

DISS. ETH No 11107

FE Simulation of Bulk Forming Processes with a Mixed Eulerian-Lagrangian Formulation

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by

LONGCHANG TONG

M. Sc. Tsinghua University, Peking, China

born on 6th Feb. 1951

citizen of P. R. China

accepted on the recommendation of

Professor Dr. J. Reissner, examiner

Professor Dr. E. Anderheggen, co-examiner

1995

Zusammenfassung

Die Methode der finiten Elemente wird seit mehr als zwanzig Jahren zur Simulation von Massivumformprozessen eingesetzt. Einem echten industriellen Einsatz standen bisher jedoch einerseits die Schwierigkeiten mit dem extrem hohen Rechenaufwand und andererseits die erheblichen Netzverzerrungen, verursacht durch grosse Deformationen, im Wege. Durch Anwendung von z.T. manuellen Remeshing-Verfahren konnte das letztere Problem zwar teilweise entschärft werden, keines der bisher existierenden Programme vermochte jedoch allgemeine 3D-Probleme effizient zu lösen.

Dank der stark gestiegenen Computerleistung ist es neulich möglich, Simulationen an realen Teilen durchzuführen. Keine zufriedenstellenden Lösungen liegen jedoch nach wie vor für das Remeshingproblem vor.

In der vorliegenden Arbeit wird ein neu entwickeltes FEM-Programm vorgestellt, welches auf der gemischten Lagrange-Euler-Formulierung (ALE) beruht. Dieses verwendet in Zonen mit starken Deformationen Euler-Netze. In den übrigen Zonen werden Lagrange-Elemente eingeführt, welche der Form der deformierten Bereiche folgen.

Die konvektiven Terme in den Euler-Zonen werden bei der Aufdatierung des Netzes mitberücksichtigt. Um die beiden Netzarten zu verbinden, werden am Zonenübergang neue Elemente eingeführt.

Die ALE-Methode eignet sich besonders gut zur Simulation von Strangpress-, Drahtzieh- und Walzprozessen. Bei diesen Verfahren kann das Rechengebiet klar in Euler- und Lagrange-Zonen unterteilt werden. Auch die Kriterien für das Generieren oder Löschen von Elementen sind einfach zu definieren.

Die ALE-Formulierung ist darüber hinaus auch bei allgemeinen Massivumformprozessen anwendbar. Die Knoten werden dazu in zwei Gruppen, nämlich Oberflächenknoten und interne Knoten, unterteilt. Die Oberflächenknoten werden gemäss der Lagrange-Formulierung aufdatiert, wohingegen die internen Knoten stationär bleiben. Da dadurch das Euler-Netz regelmässig bleibt und die Oberflächenknoten relativ einfach angepasst werden können, wird eine Netzverzerrung vermieden. Dieser Algorithmus hat sich bei der Simulation von 2D-Massivumformprozessen als äusserst vorteilhaft erwiesen.

Aufbauend auf diesem Konzept wurde das Special-Purpose-Programm 'PressForm' entwickelt. Der dazugehörige Preprozessor vermag sowohl das Rechnernetz als auch die Diskretisierung der Presswerkzeuge automatisch zu generieren, wobei einfach zu spezifizierende Eingabedaten verwendet werden. Zur Lösung der grossen linearen Gleichungssysteme wird ein iterativer Konjugierte-Gradienten-Löser mit Element-by-Element-Speicherung (EBE) eingesetzt. Für die Simulation von Strangpressvorgängen kann das Netz automatisch kontrolliert und falls notwendig, neu generiert werden.

Da bei Massivumformprozessen der Einfluss der Temperatur oft entscheidend ist, verfügt das Programm ebenfalls über eine schwach gekoppelte thermische Analyse.

Die Anwendbarkeit der Methode wird an zahlreichen Beispielen aus dem industriellen Umfeld getestet. Diese zeigen Möglichkeiten zur Optimierung der Prozessparameter und zur Voraussage des Versagens.

Das Ziel zukünftiger Entwicklungen ist die Bereitstellung vollautomatischer adaptiver Netzgeneratoren für den allgemeinen 3D-Fall. Eine zusätzliche Beschleunigung des linearen Gleichungslösers könnte die Leistung des Gesamtsystems zudem weiter verbessern. Für die nahe Zukunft kann mit einem stark zunehmenden Einsatz der FE-Simulation in der Massivumformung gerechnet werden.

Abstract

Efforts have been made for a long time to establish the finite element method (FEM) in industrial applications to simulate bulk forming processes. The main difficulties arise, on the one hand, from the enormous computational costs, and, on the other, from the resulting large deformations during bulk forming processes, which cause the computational mesh to deteriorate. Remeshing algorithms can solve partially the latter problem but unfortunately none of the existing packages has been able to solve generally 3-D complex forms.

However, the rapid development of computer technology has made it possible to compute real 3-D forming parts. Therefore, solving the problem caused by the distortion of the mesh becomes a very urgent task.

A method is proposed in the present work based on the concept of an arbitrary Lagrangian-Eulerian formulation (ALE). This method uses Eulerian meshes to avoid strong mesh distortion in the zones of strong deformation, and defines Lagrangian nodes in other zones to follow the shape of the deformed domain. The convective terms in the Eulerian zones are taken into account when the mesh is updated. New elements are generated or some elements are deleted to couple these two kinds of meshes. This is especially suitable for the simulation of extrusion, wire drawing and rolling processes. In these cases the domain can be clearly divided into two kinds of zones, namely Eulerian and Lagrangian zones. The cases when the elements should be generated or deleted are also easy to prescribe.

For the FE simulation of general bulk forming processes the ALE formulation can also be applied. The nodes are divided up into two groups, namely surface nodes and internal nodes. The surface nodes are updated as for a Lagrangian mesh and the internal nodes act as an Eulerian mesh. The distortion of the mesh is eliminated since the Eulerian mesh remains regular and it is relatively easy to adjust the surface nodes. This algorithm has shown its superiority when it is used in the simulation of 2-D bulk forming processes.

An FE program PressForm has been developed according to this concept as an easy to use special purpose package. The preprocessor is able to generate the computational

mesh as well as the discretization of the extrusion die and punch using very simple input data. A preconditioned conjugate gradient iterative solver together with the element-by-element (EBE) method is used to solve large systems of linear equations. For the simulation of extrusion processes the mesh is also automatically controlled and regenerated where necessary.

A weakly coupled thermal analysis with the ALE formulation has also been implemented in PressForm. This is an important aspect, especially for the simulation of bulk forming processes of non-ferrous metals.

The program has been well tested using different examples. These computational examples show the validity of this formulation and the power of the method to simulate forming processes as well as to predict possible failures.

Further development should include an adaptive mesh generator and regenerator for general 3-D cases. Acceleration of the solution procedure for the set of linear equations is also a very important factor in order to achieve better performance. More and more applications of FE simulation in the bulk forming industry can be expected in the near future.