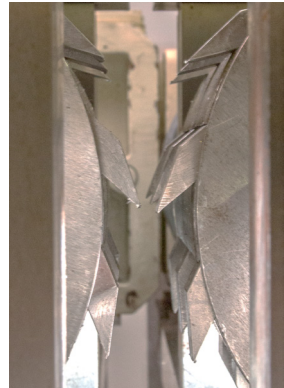


Simulation eines Schneidvorgangs mittels expliziter Dynamik

Prumbohm, M.

Für das Einschneiden der Werkzeuge einer automatischen Zerlegungsanlage in die Produktblechhülle von elektronischen Altbauteilen wird ein FEM-Modell mit dem Ansatz der expliziten Dynamik vorgestellt. Hierfür wird der Ablauf und die Hintergründe des Verfahrens erläutert, die getroffenen Annahmen und Vereinfachungen zur Modellerstellung werden erörtert. Die Modellergebnisse werden anhand von idealen Berechnungsergebnissen aus der Schneid- und Stanztechnik verglichen. Abschließend werden das Anwendungsgebiet und die weiteren Schritte vorgestellt.



Within the following pages the model of a dynamic process of a tool cutting through the metal coat of electronic waste parts, will be presented. Related to the character of the process, the model bases on the approach of explicit dynamics. In the following article the main process is being introduced, assumptions and simplifications will be discussed and the results of the model are getting compared to theoretical values from the punching technology. The results matches quite well. In the end the following steps and applications of the model are presented.

Motivation zur Modellierung

Am Institut für Maschinenwesen wird ein Verfahren zum Zerlegen blechumhüllter Altbauteile aus dem Bereich Elektronik erprobt und untersucht. Ein wesentlicher Bestandteil dieses Verfahrens ist das dynamische System der Anlagenwerkzeuge im Kontakt und das anschließende Durchdringen der Bauteilhülle aus Blech. Eine Reihe von Parametern beeinflusst das Funktionieren und den Energiebedarf des Verfahrens. Dazu gehören Werkstoffeigenschaften von Werkzeug und Blech, die Geometrie der Werkzeuge, die Stellung der Werkzeuge sowie die Blechstärke der Bauteilhülle. Experimentelle Untersuchungen werden durchgeführt, diese sind jedoch zeit- und kostenintensiv. Eine Modellierung der Vorgänge zur Voruntersuchung und Reduzierung verschiedener Werkzeuggeometrien und Werkstoffe ist daher wünschenswert. Aufgrund des dynamischen Charakters des Verfahrens, kommen nur bestimmte Modellarten eines Finite-Elemente-Modells in Frage. Bevor auf diese eingegangen wird, werden der Prozess und die Vereinfachungen erläutert.

Das Verfahren basiert auf dem Prinzip von Walzenreißen, also zwei parallel positionierter Walzen, die mit Werkzeugen bestückt gegenläufig rotieren. Die Bauteile werden in den Spalt zwischen den Walzen aufgegeben. Anschließend werden diese in drei Phasen zerlegt. In Phase I berühren die Werkzeuge die Außenhülle der Bauteile und drücken diese ein. In Phase II durchdringen die Werkzeuge die Blechhülle mittels Einschneiden der Werkzeuge in die Blechhülle. Mit fortschreitender Rotation geraten die Werkzeuge in Eingriff und nehmen die Blechhülle in Richtung der Rotation mit. Je duktiler die Blechhülle ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit der Mitnahme der Blechhülle im Werkzeugeingriff. In den Versuchen kommt es, abhängig von der Werkzeuggeometrie und der Rotationsgeschwindigkeit dennoch zu Ausrissen. Im unteren Drehzahlbereich begrenzt das zur Verfügung stehende Drehmoment den Prozesserfolg.

Ein Modell soll in erster Näherung die Phasen I und II abdecken, also die Kontakt-herstellung, Verformung und das Durchtrennen der Blechhülle in Abhängigkeit von unterschiedlichen Parametern, wie den Werkstoffen von Werkzeug und Blech, der Schneidengeometrie und der Geschwindigkeit und Kontaktwinkel.

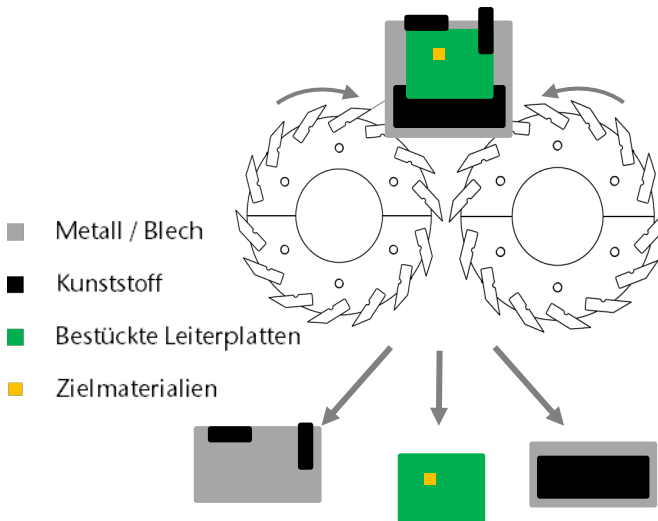


Abbildung 1: Schematische Seitenansicht der Zerlegungsanlage mit Bauteil im eingehenden und idealen Ausgangszustand, in vereinfachter Darstellungsweise

Modellierung mittels expliziter Dynamik

Das Modell soll den dynamischen Kontakt zwischen Werkzeug und Blechhülle und die daraus resultierenden auftretenden Beanspruchungen realistisch abbilden. Entsprechend der nichtlinearen Effekte im Kontakt und dem Werkstoffverhalten beim Einschneiden, wird ein Ansatz mittels expliziter Dynamik gewählt. Der Vorteil eines solchen Ansatzes besteht in einer robusten Lösung gegenüber dominanten Nichtlinearitäten, wie beispielsweise dem Einschneiden der Blechhülle, bei gleichzeitig überschaubarem Rechenaufwand. Dieses könnte bei einer impliziten Wahl der dynamischen Zeitschritte zu Konvergenzproblemen und damit dem Abbruch der Berechnungen führen. /1/

Eine Übersicht der üblichen Anwendung von impliziter und expliziter Dynamik ist in Abbildung 2 dargestellt.

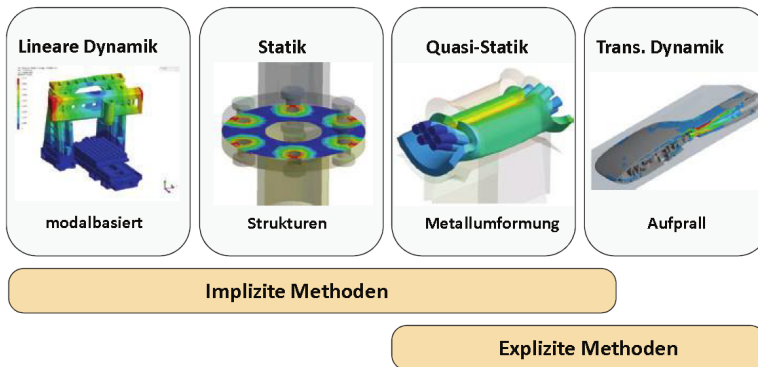


Abbildung 2: Anwendungsschwerpunkte der FEM-Modellansätze /1/

Für die Modellierung wird das System Werkzeug – Bauteilhülle als CAD-Modell herausgestellt und mit einem, für die Betrachtung aus Basis expliziter Dynamik vorteilhaftem, gleichmäßigem Netz von 0,8 mm (Werkzeug) und 0,3 mm (Blech) Elementlänge versehen. Die im realen Verfahren rotatorische Bewegung des Bleches, wird in eine translatorische Bewegung umgewandelt. Die kurze Strecke, die die Werkzeuge in Phase I und Phase II des Prozesses zurücklegen, legt diese Vereinfachung nahe. Zur Modellvalidierung wird darüber hinaus die Bewegung des Werkzeuges nur in Vorschubrichtung zugelassen, sowie eine Verformung des Werkzeuges ausgeschlossen.

Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse zur Modellvalidierung durch einen Vergleich der Schneidkräfte, mit denen aus der Literatur dargestellt. Zur analytischen Berechnung der Schneidkräfte, die beim Durchdringen der Blechhülle auftreten, werden bestehende Formeln aus der Fertigungstechnik herangezogen.

$$F_s = A_s \cdot C \cdot R_m \quad /2/ \quad 1$$

$$\text{mit } A_s = l_s \cdot s \quad 2$$

Die Schneidkraft wird dabei in Abhängigkeit der Schneidlänge l_s , der Blechstärke s , dem spezifischen Schneidwiderstand C in Abhängigkeit vom Durchmesser des Werkzeuges und der Zugfestigkeit des Blechwerkstoffes berechnet. Diese Formel zur überschlägigen Ermittlung von Schneidkräften geht von stempelförmigen Werkzeugen, mit ideal scharfer Schneide aus. Reale Geometrien verfügen immer über einen, wenn auch geringen, Radius. Dieser erhöht die benötigte Schneidkraft leicht, im Vergleich zu den theoretischen Werten. Verwendet man Werkzeuge mit einem Schneidwinkel von unter 85° , beispielsweise in Form des gewählten Keiles, reduziert sich die benötigte Schnittkraft um zwei Drittel. /2/

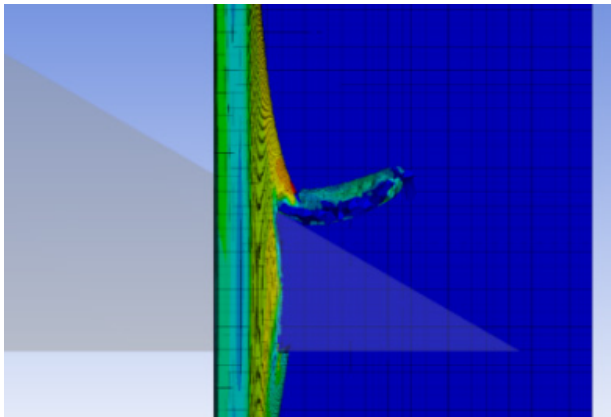


Abbildung 3: *Simulationsdarstellung am Ende von Phase II, das Werkzeug hat die Blechhülle vollständig durchdrungen; der Blechbutzen wurde durch das nachfolgende Werkzeug hochgeschoben.*

Stellt man die Ergebnisse aus der Formel für verschiedene Blechwerkstoffe denen des Modells gegenüber, ergeben sich für verschiedene Schneidlängen übereinstimmende Werte, wie in Abbildung 3 dargestellt. Die durchgezogenen Linien

stellen die Werte aus dem Modell dar, die gestrichelten Linien geben die idealen Formelwerte wieder. Die Abweichungen beruhen auf der gewählten Länge der expliziten Zeitschritte. Diese sind am Rande eines stabilen Modells gewählt. Aufgrund der langsamen Realgeschwindigkeit des Vorgangs, wird die Geschwindigkeit im Modell im Rahmen eines realistischen Werkstoffverhaltens beim Durchtrennen erhöht. Eine Änderung des dynamischen Verhaltens von Werkzeug und Blech wird durch einen Vergleich der Simulation mit Versuchsergebnissen vermieden. Mit der Wahl der Zeitschritte wird die Genauigkeit der Modell-ergebnisse bestimmt. Um eine überschaubare Berechnungsdauer zu gewährleisten, werden Zeitschritte im Bereich um die 0,003 s verwendet. Die auftretenden Abweichungen können im Rahmen dieses üblichen Vorgehens /1/ in Kauf genommen werden.

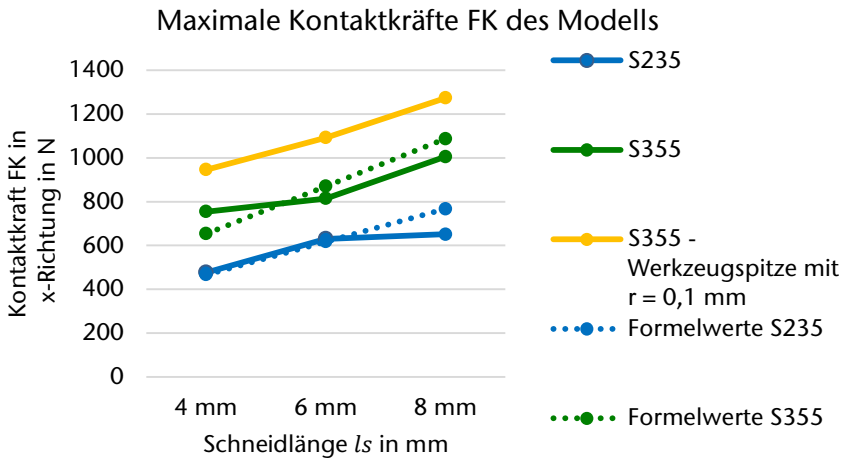


Abbildung 4: Vergleich der Schneidkräfte aus dem Modell und den berechneten Werten

Zeitschrittänderungen allein lassen das Modell leicht instabil werden, eine Reduzierung der Abweichung lässt sich auch über die Erhöhung der Dichte in den Elementen mit den kleinsten Kantenlängen, gefolgt von einer Anpassung der Zeitschritte, erreichen. Dies führt zu einer Verringerung der Schallgeschwindigkeit dieser Elemente und damit zu einer Erhöhung des im Modell zulässigen Zeitschrittes. /1/

Zusammenfassung und Ausblick

Mit der Modellierung des vereinfachten Systems Werkzeug – Blechhülle wurde eine lauffähige Darstellung des Schneidvorgangs erreicht. Die Überprüfung der Werte für die erforderliche Schneidkraft mittels Formeln aus der Fertigungstechnik ist positiv ausgefallen, die Bestätigung der analytischen Kräfte war erfolgreich. Als nächster Schritte erfolgt ein Vergleich mit Ergebnissen aus praktischen Versuchen. Das Modell soll im Weiteren die folgenden Parameter abbilden und eine Untersuchung dieser ermöglichen:

- Verschiedene Geschwindigkeitsbereiche in Anlehnung an verschiedene Drehzahlen des Hauptverfahrens
- Blech: Wandstärke, Werkstoffe und Größe
- Werkzeug: Schneidlänge, Schneidwinkel, Form und Werkstoffe, Verformbarkeit, Anstellwinkel
- Simulation von Ausnahmefällen: Auftreffen auf Festkörper

Literatur

- /1/ Gebhardt, C.: Praxisbuch FEM mit ANSYS Workbench, Hanser Verlag, 2. Auflage, München, 2014
- /2/ Romanowski, W.P.: Handbuch der Stanzereitechnik, VEB Verlag Technik, 5. Aufl. Berlin 1965