UNIVERSITÄT PADERBORN
Die Universität der Informationsgesellschaft

FAKULTÄT FÜR MASCHINENBAU

UNIVERSITÄT PADERBORN | 33095 PADERBORN

Bericht zur FA 11 Sitzung am 30.09.2010 in Düsseldorf

1. Forschungsthema

Zykluszeitreduzierung ohne Qualitätsverlust beim Heizelementschweißen durch Zwangsabkühlung mittels Druckluft.

2. Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

2.1 Forschungsziel

Das Forschungsziel besteht darin, eine Optimierung der Druckluftkühlung zur Zykluszeitreduzierung zu erreichen. Daher sollen in dem dargestellten Forschungsvorhaben die Zusammenhänge zwischen Abkühlbedingungen und Schweißnahtqualität herausgearbeitet werden. Als Ergebnis sollen Hinweise, Anhaltspunkte und Empfehlungen für die Fertigung von Bauteilen mit ausreichender Qualität bei möglichst kurzen Abkühlzeiten gegeben werden. Diese Fertigungshinweise sollen durch eine Optimierung der Abkühlphase zur Reduktion der Zykluszeit führen. In diesem Forschungsprojekt wird eine Optimierung der Prozessführung der Kühlung erfolgen. Dazu werden verschiedene Einflussgrößen der Abkühlbedingungen (Menge, Temperatur, Strömung, Druck, Anströmpunkt und der Feuchtigkeitsgehalt) variiert und die Ergebnisse analysiert.

2.2 Vorgesehener Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Zur Erlangung der angestrebten Ergebnisse wird eine Auswahl technisch interessanter Materialien untersucht.
Für die Untersuchungen werden spritzgegossene, halbe Schulterstäbe (d_1 = 2 mm, d_2 = 4 mm) herangezogen, welche in der KTP hergestellt werden, sowie Segmente mit sechseckiger Querschnittsfläche.
Für die Abkühlung wird die in der Industrie gebräuchliche Druckluft verwendet. Um eine Variation der Einflussgrößen Druckluftmenge, Drucklufttemperatur, Strömung (turbulent, laminar), Anströmpunkt, Druck, Feuchtigkeitsgehalt, Luftverstärkerdüse zu realisieren, werden Standardkomponenten aus der Pneumatik eingesetzt.
Die Bestimmung des Wärmeübergangskoeffizienten wird herangezogen, um den Einfluss der Abkühlbedingungen auf die Abkühlvorgänge in den Formteilen zu analysieren.
Um den versuchstechnischen Aufwand zu minimieren, soll das Versuchsfeld mit Hilfe statistischer Versuchsplanung bestimmt werden. Für die Auswertung der Versuche stehen dem Institut neben einer Zugprüfmaschine von Zwick, ein Versuchsstand zur Bestimmung der Langzeitfestigkeiten, ein Versuchsstand für die Spannungsriss- und Eigenspannungsuntersuchungen sowie die Ausstattung für Dünnschnittanalysen zur Verfügung.

3. Forschungsergebnisse

3.1 In der Zwischenzeit erzielte Ergebnisse

Im Forschungsvorhaben Zykluszeitreduzierung ohne Qualitätsverlust beim Heizelementschweißen mittels Druckluft wurden die Ergebnisse zum Versuchsaufbau und den detaillierten Untersuchungen zum Einfluss von Feuchtigkeit, Temperatur und Volumenstrom auf zwei Materialien (Makrolon AL 2647; Moplen HP501L) herausgestellt. Die Untersuchungen geben den wesentlichen Einfluss des Volumenstroms wieder. In Abb. 1 ist die mögliche Zeitersparnis bei PC (Makrolon AL 2647) zwischen freier und erzwungener Konvektion für den höchsten Volumenstrom V3=5,5 m^3/h für verschiedene Entnahmetemperaturen dargestellt. Somit kann die Kühlzeit für PC unter den gewählten Prozessparametern, den vorherrschenden Umgebungsbedingungen und der Bauteilgeometrie (d=2mm Schulterstab) für eine Entnahmetemperatur von 60°C um ca. 53s , von 100°C um ca. 21s und 135°C um ca. 6s reduziert werden. Die Entnahmetemperatur von 135°C entspricht der Erweichungstemperatur nach ISO 75 HDT/B (0,45MPa).

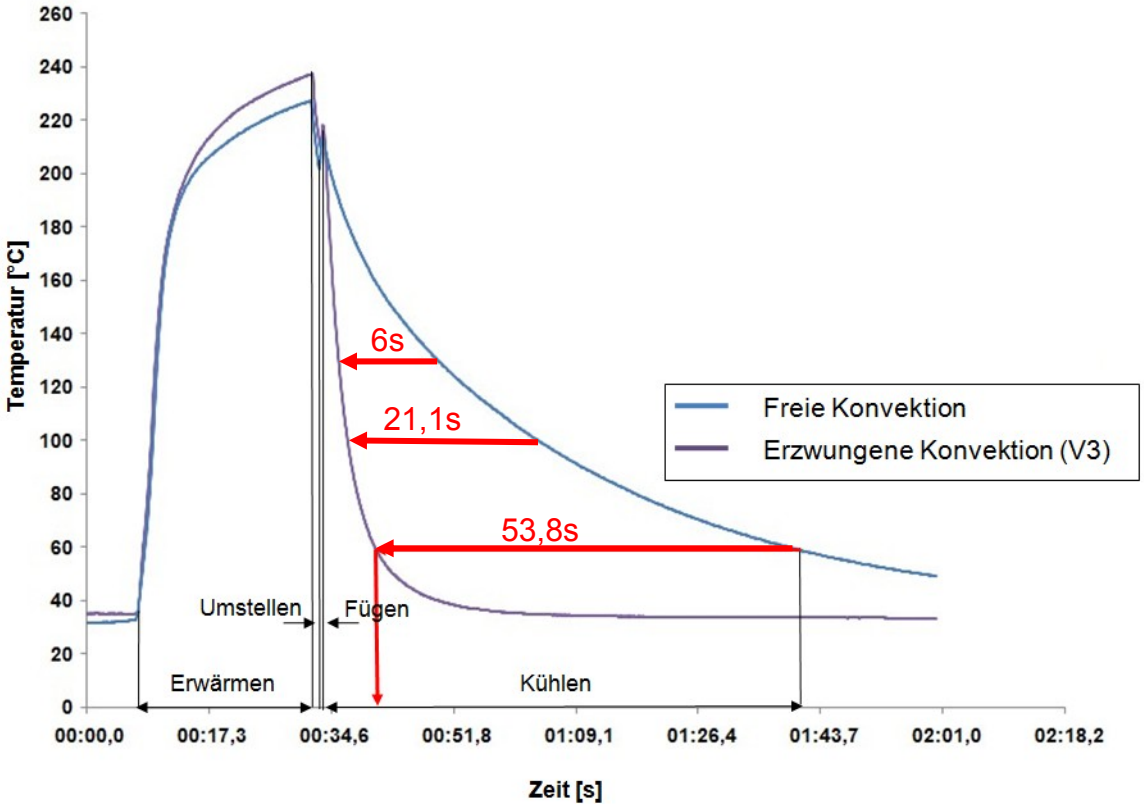

Abb. 1 Vergleich freie und erzwungene Konvektion für PC

Zur Bewertung der Kühlwirkung auf Basis des Wärmeübergangskoeffizienten (α) dient das Berechnungsverfahren der Instationären Wärmeleitung des VDI Wärmeatlas. Die Zusammenhänge der Biotzahl (Bi), der Fourierzahl (Fo) und der dimensionslosen Temperatur (θ) berücksichtigen neben Anfangstemperatur (T_A) Entnahmetemperatur (T_E) und Umgebungstemperatur (T_U) auch Materialeigenschaften (λ, c_p) und Bauteildicke. Eine Reihe von Berechnungen ermöglicht es in einem Diagramm die Abkühlzeit über der Bauteildicke für bestimmte

dimensionslose Temperaturen, Materialien und Wärmeübergangskoeffizienten darzustellen. Die Theorie sieht bei einer beidseitigen Kühlung die Halbierung der Bauteildicke vor. Der Zusammenhang verschiedener Wärmeübergangskoeffizienten und Bauteildicken auf die Kühlzeit ist in Abb. 2 aufgezeigt. Der in Abb. 1 dargelegte Vergleich der Kühlwirkung freier und erzwungener Konvektion kann in diesem Diagramm rotumrandet für PC mit einer Entnahmetemperatur von 60°C dargestellt werden.

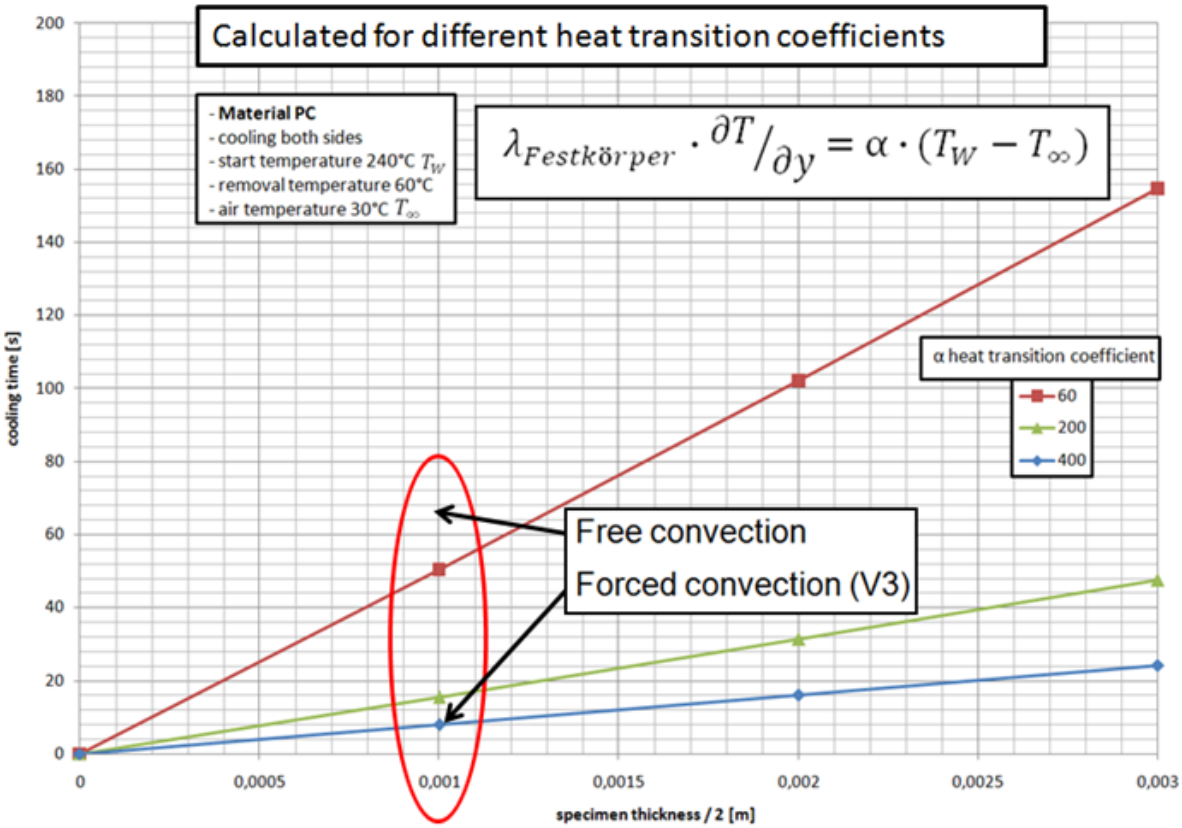

Abb. 2 Kühlzeit über Bauteildicke für verschiedene Wärmeübergangskoeffizienten PC

Auf Basis dieser Berechnungen ist es möglich Material-, Prozess- und Umgebungs-spezifische Empfehlungen abzugeben, die beispielsweise den Einfluss von Prozessgrößen und Materialgrößen wiedergeben. Abb. 3 stellt die Kunststoffe PC+ABS, PC, PE HD, und PP mit Ihren spezifischen Verarbeitungstemperaturen für zwei verschiedene Wärmeübergangskoeffizienten (freie Konvektion [α=40W/m^{2}K] und erzwungene Konvektion [α=400W/m^{2}K]) gegenüber. Des Weiteren kann mit einem konstanten Wärmeübergangskoeffizienten materialspezifisch eine Abschätzung verschiedener dimensionsloser Temperaturen durchgeführt werden. In Abb. 4 sind für drei verschiedene Wärmeübergangskoeffizienten (α=60W/m^{2}K; α=200W/m^{2}K; α=400W/m^{2}K) unterschiedliche dimensionslose Temperaturen dargestellt.

$$\theta = \frac{T_E - T_U}{T_A - T_U} \qquad \text{[Gl. (1)]}$$

Gleichung (1) zeigt den Zusammenhang zwischen der dimensionslosen Temperatur (θ), der Anfangstemperatur (T_A), Entnahmetemperatur (T_E) und Umgebungs-

temperatur (T_U).Es ist möglich den Kurvenscharen beispielsweise unter Annahme konstanter Anfangstemperatur und Entnahmetemperatur eine Umgebungstemperatur zuzuordnen. Auf diese Weise kann der Einfluss einer veränderten Umgebungstemperatur auf die notwendige Kühlzeit abgeschätzt werden. Ähnliches ist möglich für eine Einordnung des Einflusses einer veränderten Anfangstemperatur oder Entnahmetemperatur.

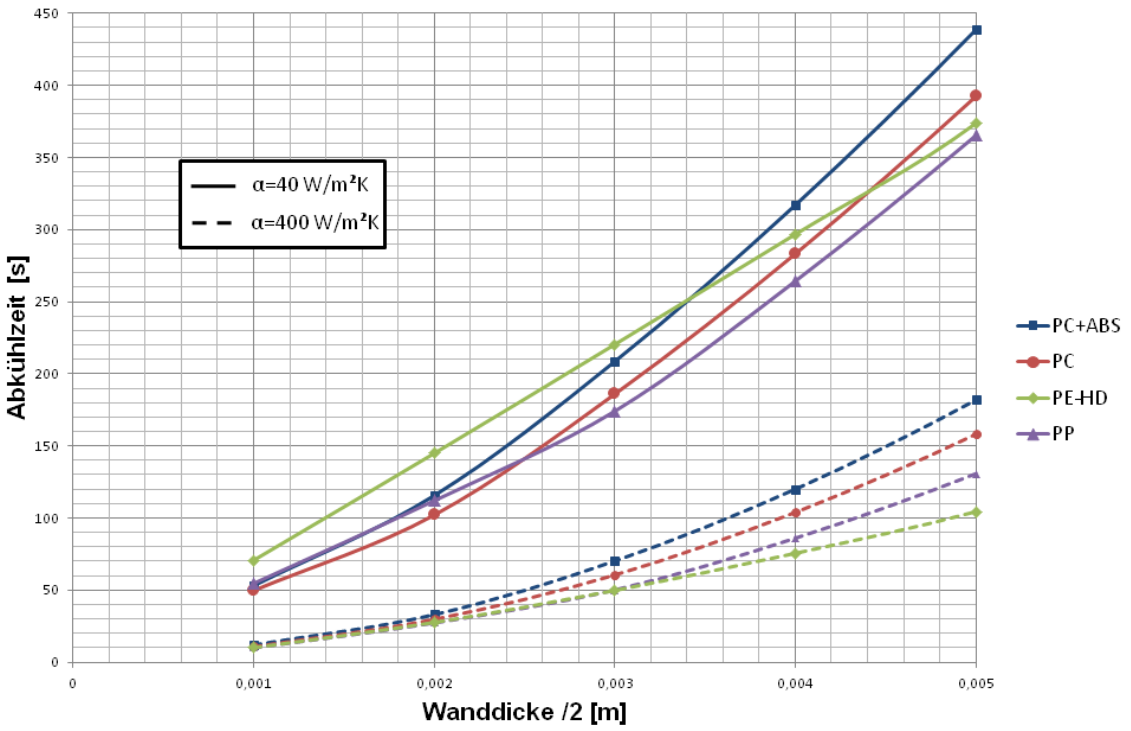

Abb. 3 Kühlzeit über Bauteildicke für verschiedene Kunststoffe und Prozessgrößen

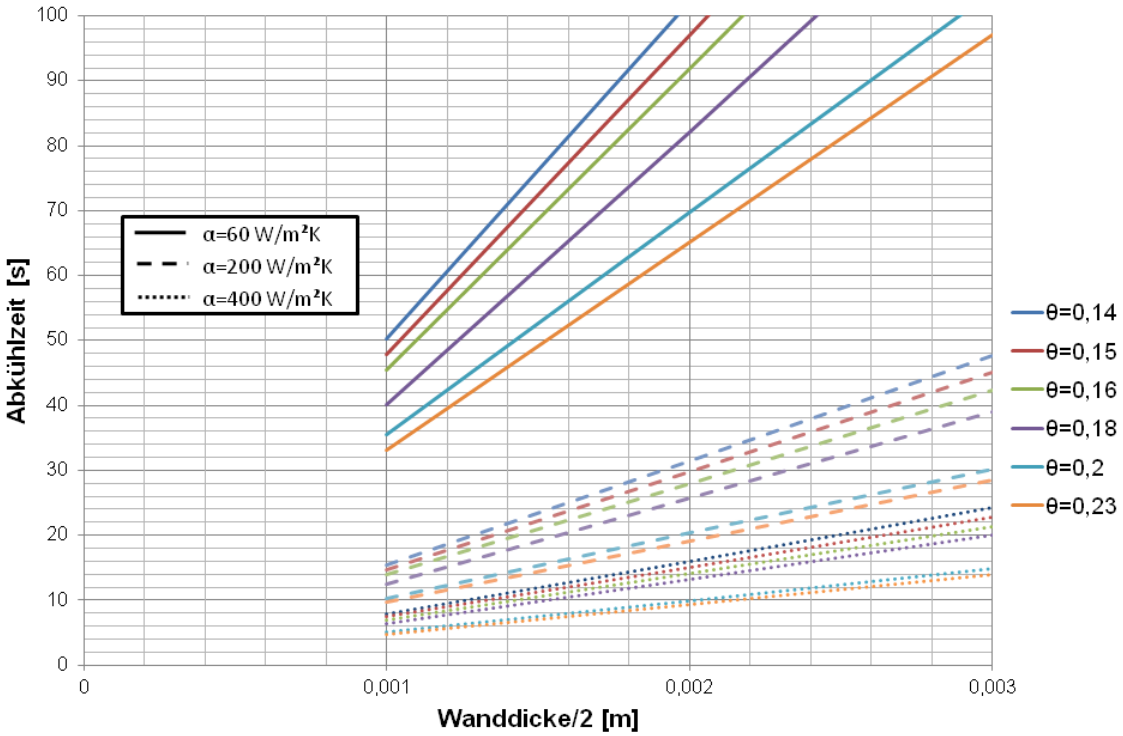

Abb. 4 Kühlzeit über Bauteildicke für verschiedene dimensionslose Temperaturen (θ)

Eine Anpassung des Versuchsaufbaus ermöglicht im Folgenden die Untersuchungen von Volumenströmen bis 20m^3/h, die in den vorhergehenden Untersuchungen auf 5,5m^3/h beschränkt waren. Für eine qualitative Abschätzung der Einflüsse von Anströmwinkel und Düsendurchmesser bzw. Druckluftgeschwindigkeit auf die Abkühlzeit wird ein vereinfachter Versuchsaufbau gewählt. Eine mit Temperaturfühlern versehene PP Probe wird senkrecht zur Fügenaht mit einem Infrarotstrahler auf 100°C erwärmt und anschließend einseitig auf eine Temperatur von 60°C abgekühlt. In Abb. 5 ist klar zu erkennen, dass eine Luftverstärkerdüse die geringste Kühlzeit bei geringstem Druckluftverbrauch aufweist, verglichen mit einfachen Runddüsen unterschiedlicher Durchmesser (d_1=6,5mm; d_2=9mm;d_3=12mm).

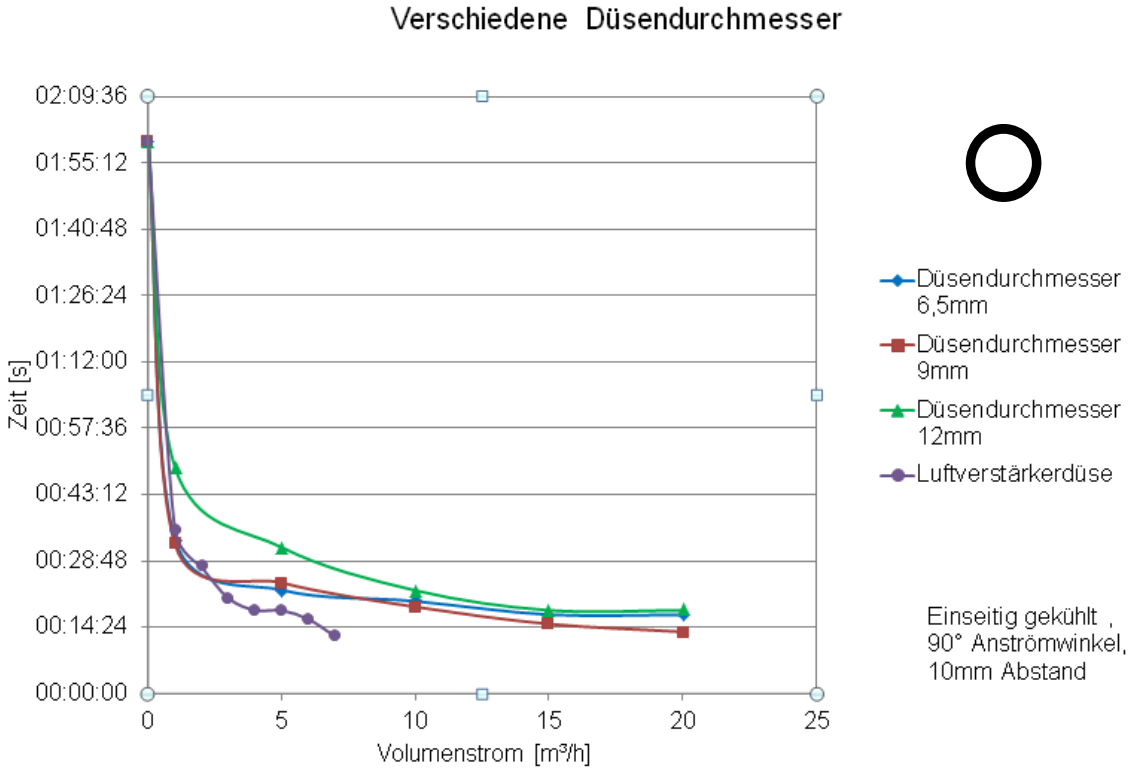

Abb. 5 Abkühlzeit über Verbrauchsvolumenstrom für verschiedene Düsen

4. Weiteres Vorgehen

Im Verlauf der nächsten Wochen werden Versuche zu erhöhten Volumenströmen und Untersuchungen zur Temperaturmessung mittels Wärmebildkamera abschließend ausgewertet. Anschließend erfolgt die Untersuchung der optimalen Versuchsparameter hinsichtlich Fügenaht-Qualität (Spannungen und Langzeitfestigkeit). Zudem werden geschlossene Profile detailliert untersucht. Abschließend werden die Ergebnisse mit den theoretisch berechneten Werten abgeglichen werden.

5. Transfer der angestrebten Forschungsergebnisse

Ein wichtiger Punkt beim Durchführen von Forschungsvorhaben ist der Wissenstransfer in die Praxis. Die erzielten Ergebnisse wurden im Rahmen einer Vortragsreihe der IIW 2010 in der Commission XVI Polymer joining and adhesive technology präsentiert. Des Weiteren fanden folgende Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses statt:

30.09.2009 in Paderborn
06.05.2010 in Paderborn
30.06.2010 im Rahmen der AGW4.8 Sitzung in Heppenheim
17.09.2010 in Paderborn

6. Durchführende Forschungsstelle

Kunststofftechnik Paderborn
Fachgebiet Kunststoffverarbeitung
Universität Paderborn
Warburger Straße 100
D-33098 Paderborn

6.1 Leiter der Forschungsstelle

Prof. Dr.-Ing. Schöppner

Paderborn, den 23.09.2010

Ort, Datum, Unterschrift Projektleiter