

eingereicht/handed in: 06.11.2020
angenommen/accepted: 18.01.2021

J. Schmid¹, D. F. Weißer¹, D. Mayer¹, G. Böhler², S. Böhler², Dr.-Ing. A. K. Müller³, Prof. Dr.-Ing. M. H. Deckert¹

¹ - Labor für Kunststofftechnik, Hochschule Esslingen, ² - GMB Kunststoffteile GmbH, ³ - DuPont de Nemours (Deutschland) GmbH

Reduktion der Erwärmungszeit beim Heißgasschweißen

Aktuell wird zum Heißgasschweißen standardmäßig eine Düse aus aneinander gereihten runden Röhrchen (Rund-Düse) verwendet. Eine neu entwickelte Düse (Aufsatz-Düse), welche die Schweißnaht beim Erwärmen umschließt, ermöglicht es beim Heißgasschweißen, die Erwärmungszeit des Kunststoffes um bis zu 60 % zu reduzieren. Für PA66-GF35 z.B. kann die Erwärmungszeit, im Vergleich zu einer Rund-Düse, um bis zu 15 s reduziert werden. Zudem ist die Aufschmelzung des Kunststoffes deutlich gleichmäßiger und weist keine kraterförmige Struktur an der Oberfläche auf. Die Reduktion der Erwärmungszeit führt zu einem geringeren Prozessgasverbrauch und letztendlich zu einer Reduktion des gesamten Energieverbrauchs und damit verbundenen niedrigeren Prozesskosten.

Reduction of the heating time for hot gas welding

Currently, a nozzle consisting of a series of round tubes (round nozzle) is used as standard for hot gas welding. A newly developed nozzle (top nozzle), which surrounds the weld joint during heating, enables a reduction of the heating time of the resin by up to 60 % during the hot gas welding process. For PA66-GF35, for example, the heating time can be reduced up to 15 s compared to a round nozzle system. In addition, the melting of the resin is much more uniform and does not have a crater-like structure on the surface. The reduction of the heating time leads to lower process gas consumption and ultimately to a reduction of the total energy consumption and thus lower process costs.

Reduktion der Erwärmungszeit beim Heißgasschweißen

J. Schmid, D. F. Weißer, D. Mayer, G. Böhler, S. Böhler, A. K. Müller, M. H. Deckert

1 EINLEITUNG/PROBLEMSTELLUNG

Um technische Kunststoffbauteile zu fügen, haben sich in der Serienfertigung sowohl berührungslose Schweißverfahren, wie Infrarot- [1-4] und Laserschweißen, als auch berührende Verfahren, wie Vibrations- [5, 6] und Ultraschallschweißen etabliert [7], Bild 1. Allerdings werden Fügeverfahren, welche den thermoplastischen Kunststoff berührungslos aufschmelzen, z.B. durch Strahlungs- oder Konvektionserwärmung, in den letzten Jahren vermehrt untersucht und entwickelt [1-4, 8, 9]. Grund dafür ist das Entstehen von Partikeln z.B. beim Reibschweißen oder das Anhaften von Schmelze beim Heizelementschweißen, was bei der Auswahl eines geeigneten Fügeverfahrens für technische Kunststoffe immer häufiger als ausschließendes Kriterium aufgeführt wird [1, 10, 11].

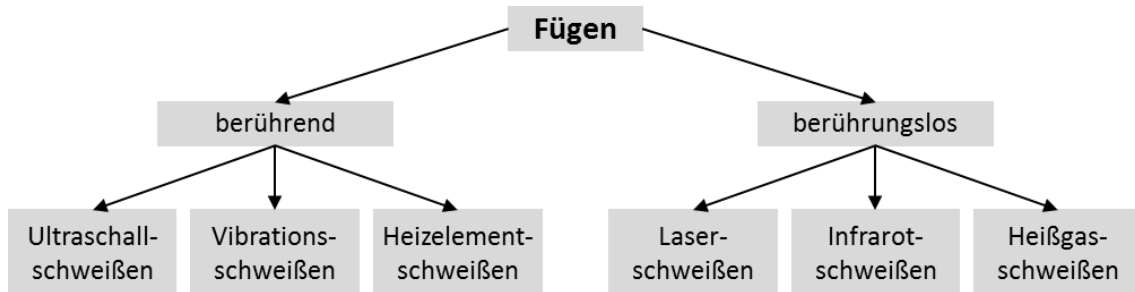


Bild 1: Übersicht berührende und berührungslose Kunststofffügeverfahren

Der Fügeprozess **Heißgasschweißen** zählt, wie auch das Infrarotschweißen, zu den Fügeverfahren mit einem partikelfrei, berührungslosen Erwärmungsvorgang [1, 10, 12] und setzt sich in den letzten Jahren mehr und mehr als weiteres Serienschweißverfahren für technische Kunststoffe durch [7].

Die Vorteile des Heißgasschweißen liegen neben einer berührungslosen Erwärmung vor allem auch in der freien Gestaltung der Schweißnaht und deren Verlauf, wodurch es sich auch von anderen berührungslosen Schweißverfahren wie dem Infrarotschweißen abhebt. Es können, im Gegensatz zu den üblichen Schweißverfahren wie Ultraschall- oder Vibrationsschweißen, vergleichsweise einfach dreidimensionale Schweißnähte hergestellt werden [12-14].

Unterschiedliche Schweißparameter wie z.B. das Prozessmedium, die Heißgaswerkzeugtemperatur, die Erwärmungszeit und die Strömungsgeschwindigkeit

keit des Prozessmediums beeinflussen das Schweißergebnis in erheblichem Maße. Trotz allem wurde der Einfluss der Parameter beim Heißgasschweißen bisher wenig wissenschaftlich untersucht [7, 12, 13]. Die GMB Kunststoffteile GmbH führt aktuell in Zusammenarbeit mit der Hochschule Esslingen ein gemeinsames Forschungsprojekt zum Heißgasschweißen [13, 14] durch. Gefördert wird das Forschungsprojekt (Förderkennzeichen: ZF4166303FH8) durch das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Ein Ergebnis des gemeinsamen Forschungsprojektes ist eine neu entwickelte Aufsatz-Düse. Diese neuartige Aufsatz-Düse kann die Erwärmungszeit des Kunststoffes um bis zu 60 % reduzieren. Die bei der konventionellen Rund-Düse nachteilig lange Aufschmelzdauer kann durch diese Modifikation am Heißgaswerkzeug erheblich verkürzt werden.

2 DER STANDARD-HEIßGASSCHWEIßPROZESS

Die berührungslose Erwärmung des Kunststoffes und vor allem die freie Gestaltung der Schweißnaht und deren Verlauf sind Vorteile des Prozesses Heißgasschweißen. Die komplette, bei Bedarf auch dreidimensionale, Schweißkontur beider zu fügenden Bauteilhälften wird mit kleinen, eng beieinanderliegenden Röhrchen auf dem sogenannten Heißgaswerkzeug nachgebildet. Durch den aus den Röhrchen austretenden, heißen Gasstrom wird der Kunststoff gezielt an den dafür vorgesehenen Fügeflächen aufgeschmolzen. Typischerweise wird der Kunststoff zu Beginn mit einem geringeren Abstand von z.B. 2 mm für eine Dauer von 15 s erwärmt. Um einen homogenen Wärmeeintrag zu erreichen, wird nach 15 s der Abstand für beispielsweise weitere 10 s auf 3 mm vergrößert. Anschließend werden die Bauteile unter Druck gefügt, Bild 2. Die aktuell verwendete konventionelle Rund-Düse erzeugt eine Prallströmung, welche den Kunststoff erwärmt. Bei dieser Düsen-Art entstehen neben schwierig zu kontrollierenden Oberflächentemperaturen vergleichsweise hohe Wärmeverluste, was eine lange Aufheizzeit zur Folge hat, da das heiße Gas nach dem Auftreffen auf die Kunststoffoberfläche unkontrolliert wieder von dieser seitlich wegströmt. Genau an diesem Punkt setzt die neuartige Aufsatz-Düse an.

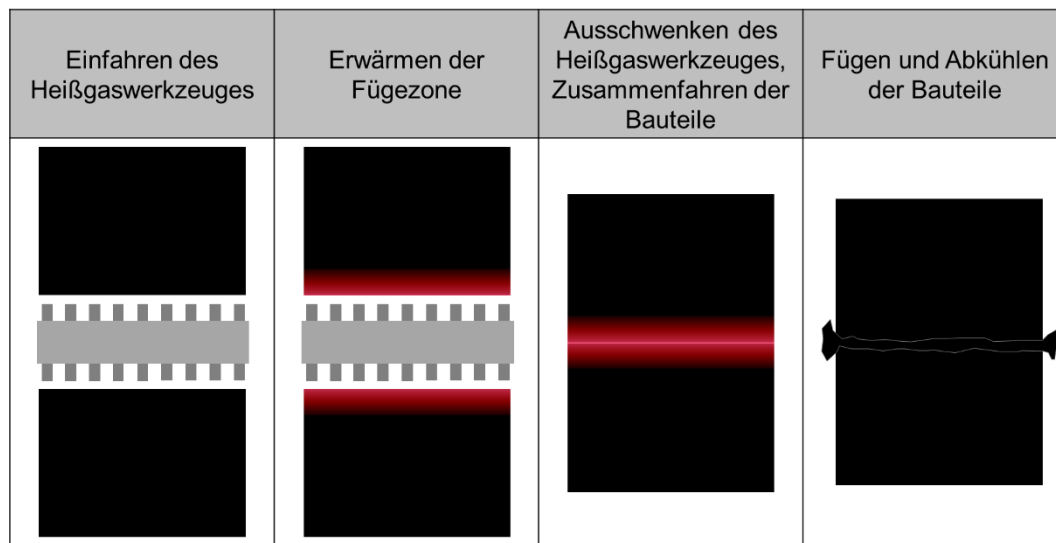


Bild 2: Verfahrensablauf Heißgasschweißen [13, 14]

3 EINE NEUARTIGE AUFSATZ-DÜSE ZUM HEIßGAS-SCHWEIßEN

Die neu entwickelte Aufsatz-Düse bildet den Abschluss des Rund-Düsen - Systems und folgt der Schweißkontur, Bild 3. Der Hauptvorteil dieser neuartigen Düse ist, neben einer einfachen Montage, dass das heiße Prozessgas besser im Bereich der zu fügenden Flächen gehalten wird. Im Gegenteil zu anderen Untersuchungen [12, 15] zur Weiterentwicklung des Heißgaswerkzeuges, bei denen ein optimierter Strömungskanal direkt auf dem Heißgaswerkzeug montiert wird, kann die neu entwickelte Aufsatz-Düse mit geringem Aufwand auf die Röhrcen aufgesteckt werden. Dies erhöht die Konstruktionsfreiheit insbesondere in anspruchsvollen dreidimensionalen Bereichen der zu fügenden Kontur. Zudem kann die Aufsatz-Düse ohne Einschränkungen an bestehende Heißgaswerkzeuge mit konventioneller Rund-Düsen - Technologie nachgerüstet werden.

Das neu entwickelte Düsenkonzept führt, im Vergleich zur Rund-Düse, im Kunststoff zu einem unterschiedlichen Aufschmelzverhalten. Wie in Bild 3 (links) für die herkömmliche Rund-Düse schematisch dargestellt, prallt Gas auf die Kunststoffoberfläche und strömt seitlich ab. Dadurch entstehen die aus der Praxis bekannten, kraterförmigen Strukturen auf der Kunststoffoberfläche [13-15]. Dieser punktuelle Wärmeeintrag führt zu einer stärkeren Überhitzung in der Mitte der Kunststoffschweißnaht, während die Randbereiche vergleichsweise wenig erwärmt werden. Der Fügeweg ist durch die ungleichmäßige Aufheizung somit begrenzt.

Bei der Aufsatz-Düse, dargestellt in Bild 3 (rechts), ragt das Kunststoffbauteil mindestens 0,5 mm in die Düse hinein. Hierdurch wird das heiße Prozessgas

daran gehindert seitlich abzuprallen und strömt im Spalt zwischen Kunststoff und Aufsatz-Düse ab. Die turbulente Strömung und der größere Abstand zwischen Kunststoff und dem Röhrchen in der Aufsatz-Düse führen zu einem gleichmäßigen Aufschmelzen des Kunststoffes, bei dem auch die Randbereiche gleichmäßig erwärmt werden. Das Umschließen des Kunststoffes führt zu einem größeren Prozessfenster, welches durch das optimierte Strömungsprofil des Heißgases und damit verbunden einer kontrollierteren Anschmelzung des Kunststoffes erklärbar ist. Dadurch können mit der Aufsatzdüse auch toleranzbedingte Schwankungen in den Abmaßen der Kunststoffbauteilen durch tieferes Aufschmelzen und größeren erreichbaren Fügewegen besser ausgeglichen werden. Das durch die Aufsatz-Düse erzeugte Aufschmelzverhalten des Kunststoffes lässt sich tendenziell mit dem von Heizelement- und Infrarot-Schweißen vergleichen [2-4, 16].

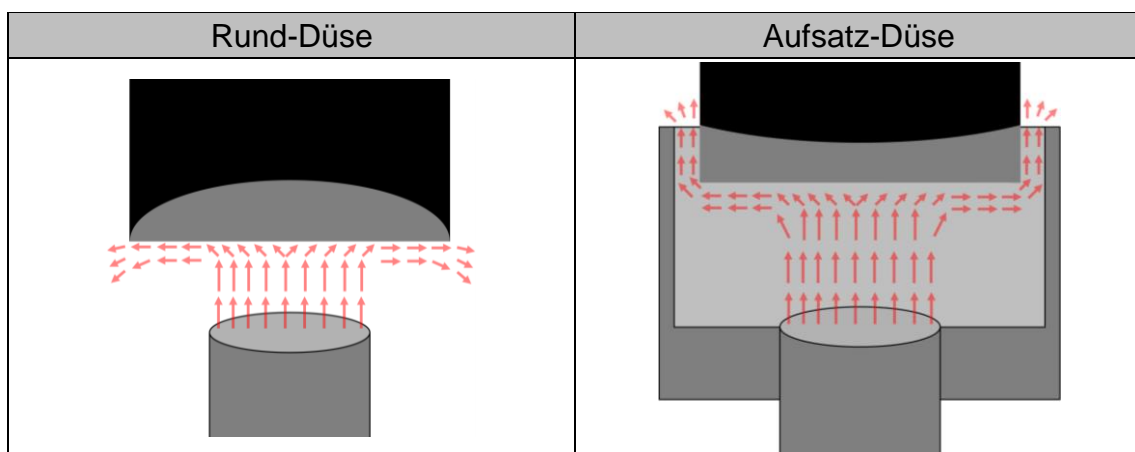


Bild 3: Vergleich des Aufschmelzverhaltens einer Kunststoffschweißnaht, dargestellt im Schnitt; links: Rund-Düse (Abstand: 2 mm); rechts: Aufsatz-Düse (Abstand: - 0,5 mm)

Unterschiede bezüglich des durch die Rund- und der Aufsatz-Düse bedingten Aufschmelzverhaltens werden beispielhaft an einem PA66 GF35 (Zytel® 70G35HSLR BK416LM – DuPont) untersucht und dargestellt werden. Bei der konventionellen Rund-Düse wird der Kunststoff konvex aufgeschmolzen, Bild 4. An den Rändern der Schweißnaht ist zu erkennen, dass wenig Kunststoff aufgeschmolzen wird.

Im Gegensatz zur konventionellen Rund-Düse ist das Aufschmelzverhalten bei der Aufsatz-Düse konkav, wie es vom Heizelement- und IR-Schweißen bekannt ist [2-4, 16], Bild 5.

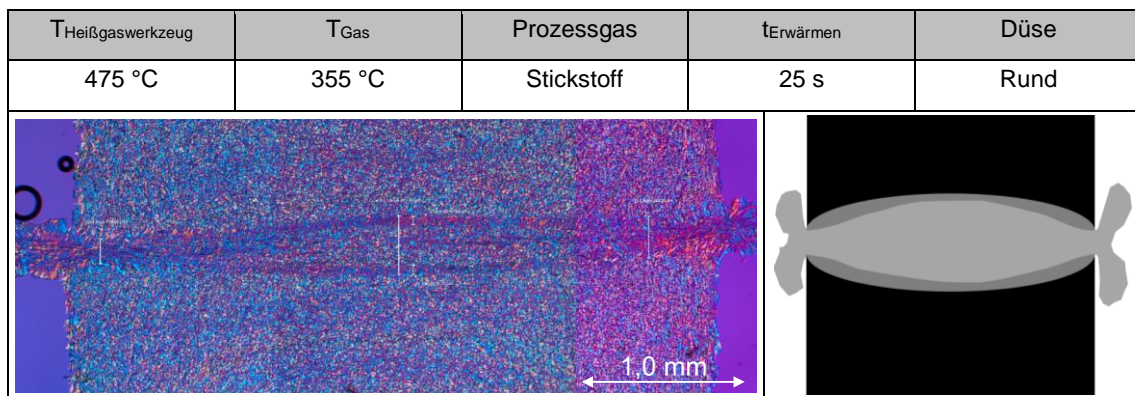


Bild 4: Dünnschnittaufnahme einer mit Rund-Düse erwärmten Schweißnaht mit elliptisch aufgeschmolzenem Fügebereich
 Schnittdicke: $t = 10 \mu\text{m}$; Höhe Rekristallisationsschicht: 156,69 μm (links); 376,82 μm (mittig); 253,78 μm (rechts); Dicke deformierter Sphärolithe: 50,95 μm (oben); 56,72 μm (unten)

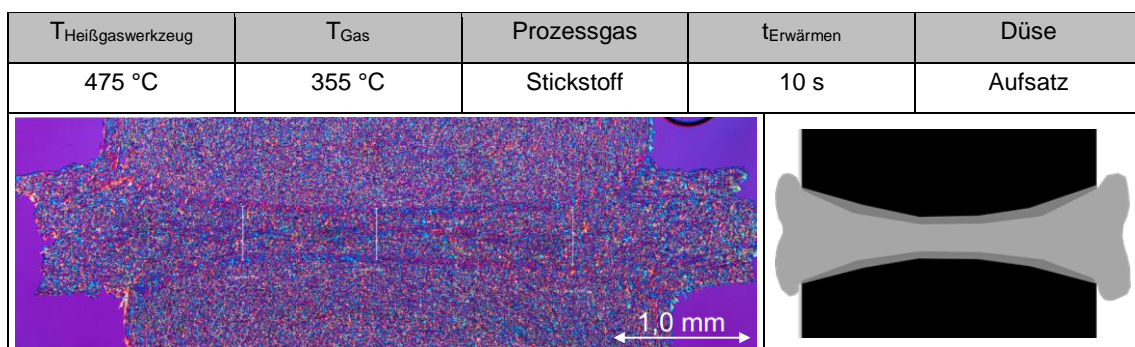


Bild 5: Dünnschnittaufnahme einer mit Aufsatz-Düse erwärmten Schweißnaht mit einem mit dem Heizelementschweißen vergleichbaren aufgeschmolzenen Fügebereich
 Schnittdicke: $t = 10 \mu\text{m}$; Höhe Rekristallisationsschicht: 448 μm (links); 428 μm (mittig); 480 μm (rechts)

Wärme- und Strömungssimulationen zeigen, dass der Krümmungsradius der Aufschmelzung über den Spalt zwischen Kunststoff und Aufsatz-Düse beeinflusst werden kann. Wird der Spalt auf 0,5 mm verengt, erhöht sich hier die Strömungsgeschwindigkeit. Der Kunststoff wird in den Randbereichen stärker aufgeschmolzen, und als Folge nimmt das Abschmelzen der Ecken zu. Eine Vergrößerung des Spalts auf 1,5 mm oder 2,0 mm sorgt für ein langsames Aufschmelzen des Kunststoffes. Von Vorteil ist jedoch ein weniger starkes Aufschmelzen in den Randbereichen, da dies zu einem reduzierten Abschmelzen der Ecken und zu einem homogenen Aufschmelzen des gesamten Fügebereiches führt. Dass der Spalt zwischen Kunststoff und Aufsatz-Düse das Erwärmungsverhalten beeinflusst, zeigen auch weitere durchgeführte Untersuchungen [15].

4 BESCHREIBUNG DES VERSUCHSAUFBAUS

4.1 Versuchsaufbau zur Messung der Gastemperaturen

Die Gastemperatur beim Heißgasschweißen, also die Temperatur, mit welcher das Gas auf den Kunststoff trifft, ist abhängig von der Heißgaswerkzeugtemperatur, der Strömungsgeschwindigkeit des Prozessmediums und dem Abstand zwischen Düse und Kunststoff. Um den Einfluss der Düsenkonzepte auf die Gastemperatur zu untersuchen, werden Messungen der Gastemperatur durchgeführt. Hierfür wird ein Oberflächenfühler zu Beginn der Messung in einem Abstand von 2 mm (Rund-Düse) und 0,5 mm (Aufsatz-Düse) zur jeweiligen Düse positioniert, Bild 6. Anschließend werden die Gastemperaturen im Schweißprozess (sogenanntes Anblas-Bild) für die Rund-Düse für eine Erwärmungsdauer von 25 s (15 s mit 2 mm Abstand; 10 s mit 3 mm Abstand) gemessen. Für die Aufsatz-Düse werden die Messungen für eine Erwärmungsdauer von 10 s durchgeführt.

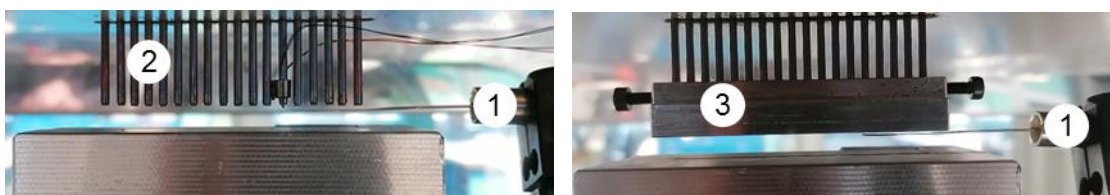


Bild 6: Versuchsaufbau zur Messung der Gastemperatur mit Rund-Düse (links) und Aufsatz-Düse (rechts) (1 – Oberflächenfühler, 2 – Rund-Düse, 3 – Aufsatz-Düse)

4.2 Versuchsaufbau zur Messung der Temperaturen im Kunststoff

Um den Einfluss der beiden Düsen-Varianten auf das Erwärmungsverhalten des Kunststoffes untersuchen zu können, werden mit der Rund- und Aufsatz-Düse Temperaturmessungen während des Schweißprozesses durchgeführt. Es werden Platten (60 mm x 60 mm x 4 mm) verschweißt und das Erwärmungsverhalten des Kunststoffes mit Thermoelementen vom Typ J gemessen. Hierzu werden an den entsprechenden Stellen Bohrungen (\varnothing 0,5 mm) mit einer CNC-Fräsmaschine in die Kunststoffplatten eingebracht. Pro Platte sind vier Messpunkte vorgesehen, Bild 7. Zwei Messpunkte werden an der Kunststoffoberfläche (Stirnfläche) eingebracht, sowohl direkt unter einer Düse als auch zwischen zwei Düsen. Auf diese Weise soll die Temperaturverteilung auf der Kunststoffoberfläche aussagekräftig abgebildet werden. Zudem werden zwei Messpunkte seitlich 0,5 mm unter der Stirnfläche eingebracht, jeweils unter einer Düse und zwischen zwei Düsen. Damit soll die Temperaturverteilung im Innern des Kunststoffes ermittelt werden.

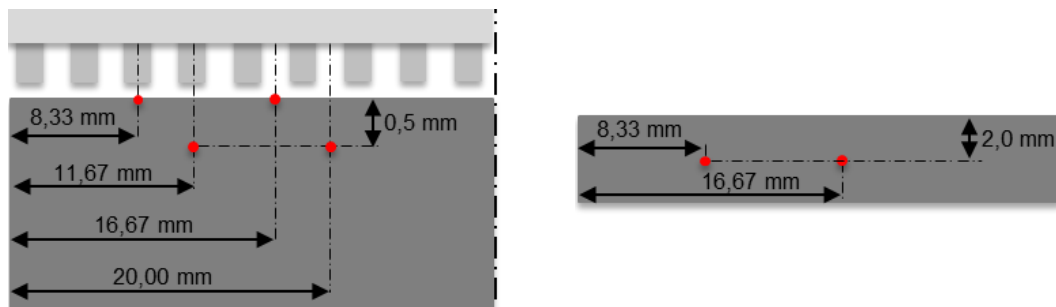


Bild 7: Messpunkte in den Kunststoffplatten aus PA66 GF35; links: Vorderansicht der Kunststoffplatte; rechts: Draufsicht der Kunststoffplatte (dunkelgrau: Kunststoffplatte, hellgrau: Heißgasdüsen, rot; Messpunkte)

5 ERGEBNISSE DER TEMPERATURMESSUNG

5.1 Gemessene Gastemperaturen mit der Rund- und Aufsatz-Düse im Vergleich

Die Vergrößerung des Abstandes zwischen Düse und Oberflächenfühler, wie in Kapitel 4.1 beschrieben, führt nach 15 s zu einem leichten Absenken der Gastemperatur, Bild 8.

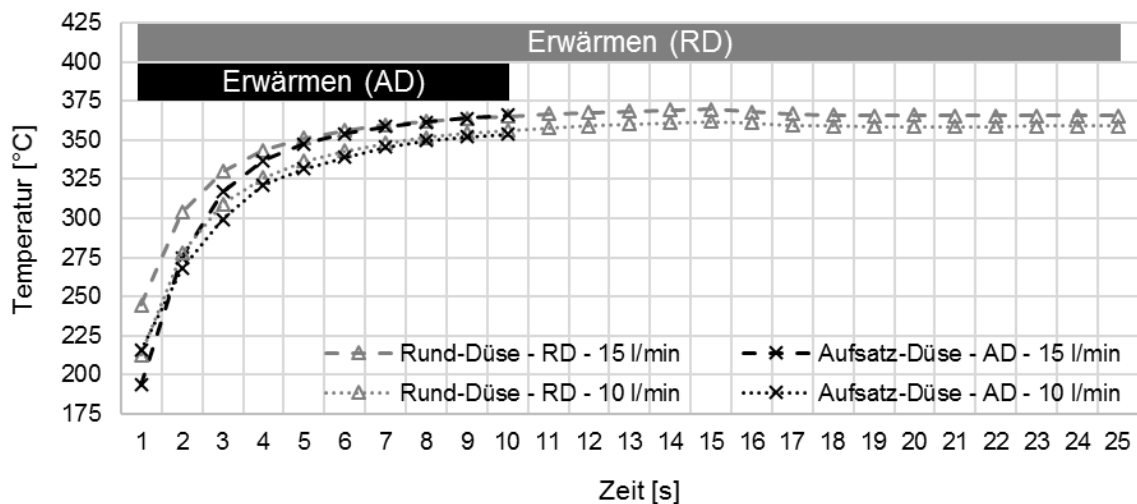


Bild 8: Vergleich der gemessenen Gastemperaturen während des Heißgasschweißprozesses als Mittelwert aus dem unteren und oberen Heißgaswerkzeuges im Vergleich. Variiert wird der Stickstoffdurchfluss.

Dies stellt die im Schweißprozess durchgeführte Bewegung beim Erwärmen des Kunststoffes dar. Hierdurch soll der Kunststoff gleichmäßiger aufgewärmt und eine stärkere Ausbildung von kraterförmigen Strukturen verhindert werden. Der Vergleich

zwischen den durch die beiden Düsen-Konzepte erzeugten Gastemperaturen zeigt, dass sich die erreichten Temperaturen kaum unterscheiden.

5.2 Aufheizverhalten mit Rund- und Aufsatz-Düse im Vergleich

Der Kunststoff muss entsprechend der gewünschten Schweißtiefe aufgeschmolzen werden. In der Praxis hat sich eine Schweißtiefe von 0,8 bis 1,0 mm bewährt. Die Auswertungen der Temperaturmessungen im Vergleich des Aufheizverhaltens der Rund- und Aufsatz-Düse zeigen, dass die Aufsatz-Düse den Kunststoff effizienter erwärmen kann, Bild 9. Das Erwärmungsverhalten der beiden Düsen-Konzepte unterscheidet sich vornehmlich in der Aufschmelztiefe im Kunststoff. Innerhalb von 10 s erwärmt die Aufsatz-Düse den Kunststoff in einer Aufschmelztiefe von 0,5 mm auf 190 °C, die Rund-Düse nur auf 155 °C. Nach weiteren 15 s Erwärmungszeit erreicht die Rund-Düse im Kunststoff eine Temperatur von 201 °C.

An der Oberfläche erwärmen beide Düsen-Konzepte den Kunststoff nach 10 s auf etwa 350 °C. In weiteren 15 Sekunden Aufheizzeit, die zum Erreichen der geplanten Aufschmelztiefe erforderlich ist, steigt die Oberflächentemperatur bei der Rund-Düse lediglich um 10 K an. Die Endtemperatur nach dem Erwärmungsvorgang mit der Aufsatz-Düse (10 s) und der Rund-Düse (25 s) sind vergleichbar und unterscheiden sich um 7 K.

Es ist zu erkennen, dass mit der Aufsatz-Düse im Vergleich zur Rund-Düse eine um 10 s kürzere Aufheizdauer benötigt wird, um vergleichbare Temperaturen zu erreichen. Darüber hinaus muss mit der Rund-Düse das Bauteil weitere 5 s erwärmt werden um eine homogene Aufschmelzung über die gesamte Breite der Schweißfläche und damit vergleichbare Schweißnahtfestigkeiten zu gewährleisten, Bild 10.

5.3 Temperaturverhalten im Gesamtprozess

Bei der Untersuchung des Heißgasschweißprozesses ist nicht nur die Erwärmung des Kunststoffes von Interesse. Der Temperaturverlust des Kunststoffes beim Ausschwenken des Heißgaswerkzeugs und dem Fügevorgang soll ebenfalls anhand von Versuchen untersucht werden. Zuletzt ist auch die Temperatur, bei welcher die Bauteile entnommen werden können, von hohem Interesse. Mit der Rund- und der Aufsatz-Düse werden vergleichende Temperaturmessungen im Schweißprozess durchgeführt. Dadurch kann der Temperaturverlauf über den Gesamtzyklus aufgezeigt werden. Der Heißgasschweißprozess kann, ohne Betrachtung des Bauteilhandlings, in drei Abschnitte unterteilt werden:

- Erwärmen des Kunststoffes,
- Ausschwenken des Heißgaswerkzeuges, Fügen der Bauteile,
- und Abkühlen der Bauteile.

Ein Vergleich der beiden Düsenkonzepte verdeutlicht, dass der Gesamtprozess mit der Aufsatz-Düse (exklusive Bauteilhandlung) von 35 s auf 20 s verkürzt werden kann.

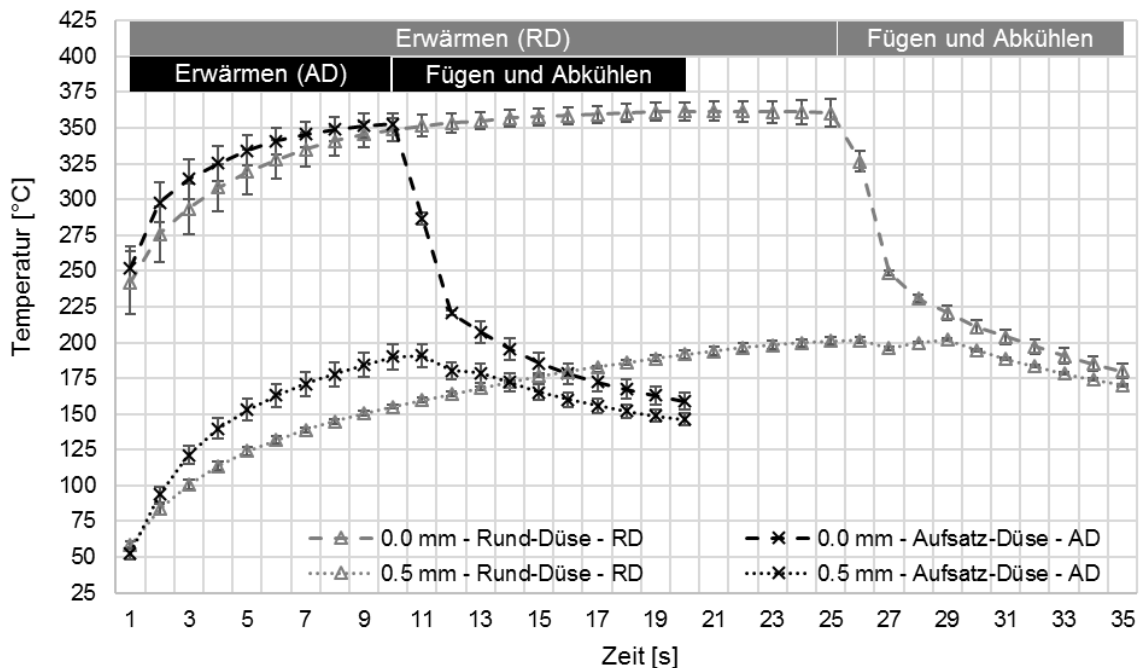


Bild 9: Vergleich der gemessenen Temperaturen während des Heißgasschweißprozesses als Mittelwert aus dem unteren und Heißgaswerkzeug im Vergleich. Geschweißt wird mit Stickstoff als Prozessgas.

Die Verkürzung der Erwärmungszeit um bis zu 60 % führt zudem zu einer deutlichen Reduktion des Prozessgasverbrauchs. Zum Fügen einer beispielhaften Plattengeometrie (60 mm x 60 mm x 4 mm) werden mit konventioneller Rund-Düse 16,7 l Stickstoff pro Schweißung benötigt. Mit der Aufsatz-Düse kann der Schutzgasverbrauch auf mindestens 10 l pro Schweißung reduziert werden. Die Einsparungen sind auf größere Bauteile entsprechend skalierbar. Durch die Verkürzung der Erwärmungszeit von bis zu 60 % und der damit verbundenen Reduktion des Prozessgasverbrauchs ist der Prozess somit nicht nur schneller und effizienter, sondern auch ressourcenschonender.

6 ERREICHBARE SCHWEISSNAHTFESTIGKEITEN

Mit der Rund- und der Aufsatz-Düse werden an zwei verschiedenen Werkstoffen Schweißversuche durchgeführt. Zur Ermittlung der erreichbaren Schweißnahtfestigkeiten werden pro Prozessparametersatz fünf Schweißversuche durchgeführt. Die verschweißten Kunststoffplatten werden anschließend jeweils in drei Streifen geschnitten. Dieses Vorgehen ermöglicht es, den Einfluss von Randbereichen zu ermitteln. Zudem simuliert der mittlere Streifen eine geschlossene Schweißnaht, wie sie bei Bauteilen in der Praxis häufig auftreten. Die 17 mm breiten Prüfstäbe

werden auf einer Zugprüfmaschine „ZMARTPRO“ der Fa. Zwick-Roell bis zum Versagen (Reißfestigkeit) belastet.

In Kapitel 5.2 wird beschrieben, dass die Erwärmungszeit für eine prozessstabile Schweißung bei einem Heißgaswerkzeug mit Rund-Düsen bei 25 s liegt. Die Temperaturmessungen auf bzw. im Kunststoffbauteil zeigen jedoch, dass bereits nach ca. 20 s mit dem Rund-Düsen-Konzept vergleichbare Temperaturen erreicht werden, wie mit dem Aufsatz-Düsen-Konzept nach nur 10 s, Bild 9. Dies bedeutet, dass neben einer für die Schweißung notwendigen und zu erreichenden Temperatur auch die Homogenität des Temperaturfeldes im Bereich des Schweißsteiges entscheidend ist.

Durchgeführte Versuche zeigen deutlich, dass aufgrund des ungünstigen Strömungsprofils der Rund-Düse weitere 5 s Aufheizdauer notwendig sind, um eine Homogenität der aufgeschmolzenen Fläche zu gewährleisten. Eine inhomogen aufgeschmolzene Schweißfläche führt unmittelbar zu signifikant reduzierten Schweißnahtfestigkeiten, dargestellt in Bild 10.

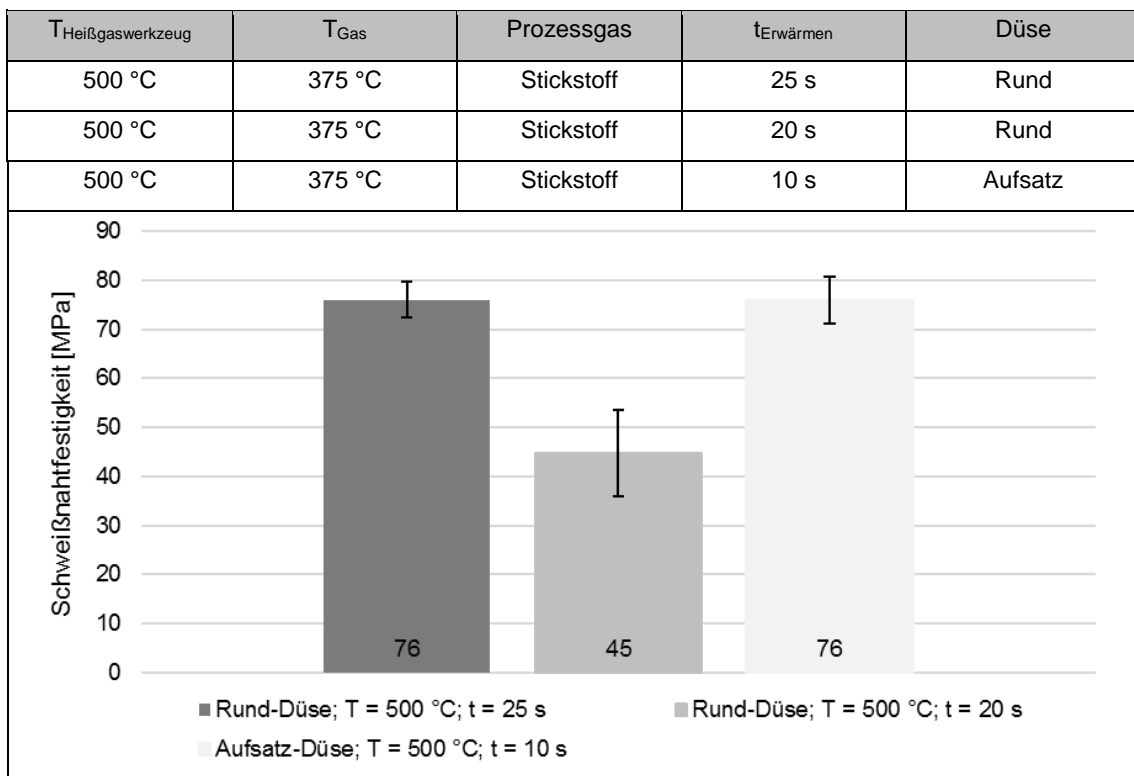


Bild 10: Erreichte Schweißnahtfestigkeiten mit Standardabweichung bei Schweißversuchen mit PA66-GF35 unter Verwendung einer Rund- und einer Aufsatz-Düse bei 500 °C Heißgaswerkzeugtemperatur. Während des Fügevorgangs werden Fügedrücke von mindestens 1,0 MPa erreicht.

Die Schweißnahtfestigkeiten, welche mit der Rund- und der Aufsatz-Düse bei entsprechenden Heißgaswerkzeugtemperaturen erreicht werden, sind an einem PA66-GF35 vergleichbar, Bild 11. Mit der Rund-Düse führt eine Reduktion der

Heißgaswerkzeugtemperatur bei gleichzeitiger Erhöhung der Erwärmungszeit zu einem Abfall der Schweißnahtfestigkeit. Beim Verschweißen ist es mit der Aufsatz-Düse möglich, bei gleicher Heißgaswerkzeugtemperatur, die Erwärmungszeit des Kunststoffes von 25 s auf 10 s zu reduzieren. Des Weiteren ist es möglich, die Heißgaswerkzeugtemperatur um bis zu 50 K zu reduzieren, wenn die Erwärmungszeit des Kunststoffes von 10 s auf 15 s verlängert wird um eine vergleichbare Zugfestigkeit zu erreichen. Bei einer Reduktion der Heißgaswerkzeugtemperatur auf 450 °C anstatt 500 °C erhöht sich die Schweißnahtfestigkeit in geringem Maße um 4 %.

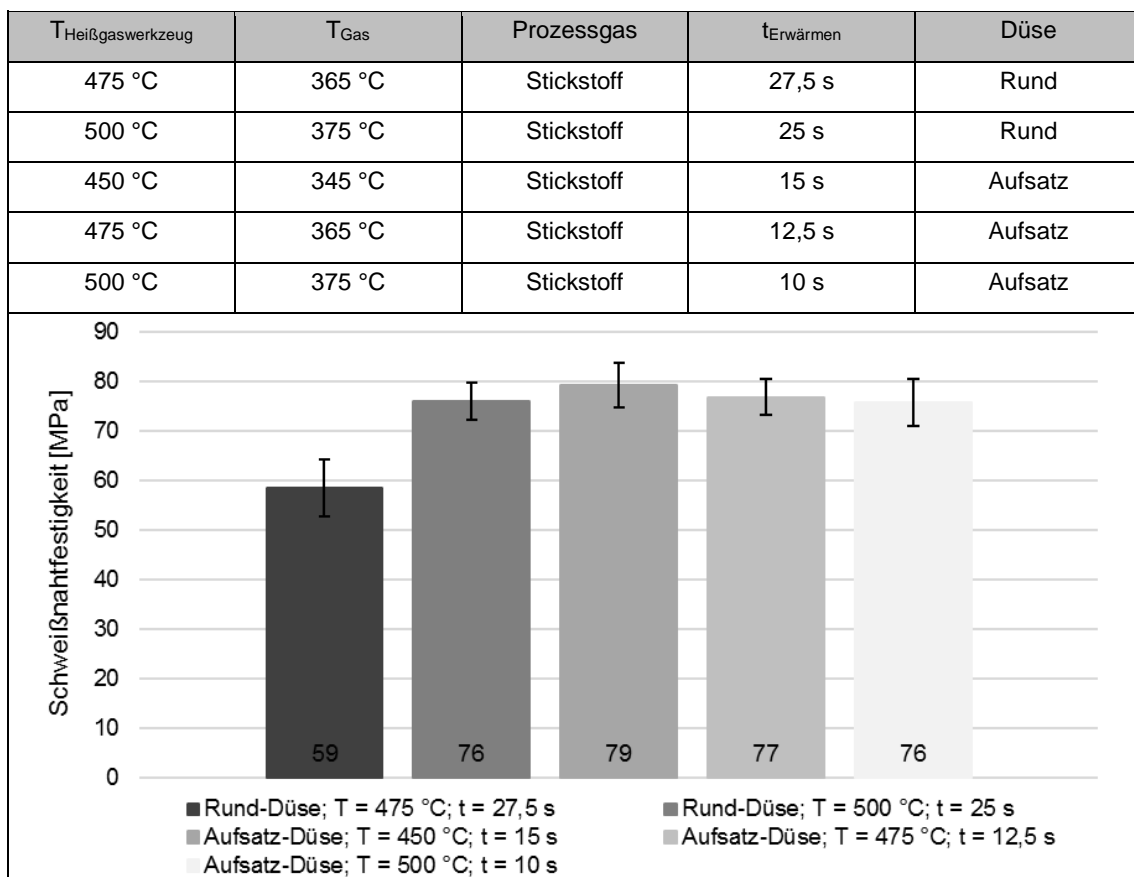


Bild 11: Erreichte Schweißnahtfestigkeiten mit Standardabweichung bei Schweißversuchen mit PA66-GF35 unter Verwendung einer Rund- und einer Aufsatz-Düse. Während des Fügevorgangs werden Fügedrücke von mindestens 1,0 MPa erreicht.

Auch bei dem zweiten Werkstoff, einem PA6-GF50, sind die Schweißnahtfestigkeiten, welche mit der Rund- und der Aufsatz-Düse erreicht werden, vergleichbar, Bild 12. Beim Verschweißen eines PA6-GF50 ist es mit der Aufsatz-Düse möglich, bei gleicher Heißgaswerkzeugtemperatur die Erwärmungszeit des Kunststoffes von 25 s auf 12,5 s zu reduzieren. Des Weiteren kann die Heißgaswerkzeugtemperatur um bis zu 50 K reduziert werden, wenn die Erwärmungszeit des Kunststoffes zwischen 11 s und 12,5 s variiert wird.

Die Schweißversuche zeigen, dass die Aufsatz-Düse bei vergleichbarer Schweißnahtfestigkeit die Erwärmungs- und somit die Prozesszeit erheblich reduzieren kann. Dass eine Düsen-Form, welche den Kunststoff beim Erwärmungsprozess umschließt, nicht nur für kürzere Erwärmungszeiten sorgt, sondern auch ein breiteres Prozessfenster aufweist, zeigen auch andere durchgeführten Untersuchungen [15].

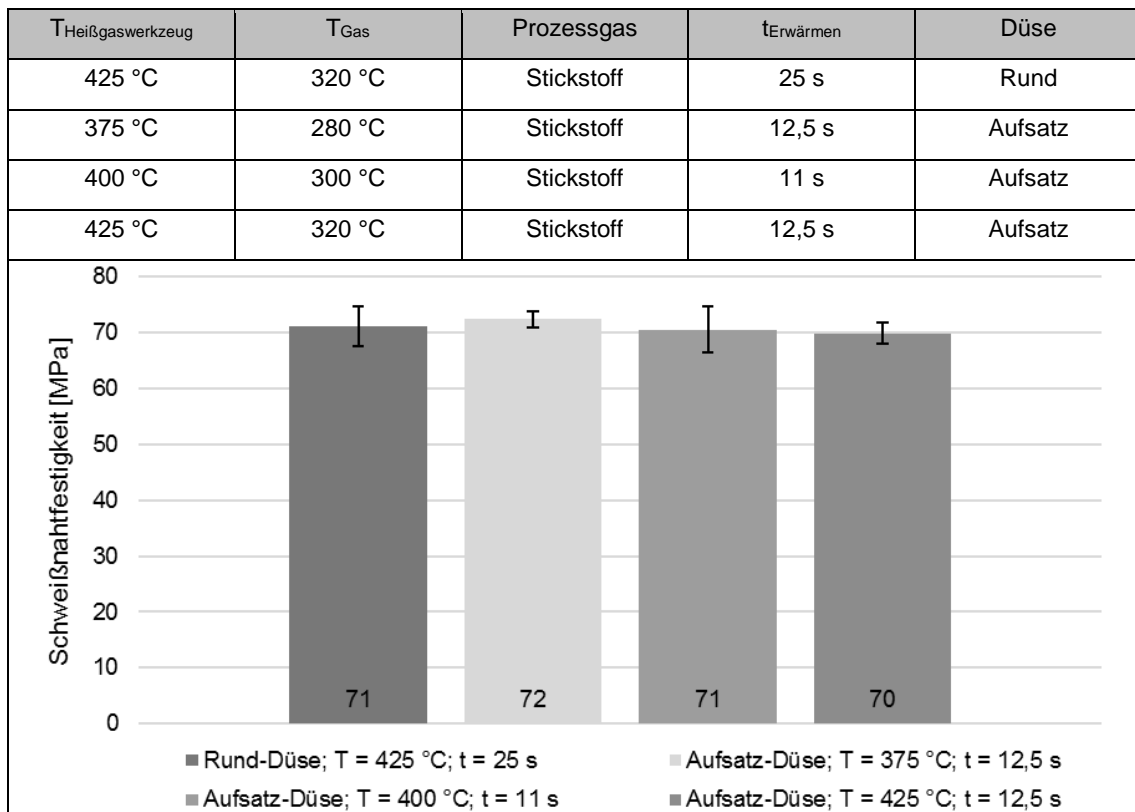


Bild 12: Erreichte Schweißnahtfestigkeiten mit Standardabweichung bei Schweißversuchen mit PA6-GF50 unter Verwendung einer Rund- und einer Aufsatz-Düse. Während des Fügevorgangs werden Fügedrücke von mindestens 1,0 MPa erreicht.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Für eine wirtschaftliche Darstellung des Schweißprozesses ist in erster Linie eine kurze Zykluszeit relevant. Die wirtschaftliche Nutzung wird beim Heißgasschweißen ebenfalls durch einen geringeren Gasverbrauch bzw. eine geringere Temperatur des Heißgaswerkzeuges gefördert. Daher ist es zielführend, die Erwärmungszeit und die Heißgaswerkzeugtemperatur zu reduzieren.

Der Heißgasschweißprozess mit Rund-Düsen - wie er heute in der Industrie als Standardprozess eingesetzt wird - weist ein enges Prozessfenster auf. Sobald einer der beiden Prozessparameter (Heißgaswerkzeugtemperatur und Erwärmungszeit) verändert wird, besteht die Gefahr einer unzureichenden Schweißung und damit verbunden einem signifikanten Abfall der Schweißnahtfestigkeit.

Die Verwendung einer Aufsatz-Düse im Heißgasschweißprozess ermöglicht einen robusteren Prozess. Bei der in den Versuchen durchgeführten Variationen der Prozessparameter konnte nur eine geringe Schwankung in den Schweißnahtfestigkeiten festgestellt werden.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Aufsatz-Düse aufgrund des optimierten Strömungsprofils den Erwärmungsvorgang bis zum Erreichen der notwendigen Schmelztemperaturen bei den untersuchten Werkstoffen um bis zu 15 s reduzieren kann. Hierbei werden wiederholbare, robuste und gegenüber den Rund-Düsen vergleichbare Schweißnahtfestigkeiten erzielt. Dadurch konnte nachgewiesen werden, dass durch den Einsatz der Aufsatz-Düse die Erwärmungszeit oder die Erwärmungszeit in Kombination mit der Heißgaswerkzeugtemperatur reduziert werden kann. Als Folge führt dies neben einer kürzeren Zykluszeit beim Schweißen zu einer Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs und damit zu einer Optimierung der Prozesskosten.

Literatur

- [1] Rattke, M.; Natrop, J. Infraroterwärmung in der Kunststoffschweißtechnik
Fügen von Kunststoffen - Joining Plastics (2007),
S. 58-63, DVS Media GmbH, Düsseldorf
- [2] Fuhrich, R.; Gehde, M. Kontur folgender Infrarotstrahler zum Schweißen von
Kunststoffen mit hoher Zeit- und Energieeffizienz
Fügen von Kunststoffen - Joining Plastics (2014),
S. 204-211, DVS Media GmbH, Düsseldorf
- [3] Fuhrich, R.; Gehde, M.; Friedrich, S. Prozesstemperaturen beim Infrarotschweißen
Fügen von Kunststoffen - Joining Plastics (2011),
S. 34-39, DVS Media GmbH, Düsseldorf
- [4] Gehde, M.; Friedrich, S.; Mochev, S. Strahlungserwärmung beim Kunststoffschweißen mit
Infrarot
Fügen von Kunststoffen - Joining Plastics (2008),
S. 58-63, DVS Media GmbH, Düsseldorf
- [5] Friedrich, S. Lineares Vibrationsschweißen von Kunststoffen im
industriellen Umfeld
Dissertation, TU Chemnitz, 2014
- [6] Schlarb, A.K. Zum Vibrationsschweißen von Polymerwerkstoffen.
Prozess-Struktur-Eigenschaften
Dissertation Univ. Essen, 1989
- [7] Mochev, S.; Endemann, U. M.; Mehr als nur heiße Luft: Systematische Prozessop-
timierung für das Heißgasschweißen
Kunststoffe (2016) 12, S. 76-79, Carl Hanser Verlag,
München
- [8] Rattke, M.; Natrop, J. Neu entwickeltes Konvektionsschweißverfahren auf
Erdgasbasis
Fügen von Kunststoffen - Joining Plastics (2008),
S. 129-133, DVS Media GmbH, Düsseldorf
- [9] Quadralux e.K. Quadralux: Hybrides Erwärmverfahren zum Schwei-
ßen von Kunststoffen
Fügen von Kunststoffen - Joining Plastics (2019),
S. 161, DVS Media GmbH, Düsseldorf

- [10] Belmann, A. Kontaminationsreduktion beim Fügen von Kunststoffen
Fügen von Kunststoffen - Joining Plastics (2017), S. 34-41, DVS Media GmbH, Düsseldorf
- [11] Potente, H.; Schöpfer, V.; Hoffschlag, R. Untersuchungen zum Schmelzeanhaften beim Heizelementschweißen
Fügen von Kunststoffen - Joining Plastics (2010), S. 102-107, DVS Media GmbH, Düsseldorf
- [12] Mochev, S. Heißgasschweißen – Aktuelle Entwicklungen und Möglichkeiten
Fachtagung: Fügen von Kunststoffen im Automobil, 06.-07.06.2018, Landshut, Carl Hanser Verlag, München
- [13] Deckert, M.; Schmid, J.; Weißer, D. Neuartiges Heißgasschweißen von Kunststoffbauteilen
Spektrum 48 – Hochschule Esslingen, Seite 21-23
ISSN: 1864-0133
- [14] Weißer, D. Mit Luft Kunststoff verbinden
K-Zeitung Ausgabe 8 (24.04.2020), Seite 18
- [15] Mochev, S.; Endemann, U. M.; Schneller und besser schweißen: Werkzeuganpassungen reduziert Prozesszeiten und verbessert Nahtqualität
Kunststoffe (2018) 9, S. 122-124; Carl Hanser Verlag, München
- [16] Ehrenstein, G.W. Handbuch Kunststoffverbindungstechnik
Carl Hanser Verlag, München, 2004
ISBN: 3-446-22340-1

Bibliography

DOI 10.3139/O999.03022021
Zeitschrift Kunststofftechnik / Journal of Plastics
Technology 17 (2021) 2; page 112–128
© Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
ISSN 1864 – 2217

Stichworte:

Heißgasschweißen, Kunststoffschweißen, Düse, Erwärmung des Kunststoffes, Prozesszeit

Keywords:

Hot gas welding, plastic welding, nozzle, heating of the plastic, process time

Autor / author:Johannes Schmid¹Dennis F. Weißer¹Dennis Mayer¹Günter Böhler²Steffen Böhler²Dr.-Ing. Andreas K. Müller³Prof. Dr.-Ing. Matthias H. Deckert¹¹Hochschule Esslingen – Labor für Kunststofftechnik

Kanalstraße 33

73728 Esslingen

²GMB Kunststoffteile GmbH, Pleidelsheim³DuPont de Nemours (Deutschland) GmbH, Neu-Isenburg**Herausgeber / Editors:**

E-Mail: johannes.schmid@hs-esslingen.de

Webseite: www.hs-esslingen.de

Tel.: +49 (0)711/397-3427

Editor-in-Chief

Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h.c. Gottfried W. Ehrenstein

Lehrstuhl für Kunststofftechnik

Universität Erlangen-Nürnberg

Am Weichselgarten 9

91058 Erlangen

Deutschland

Tel.: +49 (0)9131/85 - 29703

Fax: +49 (0)9131/85 - 29709

E-Mail: ehrenstein@lkt.uni-erlangen.de

Europa / Europe

Prof. Dr.-Ing. Dietmar Drummer, verantwortlich

Lehrstuhl für Kunststofftechnik

Universität Erlangen-Nürnberg

Am Weichselgarten 9

91058 Erlangen

Deutschland

Tel.: +49 (0)9131/85 - 29700

Fax: +49 (0)9131/85 - 29709

E-Mail: drummer@lkt.uni-erlangen.de

Amerika / The Americas

Prof. Prof. hon. Dr. Tim A. Osswald, verantwortlich

Polymer Engineering Center, Director

University of Wisconsin-Madison

1513 University Avenue

Madison, WI 53706

USA

Tel.: +1 608/263 9538

Fax: +1 608/265 2316

E-Mail: osswald@engr.wisc.edu

Verlag / Publisher:

Carl-Hanser-Verlag GmbH & Co. KG

Wolfgang Beisler

Geschäftsführer

Kolbergerstraße 22

D-81679 München

Tel.: +49 (0)89/99830-0

Fax: +49 (0)89/98480-9

E-Mail: info@hanser.de

Redaktion / Editorial Office:

Dr.-Ing. Eva Bittmann

Jannik Werner, M.Sc.

E-Mail: redaktion@kunststofftech.com

Beirat / Advisory Board:Experten aus Forschung und Industrie, gelistet unter
www.kunststofftech.com