

Kontinuumsmechanische Simulation von Steckverbinder-Elementen

Schmitt, W.; Butz, A.; Rist, T. (1)

Numerische Simulation von Werkstoffen und Bauteilen unterstützt in allen Bereichen der Technik die Entwicklung von Komponenten und Bauteilen hinsichtlich Herstellbarkeit und Betriebsverhalten. Die interessierenden Längenskalen reichen von einzelnen Atomen über Phasenbereiche im Werkstoff bis zu ganzen Maschinenelementen. Dem entsprechend reichen die Methoden von atomistischen und quantenmechanischen Modellen bis hin zu kontinuumsmechanischen Verfahren wie der FEM. Auf dieser makroskopischen Skala ist es nicht mehr möglich, einzelne oder auch mehrere Atome und Moleküle und deren Wechselwirkung zu betrachten. Vielmehr werden die Begriffe Spannungen und Dehnungen verwendet, um das mechanische Verhalten von Werkstoffen und Bauteilen zu beschreiben. Zwischen Spannungen und Dehnungen bzw. ihren Inkrementen bestehen werkstoffspezifisch mathematische Modelle, meist in Form von Differentialgleichungen. Zur Lösung dieser Probleme hat sich die Methode der finiten Elemente bewährt und steht in Form von meist kommerziellen Programmen zur Verfügung.

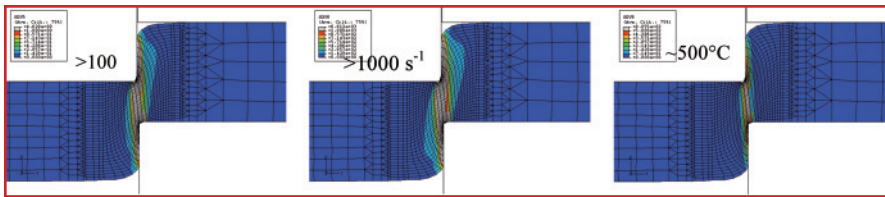


Bild 1: Simulation des Schneidprozesses: plastische Dehnung und Dehnrate, Temperatur (von links nach rechts). Die Maximalwerte betragen jeweils >100%, >1000/s, > 500°C.

Das Verhalten vieler Werkstoffe in der Herstellung und im Betrieb, insbesondere von Metallen und Kunststoffen, kann mit verallgemeinerten Gesetzen für zeitabhängige Plastizität beschrieben werden. Für die Simulation von Relaxation und Rückfederung hat sich eine Modellfamilie bewährt, die auf Chaboche (z.B. [1]) zurückgeht. In zahlreichen Varianten wird dabei die plastische Dehnrate als Funktion von Spannung, Fließgrenze

und Viskosität dargestellt, wobei isotrope und kinematische Verfestigung des Werkstoffs berücksichtigt werden. Diese Verfestigungsparameter gehorchen Entwicklungsgleichungen, die die Belastungsgeschichte beschreiben. Für die Ermittlung der Materialparameter sind in der Regel Zug-Druckversuche erforderlich. Die erfolgreiche Anwendung dieser Modelle im Bereich der Steckverbindertechnik bzw. des Crimpens wird anhand zweier Beispiele vorgestellt.

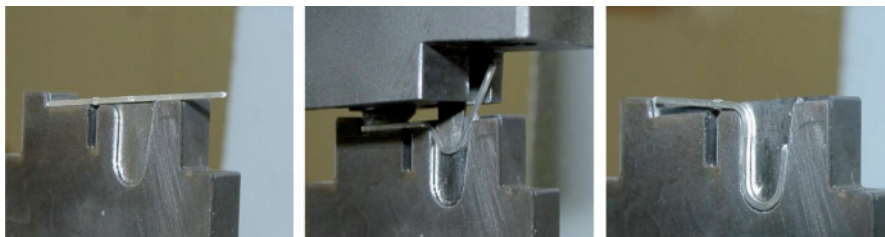


Bild 2: Herstellungsschritte eines Steckerteils aus Kupfer

Herstellung von Steckverbindern

Viele Steckverbinder-Elemente werden aus dünnen Blechstreifen hergestellt, die aus Blechfolien ausgestanzt werden. Dieser Stanzvorgang hat einen großen Einfluss auf die Werkstoffeigenschaften des Streifens, denn oft ist das durch das Schneiden beeinflusste oder geschädigte Volumen gegenüber dem gesamten Volumen nicht zu vernachlässigen. Die Simulation des Stanzens bzw. des Schneidens muss in der Lage sein, nicht nur die lokal sehr hohen Dehnungen, Dehnraten und Temperaturen (weil die an der Schnittkante geleistete plastische Arbeit fast völlig in Wärme umgewandelt wird) im Stoffgesetz richtig abzubilden, sondern es ist auch ein geeignetes Versagenskriterium für die Werkstofftrennung erforderlich. Bild 1 zeigt einige Ergebnisse einer Studie mit einer Kupferlegierung, welche in Zusammenarbeit mit der Universität Louis Pasteur in Straßburg im Rahmen von Dissertationen durchgeführt wurden. Man erkennt, dass im Bereich der Schnittkante nicht nur große Dehnungen und Dehnraten auftreten, sondern auch hohe Temperaturen, hier über 500°C.

Wegen der hohen Genauigkeitsanforderungen muss auch hier der bei praktisch allen Werkstoffen nach Zieh- oder Biegeoperationen auftretende Effekt der elastischen Rückfederung berücksichtigt werden. Die numerische Simulation kann hierbei eine große Hilfestellung sein. Bild 2 zeigt die Herstellung eines Federelements aus einem Stäbchen von 27 mm Länge und einem Querschnitt von nur 0,4 mm². Für die Bestimmung der Parameter des Werkstoffmodells mussten Zug-Druckversuche durchgeführt werden. Dabei ist in der Druckphase ein Ausknicken der Probe zu vermeiden.

Bild 3 zeigt links einen Ausschnitt aus dem Versuchsaufbau in einer sehr stei-

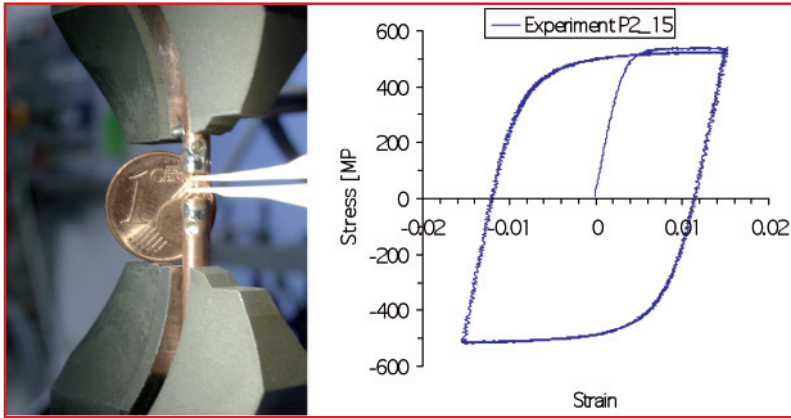


Bild 3: Zug- Druckversuch an einem kleinen Steckverbinder-Element und zyklische Spannungs- Dehnungskurve

fen Prüfmaschine und rechts die gemessene Spannungs-Dehnungskurve in Zug und Druck ([2]).

Mit dem an diesem Versuch angepassten Werkstoffmodell nach Chaboche wurde der in Bild 2 dargestellte Biegeprozess simuliert als Basis für die Optimierung der Biegeform. Bild 4 zeigt eine sehr gute Übereinstimmung der berechneten Kontur mit der am Bauteil gemessenen.

Crimpen

Die wachsende Zahl elektrischer und elektronischer Komponenten im Automobil macht Crimpverbindungen und deren Zuverlässigkeit zu einem wichtigen Faktor. Bei der Erfüllung der ständig steigenden Anforderungen an solche Teile spielt die numerische Simulation eine zunehmend wichtige Rolle. In Kooperation mit einem Industriepartner hat das Fraunhofer IWM den Crimp-Prozess simuliert. Das Modell (Bild 5) für das kommerzielle FE-Programm ABAQUS/Explicit umfasste ungefähr 75000 Volumenelemente, die Crimpwerkzeuge wurden als starre Körper modelliert. Die

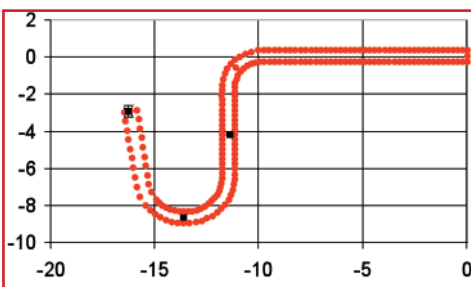


Bild 4: Vergleich der berechneten Kontur (rote Punkte) mit der realen (schwarze Quadrate)

Verdrillung des Litzenbündels wurde berücksichtigt. Die Kontakt- und Reibungsbedingungen für alle Kontaktpartner (Litzen untereinander, Litzen mit Crimphülse, Crimphülse mit Werkzeugen) wurden unabhängig voneinander festgelegt und konnten variiert werden. Die Parameter der Werkstoffmodelle für Litzen und Crimphülse wurden durch Laborversuche ermittelt und angepasst.

Die Simulationsergebnisse wurden, wo immer möglich, mit Messungen verifiziert. So kann man nicht nur die realen Schliffbilder mit den berechneten vergleichen, oft stehen auch Crimpkraft und ihr zeitlicher Verlauf für eine Validierung zur Verfügung.

Bild 6 zeigt das Simulationsmodell am Ende des Crimpvorgangs mit einem virtuellen Schnitt durch die Mitte der Crimphülse im Vergleich mit einem Schliffbild eines realen Crimps. Das validierte Modell liefert detaillierte Informationen z.B. über die Verteilung der Kontaktzonen und der Kontaktdrücke im Inneren des Bauteils, welche das elektrische Verhalten entscheidend beeinflussen ([3]). Im Anschluss an die Prozesssimulation kann eine Analyse des betrieblichen Verhaltens unter Temperatur- und Vibrationsbelastung Aufschlüsse über Relaxationsverhalten und Lebensdauer bringen.

Zusammenfassung und Ausblick

Numerische Simulationstechniken auf der makroskopischen Skala (Kontinuumsmechanik) leisten wertvolle Unterstützung bei der Entwicklung von Steckverbindern. Es bleiben aber noch

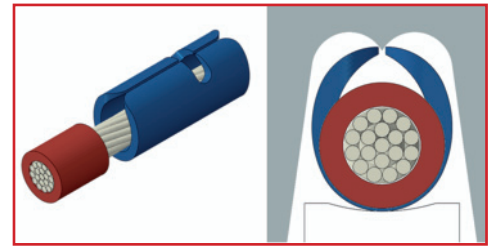


Bild 5: 3D FE- Modell zur Simulation der Herstellung eines Crimps mit Crimpwerkzeugen (rechts)

Möglichkeiten, die Methoden und die Interpretation der Ergebnisse zu verbessern. So werden beispielsweise für die Schneidsimulation so genannte netzfreie Methoden erprobt, welche das Konvergenzverhalten des Modells und die Auflösung der Schnittkanten wesentlich verbessern sollten. Auch fehlen noch abgesicherte und übertragbare Zusammenhänge zwischen Kontaktfläche und -druck und dem elektrischen Übergangswiderstand. Hier ist ein großes Potential in der Anwendung atomistischer und quantenmechanischer Methoden zu sehen.

Literatur

- [1] Lemaitre, L. and Chaboche, J.L. (1990): Mechanics of Solid Materials, Cambridge University Press,
- [2] Poizat, C., Schmitt, W., Krasowsky, A., Andrieux, F., Haas, E., Möll, R. (2004): Evaluation and Improvement of the Bending Process of Connector Elements by Finite Element Simulations, J. Mater. Sci. Technol, Vol. 20 Suppl. 1, 49-51
- [3] Rist, T. and Schmitt, W. (2009): Numerical Simulation of the Crimping Process, Poster presented at the TMS 2009 Annual Meeting and Exhibition, February 15-19, 2009, San Francisco, California

(1) Dr. Winfried Schmitt, Alexander Butz, Tobias Rist, Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik, Freiburg

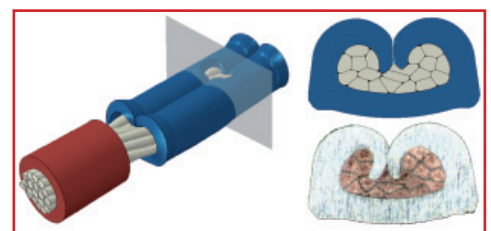


Bild 6: Schnitt durch das Modell am Ende des Crimpvorgangs im Vergleich zu einem Schliffbild (rechts unten)