bzw. längere Hohlteile, die nicht vollständig rotiert werden können, auf kleinem Raum mediendicht miteinander verschweißt werden. Bild 2 zeigt die drei verwendeten Module.

4. Untersuchungen

Die im Folgenden dargestellten Untersuchungen sollen zeigen, ob das Fügezentrum zufriedenstellende Schweißergebnisse hinsichtlich von zwei Aspekten realisiert:

- Werden eingestellte Betriebspunkte mit jedem der drei Schweißverfahren reproduzierbar angefahren?
- Ist die Anlage in der Lage, zufriedenstellende Schweißergebnisse bei verschiedenen Positionen in X-, Y- und Z-Richtung zu realisieren?

Dazu wurden Probekörper aus Polypropylen (PP) verschweißt und im Anschluss die Zugfestigkeit untersucht. Das für den Spritzguss verwendete Material ist ein unverstärktes Polypropylen-Homopolymer mit der Bezeichnung „Sabic PP 575P“. Die Geometrie der verwendeten Probekörper wurde am Fachgebiet Kunststofftechnik für Versuche mit verschiedenen Reibschweißverfahren entwickelt (Bild 3). Die Probekörpergeometrie ist sowohl für Zug- und Torsionsversuche als auch zur Berstdruckermittlung geeignet. Sie basiert auf der Form von Halbzeugen oder Produkten wie medienführenden Elementen in Fahrzeugen als auch Kühl- oder Heizsystemen und ist somit ein bauteilnaher Probekörper für anwendungsorientierte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Wanddicke und Fügefläche sind repräsentativ für die genannte Bauteilgruppe. [1]

Für die Beantwortung der oben genannten Fragen wurden die folgenden Versuche gefahren:

Bild 3: Geometrie des spritzgegossenen Probekörpers (links), Probekörper im Schweißwerkzeug (rechts)

Fig. 3: Geometry of the injection-moulded test specimen (left) and test specimens in the welding tools (right)

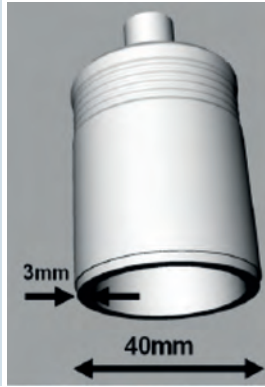


Bild 4: Fügen eines PP-Probekörpers mittel Zirkularschweißen

Fig. 4: Joining of a PP test specimen by means of circular welding

**Tabelle 2: Schweißparameter, Versuche mit X-Y-Z-Stellbewegung
Table 2: Welding parameters for tests with X, Y and Z setting movements**

Frequenz [Hz] Frequency [Hz]	130
Fügeweg [mm] Joining path [mm]	1
Schweißdruck [MPa] Welding pressure [MPa]	4,42 MPa
durchschnittliche Reibgeschwindigkeit [mm/s] Average friction speed [mm/s]	531

- feste Positionierung und Variation von Prozessparametern
 - fest vorgegebene Prozessparameter und Variation der X-, Y- und Z-Position
- Es wurden jeweils fünf Versuchswiederholungen vorgenommen; Tabelle 1 zeigt die verwendeten Parameter für das im Folgenden dargestellte Zirkularschweißmodul. Bild 4 zeigt die Schweißwerkzeuge des Zirkularschweißmoduls im zusammengefahrenen Zustand während eines Schweißvorgangs. Für die Untersuchungen der Schweiß-eignung in unterschiedlicher X-, Y- und Z-Richtung, wurden Probekörper in drei unterschiedlichen Positionen auf dem

- in a reproducible form with each of the three welding procedures?
- Is the installation capable of achieving satisfactory welding results with various positions in the X, Y and Z directions?
- For this purpose, test specimens made of polypropylene (PP) were welded and the tensile strengths were investigated thereafter. The material used in injection moulding is an unreinforced polypropylene homopolymer with the "Sabic PP 575P" designation. At the Plastics Technology Group, the geometry of the utilised test specimens was developed for tests with various friction welding

procedures (Fig. 3). The test specimen geometry is suitable not only for tensile and torsional tests but also for establishing the bursting pressure. It is based on the shapes of semi-finished materials or products such as media-carrying elements in vehicles as well as of cooling or heating systems and is thus a near-component test specimen for application-oriented research and development work. The wall thickness and the joining area are representative of the specified component group [1].

The following tests were performed in order to answer the above questions:

- Fixed positioning and variation of the process parameters
- Fixed stipulations for the process parameters and variation of the X, Y and Z positions

Five test repetitions were carried out in each case; Table 1 shows the parameters used for the circular welding module described below. Fig. 4 shows the welding tools of the circular welding module in the moved-together condition during a welding operation. For the investigations into the weldability in different X, Y and Z directions,

Bild 5: Automatischer Schweißprozess von 3 Probekörpern in unterschiedlichen X-, Y- und Z-Positionen

Fig. 5: Automatic welding process on three test specimens in different X, Y and Z positions

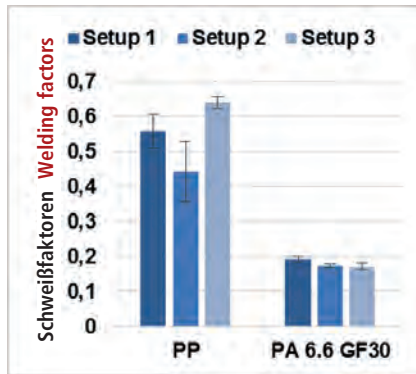
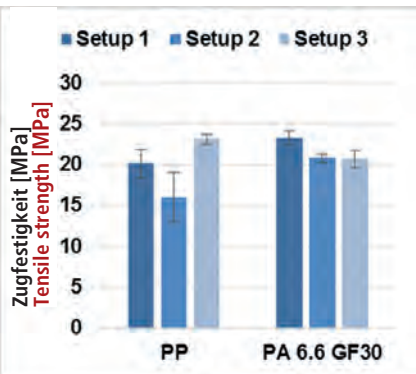
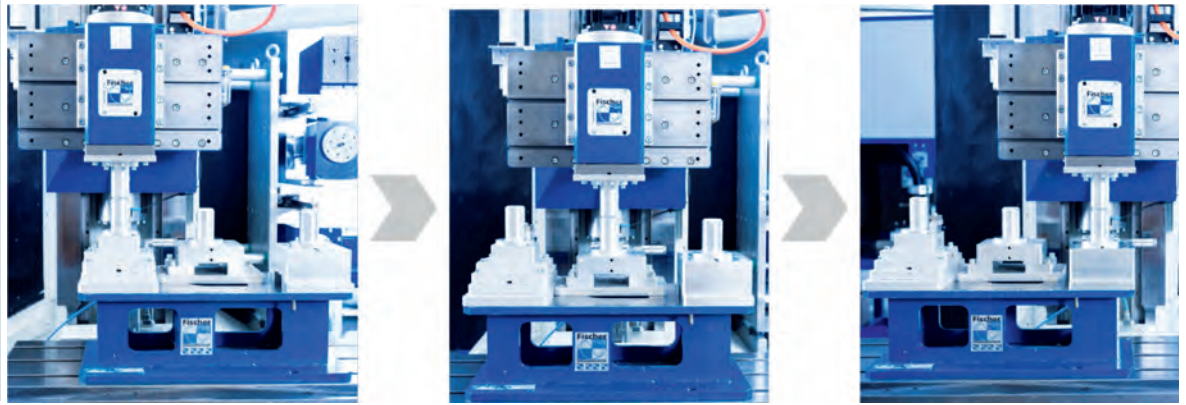


Bild 6: Zugfestigkeiten und dazugehörige Schweißfaktoren, Versuche mit fester Position

Fig. 6: Tensile strengths and relevant welding factors for tests with fixed positions

Maschinentisch verschweißt und im Zugversuch geprüft (Bild 5). Es wurden ebenfalls je fünf Probekörper hergestellt. Die Schweißparameter sind Tabelle 2 zu entnehmen. Die Auswertung der Schweißungen erfolgte mittels Zugversuch, welcher unter Normklima gemäß DIN EN ISO 139 bei 23°C und 50% relativer Luftfeuchte durchgeführt wurde. Die Prüfgeschwindigkeit bei den Zugversuchen betrug 1 mm/s.

5. Ergebnisse

Gemessen an den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen, erreicht der Prototyp mit seinem für Kunststoffschweißmaschinen unkonventionellen Aufbau Fügenahtqualitäten, die mit denen herkömmlicher Maschinen vergleichbar sind (Bild 6). Die Schweißfaktoren für PP-Probekörper waren in etwa auf dem Niveau von am Fachgebiet Kunststofftechnik vorgenommenen Schweißversuchen im Zirkularschweißverfahren mit einer klassischen Maschine. Die Varianzwerte (Fehlerbalken in Bild 5) sind ähnlich denen konventioneller Reibschweißmaschinen. Für die Berechnung der Schweißfaktoren (ebenfalls Bild 5) wurden die gemessenen Zugfestigkeiten der Schweißnähte auf die Zugfestigkeiten aus den Datenblättern der Materialhersteller bezogen.

Bei den Untersuchungen mit automatischer Abfolge von drei Schweißungen an unterschiedlichen X-Y-Z-Positionen mittels Stellbewegung des Maschinentischs wurden keine signifikanten Unterschiede in den Zugfestigkeiten der Probekörper auf den unterschiedlichen Positionen festgestellt. Die Werte betragen durchschnittlich 19,79 MPa (Bild 7).

Die im Rahmen der ersten Maschinenvalidierung durchgeführten Versuche reichen zwar nicht aus, um signifikante Aussagen über die Reproduzierbarkeit der Maschine zu treffen, jedoch zeigen sie zunächst zufriedenstellende Ergebnisse. Umfangreiche Reproduzierbarkeitstests stehen noch aus, sinnvollerweise aber erst mit einem kommerziellen Aufbau der Anlage, welcher sich hinsichtlich der Ausführung der X-Y-Z-Positionierung in einigen Details unterscheiden

test specimens were welded in three different positions on the machine table and were checked in tensile tests (Fig. 5). Moreover, five test specimens were manufactured in each case. The welding parameters are indicated in Table 2. The welds were evaluated using tensile tests which were carried out in a standard atmosphere according to DIN EN ISO 139 (i.e. at 23°C and 50% relative air humidity). The testing speed during the tensile tests was 1 mm/s.

5. Results

Gauged by the results of the conducted investigations, the prototype with its setup which is unconventional for friction welding machines for plastics achieves joining weld qualities which are comparable with those of traditional machines (Fig. 6). The welding factors

for PP test specimens were on approximately the same level as those in welding tests in the circular welding procedure with a classical machine at the Plastics Technology Group. The variance values (error bar on Fig. 6) are similar to those of conventional friction welding machines. For the calculation of the welding factors (also on Fig. 6), the measured tensile strengths of the welds were related to the tensile strengths from the data sheets of the material manufacturers.

During the investigations with an automatic sequence of three welding operations in different X, Y and Z positions using the setting movements of the machine table, no significant differences in the tensile strengths of the test specimens were established in the different positions. The values were 19.79 MPa on average (Fig. 7).

Although the tests carried out within the framework of the initial machine validation are not sufficient in order to make any significant statements about the reproducibility of the machine, they show satisfactory results first of all. Extensive reproducibility tests are still to come but these will only make sense with a commercial installation setup which will differ in a few details with regard to the execution of the X, Y and Z positioning. The standard deviations

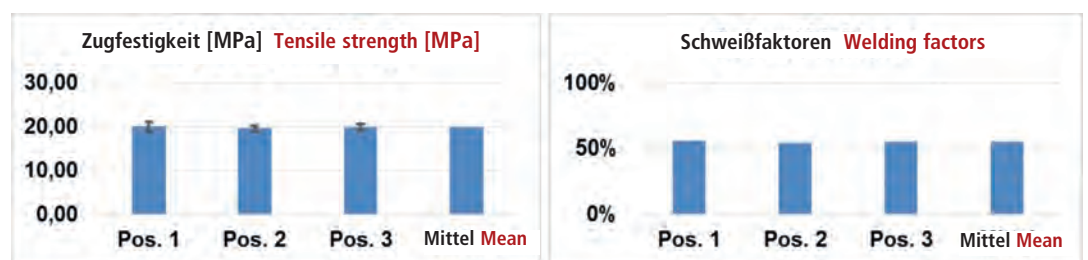


Bild 7: Zugfestigkeiten und Schweißfaktoren der Probekörper je X-Y-Z-Position

Fig. 7: Tensile strengths and welding factors of the test specimens each in the X, Y and Z positions

wird. Die Standardabweichungen der jeweils fünf gemessenen Schweißteile auf den Positionen 2 und 3 lagen mit 3,64 bzw. 4,05% sehr niedrig, auf Position 1 mit 5,57% leicht darüber, insgesamt jedoch in sehr zufriedenstellenden Bereichen.

6. Fazit

Es konnte gezeigt werden, dass gemäß der eingangs genannten Anforderungen an ein flexibles Fügezentrum im Rahmen des Projekts „FlexFueg“ ein Maschinenaufbau als Prototyp bereits Ergebnisse hoher Qualität erzielt. Die Machbarkeit konnte gezeigt und auch die erforderlichen Module sowie deren Ansteuerung konnten definiert werden. Darauf aufbauend wird eine kommerzielle Version der Anlage über marktübliche Modul- und Werkzeugmagazine verfügen und auf Wunsch über CNC-Schwenkachsen die Bauteile in weiteren Dimensionen manipulieren können. Eine detaillierte Studie dieser kommerziellen Anlagenversion muss nach Fertigstellung dann noch deren Reproduzierbarkeit zeigen. Die Anlage ist die notwendige Reaktion auf immer höhere Ansprüche an Flexibilität, Modularität und Automatisierung für eine schlanke Produktion, indem mehrere einfache Fügeprozesse zu komplexen, leistungsfähigen, flexiblen und modularen Fügezentren kombiniert werden. Eine weitere Verzahnung von Bauteil- und Maschinensteuerung ist hinsichtlich

Literatur References

- [1] Heim, H.-P.; Jarka, S.; Fischer, W.: Development of a Radian Friction Welding Machine Using the Circular Process with Limited Rotational Motion. In: ANTEC plastics technical conference, Cincinnati, (2013), p. 738/42.
- [2] Heim, H.-P.; Jarka, S.; Fischer, W.: Rotatives Vibrationsschweißen – ein neuartiges Reibschweißverfahren. In: Joining Plastics 3-4 (2013), S. 176/81.

einer Lösgröße-1-Befähigung sinnvoll, sodass über RFID-Chips oder QR-Codes am zu fügenden Bauteil notwendige Bearbeitungsinformationen wie Handling, Positionen und Fügeparameter direkt vom Fügezentrum ausgelesen und umgesetzt werden können, ohne das in den laufenden Prozess eingegriffen werden muss.

Danksagung

Dieses Projekt (HA-Projekt-Nr.: 460/15-02) wurde im Rahmen von „Hessen Modellprojekte“ aus Mitteln der LOEWE – Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz, Förderlinie 3: KMU-Verbundvorhaben gefördert und dadurch erst möglich gemacht, wofür sich die Autoren ausdrücklich bedanken.



of the five welded parts measured in Positions 2 and 3 in each case were very small (i.e. at 3.64% and 4.05% respectively) and slightly higher in Position 1 at 5.57% but in very satisfactory ranges all in all.

6. Conclusion

It was possible to show that a machine setup as a prototype already achieves high-quality results according to the requirements specified at the beginning for a flexible joining centre within the framework of the "FlexFueg" project. It was possible to show the feasibility and also to define the required modules as well as their activation. Building upon this, a commercial version of the installation will be equipped with module and tool magazines customary on the market and, if desired, will be able to manipulate the components in further dimensions using CNC swivelling axes. Upon the completion of a detailed study of this commercial installation version,

its reproducibility must then still be shown.

The installation is the necessary reaction to ever more stringent demands on flexibility, modularity and automation for lean production by combining several simple joining processes into complex, efficient, flexible and modular joining centres. Further interlinking of component and machine controllers is sensible with regard to a batch-size-of-one capability so that the joining centre can directly read out and implement any necessary processing information such as handling, positions and joining parameters using RFID chips or QR codes on the component to be joined without having to intervene in the ongoing process.

Acknowledgement

This project (HA project no.: 460/1502) was promoted from funds of the "LOEWE" federal state offensive for the development of scientific-economic excellence (Promotion Line 3: joint SME projects) within the framework of "Hesse Model Projects" and was thus made possible in the first place. The authors are expressly grateful for this.



Specialized information for joining, cutting and coating technology

- Magazines
- Specialist Books on Welding Technology
- Welding Technology in Practise
- Publications for the practical and theoretical training
- DVS Reports
- Software
- Standards
- Dictionaries/Lexicons



DVS Media GmbH • Aachener Straße 172 • 40223 Düsseldorf • T +49. (0)211. 1591-162 • F +49. (0)211. 1591-250 • vertrieb@dvs-hg.de • www.dvs-media.eu