

Fachbericht:

Multi-Orbitales Reibschweißen von Rohren aus Polyolefinen

In den vergangenen Jahren haben in Deutschland sowie weltweit Rohrleitungen aus Kunststoff zunehmend an Bedeutung gewonnen. Thermoplastische Kunststoffe sind mittlerweile mit 54 % Marktanteil und einem Volumen von 2.500.000 Tonnen/Jahr die wichtigsten Werkstoffe für Rohrsysteme in Europa. Am häufigsten werden Systeme aus Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) oder Polyvinylchlorid (PVC) in den Bereichen Wasserversorgung, Gasversorgung, Abwasserentsorgung und Industrierohrleitungen eingesetzt.

Die zur Herstellung von Rohrleitungen notwendigen Verschweißungen sind relativ zeit- und kostenintensiv, da manche Schweißprozesse (durchmesserabhängig) bis über 90 Minuten dauern, sowie relativ aufwändig sind, da beispielsweise beim häufig angewendeten Heizelementstumpfschweißen hohe Wärmeverluste am Heizelement auftreten.

In einer Forschungsarbeit des Süddeutschen Kunststoff-Zentrums (SKZ) in Würzburg wurde in enger Zusammenarbeit mit der Firma MOSYS GmbH (Eschenfelden) das multi-orbitale Reibschweißverfahren für Polyolefinrohrleitungen entwickelt. Angestrebt wurde eine hohe Fügenahtqualität bei einer sehr geringen Schweißzeit. Die Grundlage des Verfahrens ist eine innovative Bewegungsführung, bei der im Gegensatz zu bisherigen Reibschweißverfahren erstmals beide Werkstückenden in kleinsten kreisförmigen Orbitalbewegungen translatorisch bewegt werden können, was eine Effizienzsteigerung von bis zu 100 % bedeuten kann. Der Reibschweißprozess kann im Allgemeinen durch zwei verschiedene Phasen beschrieben werden. In der ersten Phase „Reiben“ wird die zum Erweichen notwendige Energie durch Reibung ins Material eingebracht. In der zweiten Phase „Fügen“ werden die beiden Werkstücke aufeinander gepresst bis diese abkühlen. Bei einem multi-orbitalen Reibschweißprozess werden beide Fügepartner mit einer Phasenverschiebung von 180° in gleicher Drehrichtung bewegt. In Abbildung 1 ist die Prinzipskizze der multi-orbitalen Bewegung dargestellt.

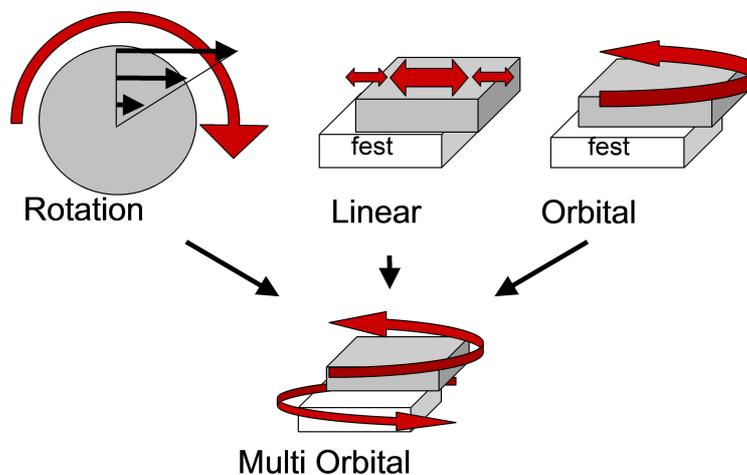


Abbildung 1: Multi-orbitale Bewegung, Prinzipskizze [Quelle M-O-SYS GmbH]

Diese Reibbewegung bietet beim Reiben mit einer Amplitude von ca. 0,3 bis 1,5 mm eine so geringe Auslenkung, dass auch dünnwandige Bauteile oder Bauteile mit inneren Strukturen im plastifizierten Zustand verschweißt werden können. Auf Grund einer geringen Schweißzeit von wenigen Sekunden (materialabhängig) und einer guten Automatisierbarkeit bietet sich auch der Einsatz in der Produktion bei hohen Stückzahlen an. Ebenso hat das Verfahren ein großes Potential bei Produkten, die durch sehr lange Schweißzeiten bei herkömmlichen Fügeprozessen gekennzeichnet sind.

Im Rahmen des Projekts wurden zahlreiche Schweißungen an Rohren und Platten aus PE, und PP durchgeführt. Exemplarisch wurden auch PVC-U und PA12 untersucht. Anlagentechnisch wurden folgende Ergebnisse erzielt: Die „Fügedruckaufbauzeit“ und die „Umstellzeit“ zwischen den Phasen „Reiben“ und „Fügen“ sollten so klein wie möglich gehalten werden, d. h. eine schnellstmögliche Verzögerung der Orbitalbewegung ist notwendig. So konnte die Bremsphase beim Übergang von „Reiben“ auf „Fügen“ durch aufwendige Maschinenoptimierung innerhalb von 0,225 s erfolgen. Abbildung 2 stellt ein Beispiel für eine schnelle Verzögerung der Orbitalbewegung (In Abbildung als „Fügedruckaufbauzeit“ kennzeichnet) zwischen den beiden Phasen dar.

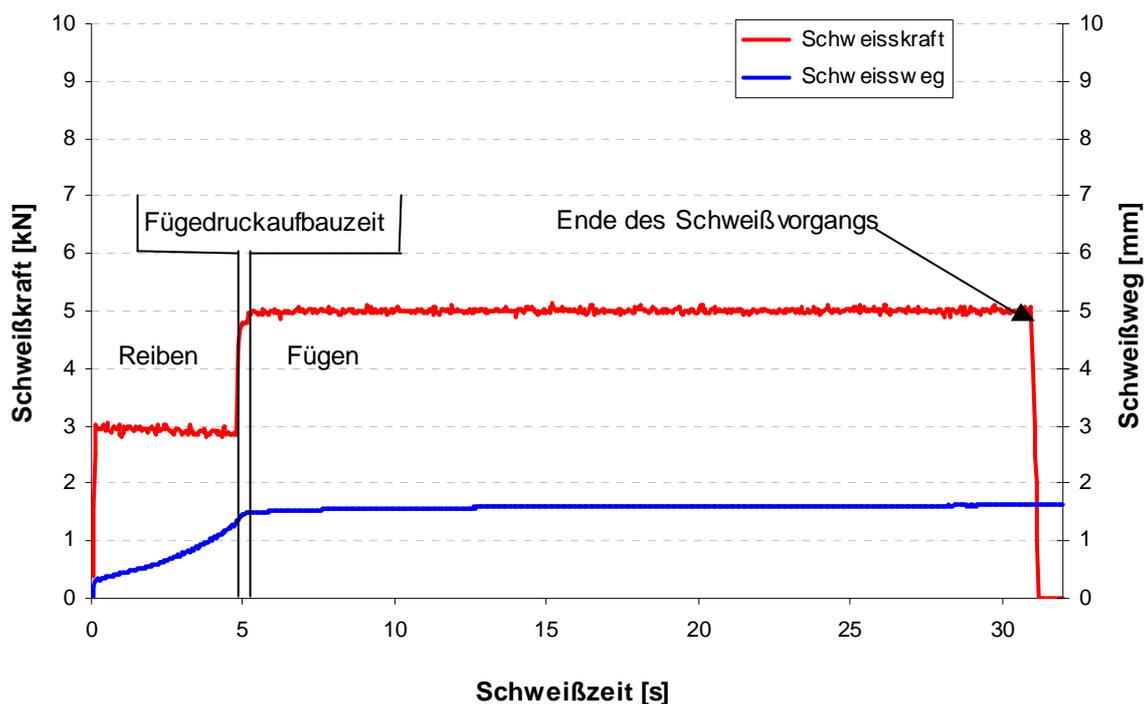


Abbildung 2: Schnelle Verzögerung der Orbitalbewegung zwischen der Phase Reiben und Fügen

Bei längeren Verzögerungszeiten (ca. 1 s) entstand ein Abriss des aufgeschmolzenen und verbundenen Kunststoffes in der Fügeebene, der qualitativ und quantitativ mikroskopisch beobachtet werden konnte. Durch Optimierungen der Reibschweißanlage konnten die Regleransprechzeiten und somit auch die Verzögerungszeiten so minimiert werden, dass qualitativ hochwertige Schweißungen hergestellt werden konnten.

Bei geeigneter Prozessführung wurden im Zugversuch für PE, PP und PA 12 Rohr- und Plattenmaterialien hohe Kurzzeitzug-Schweißfaktoren (0,9 bis 1,0) erreicht (exemplarisch ist ein Beispiel für PE mit dem höchsten Schweißfaktor 0,91 in Abbildung 3 dargestellt).

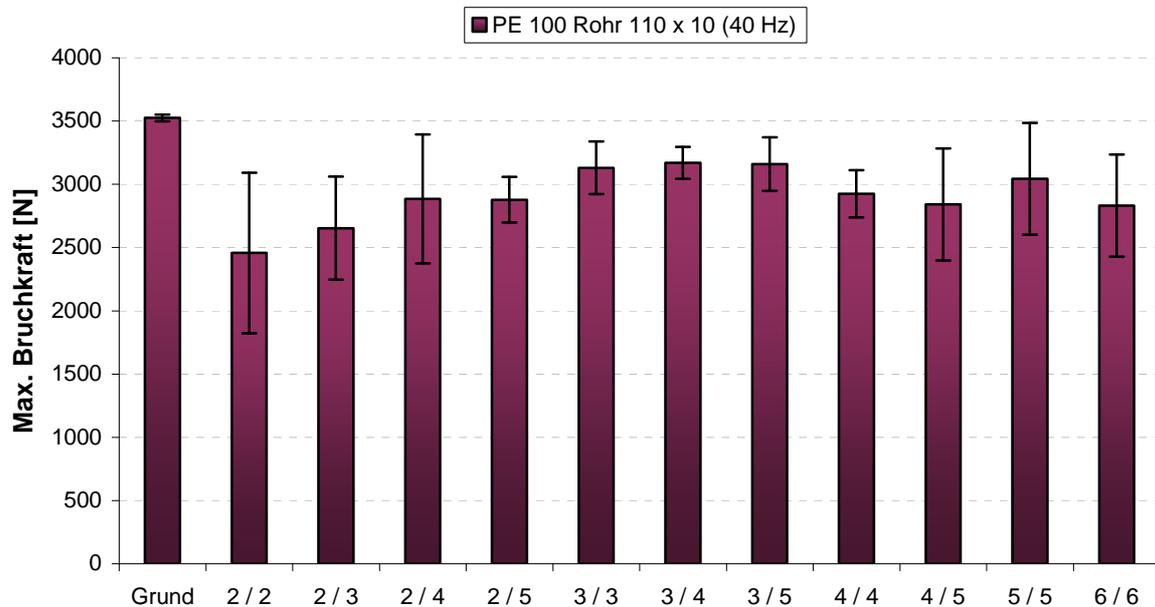


Abbildung 3: Kurzzeitzugeigenschaften von PE100-Rohren D 110 x 10 mm, geschweißt bei 40 Hz, 12 Sekunden Reibzeit und 30 Sekunden Fügezeit

Mit Hilfe der mechanischen Prüfungen und mikroskopischen Untersuchungen stellte sich heraus, dass ein Abfallen der Maschinen- bzw. Schweißkraft zwischen der Reibphase und der Fügephase sich bei allen Kunststoffen negativ auswirkte. Die relativ dünne Schmelzeschichtdicke erfuhr durch eine Abnahme der Kraft eine Beschädigung. Die Kurzzeitzugversuche spiegelten diese negativen Einflüsse eindeutig wider. Es wurden bei den mechanischen Prüfungen meist deutlich geringere Bruchkräfte und Schwankungen über den Rohrumfang verteilt festgestellt. Durch die geeignete Wahl der Schweißparameter und Optimierung der Regelung konnten die Verbindungsfestigkeiten signifikant erhöht und Schwankungen minimiert werden.

Um den Einfluss der Parameter auf die mechanischen Eigenschaften unter mehrachsiger Belastung zu untersuchen, wurden PE-Rohre mit Dimensionen 110 x 10 mm im multi-orbitalen Reibschweißverfahren geschweißt und anschließend mittels Innendruck geprüft. Dafür wurden die zu prüfenden Rohre bei 80 °C ca. 6 h vortemperiert. Die DIN 8075 gibt vor, dass bei 80 °C ein Solldruck von 12,6 bar mindestens 1 h gehalten werden muss. Daher wurde die Prüfung bei einem Druck von 12,6 bar und 80 °C gestartet. Nach einer Stunde wurde der Druck alle 5 Minuten um 0,5 bar bis zum Versagen erhöht. Als Referenz wurden ungeschweißte Rohre und HS-geschweißte Rohre verwendet. Da keines der Rohre innerhalb einer Stunde versagt hat, wurde der maximal erreichte Druck ausgewertet. Es wurden jeweils drei Schweißungen geprüft. Bei den reibgeschweißten Rohren wurden die Schweißparameter verwendet, die die bisher besten mechanischen Eigenschaften im Zugversuch aufwiesen (siehe Abbildung 3). Die Ergebnisse der Prüfungen sind in Abbildung 4 zusammengefasst.

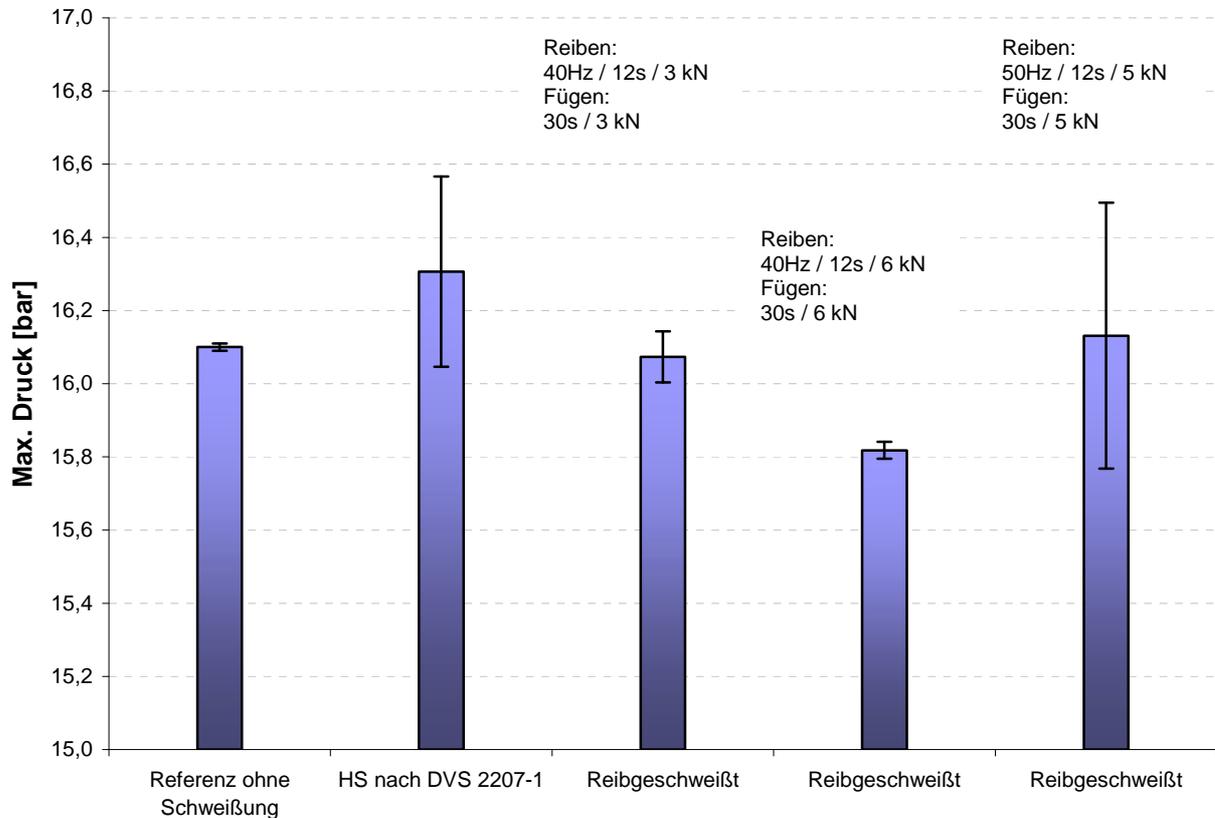


Abbildung 4: Innendruckprüfungen: Ermittlung des maximalen Drucks

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurden außerdem Untersuchungen bzgl. der Restschmelzeschichtdicke durchgeführt. Dabei konnten keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen der gemessenen Restschmelzeschichtdicke und den ermittelten mechanischen Eigenschaften festgestellt werden.

Mit Hilfe der Ergebnisse der thermischen Analyse konnte keine thermische Schädigung bzw. Abbau des Materials durch den Schweißprozess festgestellt werden. Es wurden Proben an verschiedenen Stellen in der Schweißnaht entnommen und analysiert. Die Thermoanalysen zeigen ein typisches für die jeweiligen Kunststoffe charakteristisches Verhalten. Ein Verbrauch des Stabilisators konnte durch OIT-Messungen (Oxidations-Induktions-Zeit) nicht festgestellt werden. Das Kunststoffmaterial in der Naht war nach wie vor den Schweißungen ausreichend stabilisiert. Aus den Ergebnissen dieses Forschungsvorhabens konnten dazu keine nachteiligen Einflüsse des Schweißprozesses auf die rheologischen Eigenschaften der Materialien festgestellt werden.

Zusammenfassend zeigen die Untersuchungen, dass das multi-orbitale Reibschweißverfahren für Polyolefine (PE, PP) sowie für technische Thermoplaste wie z. B. Polyamide (PA 12) sehr gut geeignet ist. Bezüglich Kunststoffrohrleitungen zeichnen dieses Verfahren hohe Kurzzeitzugschweißfaktoren (mechanische Eigenschaften) bei sehr niedrigen Schweißzeiten. Aufgrund der relativ kurzen Schweißzeiten konnte die zur Schweißung benötigte Energie gegenüber anderen herkömmlichen Schweißverfahren stark reduziert werden. Alle diese Ergebnisse basieren auf den Schweißversuchen mit einer Schweißmaschine, die nicht explizit für die Kunststoffindustrie entwickelt wurde. Noch

bessere Ergebnisse wären durch eine speziell für bestimmte Kunststoffe entwickelten Reibschweißmaschine denkbar. In Abbildung 5 ist die Prinzipkonstruktion einer Reibschweißmaschine für den Rohrleitungsbau dargestellt. Ein Nachweis der Langzeiteigenschaften im Zugversuch und ausführliche Zeitstandinnerdruckversuche nach internationalen Normen wären zum entgeltigen Charakterisieren des multi-orbitalen Reibschweißverfahrens für Kunststoffrohre allerdings notwendig.



Abbildung 5: Mögliche Umsetzung einer multi-orbitalen Reibschweißmaschine für den Rohrleitungsbau [Quelle: M-O-SYS GmbH]

Die Untersuchungen wurden aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und durch das Programm „ProInno II - Förderung der Erhöhung der Innovationskompetenz mittelständischer Unternehmen“ über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) (Nr.: KF0457601UK7 für MOSYS GmbH und KF0031312UK7 für SKZ) finanziert. Für die Förderung dieses Forschungsprojekts sei dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) an dieser Stelle herzlich gedankt.

Für nähere Informationen kontaktieren Sie bitte das SKZ (www.skz.de) oder die Fa. MOSYS GmbH.

Süddeutsches Kunststoff-Zentrum (SKZ)
Friedrich-Bergius-Ring 22
97076 Würzburg

Dipl.-Ing. Eduard Kraus
Tel.: 0931 4104 -480
E-Mail: e.kraus@skz.de

Dr. Benjamin Baudrit
Tel.: 0931 4104 -180
E-Mail: b.baudrit@skz.de