



Doctoral Thesis

Numerische Simulationsmodelle zur Voraussage des Versagens bei duktilen Blechwerkstoffen

Author(s):

Hora, Pavel

Publication Date:

1990

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000592513> →

Rights / License:

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

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

29. Mai 1991

Diss. ETH

Diss. ETH Nr. 9304

**Numerische Simulationsmodelle zur
Voraussage des Versagens bei duktilen
Blechwerkstoffen**


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

vorgelegt von
Pavel Hora
Dipl. Masch. Ing. ETH
geboren am 6.6.1955

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

1990

Institut für Umformtechnik
Prof. Dr. J. Reissner
ETH-Zentrum 8092 Zürich



Kurzfassung

Blech-Hohlteile werden unter Einsatz des Streckzieh- und des Tiefziehverfahrens durch plastische Umformung aus ebenen Blechplatten hergestellt. Eine der häufigsten Versagensarten bei diesen Fertigungsverfahren ist das Versagen des Werkstücks durch duktile Rissbildung.

In neuester Zeit wird einerseits zur Ermittlung der Verfahrensgrenzen und andererseits zur Optimierung der Umformparameter in verstärktem Mass die Methode der Finiten Elemente eingesetzt. Die Anwendung der numerischen Simulation des Umformvorgangs ist jedoch nur dann nützlich, wenn sie auch eine Voraussage des Versagens ermöglicht. Obschon auf diesem Gebiet seit über 40 Jahren geforscht wird, existieren heute jedoch noch keine zufriedenstellenden Methoden, die eine zuverlässige Versagensvoraussage ermöglichen würden. Der Grund dafür liegt einerseits in der Komplexität des realen Versagensvorgangs, der sowohl durch das nichtlineare Werkstoffverhalten als auch zusätzlich durch verschiedene materielle und geometrische Inhomogenitäten mitbeeinflusst wird. Weitere Probleme ergeben sich aus der Anwendung der FE-Methode, die im Bereich des Versagens in der Regel nicht mehr eine korrekte Voraussage des Werkstoff-Flusses zu liefern vermag.

Die vorliegende Arbeit zeigt eine Möglichkeit zur systematischen Behandlung dieses Fragenkomplexes auf. Themenschwerpunkte bilden dabei das Versagensmodell, das Werkstoffmodell, die Werkstoffinhomogenitäten sowie Probleme in Zusammenhang mit der Anwendung der FE-Methode zur korrekten Voraussage des Werkstoff-Flusses im Versagensbereich.

Im Rahmen der Arbeit wird ein Versagensmodell eingeführt, das die Ausbildung des lokalisierten Deformationszustands als Versagensursache annimmt. Es wird dabei gezeigt, dass bei korrekter Anwendung der FE-Methode der kinematische Zustand der lokalen Einschnürung real nachgebildet werden kann. Die numerische Instabilität der Lösung, die unter idealisierten Annahmen auftritt, kann durch Einführung von Inhomogenitäten materieller oder geometrischer Art unterdrückt werden.

Die neuen Erkenntnisse in Zusammenhang mit dem Werkstoffmodell basieren auf dem Nachweis, dass die Ausbildung der lokalisierten Einschnürung keine besonderen Werkstoffeigenschaften (wie zum Beispiel Werkstofffestigung oder Unstetigkeit des Fliessorts) voraussetzt. Anhand eines einfachen numerischen Modells mit einem einfachen kinematischen Ansatz wird nachgewiesen, dass die Verminderung der

Verfestigungszunahme, wie sie die meisten metallischen Werkstoffe mit wachsender plastischer Dehnung aufweisen, eine genügende Bedingung darstellt.

Aufgrund bisheriger experimenteller Untersuchungen ist bekannt, dass bestimmte Inhomogenitäten das Versagen und die Lage des Risses entscheidend beeinflussen.

Das in dieser Arbeit benützte Versagensmodell erlaubt die Mitberücksichtigung verschiedener geometrischer und materieller Inhomogenitäten in der Simulation und liefert Erkenntnisse über deren Einfluss auf das Versagen. Es wurden deshalb beide Arten der Inhomogenitäten in die Untersuchung einbezogen, wobei nachgewiesen werden konnte, dass insbesondere materielle Inhomogenitäten, die infolge des kristallinen Charakters der metallischen Werkstoffe auftreten, zum Teil dominanten Einfluss auf das Versagen ausüben.

Wegen der kleinen Ausmasse der Versagenszone ('lokale' Einschnürung) ist die Simulation des realen Versagens mit Hilfe der FE-Methode nicht an Realteilen, sondern nur an Testproben ('Kleinstrukturen') möglich. Um bei realen Teilen ('Grossstrukturen') trotzdem eine realistische Versagensvoraussage zu ermöglichen, wurden die an Kleinstrukturen ermittelten kritischen Werte in netzgrössenabhängige Grenzwertkurven umgerechnet. Diese Methode stellt prinzipiell eine Erweiterung der bisher angewandten Grenzdehnungs- und Grenzspannungsmethode dar, wobei in diesem Fall die Grenzwerte nicht experimentell, sondern durch Simulation an Kleinstrukturen ermittelt werden.

Summary

Hollow sheet parts are manufactured by plastic deformation of flat sheet blanks, using the stretch drawing and deep drawing processes. One of the most common types of failure with these manufacturing processes is failure of the workpiece as a result of ductile crack nucleation.

Recently the Finite Element method has been used increasingly, on one hand for the determination of the process limits, and on the other hand for the optimisation of the forming parameters. However the use of the numerical simulation of the forming process is only advantageous if it permits a prediction of the failure. Although research has been carried out in this area for more than 40 years, still no satisfactory method is known today which would permit a reliable failure prediction. The reasons for this lie in the complexity of the actual failure process, which is influenced both by the nonlinear materials behaviour and also by various material and geometrical inhomogeneities. Further problems arise from the use of the FE method, which is generally not able to provide a correct prediction of the material flow in the region of failure.

The present work has shown a possible way of dealing systematically with these complex questions. The major activities have been concerned with the failure model, the materials model, the materials inhomogeneities and problems in connection with the use of the FE method for the correct prediction of the materials flow in the region of failure.

Within this process a failure model is introduced which takes the formation of the localised deformation state as failure criterion. It will be shown that if the FE method is properly used, the kinematic state of the local necking can be correctly reproduced. The numerical instability of the solution, which arises under idealised assumptions, can be suppressed by the introduction of material or geometrical inhomogeneities.

The new information with respect to the materials model is based on the fact that the appearance of localised necking does not require any special materials properties, such as material softening or instability of the yield locus. Using a simple numerical model, with a simple kinematic starting function, it will be demonstrated that the reduction of the rate of workhardening is a sufficient condition. Such a reduction in the workhardening rate with increasing plastic deformation is exhibited by most metallic materials.

From previous experimental investigations it is known that certain inhomogeneities have a decisive effect on failure and the position of the crack. The failure model employed in this

work permits various material and geometrical inhomogeneities to be taken into account in the simulation. It provides information on their effect on the failure process. For this reason both types of inhomogeneity were included in the investigation. It could be demonstrated that especially materials inhomogeneities, which arise as a result of the crystalline nature of the metallic materials, partially dominate the failure conditions.

Due to the small dimensions of the failure zone ("local" necking), the simulation of the actual failure, with the help of the FE method, is not possible with real parts but only with test specimens ("small structures"). In order to still permit a realistic failure prediction with real parts ("large structures"), the critical values determined for small structures were converted to limiting value curves dependent on the network size. This method represents in principle an extension of the limiting strain and limiting stress methods used until now, whereby in this case the limiting values are determined not experimentally but by simulation on small structures.