

Die FEM-Simulation als Werkzeug bei der Entwicklung neuer Umformverfahren

Prof. Dr.-Ing. H. Bauer, Prof. D.K. Harrison, Dr. W. Rimkus, Dr. A. De Silva, Dipl.-Ing. M. Keigler

Hochschule Aalen, Beethovenstraße 1, 73430 Aalen, Germany

Abstract:

The metal working industry is always searching for new production technologies to produce more complex parts associated with cost reductions. This paper introduces such a new forming technology. Through global or local heating of aluminium alloy the formability of the metal is enhanced. This forming process has some further advantages. It becomes possible to produce difficult and complex part geometries with only a few steps. Thereby, the production of the components will be more economic, the cycle time will be decreased and the part cost will be reduced. In the course of increasing environmental awareness energy saving becomes more and more relevant through the reduction of the cycle time minimizing the energy consumption. The paper indicates also the immense potential of the Finite Element Method during the development stage. It is shown that the complexity of the process and the range of parameters found can only be handled by a appropriate simulation model.

Keywords:

Thermal, Hydroforming, Simulation, Finite Elemente, LS-Dyna

1 Einleitung

Neben der Entwicklung immer besserer Stahlwerkstoffe spielt im Automobilbau die Verwendung von Aluminium eine große Rolle. Vorteile wie Korrosionsbeständigkeit und geringes Gewicht sind dabei die entscheidenden Faktoren. Als Nachteil der verwendeten Aluminiumlegierungen muss das schlechte Umformverhalten im Vergleich zu Stahlwerkstoffen hervor gehoben werden. In einer Zeit, in der Bauteile starken Bauraumbeschränkungen und hoher Funktionsintegration unterliegen, entwickelt sich dieser Nachteil zum Ausschlusskriterium. Eine Methode, um das Umformvermögen von Aluminiumlegierungen zu erhöhen, ist das Erhöhen der Umformtemperatur. In Bild 1 sind schematisch die Veränderungen der Materialparameter durch die Temperaturänderung dargestellt.

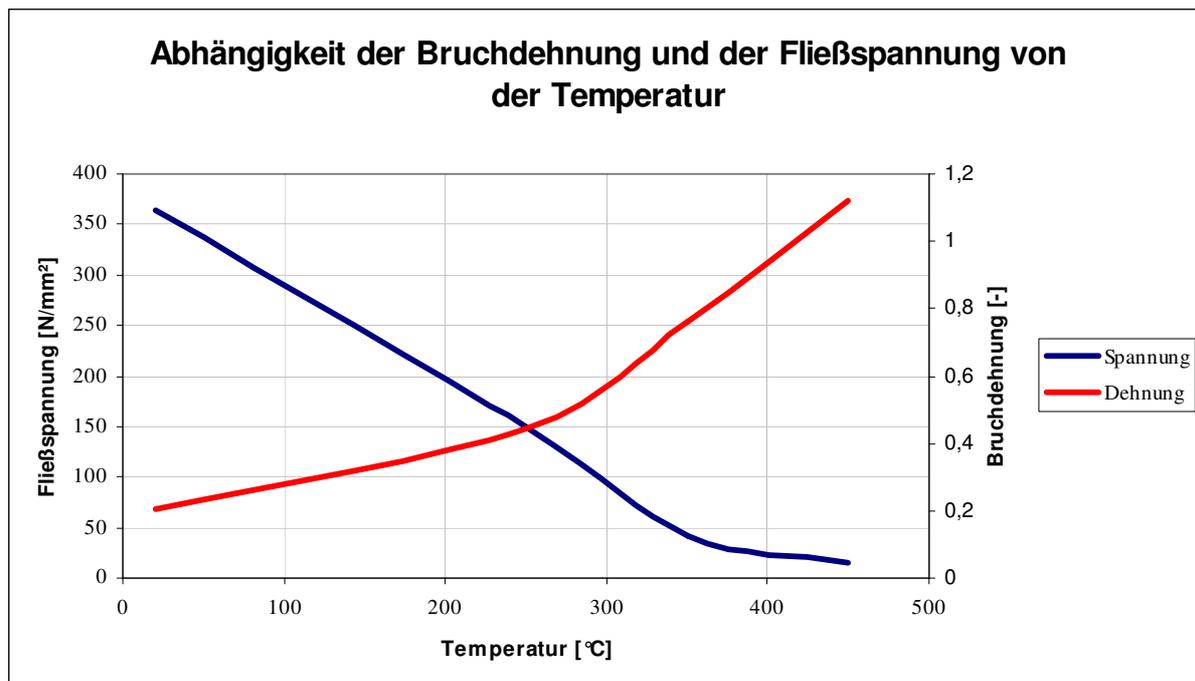


Bild 1: Darstellung der Abhängigkeit von Bruchdehnung und Fließspannung von der Temperatur. Bei höheren Temperaturen sinkt die Fließspannung signifikant bei gleichzeitigem Anstieg der Bruchdehnung

Erste Untersuchungen, die das Umformverhalten von Metallen bei erhöhten Temperaturen untersuchen, gehen zurück auf das Jahr 1934 [1]. Ein Forscher namens Pearson verlängerte einen Prüfkörper aus einer Bi-Sn Legierung um 1950%. Er beschränkte sich in seiner Arbeit aber nicht nur auf Zugversuche, sondern führte auch Untersuchungen an Rohren durch, die er mittels Innendruck belastete. Im Verlauf der Zeit resultierte daraus das so genannte Superplastische Umformen. Dieses Verfahren ist auf Grund seiner Restriktionen (Korngrößen, Zykluszeit, etc) ungeeignet für den Großserienbau. Ein Verfahren, welches die Temperaturvorteile optimal nutzt, aber gleichzeitig kleine Zykluszeiten ermöglicht, ist notwendig. Ein solches Verfahren ist das Thermische Hydroforming.

2 Verfahrensprinzip

Beim Thermischen Hydroforming wird das Werkstück lokal oder global auf die gewünschte Temperatur erwärmt. Dabei ist festzuhalten, dass sich die Umformeigenschaften verbessern, je höher die Temperatur ist. Bei der in den Versuchen verwendete Aluminiumlegierung handelte es sich um eine in der Automobilindustrie bereits seit langem verwendete AlMg- Legierung. Voruntersuchungen zeigten, dass eine optimale Bruchdehnung bei ca. 450°C erreicht wurde, ohne dass Materialversprödungen, Gefügeänderungen und Grobkornbildungen entstanden. Dabei ist die Temperatureinwirkzeit ein sehr wichtiger Faktor. Als Umformmedium stehen bei derart hohen Temperaturen nur noch sehr wenige flüssige Medien zur Verfügung und es müsste ein sehr großer technischer Aufwand für die Umformung betrieben werden. Aus diesem Grund und durch die zu

erwartenden niedrigen Umformdrücke wurde ein gasförmiges Medium verwendet. Die niedrigen Umformdrücke und die daraus resultierenden niedrigen Umformkräfte (Schließkraft und Zuhaltkraft der Presse) ermöglichen des Weiteren sehr kleine und leichte Werkzeuge, die auf relative kleinen Umformpressen betrieben werden können. Die Energiebilanz des Verfahrens gestaltet sich dadurch sehr positive. Kleinere Pressen, kleinere Werkzeuge und kleiner Aggregate für den Innendruck stehen dem zusätzlichen Energiebedarf durch die Beuteilbeheizung entgegen.

3 Grundlagenversuche

Als Geometrie für die Voruntersuchungen des thermischen Hydroforming und für die Definition des FEM-Modell wurde ein Napf mit einem Durchmesser von 100mm ausgewählt. Die Tiefe des Napfes konnte durch das Werkzeug verändert werden, wodurch unterschiedlichen Dehnungen erreichbar waren. Die Konstruktion des Werkzeuges und der Versuchsaufbau sind in Bild 2 dargestellt.

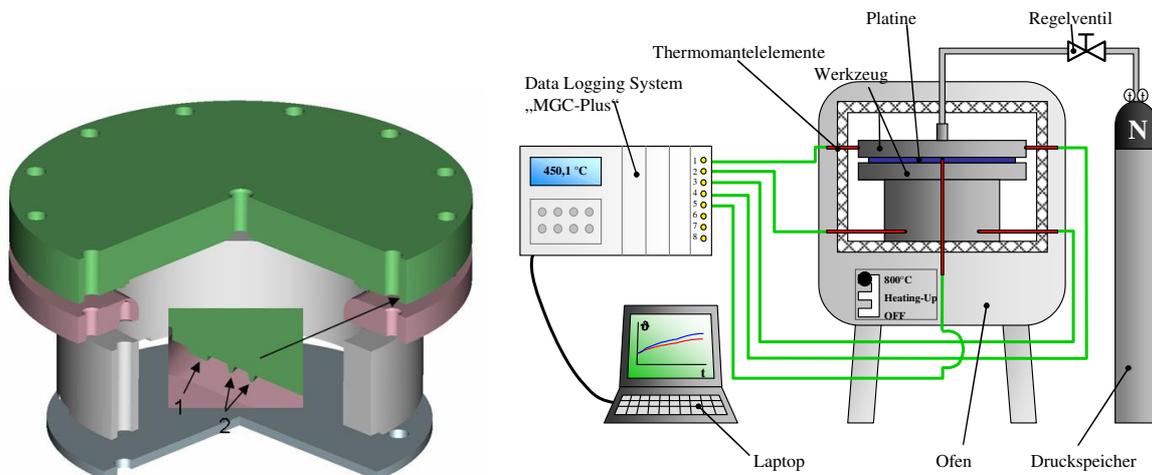


Bild 2: Darstellung des Werkzeuges für die Grundlagenversuche und des schematischen Aufbaus der Versuche

Zur Vereinfachung der Versuche und der späteren FEM-Berechnung wurde festgelegt, dass die Werkzeuge und das Werkstück eine homogene Temperatur haben sollten. Die Temperaturüberwachung wurde durch Thermomantelemente realisiert und die ermittelten Werte zur späteren Weiterverarbeitung gespeichert. Die Temperatursteuerung war im verwendeten Ofen schon vorhanden.

4 Ergebnis der Voruntersuchung

Die in den Versuchen erreichte maximale Dehnung betrug 140% und liegt damit sieben mal höher als bei Raumtemperatur. Dafür notwendig war ein maximaler druck von 40bar und eine Zuhaltkraft von 7t. Die Zykluszeit betrug 90 Sekunden [2]. Das Ergebnis der Versuche ist in Bild 3 dargestellt.



Bild 3: Endgeometrie der Voruntersuchungen des thermische Hydroformings

Nachfolgende Gefügeuntersuchungen zeigten keine Grobkornbildungen oder Aufschmelzungen an den Korngrenzen. Nachteilig fiel die Verschlechterung der Bauteiloberfläche und das Verkleben an den Werkzeugen auf.

5 FEM-Modell

Auf Grund der Tatsache, dass es sich bei dem Napf um ein rotationssymmetrisches Bauteil handelt, wurde dieser Vorteil bei der FEM-Simulation mit berücksichtigt. Die Werkzeuge wurden als Beam Elemente und Rigid-Bodies definiert. LS-Dyna stellt hierfür den Element-Typ 8 zur Verfügung. Zur Definition des Werkstückes wurde der Element-Typ 15 (Axisymmetric solid, volume weighted) ausgewählt. Für den Kontakt zwischen Werkzeug und Werkstück wurde ein Surface-to-Surface Kontakt für 2-Dimensionale Berechnungen festgelegt. Um den Druck in der Simulation darzustellen, musste die Load-Segment Option von LS-Dyna verwendet werden. Da bei den Versuchen keinerlei anisotropisches Verhalten beobachtet werden konnte, wurde ein isotropes Material Modell ausgewählt das auf den Fließgesetzen von „von Mises“ basiert. Mit Hilfe einer „Table“ Definition konnte die Dehnratenabhängigkeit der Aluminiumlegierung mit berücksichtigt werden. Eine nahezu unbekannt Variable bei den Versuchen und auch bei der Simulation war der Reibfaktor. Deshalb wurde mit Hilfe des entwickelten FEM-Modell eine Parameterstudie durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Studie sind in Bild 4 dargestellt.

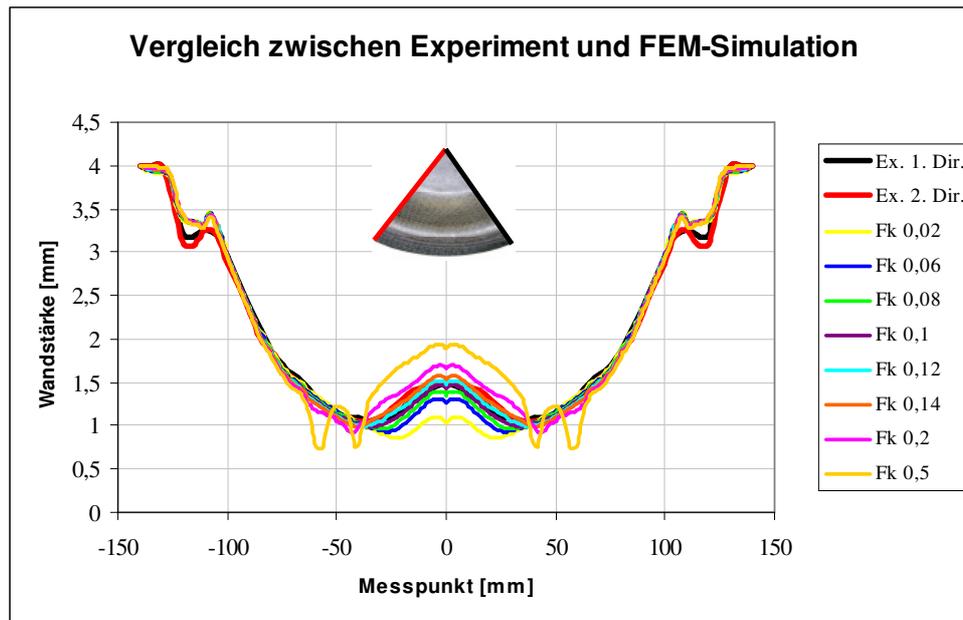


Bild 4: Vergleich zwischen den Ergebnissen der Versuche (Ex. 1. Dir & Ex. 2. Dir) und den Ergebnissen der FEM-Parameterstudie

Bei einem Reibfaktor von $0,12\mu\text{m}$ konnte eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Versuchen festgestellt werden [3]. Zur Absicherung der Ergebnisse wurden noch weitere Untersuchungen mit unterschiedlichen Bauteilwandstärken durchgeführt und es konnten ähnliche Übereinstimmungen gefunden werden.

6 Auslegung des Thermischen Hydroforming eines Rohres mittels FEM

Mit den Erkenntnissen aus den Voruntersuchungen und dem entwickelten FEM-Modell sollte der Thermischer Hydroforming Prozess eines Rohres festgelegt werden. Zu Beginn wurde eine Bauteilgeometrie festgelegt, die nachfolgend mit Hilfe der FEM verbessert wurde. Die so optimierte Geometrie als auch das Ergebnis der Simulation sind in Bild 5 dargestellt.

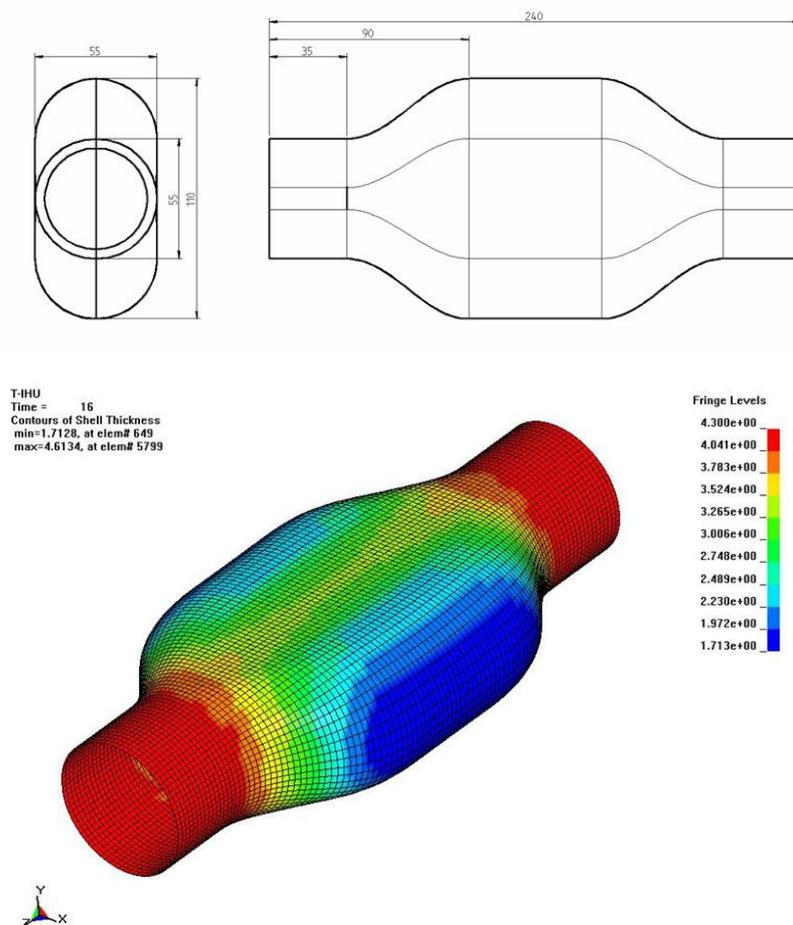


Bild 5: Darstellung der Geometrie und des Ergebnisses der FEM-Simulation

Im weiteren Verlauf wurden Werkzeuge entwickelt, die unter Berücksichtigung der neuen Randbedingungen (Temperatur, niedrige Umformkräfte) optimal ausgelegt werden sollten. Die gebauten Werkzeuge wogen hierdurch nur 19,88kg. In die Werkzeuge wurden wieder Thermomantelemente der Klasse K integriert, um sowohl die Bauteile als auch die Werkzeugtemperatur überwachen zu können. Nach dem Einfahren der Werkzeuge und dem Verbessern des Temperaturverlaufes konnte das Bauteil mit einer reinen Umformzeit von 7 Sekunden hergestellt werden.

7 Vergleich zwischen Realität und FEM-Simulation

Zum Vergleich zwischen den hergestellten Bauteilen und der FEM-Simulation wurden zwei Parameter verwendet, die Wandstärke und die Dehnungsverteilung. Um die Wandstärkenverteilung aller hergestellter Rohre zu erhalten, wurden Bauteilschnitte festgelegt, in denen sowohl Ultraschallmessungen als auch manuelle Messungen durchgeführt wurden. Zur Ermittlung der Dehnungsverteilung war es notwendig, Messraster auf den Ausgangsbauteilen aufzubringen. Nach dem Umformprozess konnten diese verformten Messraster mit Hilfe von Kameras aufgenommen werden. Aus dem Unterschied zwischen Anfangsraster und verformten Raster berechnete sich automatisch die Dehnungsverteilung. Die Diagramme in Bild 6 und Bild 7 stellen die Ergebnisse der Messungen und der FEM-Simulation gegenüber [4].

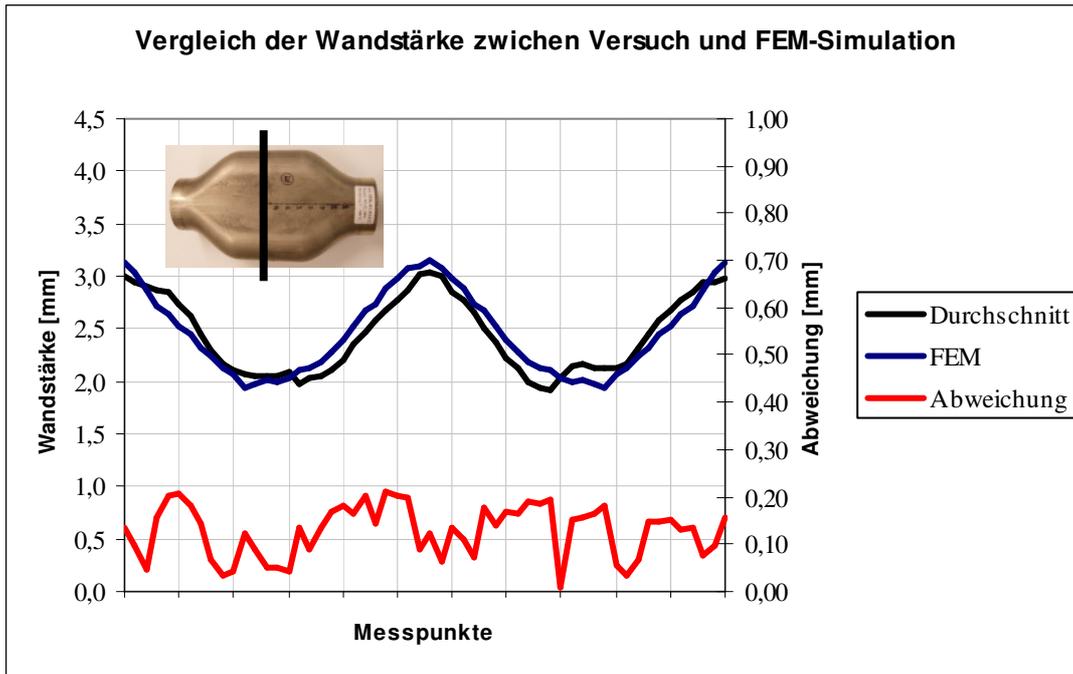


Bild 6: Vergleich zwischen der gemessenen durchschnittlichen Wandstärke und der berechneten Wandstärke aus der FEM-Simulation

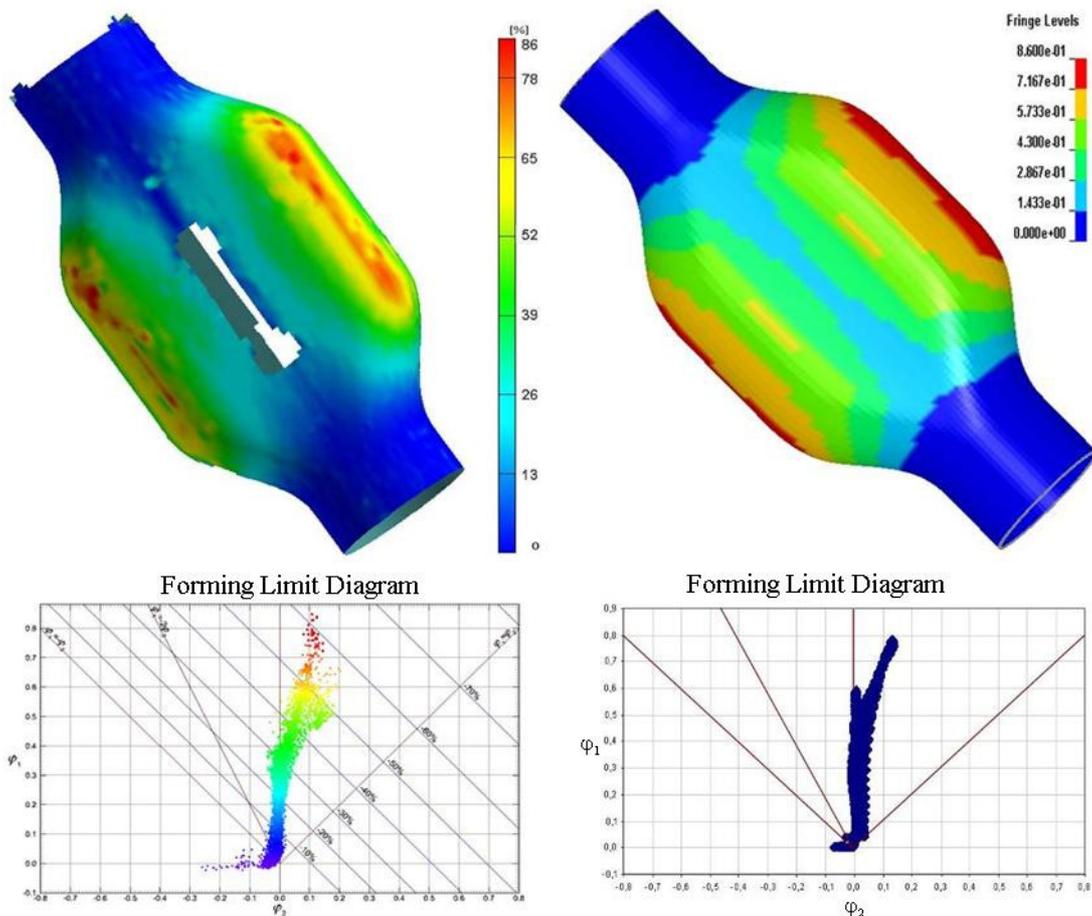


Bild 7: Vergleich der Dehnungsverteilung von Messung und FEM-Simulation. Dargestellt sind sowohl die Konturbilder als auch die FLD-Diagramme

8 Ergebnis

Das entwickelte Modell zeigte eine sehr gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen im realen Versuch. Die in der Auslegung des Rohres ermittelten Wandstärke- und Dehnungsverteilungen konnten bei den Versuchen bestätigt werden. Somit eignet sich dieses Modell sehr gut für die weitere Auslegungen von Bauteilen, die mittels thermischen Hydroforming gefertigt werden sollen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass das Modell nur Prozesse mit homogener Temperaturverteilung vorhersagen kann. Eine Erweiterung der FEM-Berechnung um die Temperaturberechnung und die Ergänzung des Codes mit den notwendigen Fließkurven sollte in LS-Dyna möglich sein (implizite Temperaturberechnung), allerdings steigt der Aufwand sowohl beim Definieren der Berechnung als auch bei der Berechnung selber (Zeitaufwand) immense. Das Versagenskriterium bei einer solchen Berechnung würde ein weiteres Problem darstellen, da das Kriterium temperaturabhängig sein müsste.

9 Literatur

- [1] Pearson (1934): "Viscous properties of extruded eutectic alloys of Pb-Sn and Bi-Sn", Journal of the Institute of Metals, Volume 54, pp. 111–124
- [2] Michael Keigler; David K Harrison; Anjali K M De Silva; Herbert Bauer: Warm Forming of Aluminium Alloys, Proceedings of the 20th International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future (CARS&FOF), 21.-23. July 2004, San Cristobal, Venezuela, Miguel a. Márquez R. (Ed.), pp. 45-52, Nadie Nos Edita Editores, San Cristobal, Venezuela, ISBN: 9801207876
- [3] Michael Keigler; David K. Harrison; Anjali K. M. De Silva; Herbert Bauer: Thermal Hydroforming, Proceedings of the 34th International Conference on Manufacturing (MATADOR), 7.-9. July 2004, Manchester, UK, Srichand Hinduja (Ed.), pp. 181-187, Springer London, ISBN: 1852338806
- [4] Michael Keigler; Herbert Bauer; David K. Harrison; Anjali K. M. De Silva: Thermal Hydroforming, Investigation of a New Forming Method, Key Note Paper, 19th International Conference on Computer Aided Production Engineering 2005, 21.-24. November 2005, Melbourne, Australia