

Abrieb- und Fussel- minimierung beim Vibrationsschweißen

Prozesskombination. Mit Hilfe einer Vorerwärmung vor dem Schweißprozess kann die Abriebfestigkeit verbessert und die Festigkeit der Schweißnaht erhöht werden. Der zusätzliche Prozessschritt, eine Infrarot-Erwärmung, beeinflusst die Zykluszeit nur geringfügig. Außerdem überwiegen die Vorteile durch die fast vollständige Vermeidung des Abriebs.

Kunststoffe können mit einer Vielzahl von Schweißverfahren zuverlässig und dauerhaft gefügt werden. Das Vibrationsschweißen als eines der häufigsten Fügeverfahren in der Serienfertigung von Kunststoffteilen wird vornehmlich angewendet, wenn größere Bauteile schnell, fest und zuverlässig gefügt werden sollen. Trotz der vielen Vorteile dieses Verfahrens muss der Anwender oftmals den Nachteil der Abrieb- und Fusselbildung in Kauf nehmen. Die Fusseln können z. B. Verschmutzungen in Bereichen verursachen, in denen filigran bewegte Teile eingesetzt werden. Dies kann etwa bei Turboladern der Fall sein, bei denen die Fusseln u. a. zu mechanischen Störungen führen können. Einen weiteren Problemfall stellen medienführende Teile und Behälter, wie Ausgleichsbehälter für Öl und Bremsflüssigkeit, in Kraftfahrzeugen dar. Die Fusseln können in die Leitungen gelangen und Düsen oder ähnliche Teile verstopfen. Soweit dies möglich ist, müssen die Fusseln aufwändig wieder entfernt werden. Für einige Anwendungen, z. B. in der Medizintechnik, scheidet das Verfahren infolge der Verunreinigungen bzw. der entstehenden hohen Folgekosten sogar ganz aus. Bei den in der Automobilindustrie eingesetzten Heckleuchten mit Klarglasscheiben lassen sich Fusseln durch das transparente Material besonders leicht erkennen. Ein solcher Qualitätsmangel wird weder von den Autoherstellern noch von den Endkunden akzeptiert, wodurch hohe Ausschussraten und immense Kosten entstehen. Beim Schweißen von glasfaserverstärkten Bauteilen kann es darüber hin-

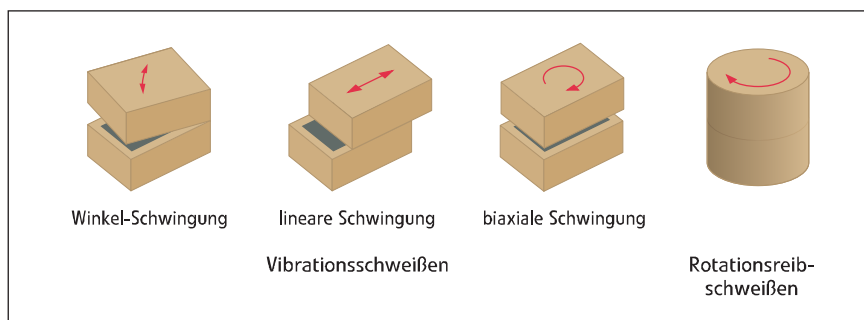


Bild 1. Kinematische Varianten des Reibschweißens [2]

aus zur Verunreinigung der Umgebungsluft mit Glasfasern kommen. Gesundheitsgefährdungen durch die Überschreitung der zulässigen Arbeitsplatzkonzentration (TRK-Wert = 500 000 Fasern/m³ Raumluft, bei einer gleichzeitigen maximalen Feinstaubkonzentration von 6 mg/m³) sind möglich [1].

Vibrationsschweißen

Das Vibrationsschweißen gehört zu den Reibschweißverfahren, die auf der Einbringung von Wärme durch äußere Rei-

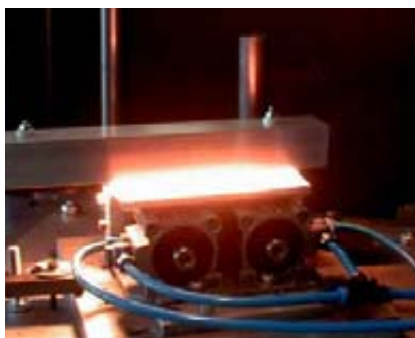


Bild 2. Vorerwärmung mit Heizstrahlern

bung in die Fügezone beruhen (Bild 1). Das Reibschweißen kann nach Art der eingesetzten Schwingung in Vibrations- und Rotationsschweißen unterteilt werden. Zu den Verfahren des Vibrationsschweißens gehören neben dem Winkelschweißen das lineare Vibrationsschweißen (Längs- und Querschweißen) und das Biaxialschweißen (auch Orbital-, Zirkular- oder Multidirektionsschweißen genannt) [2].

Da es sich beim Vibrationsschweißen um ein seit vielen Jahren erfolgreich eingesetztes Verfahren handelt, ist der Prozessablauf bereits eingehend untersucht und analysiert worden. Der Prozess wird in vier Phasen unterteilt:

- Phase 1: In der Feststoffreibphase werden die Fügeteile durch Grenzflächenreibung bis zur Schmelztemperatur erhitzt.
- Phase 2: Die instationäre Schmelzfilmbildung ist gekennzeichnet durch eine zeitlich anwachsende Schmelzfilmdicke, in der die Energiezufuhr durch Scherung in Wärme umgesetzt wird.

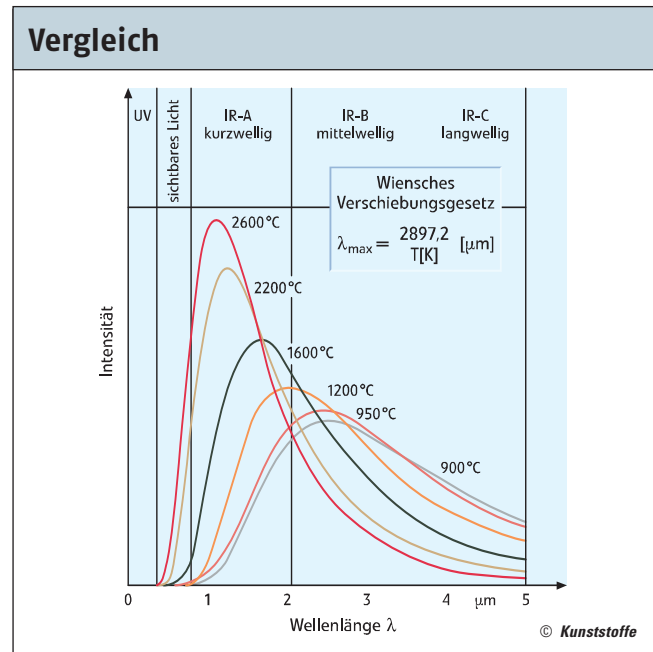
- Phase 3: Die stationäre Phase ergibt sich aus der Konstanz der Abschmelzgeschwindigkeit.
 - Phase 4: In der Nachdruckphase – auch als Abkühl- oder Haltephase bezeichnet – werden die Fügeile unter dem noch wirkenden Schweißdruck ohne Vibrationsbewegung bis zur vollständigen Erstarrung der Schmelze in ihre endgültige Position gedrückt. [2]
- Die erste Prozessphase, d. h. die Phase bis zum vollflächigen Aufschmelzen der gesamten Fügefläche, ist die bestimmende Phase für die Entstehung von Fusseln, sowie deren Anzahl und Größe.

IR-Vorwärmung

Um die Fusselentstehung in Phase 1 beeinflussen zu können, wurden am Institut für Kunststofftechnik, Paderborn, Versuche mit thermischer Vorwärmung durchgeführt. Es zeigte sich, dass die abriebbestimmende erste Prozessphase durch eine Infrarot-Vorwärmung des Werkstücks stark verkürzt und zum Teil völlig vermieden werden kann.

Da es sich bei dieser Kombination von IR-Strahler- und Vibrationsschweißen

Bild 3. Strahlungsspektrum verschiedener Infrarotstrahler [2]



um ein neues Verfahren handelt, gab es zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung am Markt keine Maschine, welche die automatische Einbindung der Heizstrahlererwärmung in den Prozess erlaubte. Aus diesem Grund wurde eine

am Institut vorhandene Vibrationsschweißmaschine mit zwei Doppelrohr-Heizstrahlern ausgestattet, um so die beiden zu fügenden Teile zu erwärmen (Bild 2). Zur Anwendung kamen hierbei Strahler mit einem Wellenlängenmaxi-

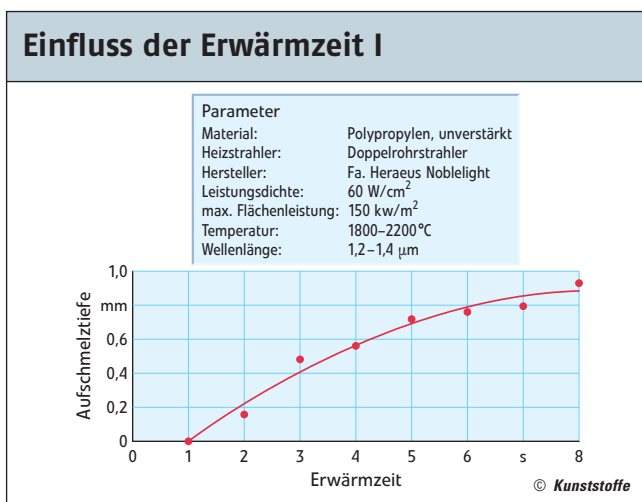


Bild 4. Aufschmelztiefe in Abhängigkeit von der Erwärmzeit

mum von 1,2 bis 1,4 μm und einer Maximaltemperatur zwischen 1800 und 2200 °C (Bild 3).

Um die Strahler für den Anwärmprozess automatisch über die Füge­teile zu bringen, wurde ein pneumatischer Schwenkantrieb eingesetzt, der in die Steuerung der Maschine eingebunden wurde. Lediglich das Ein- und Ausschalten der Strahler wurde manuell durchgeführt.

Aufgrund der Neuartigkeit dieses Verfahrens wurden die wirtschaftlichen Optimierungspotenziale, die besonders im Bereich der Zykluszeitverkürzung zu suchen sind, bei diesen Untersuchungen noch nicht ausgeschöpft. Hierbei ist auch das schnelle Ausschwenken der Strahler von zentralem Interesse, da dies nicht nur für die Wirtschaftlichkeit, sondern auch für das Abkühlen der Füge­teile von besonderer Bedeutung ist. Aus diesem

Grund werden sich weitere Forschungen insbesondere mit der Steigerung der Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens beschäftigen.

Um sinnvolle IR-Erwärmzeiten festlegen zu können, ist eine Bestimmung der Schmelzefilmdicke erforderlich. Dazu wurden in der Versuchsanlage Füge­teile eingespannt und zwischen 1 und 8 Sekunden mit IR-Strahlern erwärmt. Von den erwärmten Oberflächen wurden Dünnschnitte angefertigt, um die entsprechenden Aufschmelztiefen unter dem Mikroskop messen zu können. Die Auftragung der Aufschmelztiefen in Abhängigkeit von der Erwärmzeit ergibt einen degressiven Kurvenverlauf (Bild 4).

Schweißversuche mit beidseitiger Vorwärmung

Bei den Versuchsreihen mit einer Vorwärmung des Materials wurde die Kombination des Vibrationsschweißens mit IR-Vorwärmung auf dessen Wirksamkeit im Hinblick auf die Abriebvermeidung untersucht. An einem unverstärkten Polypropylen wird exemplarisch der Einfluss der Erwärmzeit auf die Abriebmas-

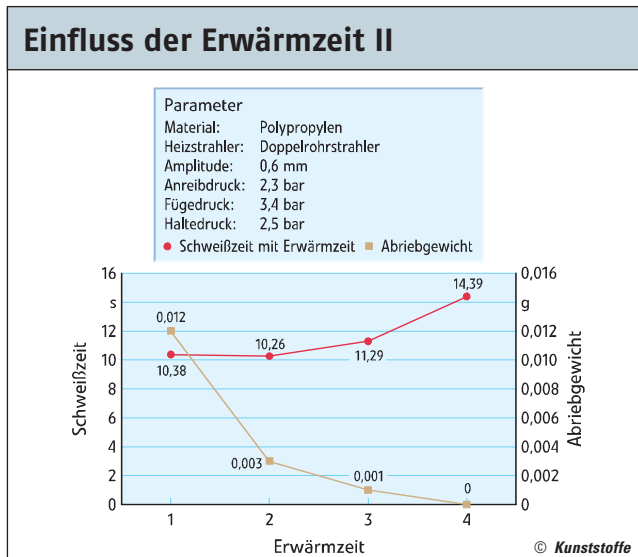


Bild 5. Abriebmasse und Schweißzeit in Abhängigkeit der Erwärmzeit

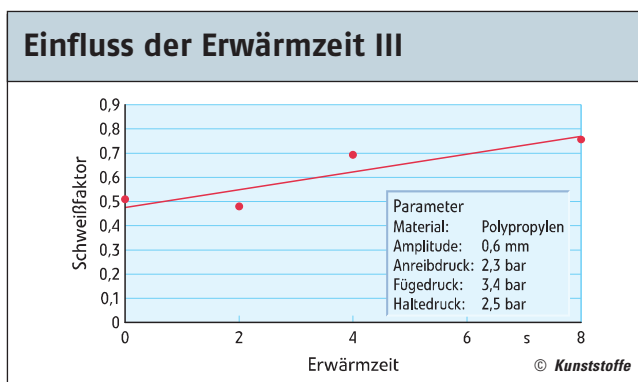


Bild 6. Schweißfaktoren der Versuche mit beidseitiger Erwärmung

se sowie auf die gesamte Schweißzeit dargestellt (Bilder 5 und 6).

Mit steigender Erwärmzeit ist eine deutliche Abriebverminderung bis hin zu einer totalen Abriebvermeidung zu verzeichnen. So entsteht bei einer vorgeschalteten Erwärmung von 4 s nur noch ein Abrieb von 0,001 g je Probe, und bei einer Erwärmzeit von 8 s entsteht kein messbarer Abrieb mehr.

Die Schweißzeit nimmt mit steigender Erwärmzeit zu, während die Zeit, die für die eigentliche Vibration benötigt wird, abnimmt. Grund für die Abnahme der Vibrationszeit ist die größere Schmelzefilmdicke nach einer längeren Erwärmzeit und die daraus resultierende schnellere Fügwegzunahme während die Schmelze in den Wulst gedrückt wird. Die Zunahme der Gesamtfügezeit, die man bei einer nahezu vollständigen Abriebvermeidung (4 s Erwärmzeit) benötigt, ist gegenüber einer Schweißzeit ohne Vorwärmung kaum erhöht.

Im Rahmen von Zugversuchen wurde festgestellt, dass sich eine längere IR-Vorwärmung, bei sonst gleichen Parametern, positiv auf die Schweißnahtfestigkeit aus-

wirkt. Diese Erkenntnis sollte umso mehr hervorgehoben werden, da das eigentliche Ziel der Untersuchungen u. a. in der Bestimmung des maximalen Abriebs lag und nicht in der Maximierung der Schweißnahtfestigkeit.

Ergebnisse und Ausblick

Die dem Vibrationsschweißprozess vorgeschaltete IR-Erwärmung ist ein adäquates Mittel zur Abriebvermeidung. Zudem erhöht sich durch die Vorbehandlung auch die Festigkeit der Schweißnaht. Nach weitergehender Entwicklung und detaillierter Prozessbetrachtung kommt das Kombinationsverfahren aus IR-Erwärmung und Vibrationsschweißen auch aus wirtschaftlicher Sicht für eine industrielle Serienfertigung in Betracht, da die Zykluszeiten durch den zusätzlichen Prozessschritt, bei nahezu vollständiger Abriebvermeidung, nicht wesentlich ansteigen. Die Möglichkeiten zur Optimierung sind bislang nicht ausgeschöpft, so dass die Zykluszeiten mit großer Sicherheit noch verkürzt werden können. Eine Verkürzung der Umstellzeit ist auch aus verfahrenstechnischer Sicht unabdingbar,

damit ein zu starkes Abkühlen der Füge-teile vor Beginn des eigentlichen Schweißprozesses vermieden wird. So wird durch eine zu lange Umstellzeit nicht nur die Wirtschaftlichkeit, sondern auch die Schweißnahtqualität beeinträchtigt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die viel versprechenden Versuche weitere Entwicklungsarbeiten für das Vibrationsschweißen mit Vorwärmung rechtfertigen, da sie sowohl das technologische als auch das wirtschaftliche Potenzial dieses Verfahrens vor Augen geführt haben. ■

LITERATUR

- 1 Holz - Berufsgenossenschaft, Unfallverhütungsvorschriften, Arbeitsmedizinische Vorsorge, Ausgabe 2003, Karl Heymanns Verlag KG, Köln 2003
- 2 Potente, H.: Fügen von Kunststoffen, Carl Hanser Verlag, München 2004

DIE AUTOREN

DR.-ING. HANS-PETER HEIM, geb. 1967, ist Oberingenieur am Institut für Kunststofftechnik in Paderborn.

DR.-ING. FRAUKE BECKER, geb. 1972, ist im Bereich Verfahrensentwicklung Werkstoff- und Fertigungstechnik der DaimlerChrysler AG, Sindelfingen, tätig.

DR.-ING. JOACHIM SCHNIEDERS, geb. 1970, ist Mitarbeiter beim Verein zur Förderung der Kunststofftechnologie e.V. Paderborn.

DIPL.-ING. (FH) MAIK BÜSSING, MBA & Eng., geb. 1977, ist Mitarbeiter beim Verein zur Förderung der Kunststofftechnologie e.V. Paderborn.

DIPL.-ING. ODO KARGER, geb. 1971, ist im Bereich Vorentwicklung bei der Hella Leuchten-Systeme GmbH, Paderborn, beschäftigt.

DIPL.-ING. ANNE THÜMEN, geb. 1975, ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Kunststofftechnik Paderborn (KTP).

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Minimisation of Abrasion and Burr in Vibration Welding

Process Combination. Heat treatment prior to welding can improve abrasion resistance and increase the strength of the weld. The additional process step, infrared heating, has only a slight impact on the cycle time. Furthermore, the advantages predominate as abrasion is almost completely eliminated.

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103459** on our website at www.kunststoffe-international.com