

ZIM-Projekt AZEMA - Ergebnisse des Projektes zur Entwicklung einer Anlage zum Zerlegen von Elektrobauteilen mit metallischer Außenhülle



Prumbohm, M.

Am IMW ist das ZIM-Projekt zur Entwicklung und Bau einer Anlage zum maschinellen Zerlegen von blechumhüllten Bauteilen, vor allem aus dem Elektrobereich, erfolgreich abgeschlossen worden. Auch komplexe Geräte wie Steuergeräte aus Fahrzeugen lassen sich mit dem Verfahren öffnen und zerlegen. Die Ergebnisse erlauben für den Projektpartner die Umsetzung im Unternehmen.

At IMW, the ZIM project for the development and construction of a plant for the mechanical dismantling of sheet metal-coated components, especially from the mechanical sector (WEEE), has been successfully completed. The results will allow the partner company to put the project into practice. Even complex devices such as control units can be opened and disassembled with the process.

Ansatz und Ziele

Pre-Shred-Prozesse werden mit ihrer Vorzerkleinerung als Verfahren zur Effizienzsteigerung des Recyclingprozesses eingesetzt. Für diese vorgeschaltete Position des Pre-Shred soll im Folgenden ein maschinelles Zerlegungsverfahren vorgestellt werden, das am IMW erdacht hat. Im Rahmen eines ZIM-Projektes wurde es entwickelt und erprobt. Dabei erfolgt anstatt einer Volumenreduzierung des Bauteils, wie sie in Zuge einer herkömmlichen Grobzerkleinerung erfolgt, eine Vergrößerung des Bauteilvolumens durch eine Zerlegung und Öffnung der Bauteilstruktur. Eine erleichterte Trennung und Aufkonzentration der im Bauteil enthaltenen Wertstoffe, bilden die übergeordneten Ziele dieser Prozessidee, um damit schließlich eine Verbesserung der Recyclingtiefe zu erreichen.

Der Ansatz basiert auf dem Prinzip von Profilwalzenreißern, also zweier gegenläufig rotierenden, parallel angeordneten Walzen, die mit Profilen bzw. Werkzeugen besetzt sind. Entsprechend der Zielsetzung lässt sich die Hauptfunktion mit „Bauteilstruktur zerlegen“ beschrieben. Diese wird in die vier folgenden Unterfunktionen unterteilt:

1. „Blechhülle durchdringen (Schneiden)“
2. „Eingriff bilden“
3. „Eingriff halten (Zerlegen)“
4. „Abstreifen“

Zur Gestaltung der Profilwerkzeuge als Kernelement des Prozesses, kommt eine Reihe von unterschiedlich und funktionsgerecht gestalteten Werkzeugen in Betracht. Im Folgenden werden die Anforderungen an diese aufgezeigt und anschließend an Hand einiger Varianten sowie den zu erwarteten Vor- und Nachteile mit den Ergebnissen aus der Praxis verglichen.

Durchführung

Der geplante Prozess der Zerlegung von Elektrobauteilen mit metallischer Außenhülle basiert grundlegend auf dem Prinzip von Profilwalzenreißern. Dieses wird seit vielen Jahren beispielsweise in der Zerkleinerung von weicher Braunkohle verwendet /1/. Das Anlagenprinzip wurde im Rahmen des Projektes hinsichtlich der Drehzahl, der Walzenabstände und als Schlüsselemente besonders der Werkzeugform und –anstellung verändert, um die Funktionsweise des erdachten Anlagenprinzips der AZEMA (Anlage zum Zerlegen von Elektrobauteilen mit metallischer Außenhülle) nachzuweisen und die Zielp Parameter für eine industrielle Markteinführung zu identifizieren. Der maschinelle Zerlegungsprozess arbeitet wie beschrieben mit Hilfe zwei parallel angeordneter, gegenläufig rotierender Walzen, die mit Werkzeugen bestückt sind. Diese sollen in die Blechhülle der Elektroteile einschneiden, in der Blechhülle in einen Eingriff gelangen und diesen im Zuge der Rotation halten und somit das Bauteil zerlegen. Die wesentlichen Bestandteile der Anlage sind in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Schräge Draufsicht auf die Versuchsanlage mit voller Werkzeugbestückung und voller Schneidlänge

Entsprechend der Funktionen lässt sich der Zerlegungsprozess in die folgenden Phasen gliedern, siehe Abbildung 2.

- Phase I: Bauteilzuführung, Kontakt mit den Werkzeugen und Eindrücken der Blechhülle
- Phase II: Durchdringen der Blechhülle durch Schneiden (entspricht der Unterfunktion 1 des Werkzeugs), Werkzeuge geraten in Eingriff (Unterfunktion 2 des Werkzeugs)
- Phase III: Zerlegung mit fortschreitender Rotation (Unterfunktion 3 des Werkzeugs)
- Phase IV: Abstreifen der Blechreste aus dem Eingriff der Werkzeuge (Unterfunktion 4 des Werkzeugs)



Abbildung 2: Die Phasen des Zerlegungsprozesses entlang des Weges der zu zerlegenden Bauteile

In der Phase I wird durch die Lage zwischen den Werkzeugen und der Bauteilhülle sowie der Blechbeschaffenheit die Grundlage für die Belastungsgrößen der folgenden Phase II beeinflusst. Dabei erfahren die Werkzeuge als wesentliche Elemente der Anlage in Phase II beim Durchdringen der Blechhülle die höchsten Beanspruchungen des Prozesses. Das Einschneiden lässt sich zur Abschätzung der auftretenden Kräfte mit den Vorgängen des Einschneidens aus der Fertigungstechnik vergleichen.

In der entsprechenden Literatur wird die Formel 1 zur Berechnung der Schneidkraft verwendet, /2, 3/. Dabei entspricht l der Schneidlänge, s der Wandstärke des zu durchtrennenden Bleches und der Schneidwiderstand k_s ist ein Werkstoffwert, der aus Multiplikation der Zugfestigkeit mit einem Korrekturfaktor besteht.

$$F_s = l \cdot s \cdot k_s \qquad 1$$

Die Parameter der Schneidlänge und der Wandstärke haben also einen großen Einfluss auf die Schneidkräfte und damit auf die erfolgreiche Durchführung der Phase II des AZEMA-Pre-Shred-Prozesses. Diese Formel gilt für glatte Stanzwerkzeuge, die senkrecht auf das Bauteil treffen. Mit angeschnittenen Werkzeugen reduziert sich die Schneidkraft um mindestens zwei Drittel im Vergleich zu flachen Stanzwerkzeugen /2/. Die Lage der Werkzeuge im Moment des Einschneidens zum Blech wirkt sich auf den Beanspruchungszustand im Werkzeug aus. Die vereinfachte Formel 1 aus der Fertigungstechnik basiert auf einem einachsigen Spannungszustand hervorgerufen aufgrund reiner Druckbeanspruchung. Mit der Abweichung von einer rechtwinkligen Position des Werkzeuges zum Blech ergibt sich ein zweiachsiger Spannungszustand. Dieser ergibt in Abhängigkeit des Winkels der Schneidkraft eine zunehmend größer werdende Hauptspannung in y-Richtung. Diese wird durch ein wachsendes Biegemoment hervorgerufen, welche schließlich im theoretischen Grenzfall von 0° Auftreffwinkel zwischen Werkzeug und Blech vollständig der Schneidkraft F_s entsprechend würde. Bei dem auf das Schneiden folgende Zerlegen in Phase III, ist an der Werkzeugeinspannung ebenfalls mit einem Biegemoment aufgrund des Widerstandes des Blecheingriffs und der Bauteilstruktur gegen das „Auseinanderziehen“, also dem Zerlegen zu rechnen. Allerdings wurde dieses vorab als deutlich geringer als beim Einschneiden eingeschätzt, was sich in den Versuchsmessungen bestätigt hat. Das Zerlegen soll durch ein Versagen der Fügeelemente und durch ein Abscheren des Blechwerkstoffes aufgrund hoher Schubbeanspruchungen erfolgen. Nach dem Schritt der Zerlegung ist auch mit einem Ausreißen der Werkzeuge aus dem Eingriff zu rechnen, spätestens am Abstreifer sollte dies geschehen. Die Blechreste werden regelrecht aus dem Eingriff der Werkzeuge geschält bzw. geschnitten.



Abbildung 3: Eingriffstelle sowie Versagen der Blechhülle an intaktem Fügeelement (Schraube)

Ergebnisse

Für die Zerlegung von Bauteilen mit Blechhülle haben sich die folgenden Parameter als zielführend erwiesen:

Drehzahlen: Um die Zähigkeit der Blechhülle ausnutzen zu können und damit den Eingriff zu verbessern, werden gute Ergebnisse im niedrigen Drehzahlbereich von 6 – 8 U/min erzielt. Im Bereich unter diesen Drehzahlen steigt das benötigte Drehmoment stark an, im darüber liegenden Bereich wächst die Gefahr des Ausreißen der Werkzeuge aus der Blechhülle. Ebenfalls als vorteilhaft hat sich eine asynchrone Einstellung der Drehzahlen erwiesen. Gerät die Hülle auf beiden Seiten in den Eingriff, wirkt so zusätzlich mit der Spaltvergrößerung im Zuge der Rotation, noch eine scherende Komponente auf die Bauteilhülle. Die Bauteilstruktur wird so zuverlässiger zerlegt.

Spaltweite: Der Abstand zwischen den beiden gegenläufig rotierenden Walzen wird auch als Zerlegespalt bezeichnet. Dieser darf nicht zu groß sein, um bei sehr nachgiebigen Bauteilen das Durchdringen der Werkzeuge in die Bauteilhülle zu gewährleisten oder gar ein Durchrutschen zu vermeiden. Ein zu enger Zerlegespalt wiederum benötigt ein deutlich höheres Drehmoment und begünstigt das Steckenbleiben. In Abhängigkeit von der Werkzeuglänge und der Werkzeugposition ist ein Mindestspalt zwischen den Walzen erforderlich, um Beschädigungen an den Werkzeugen zu verhindern. Aufgrund der wechselnden Bauteilabmaße wird die Zerlegespalteinstellung in Abhängigkeit von der Bauteilbreite angegeben. Diese sollte 50 % der Bauteilbreite betragen, die Toleranz sollte im Bereich von ± 5 % liegen, um die oben beschriebenen Effekte zu vermeiden.

Werkzeugposition: Wie in Abbildung 4 erkennbar ist, werden die Werkzeuge in einem Winkel zwischen der gedachten Tangente am Umfang der Walzen und deren Orthogonalen angeordnet. Als Kompromiss zwischen einer flachen Position nah an der Tangente und einer senkrechten Position hin zur Orthogonalen der Tangente, hat sich ein Anstellwinkel von 45° erwiesen. Für flachere Anstellwinkel steigt der Energiebedarf stark an, die Werkzeuge berühren mit der Schneidfläche auf die Bauteilhülle. Je näher die Werkzeuge hin zu einer senkrechten Position aufgestellt werden, desto geringer wird die aufzuwendende Schneidkraft F_S . Allerdings nimmt mit zunehmendem Positionswinkel die Neigung zum Eingriff ab, bis hin zu einem „Löchern“ der Bleche, ohne in Eingriff zu geraten.

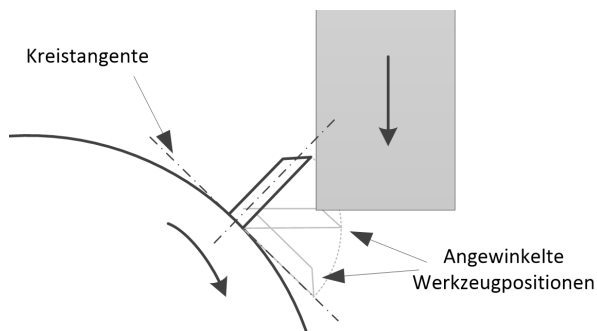


Abbildung 4: Mögliche Werkzeugpositionen

Gemäß der Formel 1 für die Schneidkraft nimmt die aufzubringende Kraft in Abhängigkeit von der Länge der Schneide zu. Mehr Werkzeuge bedeuten längere Schneiden und damit auch eine höhere Schneidkraft und ein größeres Drehmoment bzw. mehr Leistung als direkte Folge. Für die Prozessqualität ist ein zuverlässiger, haltbarer Eingriff jedoch ausschlaggebend, und dieser profitiert von möglichst breiten Werkzeugen bzw. deren Schaftbreite. Versuche mit reduzierter Werkzeuganzahl haben keinen wesentlichen Vorteil durch eine geringere Schneidkraft gegenüber den Folgen eines verringerten Eingriffs und der geringeren Wahrscheinlichkeit des Eingriffs aufgrund der geringeren Werkzeuganzahl gezeigt. Daher wird Schneidlänge je Werkzeugreihe von mindestens 10 % der Bauteillänge empfohlen.

Werkzeuggestalt: Die Gestaltung der Werkzeuge muss den Widerspruch der beiden Funktionen „Schneiden“ und „Eingriff halten“ vereinen. Als Lösung bieten keilförmige Elemente mit einem Schneidenwinkel von 30° , einer entsprechend scharfen Schneidkante und einer Breite von 10 mm mit abgerundeten Seitenkanten an.

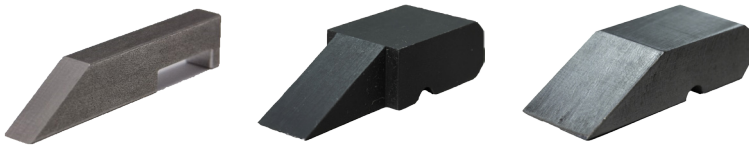


Abbildung 5: Schneidelemente in der Erprobung: 5 mm, 10 mm und 15 mm Länge der Schneiden. In der Mitte: Gehärtetes Material führt zur Erhöhung der Standfestigkeit der Werkzeuge

Energieverbrauch: Im unmittelbaren Vergleich mit herkömmlichen Pre-Shred-Zerkleinerungsanlagen wird mindestens 1/10 der Antriebsleistung benötigt. Dieser signifikante Unterschied lässt ein hohes Einsparpotential erwarten. Um ein vollständiges Urteil über die Einsparpotentiale machen zu können, ist das Durchlaufen einer vollständigen Prozesskette, mit den notwendigen, nachfolgenden Aufbereitungsschritten, die unter Umständen auch weitere Zerkleinerung vorsehen, notwendig.

Ausblick

Die Zerlegung von elektronischen Bauteilen aus dem WEEE-Bereich, wie Festplatten und KFZ-Steuergeräte, wurde wie gezeigt anhand von praktischen Versuchen untersucht. Um Antworten für die Frage nach weiteren Anwendungsbereichen zu finden, wird mittels Literaturdaten das Potential der jeweiligen Bauteile abgeschätzt und ein notwendiger Durchsatz für die Anlage beziffert. Abschließend soll die mögliche Anwendung der vorgestellten maschinellen Pre-Shred-Zerlegung für Altfahrzeugkarosserien beurteilt und notwendige Anpassungen sowohl für die Prozessidee als auch für die bestehende Lösung, diskutiert werden.

Zusammenfassung

Das Projekt zur Entwicklung einer automatischen Zerlegungsanlage, für die Position einer Pre-Shred-Anlage im IMW ist abgeschlossen. Das Verfahren funktioniert für Bauteile mit duktiler Blechhülle, wie beispielsweise Steuergeräte aus dem KFZ-Bereich oder Festplatten. Die Verfahrensweise wird im Beitrag vorgestellt und die ermittelten, für die Versuchsanlage grundlegenden Parameter werden in der Ergebnisdarstellung präsentiert. Diese tragen zu einer stabilen und zuverlässigen Prozessqualität bei. Abschließend wird ein Ausblick für das Vorgehen zur Erschließung weiterer Anwendungsgebiete der Prozessidee gegeben.

Besonderer Dank gilt:

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Literatur

- /1/ Höfl, K.: Zerkleinerungs- und Klassiermaschinen. Berlin Heidelberg New York Tokyo : Springer-Verlag, 1986
- /2/ Romanowski, W. P.: Handbuch der Stanzereitechnik. 5. Auflage. Berlin : VEB Verlag Technik,, 1965
- /3/ Hellwig, W.; Kolbe, M.: Spanlose Fertigung Stanzen. Wiesbaden : Vieweg+Teubner Verlag Springer Fachmedien, 2012