

# Anwendung der FEM zur Vorhersage von Werkzeugversagen in der Kaltumformung

Dr. Ing. Dipl. Ing. Gerhard H. Arfmann\* , Dr. Ing. Michael Twickler

CPM Gesellschaft für Computeranwendung, Prozeß- und Materialtechnik mbH

\* Ansprechpartner: E-mail address: cpm@cpmgmbh.com; Tel.: +49 2407 95940

## Zusammenfassung

Dieser Vortrag berichtet über eine Studie der CPM GmbH. Das Ziel der Studie war es, anhand industrieller Anwendungsfälle herauszuarbeiten, wo Simulation zuverlässige und interpretierbare Ergebnisse liefert, die geeignet sind, dem Ingenieur zu helfen, Werkzeugversagen vorherzusehen. So kann er dann seinen Stadiengang am Rechner anpassen, um derartiges Versagen zu verhindern. Werkzeugversagen in der Testphase neuer Produkte soll damit vermieden werden und es sollen auch längere Werkzeugstandzeiten in der laufenden Produktion erreicht werden. Industrielle Anwendungen wurden untersucht und es wurde versucht, Auslegungsregeln beziehungsweise Grenzwerte für zukünftige Berechnungen zu ermitteln. Einige Fehler konnten klar identifiziert werden und entsprechende Regeln zur Auswertung der Simulationsergebnisse und zur Versagensvermeidung aufgestellt werden.

**Keywords:** Kaltumformung, Simulation, Prozeßauslegung, Werkzeuggestaltung

---

## Einführung und Stand der Technik

Der Einsatz der Simulation von Umformprozessen bei der Auslegung dieser Prozesse ist inzwischen weit verbreitet. Materialfluss, Kräfte und andere plasto-mechanische Werte werden herangezogen, um den Prozess optimal zu gestalten. Die Voraussage von Werkzeugversagen ist aber immer noch keine Standardanwendung der Simulation.

Eine Studie der ICFG (International Cold Forging Group) wurde auf der letztjährigen Hauptversammlung der ICFG in Darmstadt vorgestellt. Sie zeigte, dass im industriellen Einsatz die verschiedensten Ansätze zur Auswertung der Simulationsergebnisse ausprobiert beziehungsweise angewendet werden, ohne allerdings auf gesichertes, wenn möglich wissenschaftlich belegtes, Wissen Bezug zu nehmen. Es fehlen nach wie vor gesicherte Richtlinien und Kennwerte zur sachgerechten Interpretation von Simulationsergebnissen zur Vorhersage von Werkzeugversagen.

Wie bereits erwähnt, hat die Studie der ICFG gezeigt, dass es derzeit keine allgemein anerkannten Richtlinien in der Literatur gibt, die eine zuverlässige Versagensvorhersage erlauben. Es gibt wissenschaftliche Untersuchungen spezieller Fälle aber keine direkt anwendbaren Leitlinien (Es könnte hier eine lange Liste von Literatur angegeben werden. Darauf wird aber aus Platzgründen verzichtet.). Der Ingenieur benötigt aber einfache und verlässliche Richtlinien nach denen er in seiner täglichen Arbeit unter Zeitdruck verfahren kann.

Deshalb hat CPM Fälle aus der Praxis ihrer Kunden untersucht, um praxisgerechte Richtlinien herauszuarbeiten, die zumindest einige der typischen Probleme zuverlässig bearbeiten lassen.

Es ist sicherlich noch viel intensive Forschung von Nöten, um wirklich anwendbare Modell für alle Arten von Versagen zu entwickeln aber einige Fälle lassen sich mit recht einfachen Betrachtungen dennoch bearbeiten.

## Praxisbezogener Ansatz

Das Ziel unserer Auswertungen industrieller Fälle von Werkzeugversagen war es herauszufinden, welche Ergebnisse der Simulation zuverlässig und zielgerichtet interpretiert und ausgewertet werden können, um dem Ingenieur die Versagensvorhersage zu ermöglichen. So kann er dann seine Auslegungsregeln anpassen und Fehler vermeiden.

Bei den Auswertungen wurden typische Fehler (Matrizenversagen, Ausbrüche an Stempeln und anderes) und die zugehörigen Simulationen untersucht. Korrelationen zwischen signifikanten Berechnungsergebnissen und typischen Versagensfällen wurden gesucht.

Für einige Fälle war es möglich, solche eindeutigen Korrelationen zu finden und Auslegungsregeln zu formulieren, die die Versagensfällen vermeiden lassen. Es handelt sich dabei um Fertigungen von Bolzen, Ventildertellern, Mutter und anderen Kaltformteilen.

Einige dieser Ergebnisse werden hier vorgestellt. Der jeweilige Fehler wird beschrieben, die korrelierenden Rechenergebnisse erläutert und die Vorgehensweise zum Vermeiden des Fehlers erklärt.

## Untersuchte Versagensfälle

Stellvertretend für die Fülle von untersuchten Fällen werden hier zwei Versagensfälle behandelt.

### Fertigung eines Bolzens

Bei der Fertigung eines Bolzens trat in der vierten Stufe ein Werkzeugversagen auf.



Bild 1: Fertigungsfolge eines Bolzens



Bild 2: Ausbruch des Hartmetalls an der Matrize

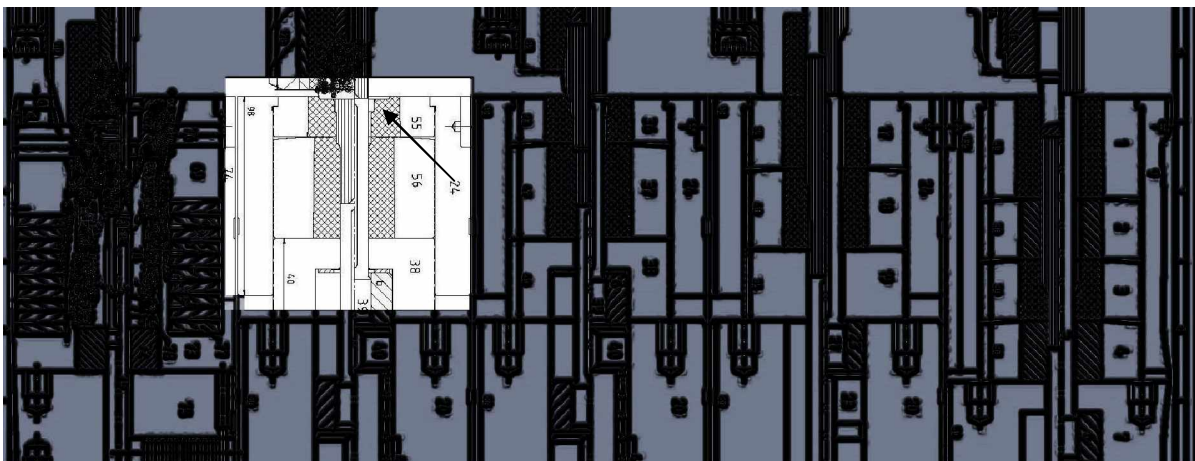


Bild 3: Anfängliche Werkzeugauslegung (Versagenstelle in Stufe 4 markiert)

Nachdem das Werkzeug nach nur wenigen Teilen in der Fertigung versagte, wurde eine Analyse des Werkzeugs vorgenommen. Die Simulation zeigt deutlich, dass sich zu Beginn der Umformung in Stufe vier das Material von oben her zunächst nur teilweise an die Matrize anlegt. Durch die hierdurch entstehende Matrizenbelastung kommt es zu positiven Axilaspannungen im Bereich oberhalb des Absatzes. Diese ist am größten kurz bevor sich das Material völlig anlegt (Bild 4). Da es sich bei dem Matrizenwerkstoff um einen Sprödstoff handelt, reißt das Material radial ein (ca.  $90^\circ$  zur Achse). Solche Zugbelastungen sind in einem Sprödstoff generell zu vermeiden.

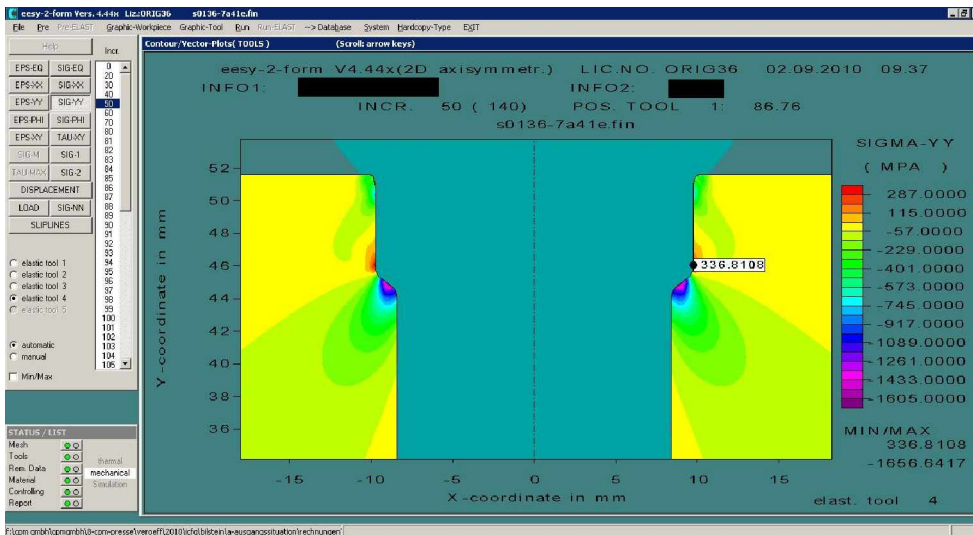


Bild 4: Zugspannungen in der Matrice

In Kenntnis dieses Sachverhalts hat der Ingenieur nun verschiedene Änderungen der Werkzeugauslegung in der Simulation ausprobiert. Es wurden Mehrfacharmierungen genauso untersucht wie mehrfach geteilte Werkzeuge und anderes. Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass diese axiale Zugspannung nur durch Werkzeugteilung zu vermeiden ist. Damit ist allerdings gleichzeitig eine aufwendigere Gestaltung des Werkzeugs erforderlich. Zusätzlich wurde für die nunmehr im vorderen Bereich der Matrice eingesetzte Scheibe als Werkstoff ASP 30 verwendet, da er unempfindlicher gegen geringe Zugspannungen ist. Bild 5 zeigt die optimierte Werkzeuggestaltung im Prinzip.

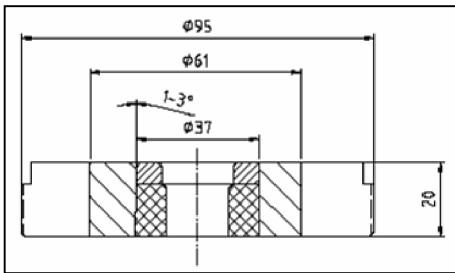


Bild 5: Optimierte Werkzeuggestaltung

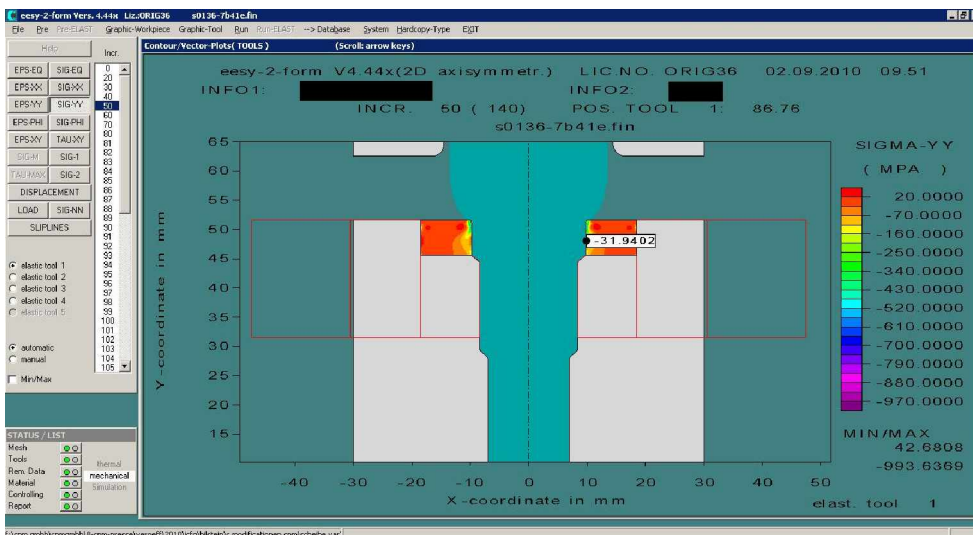


Bild 6: Simulation der Belastung der Scheibe aus ASP30

Bild 6 zeigt, dass die Scheibe in der gleichen Belastungssituation wie vor unter Druckspannungsbelastung ist.

Zusammenfassend ist folgendes festgehalten worden:

- Die Simulation ist umfassend auszuwerten. Es können zu den unterschiedlichsten Prozesszeiten in den jeweiligen Positionen des Werkzeugs im Werkzeug kritische Spannungen auftreten. (Das ist nicht immer zwingend am Ende einer Verformung unter der vermeintlich größten Belastung der Maschine der Fall!)
- Bei Verwendung von Sprödstoffen ist auf Vermeidung jeglicher Zugspannungen zu achten.
- Gegebenenfalls ist das Werkzeug zu teilen (axialer Zug), stärker zu armieren oder zu segmentieren.

Durch diese Maßnahmen konnte die Werkzeugstandzeit von ungefähr 1000 Teile pro Werkzeug auf über 25000 Teile pro Werkzeug gesteigert werden.

## Fertigung eines Ventildertellers

Bei der Fertigung eines Ventildertellers kam es zum vorzeitigen Bruch des Stempels in Stufe fünf.



Bild 7: Fertigung eines Ventildertellers



Bild8: Vorzeitiges Versagen eines Stempels

Der Ventilderteller konnte gefertigt werden, der Stempel versagte jedoch nach einigen hundert Teilen. Aus dem Erfahrungsschatz des Kunden heraus war keine Erklärung zu finden. Andere, ähnliche Bauteile konnte nach dem gleichen Prinzip mit wesentlich besseren Standzeiten gefertigt werden. Weder am Bauteil noch am Stempel ließen sich Hinweise auf die Fehlerursache erkennen.

Aus diesem Grunde wurde eine FEM Simulation der Stempelbelastung durchgeführt.

Es stellte sich heraus, dass im Schadensort alternierende Spannungen (Druck-Zug-Druck) in axialer Richtung auftraten.

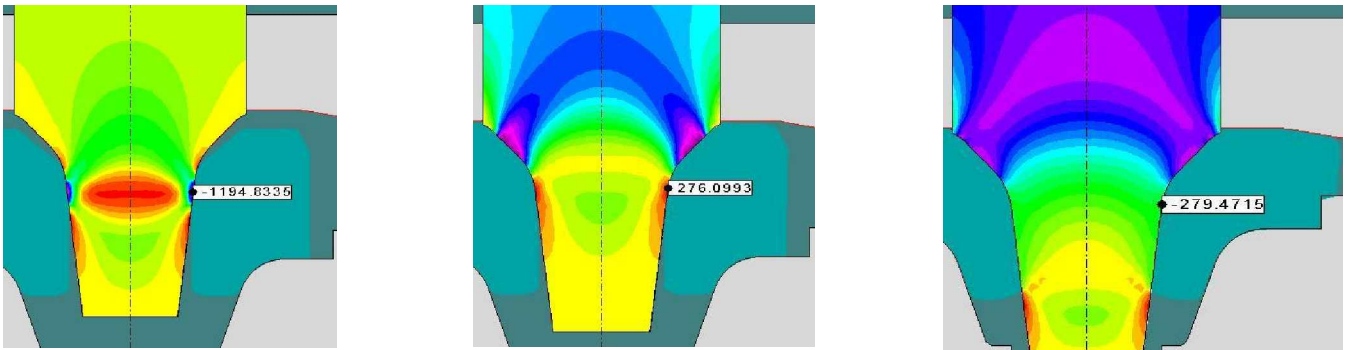


Bild 9: Alternierende Spannungen im Werkzeug

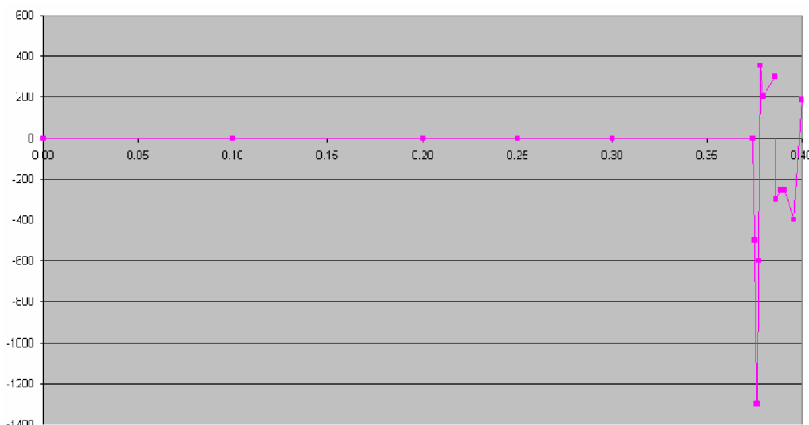


Bild 10: Spannungsverlauf / Zeit in einem Maschinenhub

Die alternierende Spannung, insbesondere angesichts des zeitlichen Verlaufs pro Hub, erklärt, dass hier ein Versagen durch Ermüdung vorliegt (Material M42).

Allerdings muss verstanden werden, warum dieser Verlauf so auftritt. Dazu wurden noch einmal die Normalspannungen an der Werkzeuoberfläche ausgewertet.

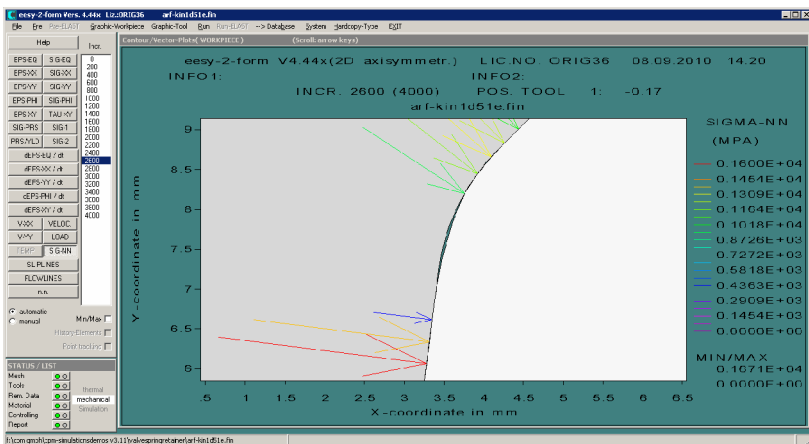


Bild 11: Normalspannungsverteilung und Abheben des Werkstücks

Dabei stellte sich heraus, dass sich das Material während des Umformprozesses von Stempel abhebt. Hierdurch kommt es örtlich zu den Zugspannungen im kontaktfreien Bereich.

Dieses Abheben konnte nur in der Simulation gefunden werden, da der Betrag sehr gering ist und am Bauteil optisch keine Auffälligkeit wahrnehmbar war. Durch Änderung der Auslegung des Stadienganges konnte das Problem dann behoben werden. Die Standzeit wurde auf etliche 10.000 Stück erhöht.

Zusammenfassend ist folgendes festgehalten worden:

- Die Simulation ist umfassend und detailliert auszuwerten. Es können in den unterschiedlichsten Positionen des Werkzeugs kritische Spannungen auftreten.
- Auch bei zähen Werkstoffen ist auf Zugspannungen zu achten. Sie sind entsprechend zu bewerten
- Unregelmäßige oder unterbrochene Normalspannungsverteilungen können Probleme aufzeigen
- Der Materialfluss ist so zu gestalten, dass ein regelmäßiger Kontakt gewährleistet ist

## **Zusammenfassung**

Durch systematische Auswertung und Dokumentation von Versagensfällen lassen sich oft eindeutige Korrelationen zwischen Spannungs- oder Stoffflusssituationen und Werkzeugversagen herleiten.

Wenn diese Methode auch keine universelle Lösung zu Fragen des Werkzeugversagens ist, so führt sie doch schnell zu Erfolgen dort, wo eindeutige Korrelationen zu finden sind. Und das ist häufig der Fall.

Die Simulation in Verbindung mit solche Regelwerken und Vorgehensanleitungen stellt damit ein sehr hilfreiches Instrument zur Vermeidung von Kosten und Entwicklungszeiten da.

## **Danksagung**

**Der Austausch solcher Erfahrungen hilft letztendlich allen „Simulanten“.**

**An dieser Stelle sein deshalb allen unseren Kunden für ihre Kooperationsbereitschaft sehr herzlich gedankt.**