1 Forschungsthema

„Simulationsgestützte bauteilbezogene Analyse industriell relevanter Einspannsituationen beim Schweißen“ (Teilprojekt I2 2000, 15.275 N)

2 Problemstellung

Die Möglichkeiten einer belastungs- und bauteilorientierten Anpassung der Spannsituation beim Schweißen werden in der produzierenden Industrie heute zumeist nur unter Inkaufnahme eines extrem großen experimentellen Aufwandes genutzt. Dies hängt mit den komplexen Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen der Bauteilbelastung beim Schweißen sowie dem resultierenden Zustand der zu fügenden Komponenten nach der Bearbeitung zusammen und unterliegt einer Reihe von Randbedingungen. Als wesentliche Größe ist hierbei die Einspannsituation eines Bauteils zu betrachten. Leistungsfähige Simulationsmethoden zur Computer-gestützten Auslegung stehen für eine bauteilbezogene Analyse der Einspannsituation bisher nicht zur Verfügung.

3 Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

3.1 Forschungsziel

Als Ziel dieses Teilprojekts sollen Erkenntnisse im Hinblick auf szenarienabhängige Richtlinien zur Gestaltung der Einspannsituation gewonnen werden. Als Ausgangsbasis sollen mit einem Hand-Elastomer-Spanner, einem Spannbackensystem, Konturelementen sowie einem Vakuum-Spannsystem beispielhafte, in der Industrie etablierte Spannvorrichtungen betrachtet werden. Dafür werden allgemeingültige Modelle entwickelt, welche im Rahmen einer kommerziellen Schweißsimulation zum Einsatz kommen. Um zu diesem Ziel zu gelangen, ist angedacht, diverse beispielhafte Fertigungsszenarien in der Simulation abzubilden. Dabei werden Einspannungen in der Simulation sowohl als mechanische Randbedingungen als auch als Kräfte betrachtet, welche maßgeblichen Einfluss auf das Entstehen der strukturmechanischen Bauteilreaktion besitzen. Eine Variation dieser Belastungen durch Modifikationen des Orts und der Intensitätsverteilung beeinflusst das resultierende Bauteilverhalten wesentlich. Über physikalische Ersatzmodelle sollen industriell einsetzbare Vorgehensweisen entwickelt werden, welche die komplexen thermischen und mechanischen Wechselwirkungen zwischen Spannelement und Bauteil abbilden. Darüber hinaus soll über aufwandsarme Variationsversuche in der Simulation eine Auslegung einer im Hinblick auf den Bauteilverzug optimierten Einspannsituation unterstützt werden. Eine im Entwicklungsprozess frühzeitige simulationsbasierte Auslegung birgt durch die Verringerung aufwändiger Vorversuche ein hohes Einsparpotenzial.

3.2 Bisherige und angestrebte Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden zunächst grundlegende physikalische Untersuchungen an praxisrelevanten Spannelementen durchgeführt. Diese beziehen sich im Speziellen auf die

thermischen und mechanischen Eigenschaften der Spannwerkstoffe AlCuMgPb, 16MnCr5 sowie Polychloropren. In Abbildung 1 sind die Ergebnisse der numerischen Ermittlung des Temperaturverlaufs am Spannort für unterschiedliche Spannwerkstoffe dargestellt. Dabei wird eine konstante Temperatur von 300 °C im Schweißnahtbereich vorausgesetzt und die zeitabhängige Temperaturverteilung in Abhängigkeit recherchierter thermophysikalischer Kennwerte, wie dem Emissionsgrad der Wärmestrahlung, der Wärmeleitfähigkeit sowie der Wärmekapazität, ermittelt.

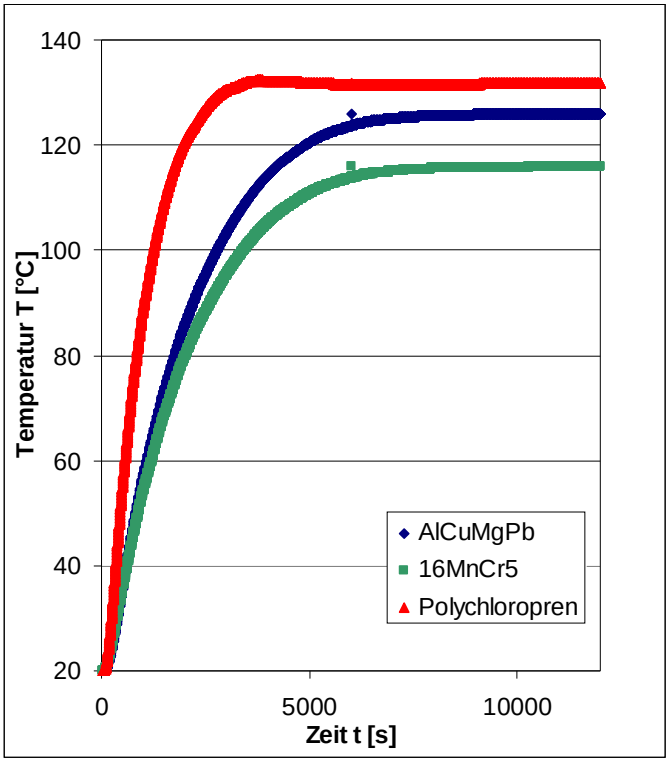

Abbildung 1: Gegenüberstellung des zeitabhängigen Temperaturverlaufs an der Einspannstelle am Werkstück bei verschiedenen Spannwerkstoffen

Es zeigt sich, dass die Verwendung von Polychloropren, im Gegensatz zu den metallbasierten Spannelementen aus AlCuMgPb sowie 16 MnCr5 dazu führt, dass einerseits höhere Maximaltemperaturen an der Einspannstelle auftreten und andererseits ein deutlich steilerer Temperaturanstieg zu beobachten ist. Dies ist vor allen Dingen auf die thermisch isolierende Wirkung des Polychloropren durch eine um bis zu drei Größenordnungen geringere Wärmeleitfähigkeit zurückzuführen.

Ein weiterer Aspekt bei der physikalischen Untersuchung verschiedener Spannsysteme bezieht sich auf die Kontaktmechanik zwischen Spanner und Werkstück. Ein relevanter Einfluss wird in diesem Zusammenhang der Haftreibung zugeschrieben. Aufgrund verschiedener äußerer Einflüsse auf die Reibpaarung wurde der sich einstellende Haftreibungskoeffizient für die drei o. g. Spannwerkstoffe, verschiedene Spannkräfte, Bauteiltemperaturen, Oberflächenrauheiten sowie -behandlungen untersucht. Die Ergebnisse liegen in einer umfangreichen Datenbank vor und können durch den Anwender in Bezug auf verschiedene Zielsetzungen ausgewertet werden. Beispielhaft sind in der folgenden

Abbildung 2 die ermittelten Werte des Haftreibungskoeffizienten μ_H für verschiedene Spannerwerkstoffe und Oberflächenrauheiten R_A dargestellt.

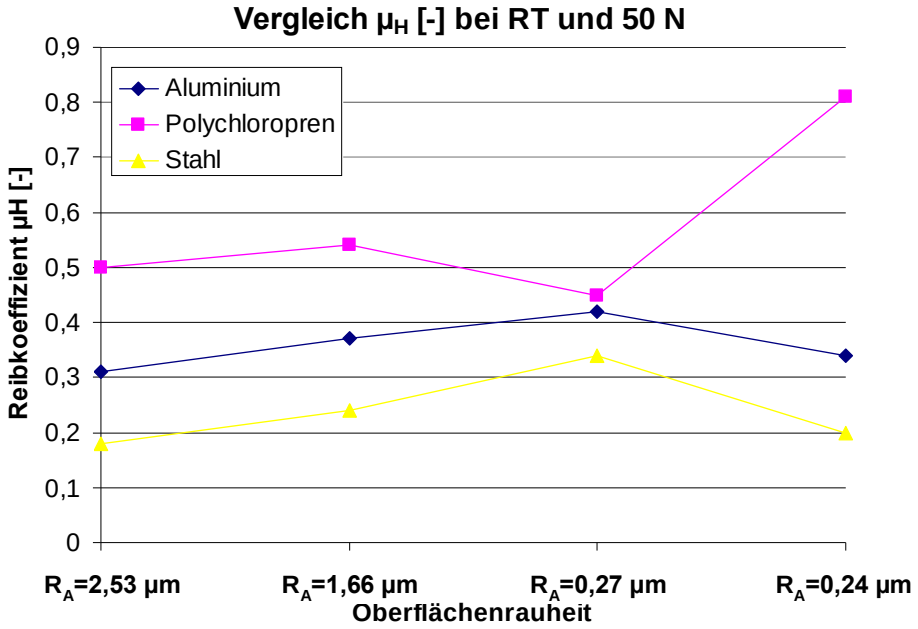

Abbildung 2: Haftreibungskoeffizient μ_H bei verschiedenen Spannerwerkstoffen und Oberflächenrauheiten

Die zugrunde liegenden Versuche wurden bei Raumtemperatur (RT) sowie bei einer Anpresskraft von 50 N durchgeführt. Den Ergebnissen kann einerseits entnommen werden, dass Polychloropren stets über die größten Werte von μ_H verfügt. Andererseits führt eine weitere Verringerung der Oberflächenrauheit auf R_A=0,24 µm bei Polychloropren im Gegensatz zu den Stahl- oder Aluminiumspannern nicht zu einer Reduktion des Haftreibungskoeffizienten. Ergänzend dazu liegen bereits erste Ergebnisse zur Federsteifigkeit der eingesetzten Spannsysteme vor. Diese werden gegenwärtig verifiziert und finden daher in den folgenden Bericht Eingang.

Durch die Wahl eines industriell relevanten Demonstratorbauteils und verschiedener Spannsysteme innerhalb dieses Forschungsvorhabens ist die Ähnlichkeit zu Aufgabenstellungen in produzierenden Unternehmen gegeben. Im Speziellen wird der Einfluss unterschiedlicher Spannsituationen auf eine zugrunde liegende komplexe Rahmenstruktur der Firma ALSTOM ermittelt. In Zusammenarbeit mit dem Projektpartner ifs (TU Braunschweig) konnte die am *iwb* durchgeführte Schweißsimulation validiert werden. Dabei wurden sowohl der Temperatur- als auch der Verzugsverlauf an verschiedenen Messstellen mit den Ergebnissen eines Sysweld-Modells abgeglichen. Damit können fallspezifische Erkenntnisse der Untersuchungen in die kommerzielle Simulationsumgebung übertragen und die Einflüsse verschiedener Einspannparameter systematisch untersucht werden. Als Ergebnis wird eine optimierte Einspannsituation der Demonstratorstruktur mit Hilfe standardisierter Spanner angestrebt.

3.3 Lösungsweg

Das wesentliche Ziel des Forschungsvorhabens besteht darin, Modellierungsmethoden für Einspannsituationen zu entwickeln und im Rahmen einer kommerziellen Schweißsimulationssoftware zu etablieren. Neben der thermischen Energie des Schweißprozesses ist vor allem die Einspannsituation maßgeblich an der Einstellung eines definierten Verzugszustands beteiligt. Die im Rahmen dieses Vorhabens zu untersuchenden Einflussgrößen können Abbildung 3 entnommen werden.

Einflussgröße	Variation			
Spannwerkstoff	16MnCr5	AlCuMgPb	Polychloropren	
Einspanndauer	lang	kurz		
Abstand von der Schweißnaht	weit	nah		
Anzahl der Spanner	1	2	3	4
Auflage	vernachlässigt	betrachtet		
Einspannkräfte / Vorhaltung	nein	ja		

Referenz-szenario

Szenario n

Abbildung 3: Morphologischer Kasten zur Bestimmung relevanter Einspannszenarien

Gleichzeitig mit der o. g. physikalischen Analyse der zu untersuchenden Spannsysteme wurde ein Referenzszenario in Bezug auf die zu variierende Einspannung entwickelt. Damit konnte eine Ausgangsbasis für die zunächst simulativ zu untersuchenden Einspanneinflüsse definiert und mit experimentellen Ergebnissen abgeglichen werden. Somit steht gegenwärtig ein von allen Projektpartnern verwendetes identisches Simulationsmodell zur Verfügung. Dieses dient in der Folge als Ausgangsbasis zur Analyse der zu variierenden Einspannszenarien. Dafür existiert beim Schweißen eine Vielzahl an möglichen Spannsituationen, was bei der Schweißsimulation zu einer sehr ausgeprägten Komplexität bei vollständiger Berücksichtigung führt. Daher wurde zur Strukturierung aller Einflussgrößen ein sog. morphologischer Kasten erstellt, wodurch eine sinnvolle Reduktion der Variantenanzahl ermöglicht wird. Dies bedeutet im Detail, dass vor allem extreme Kombinationen von Einflussgrößen in Sysweld untersucht werden. Sollten dabei besonders ausgeprägte Verzugseinflüsse identifiziert werden, so können die entsprechenden Faktoren genauer untersucht werden. Aus den damit erzielten Erkenntnissen wird in Absprache mit dem ifs eine zweite Variante bestimmt, die einer experimentellen Untersuchung zugeführt wird.

Darauf aufbauend erfolgt ein Vergleich der Einflüsse der Spannsysteme, wodurch bauteilspezifische Gestaltungsrichtlinien abgeleitet werden. Damit wird eine Optimierung der praxisrelevanten Demonstratorstruktur angestrebt.

4 Ausblick

Die Ergebnisse des Vorhabens unterstützen die Entwicklung, die Konzeptionierung und den Aufbau innovativer Einspannvorrichtungen für Schweißprozesse. Durch den Einsatz der zu erarbeitenden Simulationsmethoden und die anwendungsbezogenen Berechnungsergebnisse wird ein wirtschaftlicher Nutzen für kleine und mittelständische Unternehmen angestrebt. Dabei soll ein einmal ausgelegter, stabiler Schweißprozess beibehalten werden, während das Potenzial einer Variation der Spannbedingungen als wesentlicher Faktor zur Verzugsreduktion produktionsparallel untersucht werden kann.

Durch die Wahl eines industriell relevanten Demonstratorbauteils und verschiedener Spannsysteme innerhalb dieses Forschungsvorhabens ist die Ähnlichkeit zu Aufgabenstellungen in produzierenden Unternehmen gegeben. Die Entstehung strukturmechanischer Bauteilreaktionen kann durch die Simulation aufgezeigt und im Anschluss daran zielgerichtet am realen Produktionssystem umgesetzt werden. Somit können fallspezifische Erkenntnisse der Untersuchungen übertragen, in kommerzielle Simulationssoftwarepakete implementiert und anhand standardisierter Einspannvorrichtungen umgesetzt werden.

5 Durchführende Forschungsstelle

Name und Anschrift der Forschungsstelle

Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)
Technische Universität München
Boltzmannstr. 15
85748 Garching bei München

Leiter der Forschungsstelle

Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh
E-Mail: michael.zaeh@iwb.tum.de
Tel.: 089/289-15501

Projektleiter

Dipl.-Ing. Stefan Lutzmann
E-Mail: stefan.lutzmann@iwb.tum.de
Tel.: 0821/56883-37