Berichterstattung zum Forschungsvorhaben AiF-Nr.14569 N (DVS 11.008)

Untersuchungen zur Schweißeignung von Fluorpolymeren

Durchführende Forschungsstelle

Institut für Kunststoffverarbeitung in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen, 52056 Aachen, Dienstgebäude: Pontstraße 49, 52062 Aachen, Tel.: 0241/8093806

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. W. Michaeli

Ausgangssituation

Fluorpolymere sind thermoplastische Hochleistungswerkstoffe und besitzen heute die für Thermoplaste typischen Eigenschaften wie Extrudierbarkeit oder Schweißbarkeit. Hervorzuhebende Eigenschaften der Fluorpolymere sind die außergewöhnliche Alterungsbeständigkeit, die außerordentlich gute chemische Beständigkeit und besonders die Einsatzfähigkeit über weite Temperaturbereiche.
Im Gegensatz zum Polyvinylidenfluorid (PVDF) sind für viele andere Werkstoffe der Gruppe der Fluorpolymeren in den Richtlinien des Deutschen Verbandes für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. zum Schweißen keine Verarbeitungsrichtlinien vorhanden. Infolgedessen sind auch keine Werte über die kurzzeitige Schweißnahtgüte oder über die langzeitige Schweißnahtgüte zu finden.

Lösungsweg

Der Fokus wird in diesem Vorhaben auf die Fluorpolymere Ethylen-Chlortrifluorethylen (ECTFE) sowie Perfluoralkoxy (PFA) gelegt. Die Schweißverbindungen sollen mit Schweißverfahren hergestellt werden, die teilweise auch schon gegenwärtig zum Fügen von Werkstoffen aus der Gruppe der Fluorpolymere eingesetzt werden.
Als halbautomatische Verfahren werden das berührungslose Infrarot-Strahlungsschweißen (IR-Schweißen) und das sogenannte wulst- und nutfreie Schweißverfahren (WNF-Schweißen) verwendet. Darüberhinaus soll auch der Einfluss des Warmgasziehschweißens (WZ-Schweißen) auf die Schweißnahtgüte der Fluorpolymere untersucht werden. Dieses zumeist manuelle Verfahren wird häufig im Rohrleitungs- und Behälterbau angewandt.
Die Ermittlung der kurzzeitigen Schweißnahtgüte und des Kurzzeit-Schweißnahtfaktors soll eine erste Differenzierung der hergestellten Schweißverbindung in „gut“ und „schlecht“ ermöglichen. Durch begleitende strukturanalytische Untersuchungen unter Anwendung mikroskopischer Verfahren soll diese Differenzierung auch im Hinblick auf die Schweißnahtmorphologie verifiziert werden.
Die im Kurzzeitzugversuch als „gut“ befundenen Schweißverbindungen werden der langzeitigen Prüfung im Medien-Zeitstandzugversuch unterzogen.
Die Ergebnisse sollen eine Aussage über die Schweißeignung der untersuchten Fluorpolymere im Hinblick auf mögliche Prozessfenster enthalten.

Aktueller Arbeitsfortschritt

In der zurückliegenden Projektlaufzeit wurden alle Schweißversuche mit ECTFE für die zu untersuchenden Schweißverfahren IR-Schweißen, WNF-Schweißen sowie WZ-Schweißen

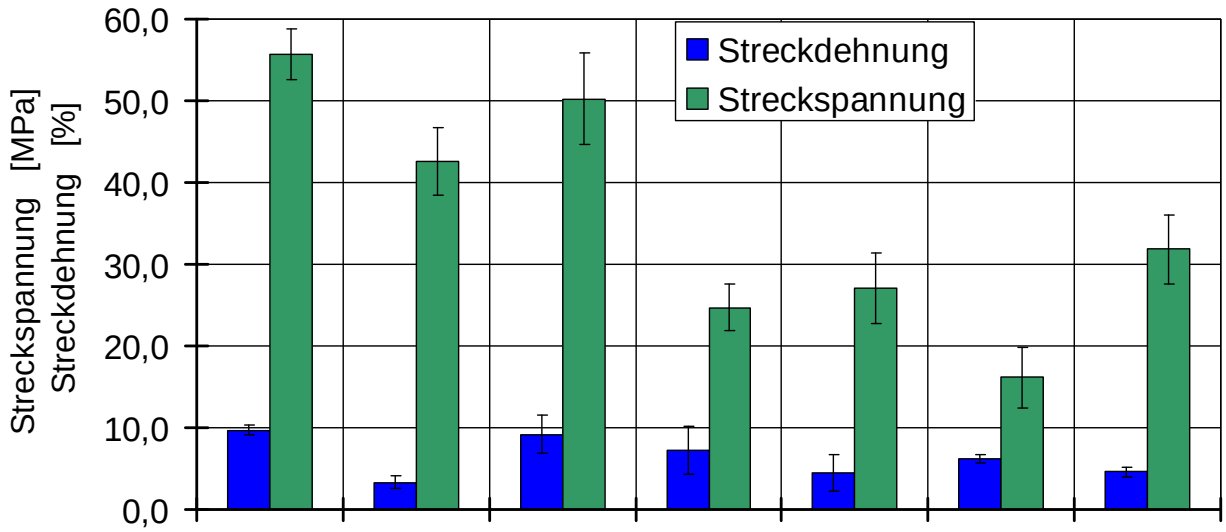
durchgeführt.
Weiterhin konnten hierfür die mikroskopischen Untersuchungen sowie die Kurzzeitzugversuche abgeschlossen werden. Die Medien-Zeitstandzugversuch laufen derzeit noch.

Ergebnisse

Das in diesem Forschungsprojekt untersuchte WNF-Schweißverfahren wird von der Firma Georg Fischer derzeit ausschließlich zum Schweißen der Materialien PP-n und PVDF angeboten. Für diese Materialien werden nach Herstellerangaben sehr gute Schweißnahtqualitäten ermöglicht.
Aufgrund der höheren Schmelztemperatur der zu untersuchenden Fluorpolymere (ECTFE: 240 °C, PFA: 305 °C gegenüber PVDF: 175 °C, PP: 160 °C) lassen sich die untersuchten Fluorpolymere schwierig bzw. gar nicht mittels WNF schweißen, da die Maximaltemperatur der Schweißmaschine 280 °C beträgt. Aufgrund dieser Einschränkung wurde bei maximaler Temperatur die Erwärmdauer variiert. Die Streckspannung des geschweißten ECTFEs weist für eine Erwärmdauer von 22 Minuten ein Maximum von etwa 55 MPa auf und liegt somit im Bereich der ungeschweißten Proben. Der bei weiterer Verlängerung der Erwärmdauer auftretende geringe Abfall der Streckspannung widerspricht der mikroskopischen Auswertung. Diese hat gezeigt, dass – bedingt durch die Erwärmung von außen – eine Nut im Innenbereich des Rohres verbleibt. Lediglich bei einer Erwärmdauer von 25 Minuten wurde die Nut vollständig geschlossen. Vermutlich hat die Material-schädigung auf der Rohraußenseite einen größeren Einfluss als die Kerbe an der Rohrinnenseite. Da beim WNF-Schweißen die Wärme von der Außenseite des Rohres durch die Rohrwand nach innen wandert, lassen sich für ECTFE-Rohre mit einer Wanddicke von 3,4 mm im IR-Schweißverfahren höhere Festigkeitskennwerte nachweisen als mittels WNF geschweißte Rohre. Aufgrund der Einschränkungen bei der Maximaltemperatur der WNF-Schweißmaschine konnten die ECTFE-Rohre nur mit sehr langen Zykluszeiten geschweißt werden, die deutlich über denen für die Werkstoffe PP-n oder PVDF liegen. Aus wirtschaftlicher Sicht kann dieses Verfahren für ECTFE nur dann eingesetzt werden, wenn die Heizstation höhere Temperaturen zulässt.

Zur Anfertigung von Warmgasziehschweißungen (WZ) wurde eine Vorrichtung zum automatischen Schweißen konstruiert, gebaut und eingesetzt. Somit konnten Schwankungen der Schweißkraft F_{Sch} und der Schweißgeschwindigkeit v_{Sch} vermieden werden, die bei manuellen Schweißungen auftreten. Variiert wurden die Schweißgeschwindigkeit (100, 250 und 400 mm/min), die Warmgastemperatur (340, 380 und 420 °C) sowie der Fügedruck (6, 12, 24 N). Geschweißt wurden Platten mit einer Länge von 250 mm, einer Dicke von 3 mm und einer V-Naht mit einem Öffnungswinkel von 70°. Die Kurzzeitzugversuche wurden bei -40 °C und einer Prüfgeschwindigkeit von 600 mm/min durchgeführt.
Für Schweißungen, die mit einem Fügedruck von 24 N geschweißt wurden, wurden bei einer Warmgastemperatur von 340 °C maximale Streckspannungen und -dehnungen gemessen (Bild 1). Dies ist auf einen großen Schweißwulst zurückzuführen, der sich aufgrund geringer Wärmeeinbringung gebildet hat.
Eine Erhöhung der Warmgastemperatur auf 380 °C führt zu einer Zunahme der Wärmeeinbringung und es kommt zu einer deutlich besseren Plastifizierung des Schweißzusatzes sowie des Plattenmaterials. Demzufolge nimmt die Dicke des

Schweißwulstes ab.
Eine Erwärmung mit ϑ_{Sch} = 420 °C ermöglicht eine Zunahme der intermolekularen Diffusion. Dennoch nimmt bei der Schweißgeschwindigkeit von 250 mm/min die Streckspannung im Vergleich zu ϑ_{Sch} = 380 °C weiter ab. Diese Festigkeitsabnahme kann durch eine Zunahme der eingebrachten Energie erklärt werden. Dadurch wird bei dem hohen Druck mehr Material, welches niedrigviskoser ist, aus der Fügezone verdrängt und die Festigkeit nimmt ab. Zusätzlich besteht die Gefahr der thermischen Materialschädigung.



v_{Sch} [mm / min]	Ref	250	400	250	400	250	400
ϑ_{Sch} [°C]		340		380		420	
F_{Sch} [N]		24					

Bild 1: Ergebnisse der Kurzzeitzugprüfung von WZ-geschweißten ECTFE-Proben

Weiterhin sollen die langzeitigen Schweißnahteigenschaften für ausgewählte Schweißparameter bestimmt werden. In Rücksprache mit dem projektbegleitenden Ausschuss wurde für die Untersuchung Natronlauge (NaOH) als geeignetes Medium identifiziert. Bei einer Prüftemperatur von 85 °C und einer Konzentration von 30 % konnten keine Aussagen über die langzeitigen Schweißnahteigenschaften getroffen werden, weshalb nun Versuche in Natronlauge mit einer Konzentration von 55 % durchgeführt werden. Nach Auswertung von Vorversuchen wurde die Prüfspannung auf 8 N/mm² festgelegt.

Geplante weitere Arbeiten
Für den Werkstoff PFA (Perfluoralkoxy) laufen die Schweißversuche mit den Verfahren Infrarot- und Warmgasziehschweißen. Im Anschluss erfolgen die Charakterisierung der Schweißnaht im Kurzzeitzugversuch sowie eine Analyse der Bruchflächen mittels Mikroskopie. Medien-Zeitstandzugversuche werden ebenfalls für ausgewählte Schweißparameter durchgeführt.