

# Entwicklung einer Methode zum CNC-Kunststoff-Rohrbiegen mittels HF-Erwärmung

S. Dill, J. Ganzwind, M. Müller-Roosen

Institut für Kunststofftechnik Darmstadt ikd

## Einleitung

Eine Möglichkeit unnötiges Gewicht im Automobilbau einzusparen findet sich in der Substitution von Metallkomponenten durch Leichtbaumaterialien. Am Beispiel von metallischen Medienleitungen zeigt sich allerdings, dass der Ersatz durch Kunststoffrohrleitungen ein bislang sehr zeit- und energieaufwändiges sowie kostenintensives Formverfahren impliziert. Neben einem hohen personellen Aufwand zeigt sich zudem, dass aktuelle Methoden aufgrund der Nutzung von spezifischen Formen sehr unflexibel sind und sich nicht für abgeänderte Konturen nutzen lassen.



Abbildung 1: Kraftstoffleitung aus Kunststoff

Aufgrund der im Automobilsektor üblichen Herangehensweise, Rohrleitungen und Kabelbäume mitunter zuletzt zu planen, ergeben sich, wie in Abbildung 1 zu sehen, aufwändige Konturen um die wesentlichen Aggregate herum. Benötigte Musterleitungen fallen zudem erst kurz vor Abschluss der Entwicklungsarbeiten an und müssen kurzfristig zur Verfügung gestellt werden. Die Zulieferer (TIER-1), welche sich um einen neuen Rohrlieferauftrag bewerben, stellen diese somit mit einem immensen Aufwand her, da für jedes dieser Musterteile eine eigenständige Biegeform erforderlich ist.

## Motivation und Zielsetzung

Inspiziert durch die werkzeugfreie Formung von Metallrohren mit Zykluszeiten von einigen Sekunden, formuliert sich die Absicht einen vergleichbaren Prozess auch für Kunststoffrohrleitungen zu realisieren. Neben der immensen Zeitersparnis durch die Einsparung des Werkzeugformbaus, würden sich zudem eine ungekannte Flexibilität gepaart mit kürzeren Zykluszeiten ergeben. Würde die beschriebene Herstellung der Musterteile mit solch einem Verfahren erfolgen, könnten potentiellen Rohrlieferanten die immensen Kosten für die Biegeformen der Musterteile sparen und unabhängig von Muster- oder Serienprozess, Konturen schnellstmöglich umsetzen.

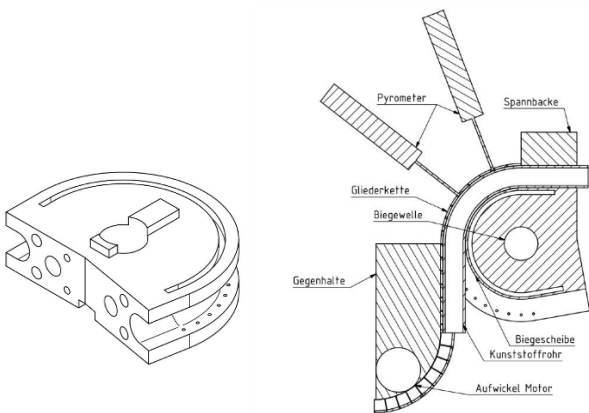


Abbildung 2: Exemplarische schematische Darstellung des Universalbiegekopfes (links) und der gesamten Biegestelle mit Peripherie (rechts)

## Herausforderungen und Herangehensweise

Materialbedingt finden sich besondere Herausforderungen in der schnellen Taktung von Aufheiz-, Umform- und Abkühlphasen, die zur dauerhaften Verformung von Kunststoffrohren notwendig sind. Durch die schlechte Wärmeleitung des Kunststoffs mit Wärmeleitkoeffizienten zwischen  $\lambda = 0,1$  bis  $0,3 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  dauert die Wärmezufuhr und abfuhr im Vergleich zu den anderen Zykluszeitanteilen des Prozesses relativ lang. Die Aufheiz- und Abkühlprozesse stellen damit in Summe den längsten Zeitanteil dar, der damit zykluszeitbestimmend ist.

Da das werkzeugfreie Biegen von Kunststoffrohren bislang ein Novum darstellt, das nur bedingt mit gängigen Umformmethoden korreliert, können kaum Erfahrungs- oder Literaturwerte herangezogen werden. Um langfristig einen zügigen und stabilen Prozess zu entwickeln, müssen somit zunächst benötigte Material- und Bauteileigenschaften ermittelt werden. Ein besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der Relaxation und erneuten mechanischen Belastbarkeit des Rohrmaterials nach dem Abkühlen, sowie der einhergehenden Zeiten.

Zudem stellt die Konstruktion eines Universalbiegekopfes mit integrierter Hochfrequenzelektrode (HF-Elektrode) eine gesonderte Herausforderung dar. Aufgrund der dielektrischen Eigenschaften fällt die Materialwahl auf einen Kunststoff mit möglichst geringen Verlustfaktor  $\tan \delta$ , die Auslegung muss somit werkstoffgerecht erfolgen und differenziert zu den gewohnten Stahlwerkzeugen. Zur Unterstützung der Konstruktion erfolgen die mechanische und thermische Simulation des Gesamtprozesses.

## Voruntersuchungen

Zur Bestimmung dieser spezifischen Eigenschaften werden die häufig auftretenden Rohrmaterialien PA 12 und PA 612 thermoanalytisch untersucht und, wie in Abbildung 3 gezeigt, vereinfachte Biegeversuche bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt.



Abbildung 3: Aufbau für vereinfachte 180°-Rohrbiegung

Die Bestimmung der Wärmeformbeständigkeits-, Schmelz- und Kristallisationstemperaturen (vgl. Abb. 4) mittels angepasstem temperiertem 3-Punkt-Biegeaufbau und dynamischer Differenzkalorimetrie (DDK) konnte das Prozessfenster deutlich eingrenzen. So werden die Rohre im Optimalfall bei Raumtemperatur verformt und nachfolgend der auf eine Temperatur nahe an den Aufschmelzbereich gebracht um die Spannungsrelaxation einzuleiten.

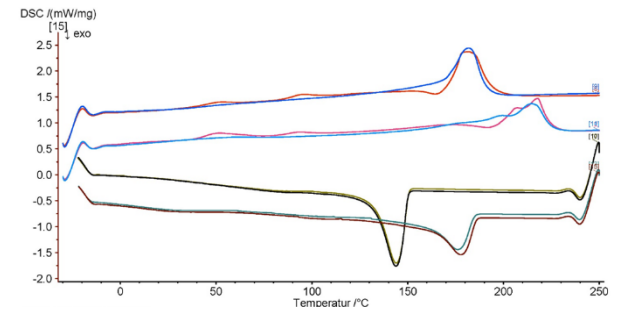


Abbildung 4: Aufschmelz- und Abkühlkurven von PA 12 (jeweils oben) und PA612 (jeweils unten)

Die Ermittlung der optimalen Relaxationszeiten und Temperaturen dauert bislang an. Die Vorversuche erfolgen zunächst in einer Temperierkammer, werden jedoch langfristig durch Versuche im HF-Feld ergänzt.

## Simulation

Der Konstruktionsprozess wird mit dem CAD-System CATIA V5-6R2017 begleitet und die Simulationen mit ANSYS 18.0 durchgeführt. Es wurden diverse Simulationen an Rohren und Werkzeugabschnitten durchgeführt, um ein Gefühl für die verschiedenen Kühlarten und der Kühldauer zu entwickeln. Es hat sich herausgestellt, dass eine Luftkühlung zum Erreichen der Zykluszeiten ausreichend sein könnte. Dies bedarf jedoch einer gründlichen Überprüfung in den späteren Konstruktionsschritten. In Abbildung 5 ist der aktuelle Prototyp abgebildet. An diesem werden Kräfte und Belastungen simuliert damit anschließend Kühlkanäle und Zwischenräume für die HF-Elektroden in dem Biegekopf eingebaut werden können.

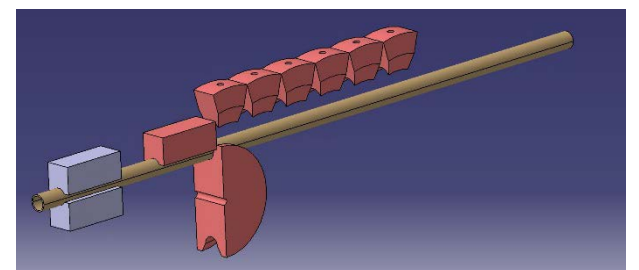


Abbildung 5: CAD-Prototyp für mechanische Simulation des Biegekopfes

## Danksagung

Die Arbeit wird im Rahmen des, aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) geförderten, ZIM-Projektes „CNC-Kunststoff-Rohrbiegen“ (Förderkennzeichen ZF4104905P07) durchgeführt.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



h\_da

HOCHSCHULE DARMSTADT  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

ikd

INSTITUT FÜR  
KUNSTSTOFFTECHNIK DARMSTADT

## Kontakt

Prof. Dr. Martin Müller-Roosen  
Institut für Kunststofftechnik Darmstadt ikd  
Hochschule Darmstadt h\_da  
Haardtring 100, 64295 Darmstadt  
mail: Martin.Mueller-Roosen@h-da.de

mobitec  
Kottmann und Berger GmbH  
Lorcher Straße 36, 73102 Birenbach  
mail: info@kottmann-berger.de

