

## FE-Analyse von Werkzeugbelastungen bei einem kombinierten Loch- und Anspiegelprozess

Fertigungskosten spielen in der heutigen Zeit eine wichtige Rolle in Bezug auf die wirtschaftliche Herstellung von Produkten. Ein Faktor der Fertigungskosten sind die anfallenden Werkzeugkosten. Deshalb habe ich im Rahmen meiner Masterarbeit einen Produktionsprozess mit geringer Werkzeugstandmenge simulativ analysiert, um daraus Optimierungspotenziale zu ermitteln. Ziel ist die Erhöhung der Werkzeugstandmenge bei gleichzeitiger Verbesserung der Fertigungsqualität.



## AUTORIN



**Mareike Kollmer, M. Sc.**

ist Entwicklungsingenieurin bei der SCHOMÄCKER Federnwerk GmbH in Melle

### MOTIVATION ZUR BERUFSWAHL

Gegen Ende meiner Schulzeit habe ich mich erstmals damit beschäftigt, was ich beruflich werden möchte. Um einen Einblick in den Beruf als Ingenieurin zu bekommen, absolvierte ich ein Schulpraktikum in diesem Bereich. Das Praktikum hat mir sehr gefallen und durch die Tatsache, dass ich an Mathematik und Physik schon immer interessiert war, entschied ich mich dafür, beruflich in Richtung Maschinenbau zu gehen. Da mich das System des dualen Studiums aufgrund der Kombination von Theorie und Praxis sehr ansprach, habe ich mich bei Firmen beworben, die sich in diesem Ausbildungsweg engagierten. Im Jahr 2011 begann ich im Schomäcker Federnwerk, einem mittelständischen Familienunternehmen mit zirka 250 Mitarbeitern in Melle, Niedersachsen, als duale Studentin in Kooperation mit der Hochschule Osnabrück.

Die Firma existiert seit 1880 und kann auf eine lange Historie zurückblicken. Zur Produktpalette zählen Federlenker, Parabelfedern und technische Komponenten. Die Federlenker werden in luftgefederten Achsen von Trailern verbaut und übernehmen die Aufgabe der Achsführung und -stabilisierung in Quer- und Längsrichtung (Bild 1).

Den Kontakt zur Warmumformung habe ich also eher beiläufig durch das Unternehmen bekommen. Nach dem beendeten Bachelorstudium beschäftigte ich mich als Ingenieurin ein Jahr lang vorwiegend mit der Schmiedesimulation. Da mich diese Aufgabe und insbesondere die praktische Umsetzung im Betrieb so faszinierten, entschied ich mich dazu, im Masterstudiengang Entwicklung und Produktion an der Hochschule Osnabrück meine Kenntnisse zu vertiefen und mich weiterzubilden. Die Kombination von Entwicklung und Produktion passte perfekt zu meinem Aufgabengebiet im Unternehmen.

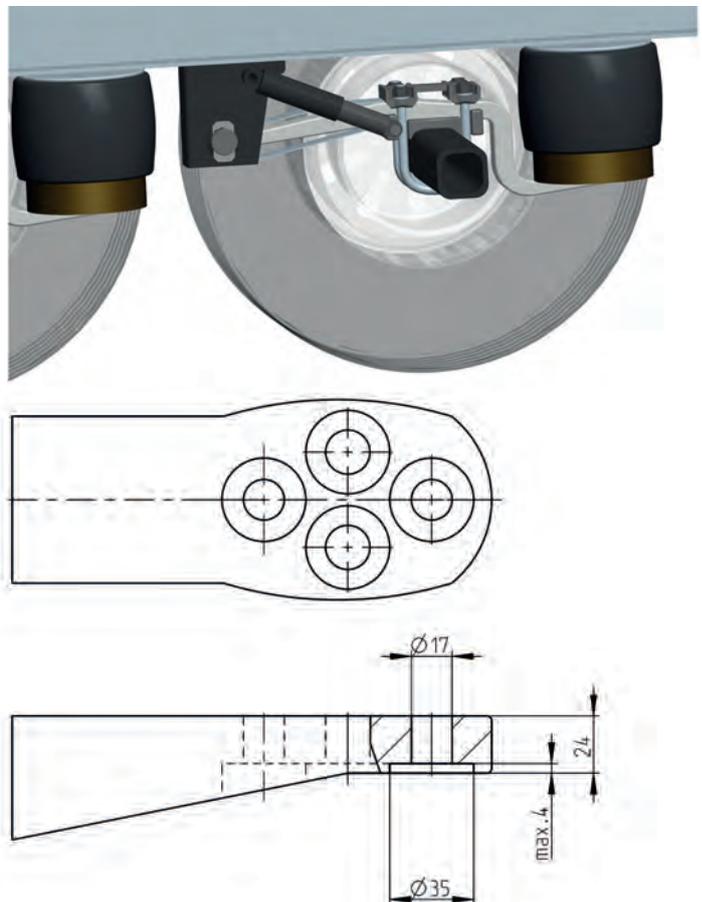


Bild 1: Die Einbausituation eines Federlenkers im Trailer und ein hinterer Bauteilausschnitt mit eingebrachtem Loch- und Anspiegelbild.

Das Studium beendete ich mit meiner Masterarbeit, die von Prof. Dr.-Ing. Bernhard Adams, Leiter Labor für Umformtechnik und Werkzeugmaschinen (LUW) und seitens des Schomäcker Federnwerks von Dipl.-Ing. Hubert Temmen, Leiter Produkt- und Prozessentwicklung, betreut wurde. In der Masterarbeit habe ich mich intensiv mit dem Thema Werkzeugbelastungen und den Möglichkeiten der Berechnung mit der Finiten-Elemente-Methode auseinandergesetzt.

Vorermittlungen im Schomäcker Federnwerk im Bereich der Warmumformung haben ergeben, dass die Werkzeugstandmenge bei einer Lochoperation mit gleichzeitigem Anspiegelprozess an den hinteren Lenkerenden am geringsten ist. Unter Anspiegeln wird dabei ein Prägeprozess zur Bearbeitung orthogonal zur Lochachse liegender, koaxialer Kalibrierflächen verstanden. Das herzustellende Lochbild mit den Anspiegelflächen wird an einem Bauteilausschnitt in Bild 1 dargestellt. Die Materialstärke variiert bei den verschiedenen Produktvarianten von 20 bis 24 mm. Die unterschiedlichen Materialstärken werden im Vorprozess durch Warmflachwalzen in fünf bis sechs Stichen erzeugt.

Um realitätsnahe Anfangsbedingungen bezüglich der Geometrie und der Temperaturverteilung in den Simulationen vorliegen zu haben, ist die Prozesskette vom Flachstabmaterial bis zum Lochprozess ebenfalls simulativ berechnet worden.

## UMFORMSIMULATION

Der Loch- und Anspiegelprozess erfolgt kurz nacheinander innerhalb eines Pressenhubs in einer hydraulischen Presse. Der Lochprozess beginnt mit einem Lochstempel, der auf die nicht orthogonal zur Lochachse liegende Walzenauslaufläche angreift. Durch diesen einseitigen Kontakt mit dem Werkstück wirken auf den Stempel Kräfte, die diesen von der Auswalzfläche weg nach hinten biegen. Im weiteren Verlauf bekommen die seitlichen Lochstempel und der Stempel im hinteren Bereich Werkstückkontakt und die Biegerichtung des vorderen Stempels ändert sich. Die Biegung aller Lochstempel weist aufgrund der Materialverdrängung von der Lochbildmitte nach außen.

Nach dem Durchlochen setzen die koaxial an den Lochstempeln angeordneten Anspiegelflächen auf die Werkstückoberfläche auf und der Anspiegelprozess beginnt. Mit dem Weiterfahren des Werkzeugs wird das Material verdrängt und speziell nach außen geschoben. Die Simulationen zeigen, dass die Lochstempel diesen Materialquerfluss behindern, weshalb sich elliptische Lochformen bei den seitlich gelegenen Löchern und damit erhöhte Genauigkeitsabweichungen ergeben. Die Anspiegeltiefe hat einen entscheidenden Einfluss auf die Formabweichungen der Löcher. Die geringste Anspiegeltiefe wird durch die Vorgabe der vollständigen Prägung der Anspiegelungen limitiert, die an den äußeren Rändern der seitlichen Löcher kritisch ist.

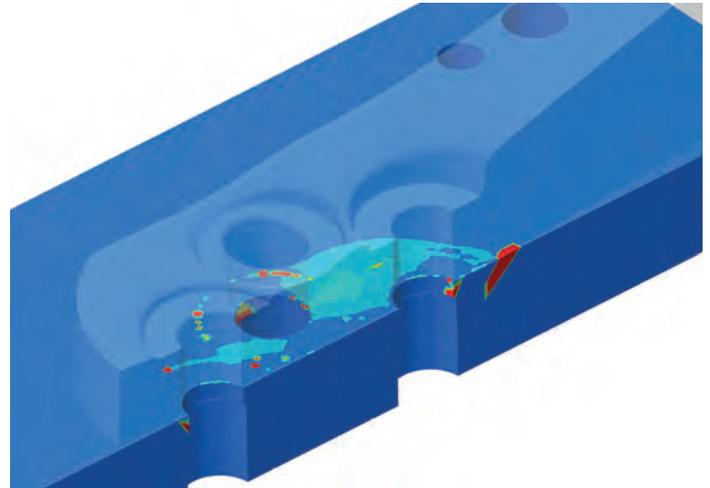


Bild 2: Berechneter Verschleiß an den Schneidbuchsen im Halbschnitt



Bild 3: Abrissverlauf an einem Butzen



ohne Breitenbegrenzung

mit Breitenbegrenzung

Bild 4: Lochform im Bauteil mit und ohne Breitenbegrenzung

Bilder: SCHOMÄCKER Federnwerk GmbH

Bei der Berechnung des Lochprozesses, der einen Trennprozess darstellt, wurde zusätzlich die Materialschädigung mit dem Johnson-Cook Modell berechnet. Eine automatische Elemententfernung wurde aufgrund der höheren Rechenzeiten nicht vorgenommen. Der Werkzeugverschleiß wurde in beiden Berechnungsschritten vergleichend mit dem Modell von Archard gerechnet. In den Simulationsergebnissen ist ein stark asymmetrischer Verschleiß der Schneidbuchsen und der Lochstempel erkennbar. Der Verschleiß der Schneidbuchsen ist in Bild 2 dargestellt. Die berechneten Biegespannungen tragen signifikant zu erhöhter mechanischer Belastung der Lochstempel bei.

## VERGLEICH DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der FE-Analysen wurden im Anschluss mit den in der Realität gemachten Erfahrungen verglichen und zeigten sehr gute Übereinstimmungen. Es zeigte sich, dass die Belastung und der Verschleiß der Werkzeuge mit der zu lochenden Materialstärke erwartungsgemäß zunehmen und die Biegebelastungen der einzelnen Lochstempel stark variieren. Dies ist die Ursache für asymmetrische Schneidspalte und daraus resultierende unterschiedliche Schnittbedingungen über dem Lochumfang. Die unterschiedlichen Schnittbedingungen sind deutlich an den ausgelochten Butzen erkennbar. Während auf einer Butzenseite der Rissanteil kaum vorhanden ist, weist die gegenüberliegende Seite einen Abrissanteil bis zu einer halben Butzenstärke auf (Bild 3).

## OPTIMIERUNGSANSÄTZE

Auf den Analysen aufbauend wurden mehrere Optimierungsansätze abgeleitet, modelliert und die Auswirkungen auf die Werkzeugbelastung und Fertigungsqualität quantifiziert. Die Optimierungsmaßnahmen beziehen sich auf die Gestaltung der Lochstempel und die Steuerung des Stoffflusses beim Anspiegeln.

Durch ein Reduzieren der freien Stempelbiegelänge wurden die Verlagerungen der Stempelachsen verringert und der daraus resultierende Schneidspalt deutlich gleichmäßiger. Die Vergleichsspannungen in den Lochstempeln konnten im Maximum um 31 Prozent gesenkt werden. Die verringerte Biegung resultierte jedoch nicht in einen symmetrischeren Verschleiß der Werkzeuge. In den Simulationen wurde das Anspiegeln als Teilprozess mit der höchsten Verschleißrelevanz identifiziert, der nicht an der Schneidkante, sondern infolge des Materialquerflusses an der Innenfläche der Schneidbuchsse und der Mantelfläche des Lochstempels auftritt. Als Maßnahme zur Verbesserung der Lochergebnisse werden die Stempel auf geringere Längen umkonstruiert. Wegen der einseitigen Verschleißlage an den Mantelflächen sollen die Schneidbuchsen und die Lochstempel nach einer vorgeschriebenen Standmenge um 180° gedreht werden.

Um den Materialquerfluss nach außen zu begrenzen, wird der Lochbereich des Bauteils simulativ mit einer werkzeugseitigen, starren Breitenbegrenzung abgestützt. Dadurch sollen die Quer-

belastungen der Werkzeuge und die elliptische Lochform reduziert werden. Da das von den Anspiegelstempeln verdrängte Volumen konstant bleibt, verlagert sich jedoch der Materialfluss vor allem in Längsrichtung des Bauteils. Die elliptische Form der seitlich liegenden Löcher wird deutlich verbessert. Die Form des im Walzenauslauf liegenden Lochs ist jedoch durch den nun überwiegend längs gerichteten Materialfluss in dieser Richtung leicht elliptisch geworden und die Orthogonalität der Lochmantelfläche hat sich verschlechtert. Dieser Vergleich ist in Bild 4 erkennbar.

## FAZIT

Die simulationsgestützt entwickelten Optimierungsansätze zeigen Verbesserungen der Teilprozesse Lochen und Anspiegeln auf und reduzieren Werkzeugbelastungen und -kosten. Während das Kürzen der Stempel die Biegung und so die Lochstempelbelastung und die Asymmetrie im Schneidspalt herabsetzt, verbessert eine seitliche Abstützung der Bauteile im Lochbereich die Qualität der Lochformen. Eine Kombination der beiden Optimierungen wird den Prozess insgesamt verbessern. Deshalb ist das Implementieren einer kraftgebundenen und nachgiebigen Breitenbegrenzung im Prozess Gegenstand weitergehender Arbeiten. Dadurch sollen der Materialfluss in Querrichtung gezielt beeinflusst und die elliptischen Abweichungen der seitlichen Lochungen weiter minimiert werden.

Die Simulationen auf Basis der FEM unterstützen die Ingenieure im Federnwerk bei der Konstruktion von Produkten und den dazugehörigen Produktionsprozessen. Im Vorfeld können durch Analysen kritische Prozesse erkannt werden und Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Genau diese Schnittstelle, dem Kunden ein optimales Produkt nicht nur seitens der Konstruktion, sondern auch aus Sicht des Produktionsprozesses entwickeln zu können, sehe ich als sehr spannende Aufgabe und bin gespannt, welche Projekte ich in Zukunft in diesem Bereich bearbeiten werde. Rückblickend kann ich Schülern und insbesondere auch Schülerinnen nur ans Herz legen, den Bereich der Ingenieurwissenschaften in ihre Berufswahl nach dem Schulabschluss mit einzubeziehen.



SCHOMÄCKER Federnwerk GmbH  
Borgholzhausener Straße 1  
49324 Melle  
Tel.: +49 5422 108-0  
info@schomaecker.de  
www.schomaecker.de

Hochschule Osnabrück  
Labor für Umformtechnik und Werkzeugmaschinen LUW  
Artilleriestraße 46  
49076 Osnabrück  
Tel: +49 541 969-3621  
b.adams@hs-osnabrueck.de  
www.hs-osnabrueck.de/luw