

Teilprojekt B5

Titel

Adaptive Rechengitter in Raum und Zeit zur effizienten Simulation bewegter Phasengrenzen

Projektleitung/-bearbeitung

Prof. Marek Behr, Ph.D. (Teilprojektleiter)

Violeta Karyofylli, M.Sc. (Doktorandin)

CATS - Lehrstuhl für computergestützte Analyse technischer Systeme, Schinkelstraße 2, 52062 Aachen

Aufgabenstellung

Das MSG-Schweißen (MSG) gehört zur Familie der Lichtbogenschweißverfahren und verwendet eine Plasma-Lichtbogenentladung zwischen Draht und Schweißbad dargestellt. Die Plasmalichtbogenentladung entwickelt hohe Temperaturen an den Elektroden, was neben der Erwärmung des Kathoden-Werkstücks zum Abschmelzen des Anodendrahtes und zur Tropfenbildung führt. Der Tropfen wird anschließend abgelöst und durch das Lichtbogenplasma zum Werkstück geführt. Während die Hauptantriebskräfte für die Tropfenablösung beim MSG Schweißen elektromagnetischer Natur sind, haben auch die Schwerkraft, die Oberflächenspannung, der Lichtbogensdruck und nichtisotherme Phänomene einen Einfluss auf die Tropfenbildung und -ablösung, indem Form, Volumen, Frequenz und Beschleunigung des abgelösten Tröpfchens reguliert werden. Da die Gradienten an der Flüssigkeits-Gas-Grenze innerhalb des Tropfens aufgrund der thermischen und elektromagnetischen Lichtbogen-Tröpfchen-Ansatzprozesse sehr hoch sind, ist eine schnelle und robuste Methode erwünscht, die eine lokale Verfeinerung in Zeit und Raum ermöglicht.

Vorgehensweise

Die Tropfenbildung und Ablösung beim MSG-Schweißen wird in einem ersten Ansatz durch eine inkompressible, nicht isotherme

Zweiphasenströmung mit Phasenübergangseffekten beschrieben, wobei die elektromagnetischen Prozesse nicht berücksichtigt werden. Diese Strömung wird durch die transienten inkompressiblen Navier-Stokes-Gleichungen bestimmt, da wir annehmen, dass die uns interessierenden Fluide inkompressibel und Newton'sch sind, die mit der Wärmegleichung gekoppelt sind. Für die Beschreibung der bewegten Tropfenfront wird ein auf der Euler'schen Formulierung basierendes Grenzflächenerfassungsverfahren, wie z.B. die Level-Set-Methode, verwendet, da es inhärent die topologischen Veränderungen der Grenzfläche berücksichtigen kann. Die Grenzfläche wird implizit durch das Level-Set-Feld auf einem festen Netz beschrieben.

Um die Dimensionalität und damit die Komplexität unseres Problems zu reduzieren, verwenden wir eine achsensymmetrische Beschreibung der herrschenden Gleichungen. Eine stabilisierte Finite-Elemente-Methode ist auch für unstrukturierte Raum-Zeit-Netze geeignet und erlaubt uns eine Raum-Zeit-Verfeinerung in der Nähe der sich entwickelnden Grenzfläche. Die Raum-Zeit-Methode hat die inhärente Fähigkeit, völlig unstrukturierte Netze mit unterschiedlichem Verfeinerungsgrad nicht nur in der räumlichen, sondern auch in der zeitlichen Dimension zuzulassen, was uns die Flexibilität gibt, eine Art lokale Zeitschritte für unsere Simulationen zu verwenden.

Ergebnisse

Mehrere numerische Beispiele wurden zur Validierung des unstrukturierten Raum-Zeit-Netz-Lösers, der achsensymmetrischen Formulierung der regierenden Gleichungen, der Enthalpie-Porosität-Methode und des Verfeinerungsschemas verwendet. Die Beispiele umfassen das Schmelzen einer Galliumplatte, einen tropfenden Tropfen und schließlich das kompliziertere Beispiel des GMA-Schweißens.

Zusammenfassung und Ausblick

Zukünftige Arbeiten beinhalten die Kombination von beliebiger zeitlicher Verfeinerung mit beliebiger räumlicher Verfeinerung in der Nähe der sich ausbreitenden Schnittstelle. Das Verfeinerungskriterium sollte auf einer geeigneten a-posteriori-Fehlerschätzung lokaler oder globaler Größen von Interesse

beruhen, wie beispielsweise der vorderen Krümmung, Drucksprüngen in der Nähe der Grenzfläche, Materialdiskontinuitäten und Gradienten im Viskositätsfeld.

Veröffentlichungen

- [E1] V. Karyofylli, L. Wendling, M. Make, N. Hosters, M. Behr (2019). Simplex space-time meshes in thermally coupled two-phase flow simulations of mold filling. *Computers & Fluids*, 192, 104261.
- [E2] V. Karyofilli, L. Kamalidnova, M. Simon, O. Mokrov, U. Reisgen, M. Behr (2019). Axisymmetric two-phase flow simulations on space-time meshes. In: Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics, 19(1), e201900409.

Andere Veröffentlichungen:

- [E1] V. Karyofilli, M. von Danwitz, L. Wendling, M. Simon, O. Mokrov, U. Reisgen, M. Behr (2019). Application of space-time refinement for droplet formation during GMA welding. In: Book of Abstracts: 5th ECCOMAS Young Investigators Conference YIC.