

SKZ-Forschungsbericht

(Kurzfassung)

Optimierung der Eigenschaften von Schweißnähten an PVC-Fensterprofilen durch Variierung des Geliergrades

Dr. Ing. Heino Klingenfuß und Dr. rer. nat. Anton Zahn
Süddeutsches Kunststoff-Zentrum, Würzburg

Kunststoff-Fenster

Die Fachwelt erwartet von einem Kunststoff-Fenster aus PVC-HI eine Lebensdauer von mehr als 50 Jahren. Die für die Fensterprofile verwendeten Materialien sind ausgereift und die Extrusionsbedingungen optimiert.

Daher werden die Einflüsse der Bewitterung – Sonne, Regen und Luftschadstoffe – ohne merkliche Veränderungen ertragen. Die geschweißten Ecken eines Fensters sind die am stärksten beanspruchten Stellen. Sie können nicht wie der übrige Rahmen mit Stahlprofilen verstärkt werden. Daher müssen die Schweißnähte optimal hergestellt sein, wenn sie diese Lebensdauer ebenfalls erreichen sollen. Neben den dynamischen Beanspruchungen, die auf die Ecken einwirken, muss sie auch den Aus- und Einbau einer zerstörten Scheibe ertragen können.

Schweißnahtqualität

Die Schweißbeignung der Fensterprofile wird im Rahmen der Qualitätssicherungsmaßnahmen während der Fertigung geprüft. Die Mindestanforderungen an eine moderne Schweißmaschine und an die Festigkeit einer Ecke sind in einer DVS-Richtlinie festgelegt. Die hohen Schwankungen der Festigkeitswerte, sie liegen zwischen 30 N/mm^2 und 70 N/mm^2 , sind nur zum geringen Teil auf ungünstige Profilgeometrien oder ungeeignete Schweißfertigungsparameter zurückzuführen. Den größten Anteil daran haben die Mischungsbestandteile und die Extrusion. Wenn bestimmte Bestandteile z.B. der Schlagzähmodifizier erhöht werden, erhöht sich die Festigkeit der Schweißnaht und die Extrusionsparameter müssen nicht punktgenau eingehalten werden. Die Bestandteile, welche diese Eigenschaften verbessern, sind aber gerade besonders teuer. Aus wirtschaftlicher Sicht war es daher wichtig zu untersuchen, welche Profileigenschaft für die Qualität einer Ecke verantwortlich ist. Aus den in der Literatur mitgeteilten Ergebnissen ist zu entnehmen, dass der Geliertgrad des PVC alle mechanischen Eigenschaften eines Profils wie E-Modul, Festigkeit, Bruchdehnung oder Schlagzähigkeit bestimmt. Welche Auswirkung der

Geliergrad auf die Eigenschaften einer Schweißnaht hat, war dagegen noch nicht systematisch untersucht worden.

Forschungsziele

Folgende Ziele wurden in der vorliegenden Forschungsarbeit untersucht:

- a) Kann mit der Oszillierenden DSC (ODSC) der Geliergrad genauer als mit anderen Methoden bestimmt werden?
- b) Welche Auswirkung hat der Geliergrad eines Profils auf die Schweißnahtqualität?
- c) Welche mechanische Eigenschaften eines Profils sind für die Schweißnahtqualität maßgebend?
- d) Mit welcher Messmethode kann der Geliergrad bei einem Fensterprofil-Hersteller gemessen werden?

Geliergrad

Der Geliergrad eines Fensterprofils aus PVC-HI bestimmt dessen Eigenschaften in unterschiedlicher Weise. Je nach Mischung werden die Parameter einer Extrusion-sanlage so eingestellt, dass ein Wert zwischen 45 % und 90 % erhalten wird. Beim Extrudieren sind nach Meinung der Fachleute und Forscher allein die Verarbeitungstemperatur und die Scherung die maßgebenden Maschinenparameter. Parey hat allerdings ein Geliergradmodell entwickelt, das die höchste im Verarbeitungsprozess auftretende Temperatur als allein bestimmenden Faktor für die Höhe des Geliergrades sieht. Diese Theorie wird durch die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit bestätigt. Allein durch den Einfluss der Schweißtemperatur, ohne jede Scherung, wurde der Geliergrad des Profils auf 95 % bis 100 % erhöht.

Neue Messmethode für den Geliergrad

Von den in der Literatur genannten Messverfahren für die Bestimmung des Geliergrades eignet sich die Dynamische Differenzthermoanalyse (DSC) am besten für die Untersuchung von Profilen. Mit ihr kann der Geliergrad jeder Mischung ohne vorherige Kalibrierung gemessen werden. Ein Nachteil der DSC besteht allerdings darin, dass sie in einer Messung nicht nur die irreversiblen Eigenschaften des PVC's, sondern auch die reversiblen der anderen Mischungsbestandteile bestimmt. Deshalb wurde in dieser Forschungsarbeit erstmals die Oszillierende Dynamische Differenzthermoanalyse (ODSC) eingesetzt. Mit ihr kann das PVC getrennt von den anderen Bestandteilen einer Mischung gemessen werden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass ihre Probe mit ca. 6 mg sehr klein ist. Dadurch ist eine Entnahme in der Schweißnahtmitte und am Wulstrand möglich.

Für die richtige und reproduzierbare Auswertung der Geliergradkurven ist ein systematisches Vorgehen unbedingt notwendig. Deshalb wurden Untersuchungen durchgeführt, mit welchen mathematischen Funktionen eines Auswerteprogramms die Integrationsgrenzen am besten bestimmt werden können.

Bei den für die Forschungsarbeit extrudierten Profilen wurden mit dieser Methode Geliertgrade zwischen 28 % und 89 % ermittelt. Die Genauigkeit dieser Methode ist bei niedrigen und bei hohen Werten gleich gut. Der Geliertgrad in der Schweißnahtmitte lag unabhängig von dem Ausgangswert des jeweiligen Profils bei 95 % bis 100 %. Der Geliertgrad an der Oberfläche des Schweißwulstes hatte immer einen Wert von 100 %.

Der Vorteil der neuen Messmethode ODSC besteht darin, dass PVC-HI-Mischungen damit optimiert werden können. Teure Bestandteile einer Mischung können in geringerer Menge enthalten sein, wenn der Geliertgrad über die Maschinenparameter optimal eingestellt wird. Die ODSC ist auch zur Optimierung der immer komplizierteren Extrusionswerkzeuge geeignet, weil der Geliertgrad an jeder Stelle eines Profils, innen und außen, gemessen werden kann. Dadurch kann ein Werkzeug so bearbeitet werden, dass an allen Stellen eines Profils ein möglichst gleichmäßiger Geliertgrad vorhanden ist.

Dieses neue Verfahren ist allerdings für eine Qualitätsüberwachung während der Extrusion von Fensterprofilen noch nicht geeignet, weil es zu aufwändig ist und zu lange dauert.

Geliertgradmessung in der Produktion

Für die Geliertgradmessung als qualitätssichernde Maßnahme bei der Extrusion von Fensterprofilen ist ein einfacheres Messgerät geeigneter. Mit dem *Geliflixer* (Vertrieb Gebrüder Haake GmbH) kann der Geliertgrad rheologisch im typischen Parameterbereich einer Extrusionslinie von 170°C bis 200°C genau gemessen werden, da die Messpunkte in diesem Bereich auf einer Geraden liegen.

Mikroskopische Geliertgradbestimmung

Es wurde gezeigt, dass durch eine Wärmebehandlung Profiloberflächen mit unterschiedlichen Geliertgraden für die Mikroskopie vorbereitet werden können. Niedrige und hohe Geliertgrade weisen verschiedene Strukturen auf. Mit Mustern und über Bildverarbeitung können Vergleiche durchgeführt werden.

Schweißen

Nach einer Optimierung der Schweißfertigungsparameter wurden vier Fensterprofile von drei Herstellern auf einer für dieses Forschungsvorhaben entwickelten und als Einzelfanfertigung hergestellten Diagonalschub-Schweißmaschine geschweißt. Mit den drei Schweißtemperaturen 235°C, 250°C und 265°C sowie optimierten Schweißfertigungsparametern wurden Ecken geschweißt. Die an diesen Ecken erhaltenen unterschiedlichen Festigkeiten zwischen 31,2 N/mm² und 73,3 N/mm² waren nicht auf den Geliertgrad in der Nahtmitte oder an der Oberfläche des Schweißwulstes zurückzuführen, weil das PVC-HI dort vollständig geliert ist.

Entsprechend dem sich während des Schweißens einstellenden Temperaturprofils neben der Naht steigt auch der Geliertgrad vom Ausgangswert des Fensterprofils bis in die Nahtmitte auf 100 % an. Der Geliertgrad beginnt an der Stelle anzusteigen, an der das Temperaturprofil die Verarbeitungstemperatur der Extrusion überschreitet. Wegen der niedrigen Wärmeleitfähigkeit von PVC-HI und der nur 35 s dauernden Temperatureinbringung durch das Heizelement ist dieser Bereich nur wenige zehntel Millimeter breit.

Da eine Schweißnaht innen an dem sehr kleinen Querschnitt des Überschlags einzureißen beginnt und die Art des Rißfortschrittes sowie das örtliche Verformungsverhalten sehr unterschiedlich sind, wurden durch weitere Versuche die Festigkeit, die Bruchdehnung, die Schlagzähigkeit und die Kerbschlagzähigkeit der Profile ermittelt.

Mechanische Eigenschaften eines Profils

Bei den Recherchen zu dieser Forschungsarbeit war davon ausgegangen worden, dass ein Profil nur dann gut geschweißt werden kann, wenn sich sein Schlagzähigkeits-Wert vor dem Maximum der Geliertgrad-Schlagzähigkeits-Kurve befindet. Für die untersuchten Profile 1 und 2 trifft dies auch zu. Aus diesen Ergebnissen kann man ableiten, dass die Doppel-V-Schlagzähigkeit den Wert von 60 kJ/m² nicht übersteigen sollte, wenn Schweißnähte mit sehr hohen Festigkeiten und Verformungseigenschaften erhalten werden sollen. Die beiden Profile 3 und 4 stimmen mit diesem Ergebnis nicht überein. Dies hängt vermutlich damit zusammen, dass deren identische Mischung Bestandteile aufweist, welche bei erhöhten Anteilen die Schlagzähigkeit bei hohen Geliertgraden wesentlich verbessern. Nach Berndtsen fällt die Kerbschlagzähigkeit zwischen ihrem Maximum und 100 % Geliertgrad um so weniger ab, je höher der Anteil des Titandioxids ist. Eine Mischung wird hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften offenbar immer unempfindlicher gegenüber

dem Geliergrad, wenn der Anteil bestimmter, die Kosten einer Mischung allerdings erhöhender Bestandteile zunimmt.

Alle anderen mechanischen Eigenschaften lassen keinen Einfluss auf die Schweißseignung erkennen. Überraschend ist dies besonders bei der Bruchdehnung, da bei sehr guter Schweißseignung immer eine große bleibende Verformung neben der Naht zu beobachten ist. Die Ergebnisse des Zugversuchs sind auf die Schweißseignung deshalb nicht übertragbar, da Profile mit der vergleichsweise geringen Bruchdehnung von 45 % eine sehr gute Schweißseignung haben können, während solche mit 165 % mittelmäßig sind.

Anmerkung

Wir danken der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) für die finanzielle Unterstützung dieses Forschungsvorhabens (AiF-Nr. 11463 N) aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Ohne die vorbildliche Beteiligung von Firmen wäre die Durchführung dieses Vorhabens nicht möglich gewesen. Unser besonderer Dank gilt der Urban GmbH & Co. Maschinenbau KG für Konstruktion und Einzelanfertigung einer Schweißmaschine.

Folgende Firmen haben uns durch die Lieferung von Rohstoffen und durch die Extrusion von Profilen oder Granulat großzügig unterstützt:

Gebrüder HAAKE GmbH
Moderne Bauelemente Detlef Knechtel (GmbH & Co)
Roplasto Fensterprofile GmbH
Thyssen Polymer GmbH
Vinnolit Kunststoff GmbH
Wacker-Chemie GmbH

Ihnen allen möchten wir an dieser Stelle ebenso unseren herzlichen Dank aussprechen wie der BASF AG, der Ostermann & Scheiwe GmbH & Co. und der REHAU AG & Co, die neben den schon genannten Fensterprofilherstellern ebenfalls in dem begleitenden Arbeitskreis mitgearbeitet und uns beraten haben.

Bestellhinweise

Die gesamten Forschungsergebnisse können einem umfangreichen Forschungsbericht entnommen werden. Dieser kann auf Anfrage beim SKZ zum Selbstkostenpreis bestellt werden. Die Rechnung wird mit dem Bericht zugeschickt.