

## Finite Element Analyses of Press Forces at Stamping Processes using LS-DYNA and Comparison with Test Results

Martin Stillger

Adam Opel AG, ITDC  
MEP Simulation, IPC 42-61  
D-65423 Rüsselsheim  
Germany

Tel: +49-(0)6142-7-50813  
Fax: +49-(0)6142-7-66890

e-mail: [martin.stillger@de.opel.com](mailto:martin.stillger@de.opel.com)

### Zusammenfassung:

Die Simulation des Tiefziehverhaltens von Blechen wird seit Jahren erfolgreich eingesetzt um Falten und Rissbildung vorherzusagen.

Pressenkräfte wurden mittels Erfahrung abgeschätzt oder mit Formelsätzen berechnet, wobei die Ergebnisse mit meist sehr hohen, erfahrungsbasierten Korrekturfaktoren gewichtet wurden.

Gestiegene Anforderungen bezüglich Crashverhalten und Gewichtsreduzierung erfordern mehr und mehr den Einsatz hochfester Stähle für eine zunehmende Anzahl von Karosseriebauteilen. Hierbei tritt neben der Simulation des Tiefziehverhaltens insbesondere die Berechnung der zu erwartenden Pressenkraft immer mehr in den Vordergrund, da diese einige Pressen an ihre Leistungsgrenze bringen kann. Ein Produktionsstillstand wäre die Folge.

In diesem Beitrag soll eine Lösung aufgezeigt werden, wie man Pressenkräfte simulativ erfassbar machen kann. Dabei wird ein Vergleich zwischen der real vorliegenden Pressenkraft und der von der Tiefziehsimulation ermittelten vorgenommen, wobei insbesondere auf die Ermittlung der realen Pressenkraft als Basis für die Validierung der Simulation eingegangen werden soll.

### Keywords:

Press tonnage, FEM, Sheet Metal Forming, LS-DYNA, MatLab

## 1 Einführung

In der Vergangenheit gab es zwischen den von der Simulation ausgewiesenen Reaktionskräften zwischen Blech und vernetzter Werkzeuggeometrie sowie den im Presswerk ermittelten maximalen Pressenkräften eine teilweise sehr hohe Diskrepanz. Verschiedenste Ansätze wurden erarbeitet um eine sinnvolle Vorhersage der zu erwartenden Pressenkräfte treffen zu können. Dabei wurden zum Teil sehr hohe Korrekturfaktoren in die Rechnung mit einbezogen. Diese Faktoren wurden mit Hilfe von Erfahrungswerten festgelegt und bildeten für die damals gängigen Werkstoffe einen mehr oder weniger brauchbaren Ansatz.

Der Einsatz neuer Werkstoffe macht die Erfahrungswerte unbrauchbar, da für neue Werkstoffe noch keine Erfahrungen vorliegen. Hierbei ist die Berechnung der zu erwartenden Pressenkräfte insbesondere bei hoch- und höchstfesten Stählen von größter Wichtigkeit, da gerade bei diesen Werkstoffen das Leistungslimit der zur Verfügung stehenden Pressen erreicht wird.

Im vorliegenden Beitrag soll zum einen auf die Tiefziehsimulation eingegangen werden, die im wesentlichen Falten und Risse im Blech vorhersagen kann. Die Simulation weist Kontaktkräfte aus, die eine Presskraftabschätzung ermöglichen soll.

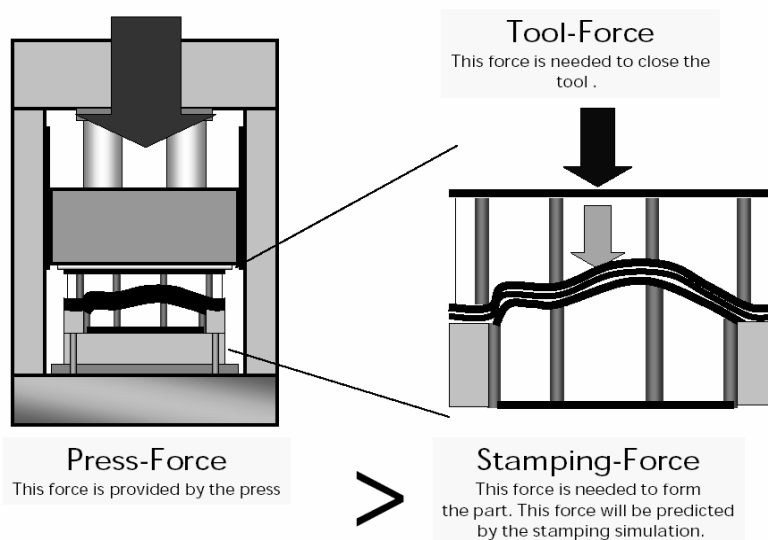
Es soll ein Werkzeug vorgestellt werden, mit dem Pressenkräfte genauer erfasst werden können. Letzteres dient dann dazu geeignete Inputparameter für die Simulation der Pressenkräfte zu ermitteln und/oder als Datenpool für die Entwicklung geeigneter mathematischer Ansätze zur Berechnung von Pressenkräften zu dienen.

## 2 Messung von Pressenkräften

### 2.1 Definitionen

Bei dem Vergleich zwischen Praxis und Simulation ist es wichtig zu unterscheiden welche Kräfte miteinander verglichen werden. So ist aus der Praxis bekannt, dass die Pressenkräfte ein und desselben Werkzeuges auf einer anderen Presse einen anderen Wert annehmen kann, was mit Alter, Verschleiß und Bauart der Presse begründet werden kann. Dies kann die Tiefziehsimulation heute nicht abdecken, da sie –wenn überhaupt– die „Stampingforce“ ermitteln kann, die sich auf eine ideale Presse mit einem idealen, quasi masselosen Werkzeug bezieht. Bild 1 zeigt beispielhaft drei Kräfte beim Umformprozess und den Ort an dem man sie vermessen muss.

Wie diese Vermessung erfolgen kann, wird im Anschluss diskutiert. Bei den weiteren Ausführungen soll, der Einfachheit halber, von Pressenkräften gesprochen werden auch wenn die Unterteilung gemäß Bild 1 sinnvoll erscheint.



**Bild 1:** Definition verschiedener Kräfte

## 2.2 Kraftanzeige an der Presse

Hierbei können relativ einfach an den Anzeigegeräten der Presse die Kräfte abgelesen werden. Diese Einrichtungen sind bei hydraulischen Pressen meist standardmäßig vorhanden. Bei mechanischen Pressen wird über eine Längenänderung von Pressenbauteilen auf die Presskraft geschlossen. Beide Verfahren zeigen eine Kraft die weit von der eigentlichen Umformzone entfernt ist und somit Verlustanteile der Presse enthält. Darüber hinaus wird nur ein mehr oder weniger gemittelter Endwert angezeigt, der den dynamischen Verlauf der Pressenkraft nicht widerspiegelt.

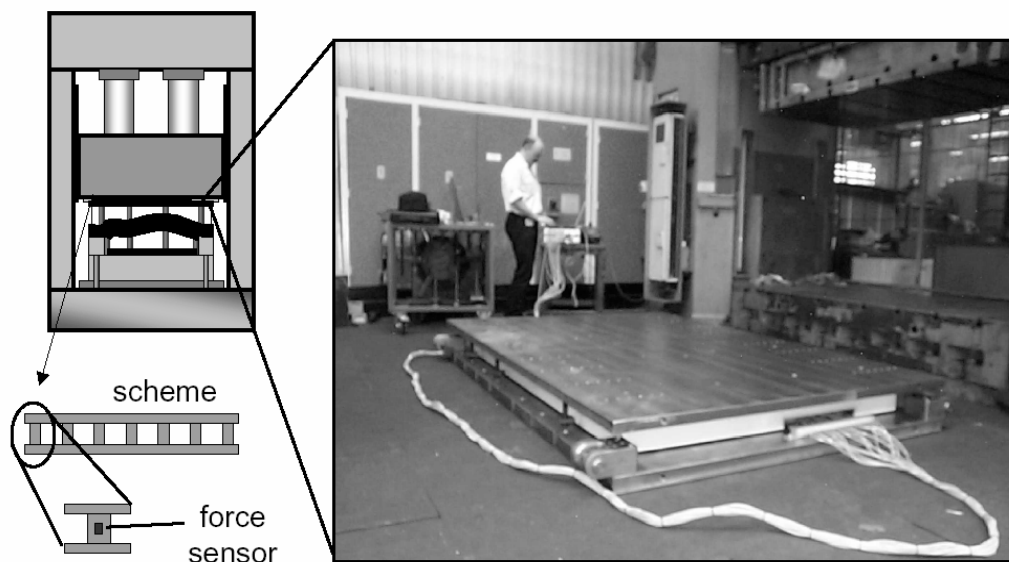
## 2.3 Versuchswerkzeug mit Dehnmessstreifen

Der große Vorteil eines Versuchswerkzeuges liegt darin, dass man einen exakten zeitlichen Verlauf der Pressenkraft erhält, da Dehnmessstreifen ohne Zeitverzögerung Werte liefern, sodass die Abtastrate meist nur von der applizierten Elektronik begrenzt ist. Mit einem solchen Werkzeug lassen sich auch Teilbereiche gut vermessen, da die Messstreifen lokale Werte liefern.

Der große Nachteil ist in den sehr hohen Kosten im Aufbau eines solchen Werkzeuges begründet und in der Tatsache, dass die gewonnenen Daten nur für diese Werkzeuggeometrie gültig sind. Eine Aussage, wie sich die Pressenkraft bei einem geometrisch veränderten Werkzeug verhält, ist nicht zulässig.

## 2.4 Universelle Presskraft-Messeinrichtung

Bei dieser Vorgehensweise wird ein mit Kraftmesssensoren versehenes Plattenpaar zwischen Stößel und Werkzeug eingebaut. Bild 2 zeigt den schematischen Aufbau sowie die Dimensionen dieser Messeinrichtung, wie sie für den Einsatz in unserem Haus entwickelt wurde.



**Bild 2:** Presskraftsandwich

Der große Vorteil dieser als Presskraftsandwich bezeichneten Messeinrichtung ist, dass sie auf fast allen Pressen, mit fast allen Werkzeugen kombiniert montiert werden kann. Dadurch kann ein Datenpool erzeugt werden, der sowohl den Einfluss der Pressenart als auch die geometrischen Besonderheiten eines Bauteils berücksichtigt.

In dieser Ausführung können mit diesem Presskraftsandwich maximal 2.500 to mit einer Auflösung von 0,5 to vermessen werden. Dabei werden zurzeit ca. 20.000 Messwerte je Sekunde ausgelesen, wobei die verwendete Elektronik 150.000 Werte je Sekunde –zur Vermessung hochdynamischer Effekte- zulassen würde. Hierbei kam der Form und der Anordnung der Messgeber der einzelnen Kraftsensoren eine sehr große Bedeutung zu.

Durch die einfache Montage der Platte entsteht quasi keine zusätzliche Rüstzeit, was den Einsatz dieser Kraftmessplatte auch für Produktionspressen in der laufenden Fertigung ermöglicht.

### 3 Simulation von Pressenkräften

#### 3.1 Stand der Simulation

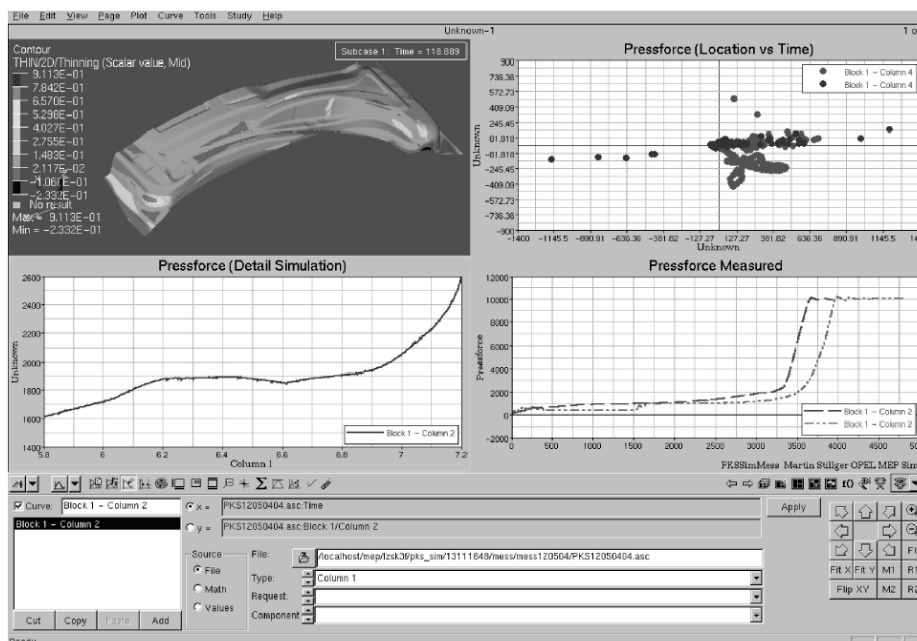
Sowohl die Simulationsprogramme als auch die Inputparameter für die Berechnung sind über Jahre hinweg für die Vorhersage tiefziehrefinanter Daten wie Falten und Risse im Blech optimiert worden. Hierbei wurden physikalisch unwichtige Effekte verändert um die Rechenzeit in der Tiefziehsimulation zu minimieren:

Bei LS-DYNA besteht die Möglichkeit unterintegrierte Schalenelemente zu verwenden, Elemente erhalten künstliche Massen um den Zeitschritt bei dem expliziten Verfahren erhöhen zu können, usw. Ein andere Anbieter verwendet u.a. einen impliziten Membranansatz mit künstlichen Biegeeffekten, der erstaunlich gute Vorhersagen des Tiefziehverhalten erlaubt. Die Bewertung allgemeiner physikalischer Effekte ist bei diesem speziellen Programm jedoch kaum möglich.

#### 3.2 Vergleich zwischen gemessener und simulierter Pressenkraft

In Anlehnung an Kapitel 2.1 müsste man streng genommen von einem Vergleich der gemessenen Werkzeugkraft und der simulierten Umformkraft sprechen. Um aber einen sinnvollen Vergleich durchführen zu können, wurden die Werkzeugkräfte auch ohne Blech vermessen. Da bei dieser Messung die Umformkräfte Null sind konnte durch Verrechnen der einzelnen Anteile ein Maß für die Umformkraft abgeleitet werden. Dabei war zu beachten, dass manche Pressen ohne Blech betrieben eine andere Kinematik ergaben, sodass auch der Pressenhub genau vermessen werden musste.

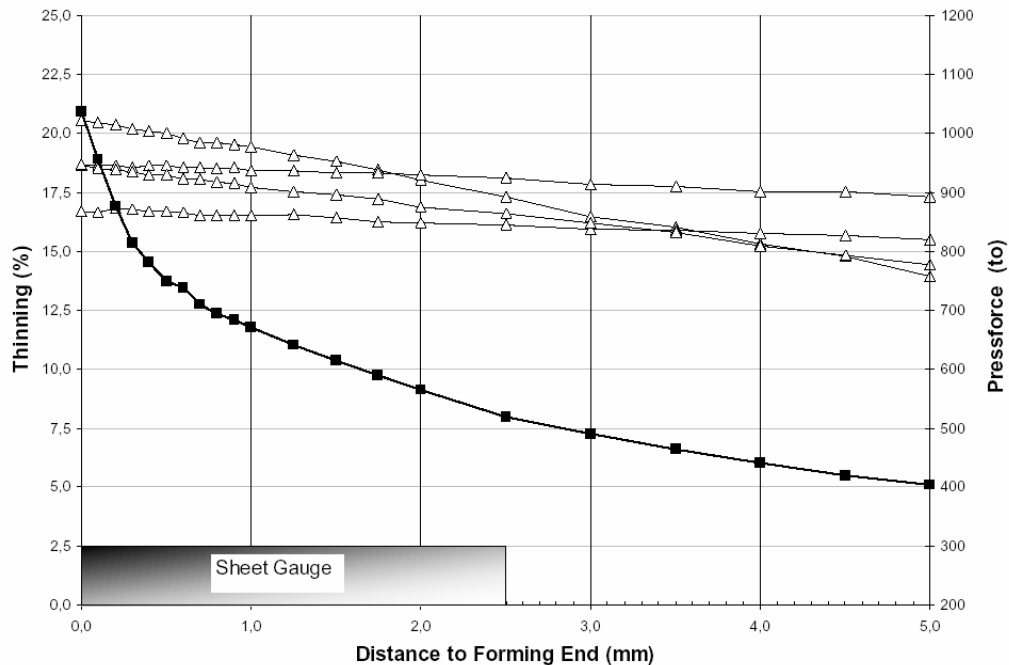
Bild 3 zeigt eine Möglichkeit zum Vergleich zwischen Messung und Simulation.



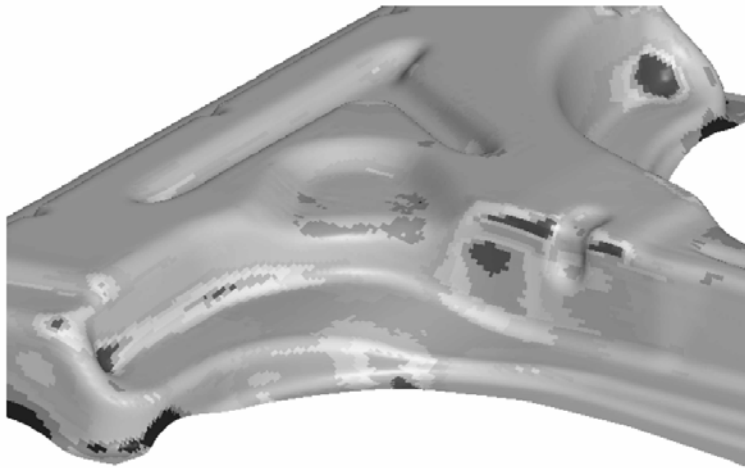
**Bild 3:** Pressenkraft: Vergleich zwischen Messung und Simulation.

### 3.3 Tiefziehverhalten kurz vor Tiefziehende

Am Beispiel einer „Verstärkung B-Säule“ soll aufgezeigt werden, wie sich die maximale Ausdünnung und die Pressenkraft während der letzten Millimeter Werkzeughub verändern. Basis war hier die Simulation, die mit den gültigen Inputparametern gemäß den entsprechenden internen Richtlinien durchgeführt wurde.



**Bild 4:** Verlauf der Presskraft und der maximalen Ausdünnung kurz vor Tiefziehende



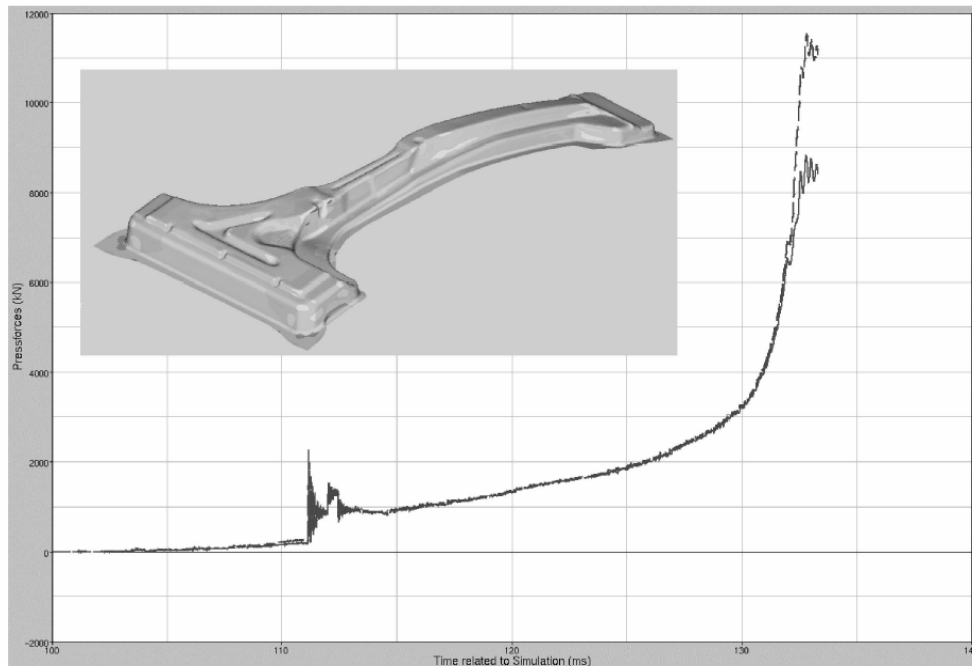
**Bild 5:** Ausdünnung bei Tiefziehende

Man erkennt in Bild 4 deutlich, dass sich die maximale Ausdünnung auf den letzten Millimeter Hub nur um einige Prozentpunkte verändern. Die Kontaktkraft als Maß für die zu erwartende Pressenkraft steigt jedoch stark an. Die Schwierigkeit liegt darin, dass der Zeitpunkt exakt bestimmt werden muss, wann man die Kontaktkraft abliest.

Hier kann als ein mögliches Kriterium der Zeitpunkt verwendet werden, zu dem eine gewisse Anzahl von Platinenelementen mit den Werkzeugen in Doppelkontakt treten. Bisherige Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass auch dabei noch mit einer gewissen Unsicherheit zu rechnen ist.

Aber auch die Kontakte und deren Parameter beeinflussen das Ergebnis der Reaktionskräfte erheblich. LS-DYNA bietet eine Reihe von Kontakttypen speziell für die Tiefziehsimulation, wobei der Typ „FORMING-ONE-WAY-SURFACE-TO-SURFACE“ in der Regel für Stempel und Matrize eingesetzt wird.

Für den Blechhalter wird der Typ „FORMING-SURFACE-TO-SURFACE“ verwendet um Kontaktprobleme an der Kante zum Stempel zu vermeiden. Wird die „Soft-Constraint-Option“ SOFT (Optional Card A) auf Null gesetzt, werden Kontaktdurchdringungen erlaubt. Das Maß der Durchdringung führt zu unterschiedlichen Endwerten bei den Kontaktkräften, deren Verlauf jedoch vergleichbar ist (siehe Bild 6).



**Bild 6:** Reaktionskraft für verschiedene Kontaktdurchdringungen

#### 4 Aufbau eines Presskraft-Datenpools

Gestützt durch die bisherigen Erkenntnisse wird zurzeit ein Datenpool aufgebaut, der Informationen zu den Pressenkräften aller relevanter Karosseriebauteile enthalten wird.

Diese Daten beziehen sich insbesondere auf:

- Werkzeuggeometrien
- reale Materialkennwerte
- verwendete Pressen
- Pressenparameter

Mit diesem Datenpool kann dann die Optimierung der Simulationsparameter durchgeführt werden. Darüber hinaus dienen diese Daten zur Verbesserung der Simulationswerkzeuge und/oder der Entwicklung neuer mathematischer Ansätze zur Berechnung von Pressenkräften.

## 5 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann man sagen, dass der Verlauf der Pressenkraft tendenziell mit der Tiefziehsimulation abgedeckt werden kann. Da die Pressenkraft jedoch auf den letzten zehntel Millimetern Pressenhub sehr stark ansteigt, muss besonders in diesem Bereich eine deutlich höhere Auflösung der Daten erfolgen. Hierfür sind umfangreiche Parameterstudien notwendig, wobei auch die bisherigen Simulationen mit Membran- oder Schalenelementen hinterfragt werden müssen.

Der Einsatz hoch- und höchstfester Stähle erfordert eine Vorhersage der zu erwartenden Pressenkräfte um später einen Engpass in der Pressenleistung zu vermeiden.

Darüber hinaus wird mit der Simulation eine Optimierung der Bauteilgeometrie in Hinblick auf minimale Pressenkräfte während des Umformprozesses möglich sein.

Mit dem beschriebenen Presskraftsandwich ist es möglich qualitativ hochwertige Daten zur Verfügung zu stellen. Auf deren Basis kann eine Validierung der Simulationsprozeduren erfolgen, um Pressenkräfte in Zukunft realistischer vorhersagen zu können.

## 6 Literatur

- [1] HALLQUIST, J.O.: LS-DYNA Keyword Users' Manual Version 970, 2003
- [2] TROPEA, Prof. Dr. C.: Grundlagen der Messtechnik , TU-Darmstadt, 1998
- [3] CHANDRUPATLA, T.R.: Introduction to Finite Elements in Engineering, 1991
- [4] SCHÄFER, Prof. Dr. M.: Numerische Berechnungsverfahren im Maschinenbau, TU-Darmstadt, 1999