

Minimierung von Restpartikeln beim Vibrationsschweißen

Minimisation of residual particles during vibration welding

Fischer Kunststoff-Schweißtechnik hat vor 20 Jahren das Zirkularreibschweißen in den Markt eingeführt und immer wieder Optimierungen vorgenommen. Ein Hauptmerkmal dieses Prozesses ist die frei programmierbare Schweißfrequenz und eine in wenigen Millisekunden reagierende Rückschaltung der Schwingamplitude in das maschinelle Zentrum. In den Folgejahren wurden die Visualisierung und Toleranzfensterüberwachung eingeführt, bei der heute alle Schweißparameter digitalisiert sind. So können neben üblichen Kraftprofilen auch Frequenzprofile während des Prozesses gefahren werden. Neu sind Schwingweitenprofile, die abhängig vom Fügweg die Schwinggröße verändern. Dies sind Optimierungsreserven der Prozesse, um möglichst ohne zusätzliche Heizenergie eine schnelle, reproduzierbare und restpartikelarme Schweißverbindung zu realisieren. Eine Datenausgabe der Fügeparameter, off- und online, sind in allen Formaten möglich.

Von besonderer Bedeutung sind die Zusammenhänge zwischen der Produktivität bei Serienfertigung mit hohen Stückzahlen, den Prozesszeiten und der erzielbaren Schweißqualität. In der Betrachtung ist die Maschinenverfügbarkeit unter Berücksichtigung der technischen Ausfallrate, der Wartung und der organisatorischen Einflüsse im Mehrschichtbetrieb, in Summe mit 85% realistisch angesetzt.

Die Angaben entsprechen den Erfahrungen beim Zirkularreibschweißen von Elektronikgehäusen und anderen technischen Teilen in der Massenproduktion. Einschränkungen bei Infrarotstrahlern entstehen durch deren notwendige Reinigung, Austausch von Heizelementen wegen Leistungseinbußen über die Zeit, Stillstände infolge von Störungen im unmittelbaren Heizbereich bei Teilverzug usw.

Nicht immer ohne Vorheizen

Man kommt dann nicht ohne Vorheizen aus, wenn die Reinheitsanforderung im Schnitt unter 500 µm liegen soll. So werden auf den Maschinen bereits seit 2006 Servoölbehälter und Filter mit höchster Reinheit in Großserie nahezu partikelfrei, präzisionsgeschweißt.

Am Institut für Kunststofftechnik der Universität Paderborn wurden unter Prof. Potente und unter Mitwirkung von Prof. Heim, Universität Kassel, Institut für Werkstofftechnik, Kunststofftechnik, für PP grundlegende Erkenntnisse erarbeitet, die der Vorheiztechnik in Verbindung mit Vibrationsschweißen ein großes Potential bescheinigte. Dort wird über den Einfluss der Erwärmzeit auf die Zusammenhänge von Rest-Partikelmasse und Schweißfaktor berichtet. Fischer Kunststoff-Schweißtechnik und Uni Kassel haben Prozessvergleiche mit

Fischer Kunststoff-Schweißtechnik launched circular friction welding on to the market 20 years ago and has taken optimisation measures time and time again. The main characteristics of this process are the freely programmable welding frequency and the resetting of the oscillation amplitude to the centre of the machine in a reaction time of just a few milliseconds. The visualisation and the tolerance window monitoring during which all the welding parameters are digitised today were introduced in the following years. Thus, not only custom-

ary force profiles but also frequency profiles can be implemented during the process. Oscillation amplitude profiles which alter the oscillation quantity depending on the joining path are new. These are optimisation reserves of the processes in order to execute a quick and reproducible welded joint with few residual particles without any additional heating energy if at all possible. The data output of the joining parameters, off and on line, is possible in all the formats.

Particular significance is attached to the connections between the productivity during series fabrication with high quantities, the process times and the attainable welding quality. In the consideration, the machine availability is realistically estimated at 85% in total taking account of the technical failure rate, the maintenance and the organisational influences in multishift operation.

The information corresponds to the experience during the circular friction welding of electronic housings and other technical parts in mass production. Restrictions in the case of infrared radiators result from their necessary cleaning, replacement of heating elements because of performance losses over time, downtimes as a consequence of malfunctions in the immediate heating region with distortion of the parts etc.

Not always without preheating

Preheating is indispensable whenever the purity requirement should be below 500 µm on average. Thus, servo oil tanks and filters have been precision-welded on the machines already since 2006 with maximum purity in large-scale series and hardly any particles.

At the Institute for Plastics Technology at the University of Paderborn, fundamental findings which confirmed the great potential of preheating technology in conjunction with vibration welding were elaborated for PP under Prof. Potente and with the collaboration of Prof. Heim, University of Kassel, Institute for Materials Engineering, Plastics Technology. There, the report relates to the influence of the heating time on the connections between the residual particle mass and the welding factor.

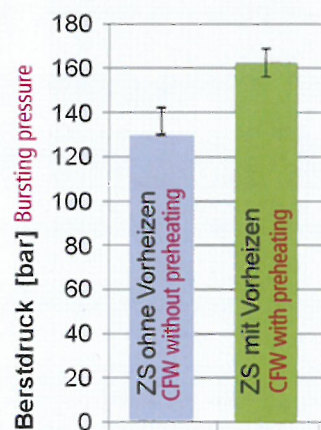


Bild 1: Ergebnisse von Berstdruckprüfungen mit und ohne Vorheizen, vorgeschaltet zu dem Zirkularreibschweißprozess (ZS)

Fig. 1: Results of bursting pressure tests with and without preheating, preceding the circular friction welding (CFW) process

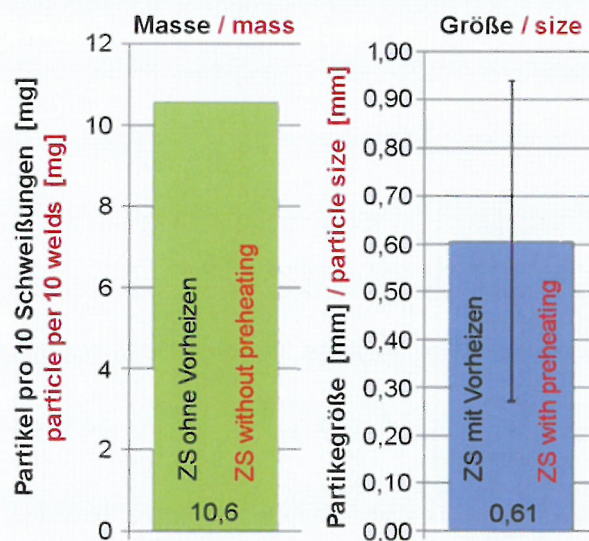


Bild 2: Ergebnisse von Schweißabriebmessungen (Menge und Größe) mit und ohne Vorheizen, vorgeschaltet zu dem Zirkularreibschweißprozess (ZS)

Fig. 2: Results of welding abrasion measurements (quantity and size) with and without preheating, preceding the circular friction welding (CFW) process

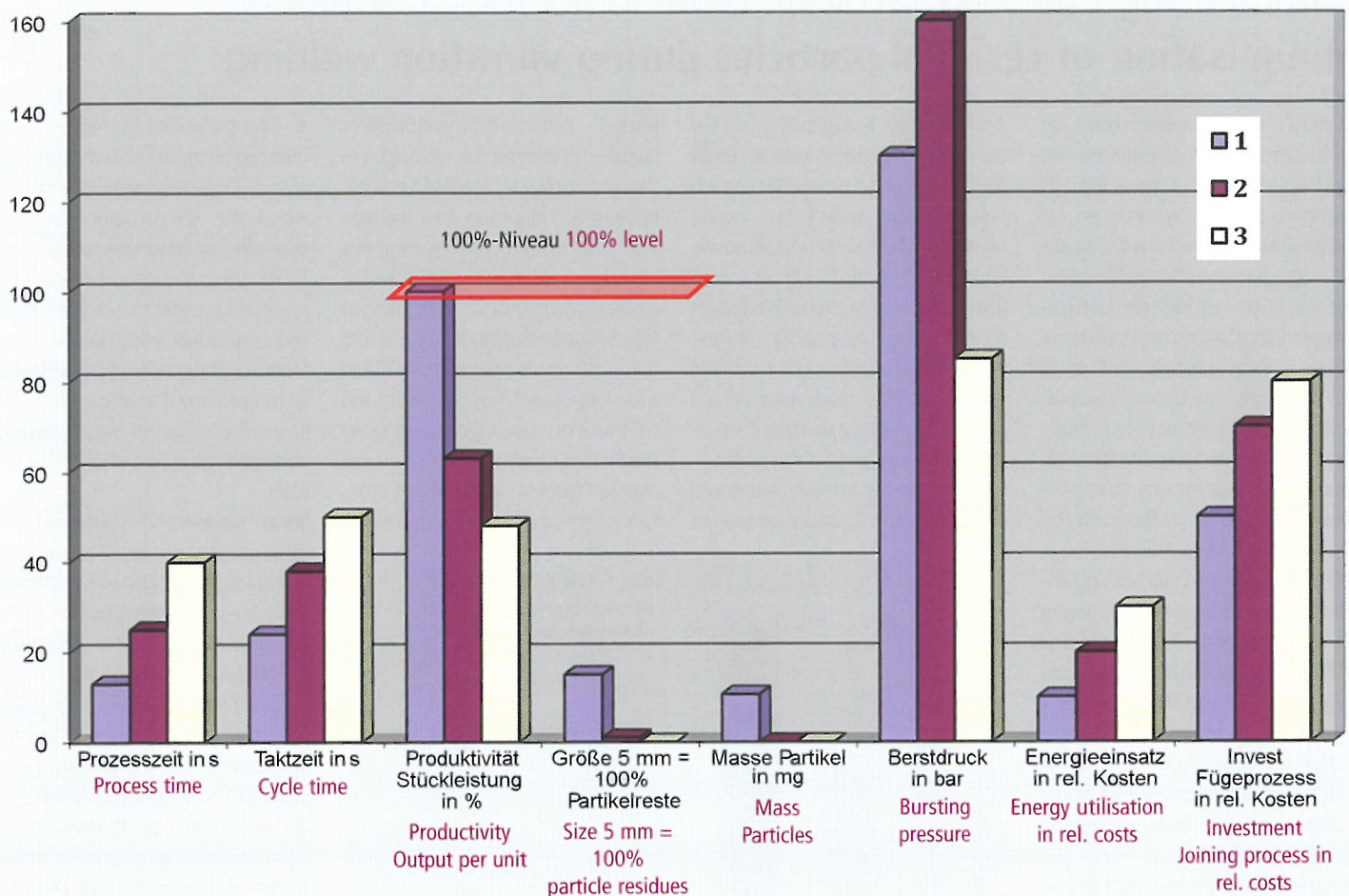


Bild 3: Ergebnisse und Auswertungen beim Zirkularschweißen, mit und ohne Vorheizen sowie beim reinen IR-Schweißen; Balken 1/blau: Zirkularreißschweißen mit ZMT2CC ohne Wärmezufuhr; 2/rot: Zirkularreißschweißen plus IR-Strahler, mittelwellig; 3/gelb: IR-Strahler, mittelwellig, ohne Reibungsenergie

Fig. 3: Results and evaluations in the case of circular welding with and without preheating as well as pure IR welding: Bar 1/blue: circular friction welding with ZMT2CC without heat supply, 2/red: circular friction welding plus IR radiator, medium-wave, 3/yellow: IR radiator, medium-wave, without friction energy

Einige Prozessparameter und Hinweise zu Bild 3

A few process parameters and notes for Fig. 3

- Durchmesser Diameter: 40 mm
- Werkstoff Material: PA 66 + GF 30
- Fügelänge Joining length: 113 mm
- Fügefläche Joining area: 452 mm²
- Prozesszeit Process time: 13,5 s (Bild 3, Balken 1/blau)
- Taktzeit mit manueller Be- und Entladung Cycle time with manual loading and unloading: 24s (Balken 1/blau)
- Produktivität wurde pro Schicht und Jahr mit 232000 Teilen berechnet.
Productivity was calculated per shift and year with 232,000 parts.
- Energieeinsatz ist beim Zirkularreißschweißen (Balken 1/blau) nur die Antriebsleistung eines Servomotors mit 3,7 kW der während der 4 s Schweißzeit mit bis 80% ausgelastet ist.
In the case of circular friction welding (Bar 1 / blue), energy utilisation is only the drive power of a servo motor with 3.7 kW which has a utilisation factor of up to 80% during the 4 s welding time.
- In den Nebenzeiten wird die Leistung nur zu 20 % im „Stand-by“ benötigt.
In the non-productive times, only 20% of the power is needed in the "standby" mode.
- Der Investivvergleich in Bild 3 bezieht sich auf eine Zirkularschweißmaschine für Schweißflächen bis 25 cm² in PP mit Aufnahmewerkzeugen (Balken 1/blau).
The investment comparison on Fig. 3 relates to a circular welding machine for welding areas up to 25 cm² in PP with holder tools (Bar 1 / blue).
- Mit Vorheizung ist eine Hubachse für die Heizung und die Heizungssteuerung integriert (Balken 2/rot).
With preheating, a stroke axis is integrated for the heating and the heating control (Bar 2 / red).
- Mit Infrarotschweißen ist die Maschinenausrüstung mit Werkzeugen und integrierter Mehrkreis-Heizungsregelung und geregelter Schweißhubachse ein Mehrinvest (Balken 3/gelb).
With infrared welding, equipping the machine with tools, integrated multicircuit heating regulation and a regulated welding stroke axis entails an additional investment (Bar 3 / yellow).

Fischer Kunststoff-Schweißtechnik and the University of Kassel have made process comparisons with PA66 GF30 during which circular friction welding without and with additional preheating with IR surface radiators were compared, Figs. 1 and 2.

On Fig. 3, infrared welding is also taken into account in the comparison in the bar groups with three processes. These welds were executed at Fischer Kunststoff-Schweißtechnik and tested at the University of Kassel. IR radiators as medium-wave ceramic radiators (IR₂m) were also used as heating elements. The test specimens supply the same prerequisites for all the tests.

The core task is to mechanically minimise the residual particles arising in the initial friction phase during vibration welding with the newest regulation possibilities offered by circular friction welding. Nevertheless, limits are set by the

PA66 GF30 durchgeführt, bei denen Zirkularreibschweißen ohne und mit zusätzlichem Vorheizen mit IR-Flächenstrahlern verglichen werden, Bild 1 und 2.

In Bild 3 ist in den Balkengruppen mit drei Prozessen auch das Infrarotschweißen im Vergleich berücksichtigt. Diese Schweißungen wurden bei Fischer Kunststoffschweißtechnik durchgeführt und an der Universität Kassel geprüft. Als Heizelemente wurden ebenfalls IR-Strahler als mittelwellige Keramikstrahler (IR-m) verwendet. Die Probekörper liefern für alle Versuche die gleichen Voraussetzungen. Kernaufgabe ist es, die beim Vibrationschweißen in der Anreibphase entstehenden Restpartikel maschinell mit den neuesten Regelmöglichkeiten, die das Zirkularreibschweißen bietet, zu minimieren. Trotzdem sind Grenzen durch die Restpartikelgrößen gesetzt. Beim linearen Vibrationschweißen entstehen die längsten Partikel, die nur schwer maschinell minimiert werden können, beim Zirkular- oder Orbitalchweißen sind die Partikel infolge einer Kreiskinematik deutlich kleiner.

In Bild 3 sind die Schweißergebnisse in den Balkengruppen (Merkmalen) Partikelreste, Partikelgröße und Berstdruck vergleichend dargestellt. Der in % angegebene Wert bei diesen Merkmalen für die drei Fügeverfahren Vibrationschweißen, Vibrationschweißen mit Vorheizen und IR-Schweißen erlaubt es, den Unterschied zu erkennen.

Prozesszeiten und Taktzeiten in Bild 3 sind den Versuchsaufzeichnungen und den üblichen Maschinenzeiten entnommen. Die Produktivität der Prozesse wurde aus den Taktzeiten und üblichen Ladezeiten mit Maschinen- Handbelastung berechnet.

Untersuchungen zum Vorheizen

Die Nahtgestaltung an den Probekörpern wurde ohne Fangräume ausgeführt, um die wirklich anfallenden Partikel ohne Behinderung zu erfassen. In der Praxis sind aber bewährte Gestaltungen der Fügezonen möglich, wodurch die austretende Schmelze zusätzlich gut abgedeckt wird und sogar wichtige Produkträume effektiv abgeschirmt werden. Damit werden die Reinheitsanforderungen zusätzlich unterstützt.

Bild 1 gibt einen Überblick über interessante Merkmale und Kennzahlen. Obgleich jedes einzelne Schweißprodukt durch Form, Größe, Werkstoff, Nahtge-



Bild 4: Probekörper

Fig. 4: Test specimen

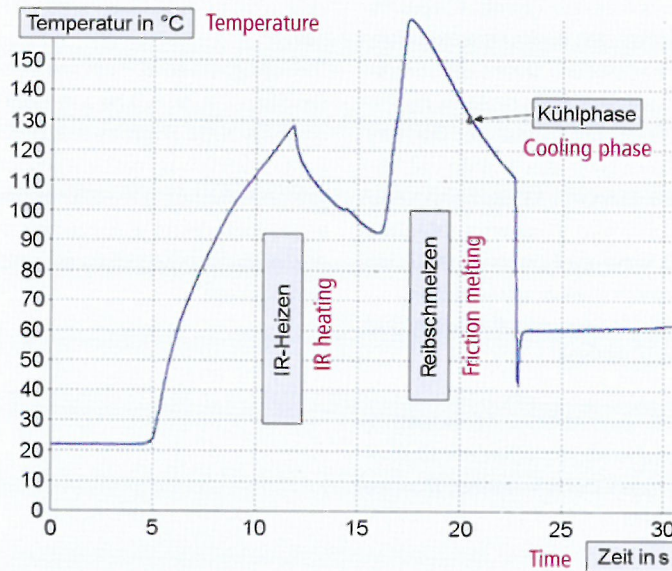


Bild 5: Messung der Temperatur über der Zeit beim Vorheizen und Zirkularreibschweißen (ZS)

Fig. 5: Measurement of the temperature over the time during preheating and circular friction welding (CFW)

staltung und Anforderungen in den geprüften Kennzahlen stark abweichen kann, bleibt jedoch die Trendaussage bezüglich der Partikelrestoptimierung durch Vorheizen beim Vibrationschweißen auch bei PA-66-GF-30-Werkstoffen bestehen, wie Sie schon in dem zuvor genannten Fachartikel von 2006 für den Werkstoff PP angegeben wurde.

Anhand von Messungen der Proben-temperatur im Bereich der Fügezone wurden weitere Prozesskenntnisse gewonnen. Bild 2 zeigt eine Auswertung beim Vorheiz- und darauffolgenden Schweißprozess. Dabei zeigte sich als Nebeneffekt bereits, dass der Schweißfaktor erhöht werden konnte, was bei diesen Teilen jedoch nicht relevant war. Zu erklären ist der Festigkeitsanstieg vermutlich durch die mechanische Vermengung der Glasfasern innerhalb der Matrix, da die stark vorgeheizte Fügeoberfläche durch die Reibschwingung

residual particle sizes. The longest particles which can only be mechanically minimised with difficulty arise during linear vibration welding. The particles are considerably smaller during circular or orbital welding as a consequence of circular kinematics.

The welding results in the bar groups (characteristics) relating to particle residues, particle size and bursting pressure are portrayed comparatively on Fig. 3. The values of these characteristics specified in % for the three joining processes (vibration welding, vibration welding with preheating and IR welding) make it possible to recognise the difference.

The process times and the cycle times on Fig. 3 are taken from the test records and the customary machine times. The productivities of the processes were calculated from the cycle times and the customary loading times with manual machine loading.

Investigations into preheating

The weld configuration on the test specimens was executed without any collection spaces in order to record the particles occurring in reality without any hindrance. However, proven configurations of the joining zones are possible in practice. Thus, the emerging melt is covered well in addition and even important product spaces are shielded effectively. This serves to support the purity requirements in addition.

Fig. 1 gives an overview of interesting characteristics and basic figures. Although every single welded product may exhibit extreme deviations in the tested basic figures due to its shape, size, material, weld configuration or requirements, the trend statement remains true with regard to the optimisation of the particle residues due to preheating during vibration welding even in the case of PA66 GF30 materials, as has already been specified for the PP material in the above specialist article from 2006.

Further process findings were obtained on the basis of measurements of the specimen temperature in the region of the joining zone. Fig. 2 shows an evaluation during the preheating process and the subsequent welding process. In this respect, it was already shown as a side effect that it was possible to increase the welding factor. However, this was not relevant with these parts. The rise in strength may presumably be explained by the mechanical mixing of the glass fibres inside the matrix since the strongly preheated joining surface "goes along" with this due to the friction oscillation and fewer fibres are thus sheared off than in the case of vibration welding.

The weld during circular welding plus preheating nevertheless does not have to turn out any thicker than during friction welding without preheating because the melt temperature still increases as a consequence of the vibration starting after the preheating, as is shown on Fig. 2. When the vibration starts, the joining process after the more quickly reached melt formation proceeds as customary during friction welding. The influences of the heating time on the welding time and the resulting welding factor have already been investigated in papers by Heim*.

„mitgeht“ und dadurch weniger Fasern abgeschert werden als beim Vibrations-schweißen.

Die Schweißnaht beim Zirkularschweißen plus Vorheizen muss trotzdem nicht dicker ausfallen als beim Reibschweißen ohne Vorheizen, weil infolge der nach dem Vorheizen einsetzenden Vibration die Schmelzetemperatur noch zunimmt, wie in Bild 2 gezeigt wird. Bei einsetzender Vibration verläuft der Fügeprozess nach der schneller erreichten Schmelzebildung wie üblich beim Reibschweißen ab. Der Einfluss der Erwärmzeit auf die Schweißzeit und den resultierenden Schweißfaktor wurde bereits in Arbeiten von Heim* untersucht.

Aussichten

Der Beitrag soll neben den technischen Prozessoptimierungen zur Partikelreduzierung auf die wirtschaftlichen Zusammenhänge der Optimierungsmöglichkeiten hinweisen. Es lässt sich feststellen, dass höhere Reinheitsanforderungen durch Hinzunahme von thermischer Energie mehr Zeit kostet und damit die Produktivität abnimmt. Bei der Prozesswahl ist zu klären, wie weit man mit den Anforderungen an die Reinheit geht – „um

jeden Preis“ ist jedenfalls keine Alternative.

Wer vor einigen Jahren geglaubt hat, das Vibrationsschweißen ohne Vorheizen sei „out“, wird durch die aufgezeigten Möglichkeiten und Grenzen in die Lage versetzt, das Thema differenziert zum Nutzen seiner Aufgabe zu betrachten und entsprechende Anregungen, auch an seine Kunden, weiterzugeben.

Die Fischer Kunststoff-Schweißtechnik kann anhand ihrer Erfahrung und zahlreichen Veröffentlichungen zum Thema bereits vorher eine Expertise für neue Produkte erstellen, die den Praxisergebnissen nahe kommt und damit die Prozessplanungen der Kunden bereits in der Produktentwicklung unterstützen. Das Unternehmen berät seine Kunden und führt Schweißungen für Machbarkeitsanalysen im Labor durch. Dazu werden alle gängigen Reibschweißprozesse mit Kundenbauteilen erprobt und verglichen.

Quelle: Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH, Berkatal

*Heim et al.: Abrieb- und Fusselminimierung beim Vibrationsschweißen, Kunststoff, 3/2006, Carl Hanser Verlag, München, S. 45–48.

Prospects

The article is intended to point out not only the technical process optimisation measures in order to reduce the particles but also the economic connections of the optimisation possibilities. It may be stated that more stringent purity requirements cost more time due to the addition of thermal energy and the productivity drops as a result of this. With regard to the process choice, it must be clarified how far the requirements on the purity are taken - in any case, "at all costs" is no alternative.

The highlighted possibilities and limits serve to put anybody who, a few years ago, believed that vibration welding without preheating was "out" in a position to consider the subject in a differentiated way for the benefit of his task and to pass on corresponding suggestions, to his customers as well.

On the basis of its experience and numerous publications on the subject, Fischer Kunststoff-Schweißtechnik can, already beforehand, elaborate an expert report for new products which comes close to the results in practice and thus supports the process planning procedures of the customers already in the product development. The company advises its customers and executes welds for feasibility analyses in the laboratory. For this purpose, all the common friction welding processes are tried out and compared with components from the customers. Source: Fischer Kunststoff-Schweißtechnik GmbH, Berkatal

*Heim et al.: Abrieb- und Fusselminimierung beim Vibrationsschweißen, Kunststoffe, 3/2006, Carl Hanser Verlag, München, S. 45–48.

Berichtigung Correction

In Joining Plastics 3-4/2015 wurde am Ende des Beitrags „Emissionen bei der Laserbearbeitung von Kunststoffen“, S. 192–203, eine fehlerhafte Danksagung abgedruckt. Die vollständige Danksagung muss wie folgt lauten: Das IGF-Vorhaben Nr.: 433 Z/DVS-Nr. Q6.014 der Forschungsvereinigung „Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf“ wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Die Autoren danken dem BMWi für die Finanzierung dieses Forschungsvorhabens. Darüber hinaus danken

die Autoren den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses Robot Technology GmbH, LMB Lasermaterialbearbeitungs GmbH, LPKF Laser & Electronics AG, Clean-Lasersysteme GmbH und Rheinische Fachhochschule Köln für die Möglichkeit, Versuche und Messungen an geeigneten Laserbearbeitungsanlagen durchführen zu können. Der TBH GmbH und der Fuchs Umwelttechnik GmbH wird für die Bereitstellung von Absauganlagen sowie der atlan-tec Systems GmbH für die Bereitstellung einer Spezialsoftware zur Datenauswertung gedankt. Ebenso gilt ein Dank den weiteren Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses für die Anregungen und lebhaften Diskussionen bei den Ausschusstreffen.

Wir bitten das Versehen zu entschuldigen. (Die Redaktion)

In Joining Plastics 3-4/2015, an incorrect expression of thanks was printed at the end of the article entitled "Emissions during the laser processing of plastics", pp. 192-203. The complete expression of thanks must read as follows:

The IGF Project No. 433 Z / DVS No. Q6.014 of the research association "Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf" was, on the basis of a resolution of the German Bundestag, promoted by the German Ministry of Economic Affairs and Energy (BMWi) via AiF within the framework of the programme for the promotion of joint industrial research and development (IGF).

The authors thank BMWi for financing this research project. Furthermore, the

authors thank the members of the project-accompanying committee (Robot Technology GmbH, LMB Lasermaterialbearbeitungs GmbH, LPKF Laser & Electronics AG, Clean-Lasersysteme GmbH and the Rhineland University of Applied Sciences in Cologne) for the possibility of being able to carry out tests and measurements on suitable laser processing installations. TBH GmbH and Fuchs Umwelttechnik GmbH are thanked for providing extraction installations as well as atlan-tec Systems GmbH for providing special software for data evaluation. Gratitude also goes to the other members of the project-accompanying committee for the suggestions and lively discussions during the committee meetings.

Please excuse this oversight. (The Editorial Team)