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

Aktueller Arbeitsfortschritt

In der zurückliegenden Projektlaufzeit wurden die Warmgasziehschweißungen von PFA und E-CTFE bei verschiedenen Prozessparametern durchgeführt. Die Parameter Warmgastemperatur, Fügedruck und Schweißgeschwindigkeit wurden dabei in weitem Rahmen variiert. Als Zentralpunkt der Untersuchungen wurden jeweils die Empfehlungen der DVS-Richtlinie 2207-3, BB 3 herangezogen.
Die Schweißnahtfestigkeiten wurden anschließend auf einer Standard-Zugprüfmaschine bei -40 °C und einer Abzugsgeschwindigkeit von 600 mm/min getestet. Zusätzlich wurden auch Schweißungen bei Standardbedingungen (23 °C und 50 mm/min) bezüglich ihrer mechanischen Eigenschaften geprüft und mit ungeschweißten Referenzproben verglichen. Die Bruchbilder der geprüften Proben wurden im nächsten Schritt sowohl makroskopisch als auch mikroskopisch mithilfe der Durchlichtmikroskopie bewertet.
Weiterhin wurden Infrarotschweißungen von E-CTFE hergestellt. Analog zu den Warmgasziehschweißversuchen wurden auch hier Zugversuche bei tiefen Temperaturen sowie hohen Prüfgeschwindigkeiten durchgeführt. Weiterhin erfolgte eine Bewertung der Bruchbilder mit makroskopischen und mikroskopischen Methoden.

Neue Ergebnisse

Warmgasziehschweißen von PFA

Die Zugfestigkeiten bei -40 °C und 600 mm/min der Warmgasziehschweißungen liegen durchgängig im Bereich des Grundmaterials (Bild 1). Die Streuungen sind sehr gering und das Versagen der Proben tritt außerhalb der Schweißnaht auf. Im Spannungs/Dehnungs-Diagramm ist eine ausgeprägt Streckgrenze zu beobachten und die Probekörper weisen

plastisch verformte Bereiche auf. Eine Ausnahme bilden die Schweißungen bei einer Warmgastemperatur von 495 °C, einer Schweißgeschwindigkeit von 55 mm/min sowie einer Fügekraft von 30 N. Die Zugfestigkeiten sind deutlich geringer als bei den ungeschweißten Referenzproben und zudem mit erheblichen Streuungen behaftet. Die Proben versagen hauptsächlich in der Schweißnaht, eine Streckgrenze kann nicht beobachtet werden. Bei diesem Versuchspunkt ist der Energieeintrag durch die höchste Temperatur bei der niedrigsten Schweißgeschwindigkeit am höchsten. Die Schmelzeviskosität des Schweißzusatzes und des Grundmaterials ist für die Ausbildung einer haltbareren Schweißnaht zu gering. Die Schweißkraft von 30 N ist zudem so hoch, dass das aufgeschmolzene Material zur Seite gedrückt wird und eine Führung des Schweißgeräts problematisch ist.

Die Zugfestigkeiten bei Raumtemperatur und 50 mm/min liegen bei sämtlichen Schweißungen im Bereich des Grundmaterials. Die Proben zeigen eine ausgeprägte Streckgrenze und reißen außerhalb der Schweißnaht. Selbst der Schweißpunkt mit dem höchsten Energieeintrag (495 °C, 55 mm/min, 30 N) ist bei den Raumtemperatur-versuchen unauffällig. Dies zeigt, dass der Standardzugversuch nur bedingt geeignet ist, die Schweißnahtgüte bei PFA zu beurteilen. Ein Versuch bei tiefen Temperaturen (-40 °C) und erhöhten Prüftemperaturen (600 mm/min) bietet dagegen die Möglichkeit, schlechte Schweißungen zu identifizieren.

Warmgasziehschweißen von E-CTFE

Bild 2 zeigt die Zugfestigkeiten der Schweißungen von E-CTFE mit dem Warmgasziehverfahren bei einer Prüftemperatur von -40 °C und einer Prüfgeschwindigkeit von 600 mm/min. Im Vergleich zum PFA sind die Messungen mit erheblichen Streuungen behaftet. Auffällig ist der Einfluss der Fügekraft auf die Schweißnahtfestigkeit. Eine Erhöhung der Kraft von 10 N auf 30 N hat bei allen Versuchspunkten eine Steigerung der Zugfestigkeit zu Folge.

Die erheblichen Streuungen bei den mechanischen Untersuchungen können auch bei der Beurteilung der Bruchbilder beobachtet werden. Prinzipiell lassen sich bei den Zugversuchen der geschweißten E-CTFE-Proben zwei unterschiedliche Bruchbilder beobachten. Diese sind: Versagen der Probe an der Kerbe der Schweißnaht und Versagen der Probe in der Schweißnaht. Diese Versagensarten können daher auf unterschiedliche Ursachen zurückgeführt werden. Bei Bruch in der Kerbe handelt es sich um ein Kerbwirkungsproblem, beim Riss in der Naht um eine unzureichende Schweißung. Art und

Ausprägung der Kerben hängen wiederum mit den Schweißparametern zusammen. Bild 3 zeigt eine makroskopische Aufnahme einer E-CTFE Schweißnaht. Deutlich sind beide Kerben auf der Schweißoberseite zu erkennen. Diese Kerben können auf abkühlbedingte Spannungen im Material zurückgeführt werden und sind typisch für E-CTFE-Schweißungen.

Die höchsten Festigkeiten lassen sich bei einer Warmgastemperatur von 370 °C, einer Schweißgeschwindigkeit von 200 mm/min und einer Fügekraft von 30 N erzielen. Bei den Zugprüfungen bei -40 °C und 600 mm/min tritt das Versagen der Probe außerhalb der Schweißnaht in den abkühlbedingten Kerben auf. In Bild 2 ist erkennbar, dass eine Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit oder Absenkung der Fügekraft bei gleicher Temperatur zu erheblich schlechteren Schweißnahtfestigkeiten führt. Da bei dem händischen Warmgasziehschweißverfahren in der Praxis nur die Temperatur exakt eingestellt werden kann, ist die Verwendung dieser Parameter somit mit Unsicherheiten behaftet.

Die Zugprüfungen bei Raumtemperatur und einer Prüfgeschwindigkeit von 50 mm/min liefern erwartungsgemäß bessere Zugfestigkeiten und Reißdehnungen verglichen mit ungeschweißten Referenzproben. Exemplarisch sei hier auf die Schweißversuche bei 460 °C, einer Schweißgeschwindigkeit von 280 mm/min und einer Fügekraft von 10 N verwiesen. Dieser Versuchspunkt liefert bei den Tieftemperaturzugversuchen niedrige Schweißnahtfestigkeiten mit sehr großen Streuungen. Bei Raumtemperatur sind weitaus geringere Streuungen bei vergleichbar höheren Schweißnahtfestigkeiten zu beobachten. Auch bei E-CTFE sind Zugprüfungen bei tiefen Temperaturen und hohen Prüfgeschwindigkeiten geeignet, qualitativ schlechte Schweißungen zu identifizieren.

Infrarotschweißen von E-CTFE-Rohren

Bei der Bewertung der Zugfestigkeiten bei -40 °C und 600 mm/min (Bild 4) ist zunächst erkennbar, dass die Festigkeit der Schweißungen bei allen Versuchen die Werte des Grundmaterials erreicht. Zudem sind die Streuungen sehr gering. Lediglich bei einer Temperatur von 480 °C, einer Aufheizzeit von 34 s und einem Fügedruck von 0,38 N/mm² können geringe Festigkeiten beobachtet werden. Bei diesem Versuchspunkt liegt die geringste Wärmeeinbringung vor. Die Energie reicht scheinbar nicht aus, reproduzierbar hohe Schweißnahtfestigkeiten zu erreichen.

Bei der Bewertung der Bruchbilder sind die Schweißversuche bei 520 °C, 42 s und 0,38 N/mm² sowie 520 °C, 42 s und 0,5 N/mm² auffällig. Im Gegensatz zu allen anderen

Schweißungen tritt hier teilweise das Versagen in der Schweißnaht auf. Bei diesen beiden Versuchspunkten liegt die höchste Energieeinbringung vor. Dies kann evtl. zu Materialabbau in der Fügefläche vor der eigentlichen Schweißung führen, was sich negativ auf die Festigkeiten in der Naht auswirkt.

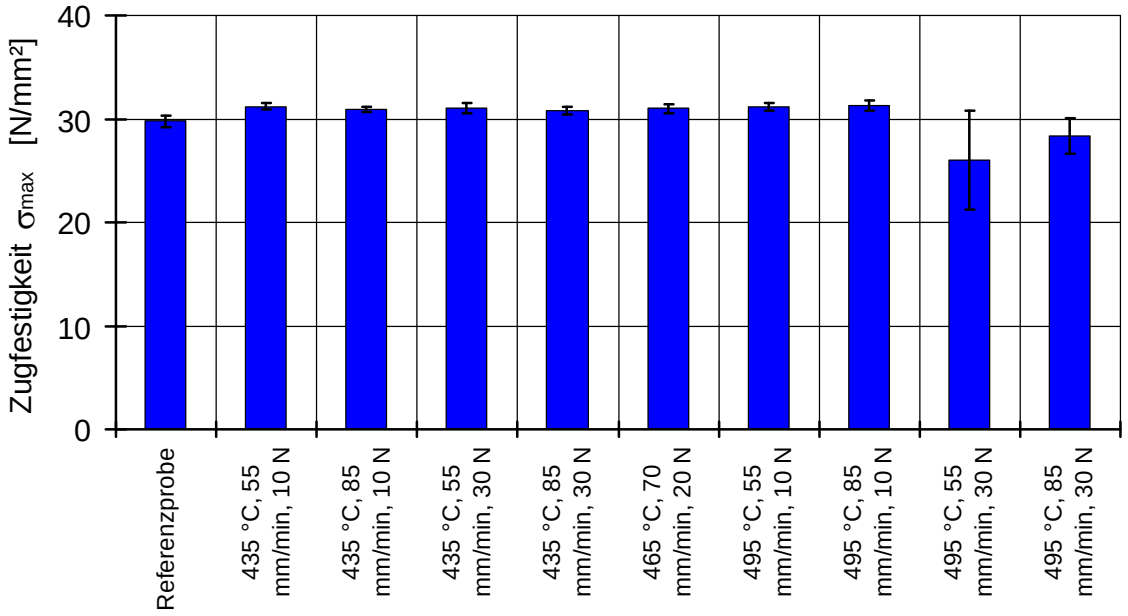

Bild 1: Gemessene Zugfestigkeiten der PFA Warmgasziehschweißproben bei den Prüfbedingungen -40 °C und 600 mm/min

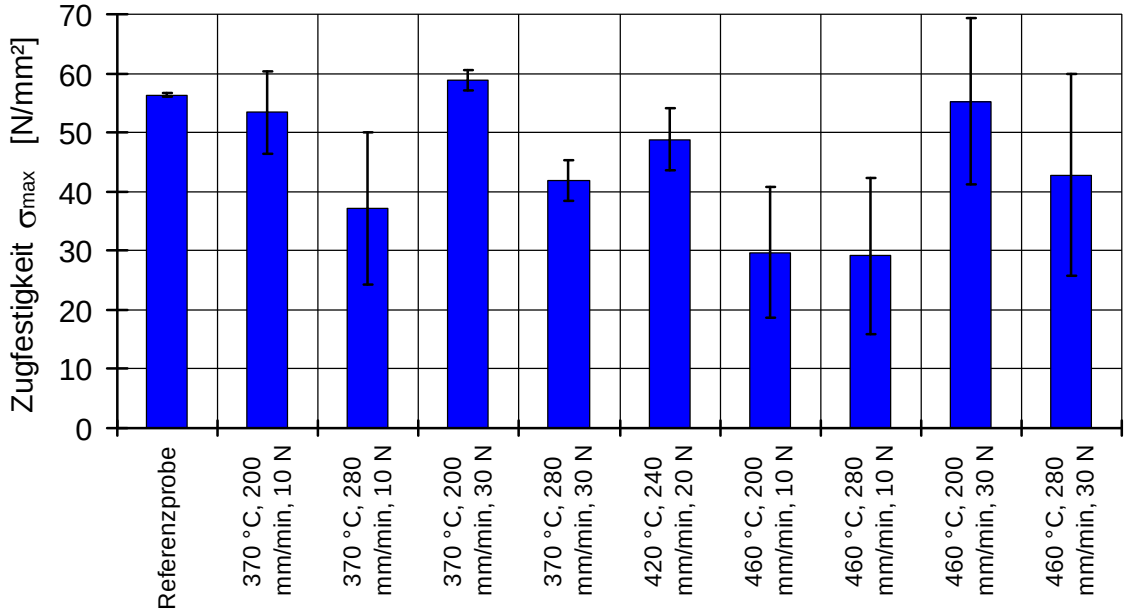

Bild 2: Gemessene Zugfestigkeiten der E-CTFE Warmgasziehschweißproben bei den Prüfbedingungen -40 °C und 600 mm/min

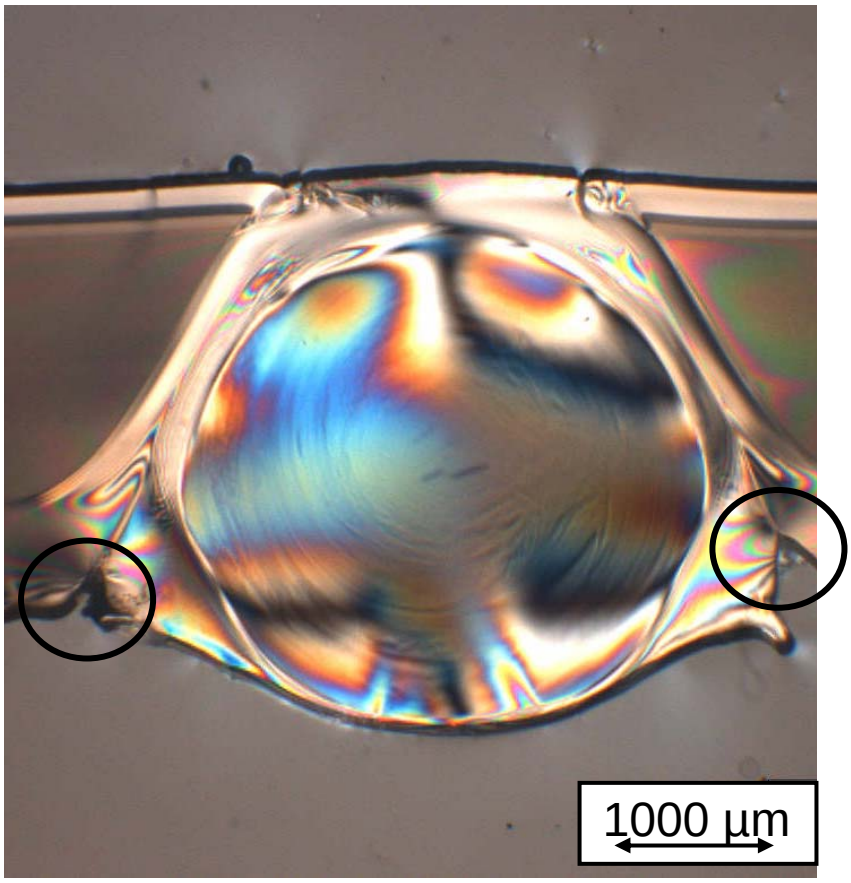

Bild 3: Makroskopische Aufnahme einer E-CTFE-Schweißnaht mit abkühlbedingten Kerben

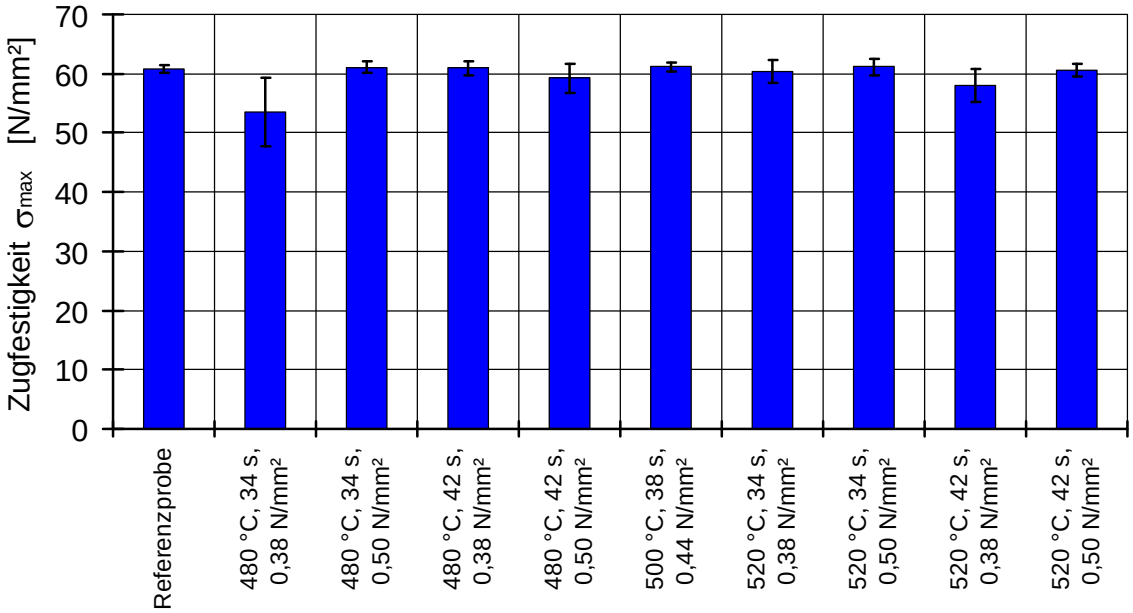

Bild 4: Gemessene Zugfestigkeiten der E-CTFE Infrarotschweißproben bei den Prüfbedingungen -40 °C und 600 mm/min