

Prozessoptimierte numerische Verfahren zur Auslegung von wirkmedienunterstützten Umformvorgängen

Doctoral Thesis

Author(s):

Berg, Hans Jelle

Publication date:

1997

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001846850>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

DISS. ETH 12394

Prozeßoptimierte numerische Verfahren zur Auslegung von wirkmedienunterstützten Umformvorgängen

Abhandlung zur Erlangung des Titels
Doktor der Technischen Wissenschaften
der
Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich

vorgelegt von
Hans J. Berg
Dipl. Masch.-Ing. ETH
geboren am 01.10.67
in NL-Groningen

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. J. Reissner, Referent
Prof. Dr. E. Anderheggen, Korreferent
Prof. Dr. P. Hora, Korreferent

1997

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit stellt einen Beitrag zur Behandlung der beiden Verfahren Fluidzell und Innenhochdruckumformen mit Hilfe der numerischen FEM-Simulationsverfahren dar. Im Unterschied zu den heute bereits stark verbreiteten Tiefzieh- resp. Streckziehverfahren mit starren Werkzeugen wird bei den hier behandelten Verfahren die Werkstückumformung durch deformierbare ('Fluidzellverfahren') oder flüssige Medien (Innenhochdruckumformverfahren) ausgelöst.

Insbesondere die Simulation des Fluidzellverfahrens stellt große Anforderungen an das Simulationsverfahren dar, da neben der Werkstückdeformation ebenfalls die Verzerrung der Gummimembran berücksichtigt werden muß. Die exakte Simulation des Kontaktes zwischen zwei deformierbaren Körpern stellt einen zusätzlichen Schwierigkeitsgrad dar.

Sollen die Simulationsverfahren einen industriellen Beitrag liefern können, so ergeben sich weitere Anforderungen. Die Simulationsverfahren müssen für komplexe Teile und reale, teilweise wärmebehandelte Werkstoffe möglichst exakte Ergebnisse liefern, wobei die Rechenzeiten im industriell vertretbaren Rahmen bleiben müssen.

Zur befriedigenden Lösung obiger Aufgaben sind die allgemein gestalteten FEM-Pakete nur beschränkt geeignet. Die vorliegende Arbeit stellt durch Weiterentwicklung der zentralen numerischen Komponenten der FEM-Simulation - der Elementformulierung, des Stoffgesetzes und der Kontaktformulierung - erst die Voraussetzungen zur realen Simulation der obengenannten Prozesse her.

Als wissenschaftliche Schwerpunkte wurden dabei folgende Themen vertieft behandelt oder neue Lösungen vorgeschlagen:

Neue Schalenelementformulierung, welche die Momente durch Korrekturkräfte senkrecht zur Elementebene ersetzt. Die Rotationen werden aus den Normalvektoren in den Knoten ermittelt. Dies ermöglicht eine vereinfachte Berechnungsweise des Biege widerstandes ohne negative Auswirkungen auf die Ergebnisgenauigkeit.

Einführung der aus der mikrostruktur abgeleiteten Fließortbeschreibung nach Barlat-Lian, welche eine exakte Beschreibung der Aluminium-Legierungswerkstoffe

erlaubt. Zur stabilen Integration des elasto-plastischen Stoffgesetzes unter Verwendung dieses nichtquadratischen Fließortes wurde ein modifiziertes Integrationsverfahren vorgeschlagen.

Simulation des Kontaktes unter Verwendung einer patchweisen Werkzeugvernetzung. Verbesserung der Kontaktalgorithmen zur korrekten Behandlung der Randbedingungen in Patch-Randbereichen mit nicht zusammenhängender Vernetzung.

Optimierung der Rechengeschwindigkeit durch kontrollierte Beschleunigung der Prozesse. Untersuchung der Kriterien zur gezielten Transformation der Druckkurve, ohne dabei den Einfluß der dynamischen Kräfte zu erhöhen.

Die oben erwähnten theoretischen Beiträge wurden im Rahmen eines neu entwickelten expliziten FEM-Paketes (ExForm) umgesetzt und an zahlreichen industriellen Anwendungen getestet. Des Umfanges wegen konnten nur einige dieser Anwendungen als Beispiele in der Arbeit aufgeführt werden. In der Zwischenzeit wird das Programm von zahlreichen in- und ausländischen Firmen als Simulationstool genutzt.

Die hohe Akzeptanz in der Industrie ist einerseits auf die einfache Handhabung und andererseits auf die den Prozessen angepaßten Berechnungsmodelle zurückzuführen. Das Programm kann zur Kontrolle der Prozeßauslegung bei neuen Bauteilen eingesetzt werden. Simulationen von Innenhochdruckumformprozessen können binnen einiger Stunden auf Rechnern der Workstation-Klasse durchgeführt werden. Simulationen vom Fluidzellverfahren brauchen wegen der höheren Komplexität höhere Rechenzeiten, da sowohl die Deformation der Gummimembran als auch die Kontaktbedingungen zwischen der Membran und dem Blech mitberücksichtigt werden muß.

Abstract

The thesis is a contribution to the finite element simulation of hydroforming and flexforming processes. In these processes the forming of the workpiece is induced by a fluid under pressure (hydroforming) or a deformable body (flexforming). This is the main difference to the well known deep-drawing and stretching processes where a rigid punch is used.

Especially the simulation of flexforming processes requires efficient numerical algorithms, since the deformation in the workpiece as well as in the rubber diaphragm are calculated. Also the contact conditions between the two deformable bodies have to be treated carefully in order to get exact results.

If an industrial use is requested, new demands on the mathematical modelling arise. It must handle complex workpiece geometries and different material descriptions, which includes heat-treated materials. Although the processes are complex, the results have to be as exact as possible and the computing time must be short.

For the solution of the tasks mentioned above, general-purpose FE-programs are only partly suitable. The thesis shows some further developments of the most important formulations in a FEM-program, which are required for the simulation of forming processes. These are: the elementformulation, the material law and the contact conditions.

The thesis contains an extended discussion of or new proposed ideas for the following topics:

A shell element with a new formulation of the bending stiffness. Instead of the moments, correction forces perpendicular to the element plane are introduced in each node. In this way the rotational degrees of freedom which are difficult to calculate properly, can be neglected without affecting the accuracy.

The yield-function after Barlat-Lian which bases on micro-structure investigations, for the description of aluminium materials. A scheme for a stable integration of the constitutive equation in conjunction with this non-quadratic yield curve is proposed.

Simulation of the contact conditions between the deformable workpiece and a rigid tool with a non-continuous mesh. Small holes result between the different meshes, and a special treatment of the contact conditions of the workpiece nodes landing in these holes is required.

Shortening the simulation time using virtual process acceleration. Investigation on selective criterias for the transformation of the pressure curve without increasing the influence of the inertia forces.

The theoretical contributions to the finite element method mentioned above are part of the new explicit code ExForm. The program has been tested on numerous industrial examples. Due to the extensive description each example requires, only a few applications are shown in the thesis. The program is now used as a simulation tool by different companies in Switzerland and abroad.

The program has reached a high degree of acceptance in the industry due to the user-friendly handling and optimal designed numerical algorithms for certain forming processes. It is used for the process lay-out of new forming parts. The simulation of hydroforming processes can be carried out on a workstation within some hours. Due to the more complex contact algorithms between the rubber membrane and the sheet, and the consideration of the deformation in the diaphragm, the computation of flexforming processes needs time.