1 Forschungsthema

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

2 Problemstellung

Die Zusammenhänge zwischen der mechanischen und thermischen Bauteilbelastung während des Schweißprozesses und dem resultierenden Zustand der Fügepartner nach der Bearbeitung sind komplex und unterliegen einer Reihe von Randbedingungen. Als wesentliche Größe ist hierbei die Einspannsituation eines Bauteils zu betrachten. Die Möglichkeiten einer belastungs- und bauteilorientierten Anpassung der Spannsituation beim Schweißen werden in der produzierenden Industrie heute zumeist nur unter Inkaufnahme eines sehr großen experimentellen Aufwandes genutzt. Leistungsfähige Simulationsmethoden stehen für eine bauteilbezogene Analyse der Einspannsituation bisher nicht zur Verfügung.

3 Forschungsziel / Lösungsweg / Ergebnisse

3.1 Forschungsziel

Eine im Entwicklungsprozess frühzeitige simulationsbasierte Auslegung besitzt durch die mögliche Verringerung aufwändiger Vorversuche ein hohes Einsparpotenzial. Als Ziel dieses Teilprojekts sollen daher Erkenntnisse im Hinblick auf szenarienabhängige Richtlinien zur Gestaltung der Einspannsituation gewonnen werden. Als Ausgangsbasis werden beispielhafte, in der Industrie etablierte Spannvorrichtungen untersucht. Für die rechnergestützte Analyse werden allgemeingültige Modelle entwickelt, welche im Rahmen einer kommerziellen Schweißsimulationsumgebung zum Einsatz kommen. Um zu diesem Ziel zu gelangen, ist geplant, diverse beispielhafte Fertigungsszenarien in der Simulation abzubilden. Dabei werden Einspannungen in der Simulation als thermische wie auch als mechanische Randbedingungen berücksichtigt, 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 maßgeblich. Darüber hinaus soll über aufwandsarme Variationsversuche in der Simulation eine Auslegung einer im Hinblick auf den Bauteilverzug optimierten Einspannsituation unterstützt werden.

3.2 Lösungsweg

Ein wesentliches Ziel des Forschungsvorhabens besteht darin, Modellierungsmethoden für Einspannsituationen zu entwickeln und im Rahmen einer kommerziellen Schweißsimulationssoftware zu etablieren. Neben der physikalischen Untersuchung verschiedener Spannwerkstoffe (vgl. Abschnitt 3.3) unter praxisrelevanten Bedingungen wird der Endverzug einer Demonstratorstruktur bei unterschiedlichen Einspannbedingungen simulationsgestützt bestimmt. Dadurch sollen die Haupteinflussgrößen auf den Schweißverzug ermittelt werden.

Zur Berücksichtigung der verschiedenen Einflussfaktoren in der Simulation wurde ein morphologischer Kasten erstellt (Abbildung 1).

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

Referenz-szenario

Szenario n

Abbildung 1: Morphologischer Kasten zur Unterstützung bei der Ermittlung der betrachteten Berechnungsszenarien

Aus der Kombination verschiedener Einflussgrößen ist es mit Hilfe des morphologischen Kastens möglich, inkompatible Kombinationen von Einspannparametern auszuschließen. Die im Rahmen dieses Vorhabens zu untersuchenden Einflussgrößen sind neben dem verwendeten Spannwerkstoff die Einspanndauer, der Abstand von der Schweißnaht und die Anzahl der Spanner. Darüber hinaus stehen die zum Einsatz kommende Auflage sowie die Einspannkräfte bzw. die Vorhaltung im Zusammenhang mit dem Schweißverzug.

Zunächst wird ein sog. Referenzszenario berechnet (vgl. Abbildung 3), welches zur gleichen Zeit vom Projektpartner ifs der TU Braunschweig experimentell untersucht wird. Damit wird eine Validierung der modellierten Einspannbedingungen erreicht. Im Rahmen der folgenden Projektbearbeitung wird ein weiteres als relevant bewertetes Einspannszenario durch das ifs experimentell untersucht und mit den am *iwb* generierten Simulationsergebnissen abgeglichen. Anschließend werden die unterschiedlichen Verzugseinflüsse verglichen und bauteilspezifische Gestaltungsrichtlinien abgeleitet.

3.3 Bisherige und angestrebte Ergebnisse

Wie im vorangehenden Abschnitt dargestellt, sind zur Bestimmung von Eingangsinformationen für die Simulation die Spannwerkstoffe 16MnCr5, AlCuMgPb sowie Polychloropren hinsichtlich verschiedener physikalischer Eigenschaften zu analysieren. Dafür werden grundlegende Untersuchungen anhand praxisrelevanter Versuchsaufbauten durchgeführt. In Abbildung 2 ist dazu das experimentelle Konzept zur Bestimmung des Wärmehaushalts bei Schweißprozessen dargestellt. Ein Versuchskörper, welcher über eine zentral angebrachte Heizpatrone verfügt, wird an seinen Enden durch sog. Spannmitteleinsätze fixiert. Die vier parallel angebrachten Kontaktelemente werden mittels einer Spannleiste mit unterschiedlichen axialen Kräften auf den Versuchskörper gepresst. In der unmittelbaren Umgebung der Spannmitteleinsätze befinden sich Thermoelemente, an welchen die aktuelle Temperatur erfasst wird. Mit dieser Konfiguration ist es möglich, die sich einstellenden Temperaturen an der Einspannstelle als Funktion der Zeit zu bestimmen. In Abhängigkeit

des eingesetzten Spannmittelwerkstoffs ist zu erwarten, dass sich unterschiedliche Temperaturverläufe einstellen. Die erhaltenen Daten liefern Informationen über unterschiedliche Wärmeübergangskoeffizienten, welche in der Folge als Eingangsgrößen in der Verzugssimulation eingesetzt werden.

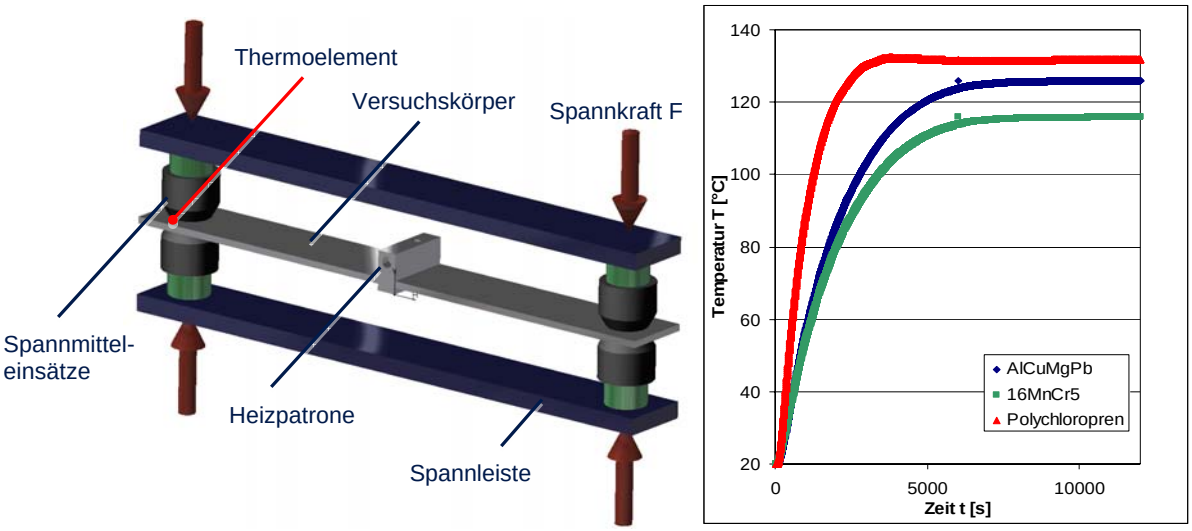

Abbildung 2: Versuchsaufbau zur Untersuchung des Wärmehaushalts

Bei der systematischen Untersuchung der einzelnen Auswirkungen auf das Verzugsverhalten des Bauteils erfolgt eine Parametrierung der Einspannkomponenten. Aufbauend darauf wird der entstehende Einfluss unterschiedlicher Spannsituationen auf eine zugrunde liegende komplexe Rahmenstruktur der Firma ALSTOM durch eine angepasste Schweißsimulation ermittelt. In Abbildung 3 sind die bisherigen Ergebnisse am betrachteten Knoten dargestellt.

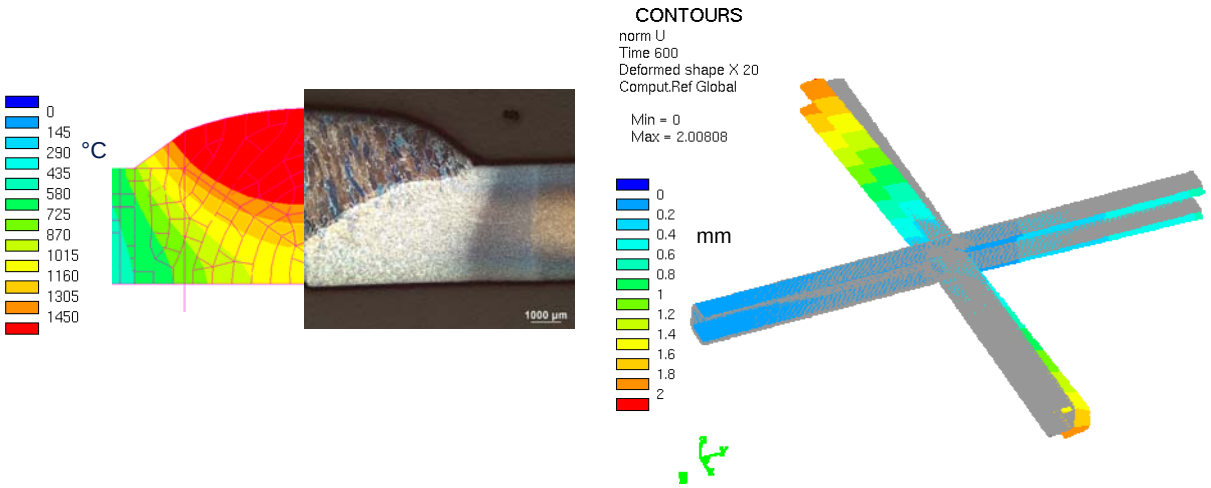

Abbildung 3: Bisherige Simulationsergebnisse des Referenzszenarios

Der linken Bildseite ist ein Vergleich von simulierter Temperaturverteilung und realer Wärmeeinflusszone zu entnehmen. Es zeigt sich an den horizontalen Abmessungen, dass die eingesetzte Wärmequelle einer abschließenden Kalibrierung bedarf, um die realen Bedingungen in guter Näherung zu beschreiben. Die rechte Seite der Abbildung zeigt den

Endverzug des mit o. g. Wärmequelle berechneten Knotens im Referenzszenario. Dabei wurde am linken Ende des Profils eine feste Einspannung gewählt. Die resultierenden Verzüge wurden bereits mit entsprechenden experimentellen Ergebnissen des ifs verglichen. Dabei konnte eine gute Übereinstimmung der Maximalwerte sowie des Verlaufs über der Zeit festgestellt werden.

4 Ausblick

Durch die Wahl eines industriell relevanten Demonstratorbauteils und verschiedener Spannsysteme innerhalb dieses Forschungsvorhabens ist die Ähnlichkeit zu Aufgabenstellungen in produzierenden Unternehmen gegeben. Somit können fallspezifische Erkenntnisse der Untersuchungen übertragen, in kommerzielle Simulationssoftwarepakete implementiert und anhand standardisierter Einspannvorrichtungen umgesetzt werden.

Durch den Einsatz der erarbeiteten Simulationsmethoden und die anwendungsbezogenen Berechnungsergebnisse wird ein wirtschaftlicher Nutzen für kleine und mittelständische Unternehmen angestrebt. Die Ergebnisse des Vorhabens unterstützen die Entwicklung, die Konzeptionierung und den Aufbau innovativer Einspannvorrichtungen für Schweißprozesse. Als innovativ gilt dabei, dass ein einmal ausgelegter, stabiler Schweißprozess beibehalten werden kann, während das Potenzial einer Variation der Spannbedingungen als wesentlicher Faktor zur Entstehung strukturmechanischer Bauteilreaktionen durch die Simulation nachgewiesen und dann zielgerichtet am realen Produktionssystem umgesetzt werden kann.

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.: 089/289-15502

Projektbearbeiter

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