

Diss. ETH Nr. 17545

Eine Methodik zur virtuellen  
Beherrschung thermo-mechanischer  
Produktionsprozesse bei der  
Karosserieherstellung

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

LUKAS BURKHARDT

Dipl. Betriebs- und Produktionsingenieur ETH

geboren am 15. Januar 1979

von Zürich ZH und Winterthur ZH

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. P. Hora, Referent

Prof. Dr. K. Wegener, Korreferent

Dr. B. Griesbach, Korreferent

2008

# Abstract

Various types of high and very high strength steels have been developed in the past years in order to meet the increasing requirements towards body parts in the automotive industry. Parts formed from boron alloyed steel by press hardening process are widely used and lead to tensile strengths of 1500 MPa. This considerably surpasses the strength achievable when high-strength sheets are formed at room temperature. The continuous press hardening comprehends both simultaneous forming and spray quenching. The forming takes place within a temperature range between about 800°C and 600°C.

The aim of this thesis is the identification of an appropriate finite element model which allows the prediction of sheet thickness distribution in order to evaluate the feasibility of hot formed press hardening components. Finite element modeling of the forming process is very complex due to influence of temperature and it requires several input parameters to better describe the process. Herefore experimental testing of Aluminium-Silicon coated 22MnB5 is conducted. With the help of pin-on-disk tribology tests, the friction coefficient is determined in dependence of temperature. Besides this, layered compression tests are processed in order to measure the flow curves as a function of equivalent strain, strain rate and temperature. Furthermore, an empirical hardening law is introduced which allows to describe the yield stress depending on these three variables. The experimental data is subsequently implemented into the finite element model.

A simulation-based sensitivity analysis is conducted to identify the significant input parameters. Consequently, a precise description of the most important parameters allows improvement of the simulation. Furthermore, the complexity of

the finite element model can be reduced, since the sensitivity analysis allows to neglect the insignificant parameters. This considerably facilitates the implementation in industrial processes.

Finally, press hardening tests are performed using a tool of complex geometry (B-pillar). In order to validate the identified finite element model, the thickness distribution of the component that resulted from the press hardening test is measured and compared with the simulation results.

# Kurzfassung

Um eine Gewichtsreduktion bei gleichzeitig besserem Crasverhalten der Karosserie zu erreichen, sind in den letzten Jahren in der Automobilindustrie verschiedene höher- und höchstfeste Stahlkonzepte in den Mittelpunkt des Interesses gerückt. Mit dem Presshärten borlegierter Stähle kann mit bis zu 1500 MPa eine bedeutend höhere Festigkeit als mit kaltumgeformten, höchstfesten Stählen erzielt werden. Beim direkten Presshärten wird das Blech in einem Prozessschritt sowohl umgeformt als auch ausgehärtet. Die Umformung findet dabei in einem Temperaturbereich zwischen ca. 800°C und 600°C statt.

Ziel dieser Arbeit ist die Identifikation eines geeigneten Finite Elemente Modells zur genauen Berechnung der Blechdickenverteilung als Grundlage zur Versagensvorhersage warmumgeformter Presshärtbauteile. Die Finite Elemente Modellierung des Warmumformprozesses ist aufgrund des Einflusses der Temperatur sehr komplex und erfordert eine Vielzahl von Eingangsparametern. Deshalb werden experimentelle Untersuchungen zur Beschreibung der grundlegenden Eingabegrößen für die Simulation durchgeführt. Auf Basis von 'Pin-on-Disk'-Versuchen wird der Reibkoeffizient in Abhängigkeit von der Temperatur bestimmt. Zudem werden mit Hilfe von Schichtstauchversuchen die Fließkurven des Materials bis zu den in der Praxis relevanten Umformgeschwindigkeiten ermittelt. Die Fließspannung wird dabei in Abhängigkeit des Umformgrades, der Dehnrates und der Temperatur bestimmt. Zudem wird ein empirisches Verfestigungsgesetz vorgestellt, welches eine Beschreibung der Fließspannung in Abhängigkeit dieser drei Parameter ermöglicht. Anschließend werden die experimentellen Daten in das virtuelle Modell integriert.

Zur Identifikation der dominanten Einflussgrößen auf das Simulationsergebnis wird eine virtuelle Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Eine genaue Beschreibung der signifikanten Parameter ermöglicht eine hohe Simulationsqualität. Zudem erlaubt das Vernachlässigen der Parameter, die in der Sensitivitätsanalyse als nicht signifikant identifiziert wurden, die Reduktion der Komplexität des virtuellen Modells. Damit wird die industrielle Einführung deutlich erleichtert.

Zur Validierung der Vorgehensweise werden Warmumformversuche mit einer komplexen Bauteilgeometrie (B-Säule) durchgeführt. Ein Abgleich der Blechdicke in Bereichen mit hohem Umformgrad erlaubt die Beurteilung der Ergebnisqualität des erarbeiteten Simulationsmodells.