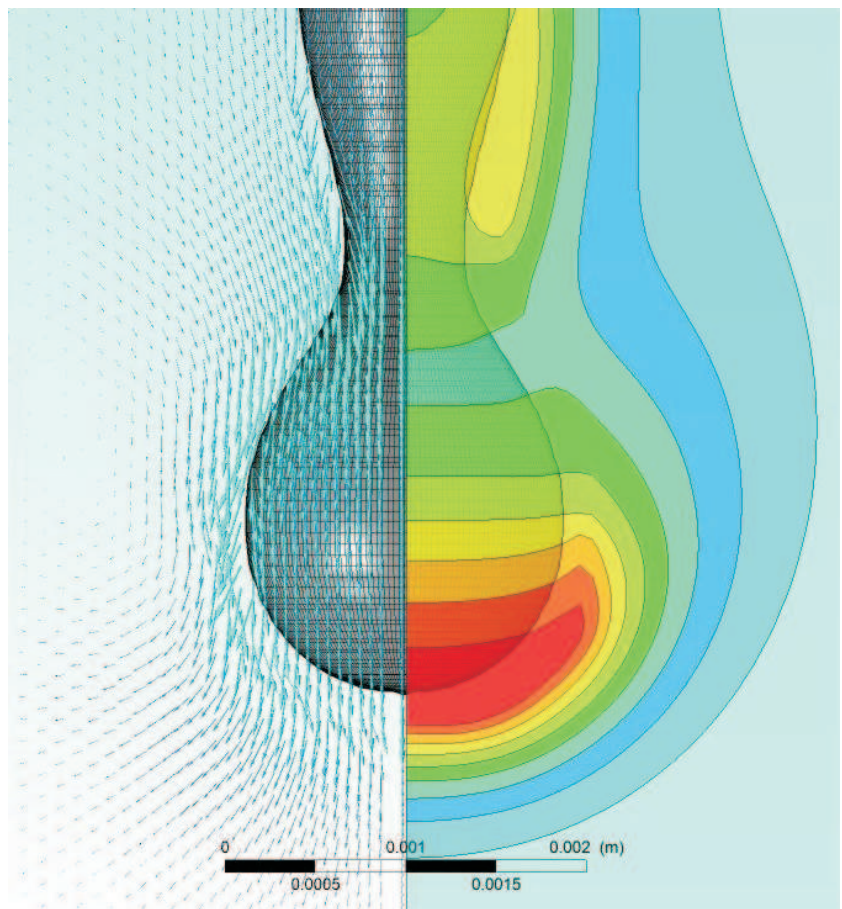
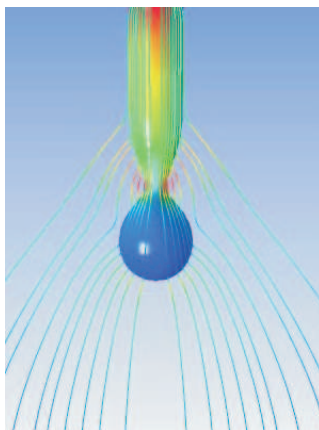


Aktuelle Informationen aus dem  
Institut für  
Schweißtechnik und Fügetechnik  
der RWTH Aachen

45



Simulation der Tropfenablösung beim MSG-Schweißen:  
Hochgeschwindigkeitsaufnahme (links oben), elektrisches Feld (links unten),  
Simulationsnetz und Temperaturfeld (rechts)

## Themen:

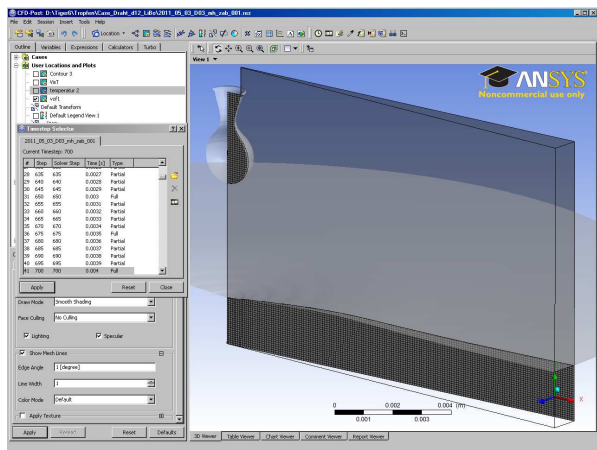
- Simulation des Tropfenübergangs beim MSG-Impulslichtbogenschweißen
- Ereignisorientierte Regelung des MSG-Impulsprozesses
- News

# Simulation des Tropfenübergangs beim MSG-Impulslichtbogenschweißen Simulation of the Droplet Transfer in Pulsed Arc Processes

Dr.-Ing. (RUS) O.Mokrov, M. Sc. A.Zabirov

Um die komplexen Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge von MSG-Prozessen besser zu verstehen, können der Tropfenübergang und die Lichtbogeneffekte in einer numerischen Simulation nachvollzogen werden. In Rahmen einer Zusammenarbeit mit dem Institut für Oberflächen- und Fertigungstechnik der TU Dresden wird ein Gesamtmodell dazu entwickelt. Ein Teilmodell der Tropfenablösung basiert auf der Volume-of-Fluid-Methode (VOF), um die gekoppelten Transportphänomene des Schmelzvorgangs, der Tropfen-Formation, der Ablösung und des Übergangs auf das Werkstück zu simulieren.

Für die Simulation wird eine kommerzielle Finite-Elemente-Software ANSYS CFX verwendet. Unter der Annahme einer Rotationssymmetrie kann der Simulationsbereich der MSG-Schweißanlage als ein 4-Grad-Segment abstrahiert werden, s. Bild.



Repräsentativer Simulationsbereich des Metalltransferprozesses beim MSG-Schweißen

Der Berechnungsbereich ist aufgeteilt in einen Drahtbereich mit einem Anodengebiet, einen Lichtbogenbereich und einen Werkstückbereich mit einem Kathodengebiet. Die Anoden- und Kathodenschichten werden in diesem Modell als spezielle Bedingungen an der inneren Phasengrenze betrachtet, um die Berechnung zu vereinfachen. In diesem Bereich wird ein Impulsstrom zur Elektrode durch das Kontaktrohr am oberen Ende des Berechnungsbereiches eingespeist. Zwischen der Elektrode und dem Werkstück befindet sich Lichtbogenplasma. Die Elektrode wird durchgehend zugeführt und schmilzt an der Spitze aufgrund der durch den elektrischen Strom und den Lichtbogen bedingten Erwärmung. Die Tropfen, die sich aus der geschmolzenen Elektroden spitze formen, lösen sich ab und werden zum Werkstück übertragen. Im gesamten Berechnungsbereich befindet sich inertes Schutzgas (Argon). Die Standardgleichungen der Strömungsdynamik

For the better understanding of the complex cause-effect relationships of GMA Welding, we can reconstruct the droplet transfer and arc effects in the numerical simulation. In the cooperational work with the Institute of Surface and Manufacturing Technology TU Dresden an entire model will be produced. A part of the droplet separation is based on the Volume-of-Fluid Method (VOF) which helps to simulate the linked transport phenomenae of the melting process, the droplet formation, the separation and the transfer on the workpiece.

(Erhalt von Masse, Impuls und Energie) werden modifiziert, um elektromagnetische Effekte zu berücksichtigen. Die Simulation wird für das Schweißen mit Schweißdraht SG2 mit einem Drahtdurchmesser von 1,2 mm durchgeführt, dessen temperaturabhängigen Eigenschaften Wärmekapazität, Dichte, Wärmeleitfähigkeit und Viskosität sind. Der relevante Temperaturbereich des Schweißmaterials liegt zwischen 300 und 3000 K. Die Eigenschaften des Ar-Schutzgases und des Plasmas für den Bereich zwischen 300 und 15000 K sind aus der gemeinsamen Forschung mit dem „E. O. Paton Electric Welding Institute“ (Kiew, Ukraine) übernommen.

Die Tropfenablösung ist maßgeblich von der elektromagnetischen Kraft (Lorenzkraft) und damit entsprechend von den Prozessen im Lichtbogen und der Anodenschicht abhängig. Sobald die Tropfenablösung des Metalls im Plasma von einem genaueren Lichtbogenmodell getrennt simuliert wird, muss trotzdem ein Plasmaersatzmodell verwendet werden, um den elektrischen Stromfluss zu ermöglichen.

Die Simulationsberechnung mit einem Netz aus 40188 Knoten dauert ca. 3-4 Tage. Die Simulationsergebnisse sind teilweise auf der Titelseite dargestellt. Der Schweißstromzeitverlauf bei der Simulation folgt dem entsprechenden Programm der Stromquelle Cloos Quinto Profi II, welche auch für die Realexperimente verwendet wird.

Die Simulationsergebnisse des Metalltransferverlaufes sowie der Tropfengröße werden mit den experimentellen Daten verglichen. Die Ergebnisse zeigen ein vereinfachtes Zwischenmodell bei guter qualitativer Übereinstimmung. Für die quantitative Vorhersage des MSG-Prozesses sollte trotzdem ein viel genaueres Lichtbogenmodell eingesetzt werden, welches von der TU Dresden bereits entwickelt wird. Eine ausführliche Beschreibung der Lichtbogensimulation und deren Kopplung mit dem Tropfenabläsungsmodell soll in einem Artikel der Zeitschrift „Schweißen und Schneiden“ veröffentlicht werden. Diese Arbeit wurde im Rahmen des DFG-Projektes RE-2755/6-1 „Die Erweiterung des Verständnisses von Lichtbogen-Prozessen beim MSG-Schweißen durch Modellierung und Visualisierung von physikalischen Zusammenhängen“ durchgeführt.

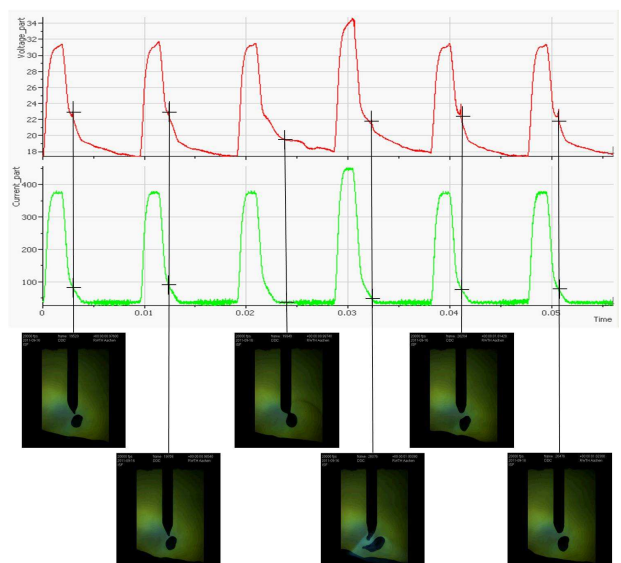
K. Willms, J. Kruscha, M. Beckers, G. Buchholz, U. Reisgen

Im Rahmen des DFG/AiF Forschungsclusters „Schweißlichtbogen – Physik und Werkzeug“ wurde am ISF in Zusammenarbeit mit dem IIM der Hochschule Lausitz eine ereignisorientierte Regelung für den MSG-Impulsschweißprozess entwickelt. Diese stellt eine Ergänzung zu den existierenden, zeitgesteuerten Regelungskonzepten für den Impulsschweißprozess dar. Basierend auf der Echtzeitauswertung transients Prozesssignale werden Informationen über den aktuellen Prozesszustand ermittelt und der Schweißprozess auf Grundlage dieser Informationen beeinflusst.

Im Rahmen der Arbeiten wurde zunächst unter Nutzung von interner und externer Messsensorik eine umfangreiche Datenbasis in Form von synchronisierten, hochaufgelösten Zeitreihen der primären Prozessgrößen Strom und Spannung, sowie Hochgeschwindigkeitslichtbildern erstellt. Weiterhin wurden zur Generierung von Prozessverständnis Module zur Signalverarbeitung für eine differenzierte Analyse und Methoden zur automatisierten Bildbearbeitung von Hochgeschwindigkeitskameraaufnahmen entwickelt. Zur systematischen Analyse der Strom- und Spannungsverläufe wurden die transienten Prozessgrößen durch geeignete Operationen aufbereitet und in prozessphasenbewertende statistische Kenngrößen überführt. Diese Kenngrößen sind ein Instrument zur Bewertung des Prozesses und zeigen Wege zur Klassifikation und Verbesserung der Stabilität und Regelmäßigkeit auf.

Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt beinhaltet die Entwicklung und Realisierung eines echtzeitfähigen Sensormoduls zur Bereitstellung von Informationen über Prozessereignisse und Systemzustände mittels interner Sensorik. Für den Impulslichtbogenprozess detektiert das Sensormodul aus den transienten Strom-/Spannungssignalen den Zeitpunkt der Tropfenablösung und daraus abgeleitete prozessphasenbezogene Energieeinträge. Ferner stellt das Modul durch Korrelation mit Ergebnissen der Bildauswertung der Hochgeschwindigkeitsaufnahmen Informationen über die Tropfeneigenschaften (Tropfengröße, Tropfengeschwindigkeit) modellhaft zur Verfügung. Mit diesen Informationen wurde ein Regelungskonzept realisiert, das eine Tropfenablösung im nächsten Puls bei Nichtablösung im vorhergegangenen Puls initiiert (DDC, Droplet Detachment Control) und im statistischen Mittel die geforderten Tropfeneigenschaften ermittelt und durch Abgleich mit den Tropfeneigenschaftsmodellen überwacht. Letztlich ist durch Detektion der Tropfenabgänge die Definition eines ereignisorientierten Zeitintervalls (Tropfenintervall) möglich, welches den jeweils aktuellen Energieumsatz während der Tropfenbildung beinhaltet.

*Within the scope of the works of the joint research cluster “welding arc – physics and tool” an event motivated control for the pulsed gas metal arc welding process has been developed at the ISF in collaboration with the IIM of the Lausitz University of Applied Science. This control concept represents an enhancement to given time controlled concepts. Based on real time analysis of transient welding current and voltage signals, information regarding the actual process situation are gathered and processed and used for control intervention.*



*Regeleingriff DDC bei erkannter Nichtablösung des Tropfens (Detektion Nichtablösung bei Puls 3, Eingriff bei Puls 4)*

Mit dem erarbeiteten Regelungskonzept ist zum ersten Mal eine Überwachung und Sicherstellung eines gleichmäßigen Zusatzwerkstoffüberganges, eine Vermeidung von Prozessinstabilitäten durch nicht abgelöste Tropfen und letztlich eine Überwachung sowie Beeinflussung der mittleren Tropfeneigenschaften nur auf Basis der Auswertung der primären Prozessgrößen in Echtzeit möglich.

Hiermit wird dem industriell relevanten Konzept des definierten Werkstoffübergangs durch Nutzung des MSG-Impulslichtbogens zum ersten Mal eine Möglichkeit zur Kontrolle und Beeinflussung des den prozessdefinierenden Werkstoffübergangs gegeben. Das entwickelte und realisierte Regelungskonzept stellt somit eine absolute Neuerung dar, welche existierende Regelungskonzepte ergänzt.

Das IGF-Vorhaben 15.872 BG der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und –entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert. Für diese Förderung sei gedankt.



## ISF Intern

Auch im letzten halben Jahr hat das ISF wieder einige neue Kollegen begrüßen können. Seit dem 20.10.2011 unterstützt Herr Marc Essers die Abteilung „Kleinteilfügen“ und Herr Stephan Klein seit dem 01.01.2012 die Elektronenstrahlschweißabteilung. In der Lichtbogenabteilung wurde am 16.01.2012 Herr Matthias Angerhausen eingestellt. Der Bereich Unterpulverschweißen wird seit dem 12.03.2012 durch Herrn Johannes Schäfer unterstützt. In der Chemie ist seit 01.02.2012 Frau Olga Pfenning als Laborantin beschäftigt.

Nach langjähriger erfolgreicher Mitarbeit verließen im letzten halben Jahr Herr Heribert Kaever zum 30.11.2011 und Frau Annegret Lentz zum 29.02.2012 das Institut und genießen den wohlverdienten Ruhestand. Außerdem verließen Herr Eduardo Rossiter zum 31.12.2011 und Herr Alexander Harms zum 31.03.2012 das Institut um neue Herausforderungen in der Industrie anzunehmen.

Das ISF bedankt sich bei den ausgeschiedenen Kollegen und wünscht Ihnen sowie den neuen Kollegen viel Erfolg für die Zukunft.

Vier Mitarbeiter haben im letzten Halbjahr am ISF erfolgreich ihre Promotion abgeschlossen: am 07.11.2011 Herr Stefan Longerich, am 18.11.2011 Frau Anja Stieglitz, am 20.12.2011 Herr Dietrich Faidel vom Forschungszentrum Jülich und am 19.04.2012 Herr Dirk Kampffmeyer.

Das ISF kann erneut glücklichen Eltern zum Nachwuchs gratulieren. Im November erblickte Mika Buchholz das Licht der Welt. Anfang des Jahres gab es dann erneut einen kleinen Babyboom im ISF. Im Februar wurden Mira Sharma, Marla-Sophie Scheik und Julian Schleser geboren.

## Veranstaltungen

Am 17.11.2011 veranstaltete das ISF ein externes Kolloquium zum Thema „Elektromobilität“.

Das ISF war auf der diesjährigen Hannover Messe (23. - 27. April 2012, Stand D20/1) im Rahmen des neuen Themenparks Klebtechnik, der unter dem Motto „Innovationen für strukturelles Kleben“ stand, vertreten.

Die „American Welding Society“ (AWS), der „Deutsche Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V.“ (DVS) und das „International Institute of Welding“ (IIW) veranstalteten vom 26. bis 30. März 2012 in Aachen die zweite internationale Konferenz zum Elektronenstrahlschweißen „International Electron Beam Welding Conference“ (IEBW).



Teilnehmer der „International Electron Beam Welding Conference 2012“

Das ISF war mit mehreren Fachvorträgen an der Konferenz beteiligt und präsentierte interessierten Teilnehmern die Elektronenstrahl-Schweißanlagen des Instituts. In diesem Rahmen wurde auch die neu angeschaffte Mikro-Elektronenstrahlanlage vorgestellt. Diese soll in Zukunft für das Kleinteilfügen und Mikrostrukturieren eingesetzt werden.



Mikro-Elektronenstrahlanlage

## Vorankündigungen

Am 04. und 05. September wird das ISF zusammen mit der „SVV Süddeutscher Verlag Veranstaltungen GmbH“ in Stuttgart die klebtechnische Fachtagung „Innovative Verbindungstechnik – Kleben im Automobilbau“ veranstalten.

Am 24.10.2012 wird im ISF zum Thema „Simulation in der Füge- / Schweißtechnik“ ein externes Kolloquium stattfinden. Am 25.10.2012 wird das ISF einen Schnupperkurs „Schweißsimulation“ für potentielle Anwender schweißtechnischer Software zur Prozess- und Struktursimulation anbieten.

Herausgeber:	Freundeskreis des Instituts für Schweißtechnik e.V. Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik, ISF Institutsleiter Univ.-Prof. Dr.-Ing. U. Reisgen Anschrift: Pontstr.49, 52062 Aachen fon: +49(0)241/8093870/71 fax: +49(0)241/8092170 email: office@isf.rwth-aachen.de internet: www.wir-fügen-alles.de Redaktion: Dipl.-Ing. K. Lenz
--------------	---