

Nutzung eines neuen Antriebskonzeptes zur Analyse des  
Adhäsionsverhaltens niederviskoser Thermoplaste und  
Entwicklung einer Systematik zur Betriebspunktfindung und  
-überwachung beim Heizelementschweißen

Zur Erlangung des akademischen Grades eines  
DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)  
der Fakultät für Maschinenbau  
der Universität Paderborn

genehmigte Dissertation  
von  
Dipl.-Wirt.-Ing. Reinhild Hoffschlag  
aus Coesfeld

Tag des Kolloquiums: 25.06.2012

Referent: Reinhild Hoffschlag



Schriftenreihe Institut für Polymere Materialien und Prozesse

Band 9/2012

**Reinhild Hoffschlag**

**Nutzung eines neuen Antriebskonzeptes  
zur Analyse des Adhäsionsverhaltens  
niederviskoser Thermoplaste und Entwicklung  
einer Systematik zur Betriebspunktfindung und  
-überwachung beim Heizelementschweißen**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag  
Aachen 2012

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 2012

Copyright Shaker Verlag 2012

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-1426-6

ISSN 2191-2025

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Vorwort**

Diese Arbeit entstand in den Jahren 2007 bis 2011 während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin der Kunststofftechnik Paderborn.

Bei der Fertigstellung meiner Dissertation habe ich von vielen Seiten Unterstützung erfahren. Insbesondere gilt mein Dank Herrn Professor V. Schöppner und Herrn Professor H. Potente für die Möglichkeit am Institut zu arbeiten und die Förderung meiner Weiterentwicklung in fachlicher, beruflicher und persönlicher Hinsicht.

Für die Übernahme des Korreferates bedanke ich mich weiterhin bei Herrn Professor Gehde der Technischen Universität Chemnitz.

Mein Dank gilt auch meinen Kollegen und Kolleginnen der Kunststofftechnik Paderborn für die besonders gute Atmosphäre, die wertvollen Diskussionen und die Unterstützung bei der Bewältigung von auftretenden Problemstellungen.

Ohne die Mitarbeit meiner studentischen Hilfskräfte, Studien- und Diplomarbeiten wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Auch möchte ich den Mitgliedern der projektbegleitenden Ausschüsse danken, die die wissenschaftlichen Arbeiten in der gesamten Zeit begleitet haben.

Ganz besonders möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken. Ohne die dauerhafte Unterstützung und das sichere Gefühl von absolutem Rückhalt wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden zum Teil im Rahmen von Forschungsaktivitäten erarbeitet, die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen Otto von Guericke e.V. gefördert und von der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS innerhalb des Fachausschusses FA 11 „Kunststoff-Fügen“ unterstützt wurde. Für diese Unterstützung sei gedankt.



## **Kurzfassung**

Die hier vorliegende Arbeit befasst sich mit dem Heizelementschweißen von Kunststoffen. Auf Basis eines neuen Antriebskonzeptes mit Linearmotoren ergaben sich neue Möglichkeiten für die Prozessoptimierung. Ein Thema, das in dieser Arbeit behandelt wird, ist das Anhaften niederviskoser Thermoplaste am Heizelement. Hier soll durch erhöhte Abzugsgeschwindigkeiten eine möglichst rückstandsfreie Trennung der Fügeteile vom Heizelement ermöglicht werden. Die Untersuchungen zu dieser Problemstellung berücksichtigen ebenfalls neue Beschichtungswerkstoffe sowie relevante Prozessparameter. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass eine rückstandsfreie Trennung auch durch die erhöhten Abzugsgeschwindigkeiten nicht erreicht werden kann, jedoch ein positiver Effekt auf das Ausbilden sogenannter Schmelzefäden zu beobachten ist. Der zweite Aspekt, der im Rahmen dieser Arbeit betrachtet wird, befasst sich mit der Betriebspunktfindung durch Zugversuche, die direkt auf der Heizelementschweißmaschine durchgeführt werden. Während dieser Zugversuche befinden sich die Fügepartner noch im schmelzeflüssigen Zustand, weshalb Zusammenhänge mit der Festigkeit im abgekühlten Zustand ermittelt werden müssen. Als Ergebnis liegt eine Systematik vor, mit der Betriebspunkte identifiziert werden können, die eine gute Schweißnahtfestigkeit aufweisen. Ebenfalls wird der Einsatz der Systematik im Rahmen der Qualitätskontrolle beschrieben.

## **Summary**

The following work deals with the hotplate welding of polymers. Based on a novel machine technology, employing a linear drive, new opportunities for process optimization arise. One topic is the adhesion of low-viscosity polymers at the heated tool during the welding process. Using higher haul-off speeds, it should be possible to achieve a nearly residue-free breakup. The analysis of this problem also includes new coatings for the heated tool and relevant process parameters. The results show that a residue-free breakup could not be achieved, but a positive impact on the appearance of the so called angel-hair took place. The second aspect this work deals with is the optimization of the process parameter using the possibility to tensile test the joint's mating parts in their fused state directly on the hot-plate welding machine. The strength is measured while the material is still in the molten state. In order to use these results, it is necessary to establish a correlation between the short-time strength of the parts in the cooled state and their short-time strength in the still molten state. Based on the results, it is possible to develop a systematic approach for identifying sound operation points and the quality control.



## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>I</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivation .....	2
1.2 Problemstellung Zielsetzung und Vorgehensweise .....	4
1.2.1 Schweißen niederviskoser Thermoplaste.....	4
1.2.2 Prozessoptimierung beim Heizelementschweißen .....	6
1.3 Aufbau der Arbeit.....	7
<b>2 Stand der Technik und Forschung</b> .....	<b>9</b>
2.1 Grundlagen zum Schweißen mittels Heizelement .....	9
2.2 Adhäsionsmechanismen.....	15
2.3 Beschichtungswerkstoffe .....	22
2.4 Prozessoptimierung und -überwachung in der Serienfertigung .....	24
2.4.1 Parameteroptimierung beim Heizelementschweißen .....	24
2.4.2 Statistische Prozesskontrolle (SPC) .....	27
<b>3 Untersuchungen zum Adhäsionsverhalten</b> .....	<b>33</b>
3.1 Theoretische Betrachtung des Ablösevorgangs .....	33
3.2 Versuchsgrundlagen.....	37
3.2.1 Heizelementschweißmaschine .....	37
3.2.2 Zugprüfanlange .....	41
3.2.3 Aufbau zur Messung der Adhäsionskraft.....	41
3.2.4 Optische Auswertung .....	45
3.2.5 Probekörper und Materialien .....	46
3.2.6 Charakterisierung der Beschichtungen.....	49
3.2.7 Entwicklung eines Versuchsplans und Versuchsdurchführung ...	50
3.3 Einfluss der Prozessparameter.....	53
3.3.1 Einfluss auf die Schweißnahtfestigkeit .....	53
3.3.2 Einfluss auf den Gewichtsverlust.....	54

3.3.3	Einfluss auf die Abzugskraft.....	57
3.4	Einfluss der Oberflächenbeschichtungen.....	60
3.5	Einfluss des Feuchtigkeitsgehaltes.....	62
3.6	Erhöhung der Abzugsbeschleunigung.....	71
3.7	Werkstoffspezifische Betrachtung der Versuchsergebnisse.....	74
3.8	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.....	75
<b>4</b>	<b>Konzept zur Optimierung und Überwachung der Prozessparameter..</b>	<b>77</b>
4.1	Versuchsgrundlagen.....	77
4.2	Versuche zur Bestimmung von Korrelationen der Festigkeiten.....	83
4.3	Materialübergreifende Betrachtung der Ergebnisse.....	88
4.4	Entwicklung einer Vorgehensweise zur Parameteroptimierung.....	91
4.5	Überprüfung der Vorgehensweise an ausgewählten Werkstoffen.....	97
4.6	Überwachung der Prozessparameter in der laufenden Serie.....	105
4.7	Bewertung des Konzeptes.....	118
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>121</b>
<b>6</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>123</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>125</b>
<b>8</b>	<b>Lebenslauf.....</b>	<b>133</b>
<b>9</b>	<b>Liste der Vorveröffentlichungen.....</b>	<b>135</b>