

SPANNUNGSOPTIMIERUNG VON KUTTERMESSERN UNTER NACH BIOLOGISCHEM VORBILD

Prof. Dr.-Ing habil. Emil Kolev
University of Applied Sciences Schmalkalden
Stefan Theer
University of Applied Sciences Schmalkalden

Abstract

Die CAO Methode (CAO = Computer Assisted Optimization) wurde im Forschungszentrum Karlsruhe von Professor Mattheck und seinen Mitarbeitern entwickelt. Nach dem Vorbild des natürlichen Wachstumsprozesses biologischer Gewebe werden mit diesem Verfahren lokale Spannungsspitzen von Bauteilen – innerhalb der vom Entwickler vorgegebenen Grenzen - deutlich minimiert. Der Grundgedanke ist, die Oberflächenstrukturen einer Konstruktion so zu gestalten, dass die Spannungsverteilung homogenisiert wird, genau wie beim biologischen Wachstum. Hierfür verwendeten wir das FEM-Programm Ansys, um sowohl eine 2D als auch eine 3D Optimierung zu erzeugen. Am Beispiel eines Kuttermessers wurden Spannungsreduktionen bis zu 42% erreicht, wobei der Materialzuwachs in allen Modellen unter 1% lag. Durch die rasante IT-Entwicklung wird dieses Verfahren wirtschaftlich und praxisnah.

Keywords: CAO, FEM, Ansys, Kuttermesser, Spannungsreduktion.

INTRODUCTION

In der Lebensmittelindustrie werden sehr viele verschiedene Messertypen zum Zerkleinern von frischen und gefrorenen Bestandteilen in einer Kuttermaschinen verwendet. Es gibt wenige gesicherte wissenschaftliche Untersuchungen zu den Messerformen, Schneidvorgängen und Kräften im Messerkörper. Dies bietet hohes CAO Potential.

Das Ziel ist die Berechnung der Spannungsverläufe und deren Homogenisierung durch Iteration von Zuwachsschichten unter Verwendung der FEM-Software Ansys.



Abb.: 1. Kutter mit gelochten Messern

Durch die ständige Leistungssteigerung der Maschinenteknik können eine erfahrungs- gemäße

Festlegung der Messerkörper- geometrie und eine günstige Stahlauswahl keine Sicherheit gegen Bruch gewährleisten.



Abb.: 2. Kuttermesser mit Bruch am Messerrücken

Der Bruch im Kuttermesser verläuft in der Tendenz am Messerrücken beginnend zur Schneide hin. Die Stelle der größten Druckbeanspruchung muss also stets im gleichen Bereich liegen. Die Lastsituationen sollten mit Hilfe prozessnaher Messungen verifiziert und in die Simulation zur Auslegung der Messerkörper eingebaut werden.

EXPOSITION

ANALYSE DER MESSERBELASTUNG IM KUTTERPROZESS

An einem Kuttermesser greifen sowohl in der

Ebene des Messerkörpers liegende Kräfte an, als auch Kräfte, die seitlich auf das Messer wirken. Die Seitenkräfte entstehen durch die Drehbewegung der Schüssel und die daraus resultierende Zuführung des Brätes (Schnittgut) von der Seite her. Die Zunahme der Brätgeschwindigkeit und die spezielle Haubenform können Ursache für Seitenkräfte sein. Die Kräfte in der Ebene des Messers sind stark vom Vorschub des Messers im Brät abhängig. Dieser wiederum hängt von der Drehzahl und dem Schnittwinkel ab. Für eine optimale Zerkleinerung des Brätes wird mit sehr hohen Drehzahlen gearbeitet. Das Brät wird durch das Messer komprimiert. Dadurch entsteht eine Gegenkraft auf das Messer, die im Messerkörper zu Biegespannungen führt. Beim Schneiden von Fleisch hat die Schnittkraft zum Zeitpunkt des ersten Anschneidens einen Maximalwert. Es wird angenommen, daß auch der Verlauf der Kraft an der Schneide des Messers, über die Länge der Schneide aufgetragen, diesen Verlauf zeigt. Die Kraft am Messer ist also am Schneideanfang Null. Sie steigt dann auf einen maximalen Wert an, um danach wieder auf einen geringeren Wert zu sinken, der bis zur Spitze des Messers erhalten bleibt. Mit dem Kraftwechsel und der Geschwindigkeit der Messer entsteht eindeutig ein Schwingungssystem, welches seinen Massenschwerpunkt verlagert und das Messer zu einem typischen Federverhalten veranlasst.

Tritt das Messer in den Raum unter der Messerabdeckung ein, so wird das Brät seitlich durch die Form der Haube verdichtet. Bei einer Umdrehung des Messers kommt es dabei zu einer Belastung und einer Entlastung des Messers. Zusätzlich führen Inhomogenitäten im Brät zu einer schlagartigen Belastung des Messers. Die Biegebelastung an der Schneide führt zur Ausbildung einer Zugzone und einer Stauchzone in den Messern. Aufnahmen mit einer Hochgeschwindigkeitskamera zeigen auf, dass die Messer in der Stauchzone zum Ausknicken neigen. Eine Verifikation der tatsächlichen Belastung unter Arbeitsbedingungen ist den Verfassern nicht bekannt.

FEM-ANALYSE

Bei der Analyse der Belastungssituationen im Kutterprozess wurden folgende Lastfälle für wichtig erachtet: Die Schnittkraft wirkt beim Aufbau des Druckes an der Schneide radial zur Kontur der Kutterschüssel. Die abgetrennten

Fleischstücke werden aufgrund der Asymmetrie der Schneide normal zur Schnittebene weggeschleudert, wobei wegen dem Abstützen des Brätes auf der Schneide eine zur Messerebene normale Kraft entsteht. Infolge des Fleischvorschubes entsteht ein Druck auf der gesamten Messerfläche. Die Messer rotieren während des Schneidens sehr schnell ($3000 < n < 6000$ U/min) in der Kutterschüssel, was die Berücksichtigung der Fliehkraft erforderlich macht. Wenn das Messer auf große eingefrorene Fleischteile auftrifft, kommt es zu stoßartigen Belastungen. Die Kräfte können im Arbeitsprozess in verschiedensten Kombinationen gleichzeitig auftreten.

Die Annahme, dass der Bruch des Messers von seinem Rücken her beginnt, wird durch die FEM-Berechnungen bestätigt. Als Grundlage wird eine Last angenommen, die gleichmäßig über die Länge der Schneide verteilt ist, was durch die vorangegangenen Betrachtungen widerlegt wurde. Trotzdem ergaben die Untersuchungen ein charakteristisches Maximum der Spannungen im Bereich des Rückens. Dieses vereinfachte Modell liefert dennoch eine solide Basis für erste Simulationen.

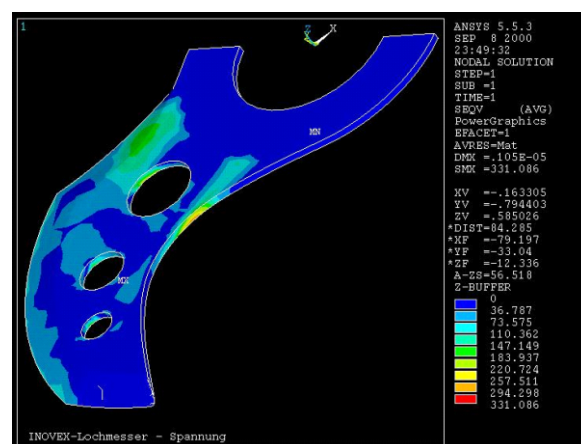


Abb.:3. FEM- Analyse

CAO OPTIMIERUNG

Das CAO-Verfahren in ANSYS setzt sich aus 6 Schritten zusammen:

1. Definition des Strukturproblems

Zunächst wird wie bei jeder anderen Berechnungsaufgabe in ANSYS vorgegangen, d.h. die Materialeigenschaften werden definiert, die Elementtypen gewählt, ein FE-Modell generiert und die Lasten sowie Randbedingungen für eine Einzellast- fallberechnung festgelegt.

2. Elementtypen auswählen

CAO für ANSYS unterstützt neben quadratischen Hexaederelementen 2D- und 3D Solid-elemente.

3. Initialisierung und Wiederherstellen von CAO-Parametern

Vor der CAO Problembeschreibung und der Modellierung werden verschiedene CAO Parameter initialisiert.

4. Definition der CAO Aufgabe

An dieser Stelle müssen die Randbedingungen für die Wachstumsbereiche, d.h. die relevanten Knoten, die Wachstums- restriktionen und (falls vorhanden) unzulässige Ausbreitungsfelder definiert werden.

5. Problemlösung

Bei der Gleichungslösung kann jede Iteration kontrolliert oder viele Iterationen nacheinander automatisch durchgeführt werden. Neben einer reinen Wachstumsstrategie zur Unterschreitung von Spannungsgrenzen kann auch eine Kombination aus Wachstums- und Schrumpfungsstrategie gewählt werden.

6. Ergebnisdarstellung

Nachdem CAO für ANSYS Lösungen ermittelt hat, ist auch das geänderte FE-Netz verfügbar.

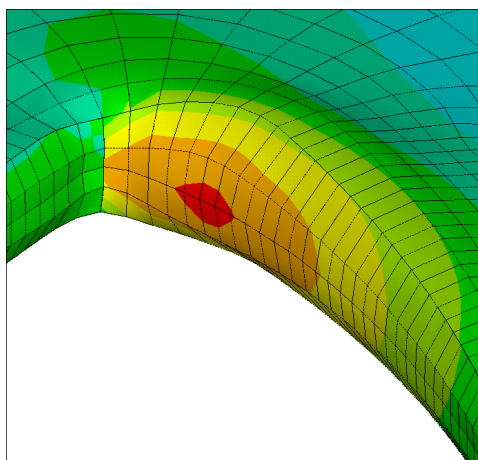
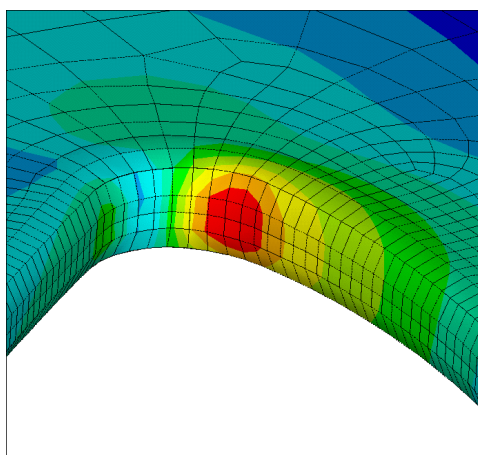


Abb.: 4. CAO-3D Optimierung

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit eine 2D oder eine 3D Optimierung durchzuführen.

Dies bezieht sich auf das Wachstum der Schwell-schicht. Weiterhin kann ein scharfes oder ein rundes Kantenmodell verwendet werden. Die besten Ergebnisse wurden mit einer 3D Optimierung des runden Kantenmodells in alle 3 Richtungen (Wachstum der Schwell-schicht) erzielt.

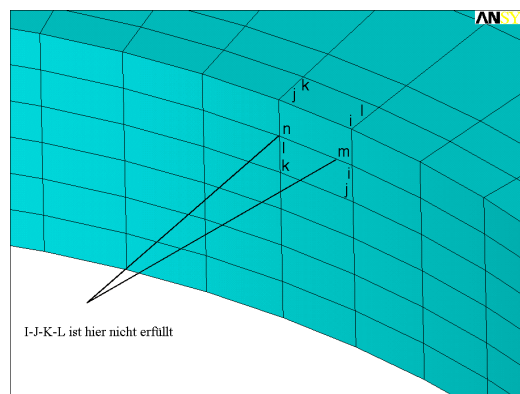


Abb.: 5. Scharfes Kantenmodell

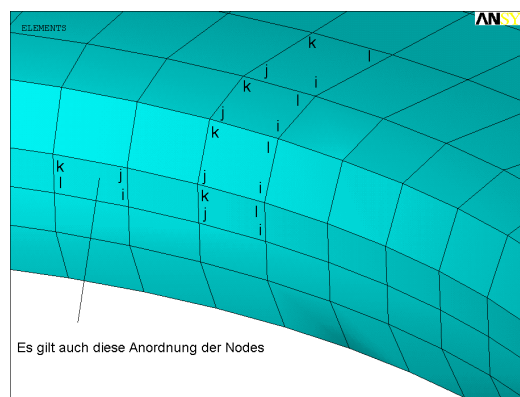


Abb.: 6. Rundes Kantenmodell

CAO-3D-OPTIMIERUNG AM BEISPIEL KUTTERMESSER

Bei der ausführlichen Analyse des Schnittprozesses im Kutter wurden folgende Kräfte angenommen: Reibkraft, Schnittkraft, Fliehkraft, Seitlicher Druck. Die Kraftgrößen sind so bestimmt worden, dass jede Belastung für sich eine maximale Spannung von 300MPa verursacht. Aus dem Abnutzungsgrad der Schneide (Veränderung des Abrundungsradius und der Rauigkeit entlang der Schneide) lässt sich messtechnisch nachweisen, dass die Reib- und Schnittkräfte drei verschiedene Niveauzonen bilden. Die Zonengrenzen wurden anhand einer konkreten Messung vereinbart. Dabei wurde die Kraftverteilung in jedem der drei Bereiche linear angenommen.

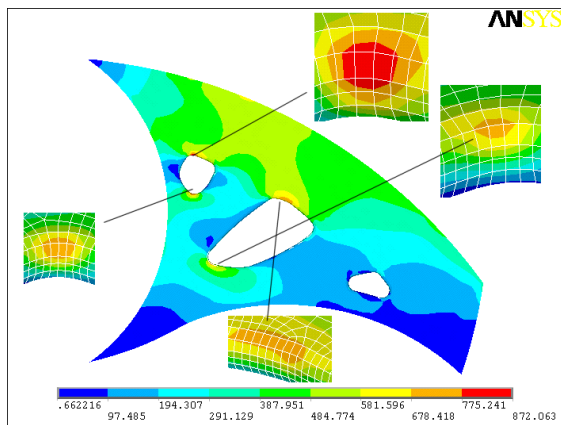


Abb.: 7. Gesamtspannungsverteilung vor der Optimierung

Die Optimierung wurde mit 15 Iterationen gerechnet und lieferte im 3D-runden Kantenmodell folgende Werte:

Spannung vor Optimierung	860,6MPa
Spannung nach Optimierung	612,8MPa
Reduzierung	28,8%
Materialzuwachs	0,4%

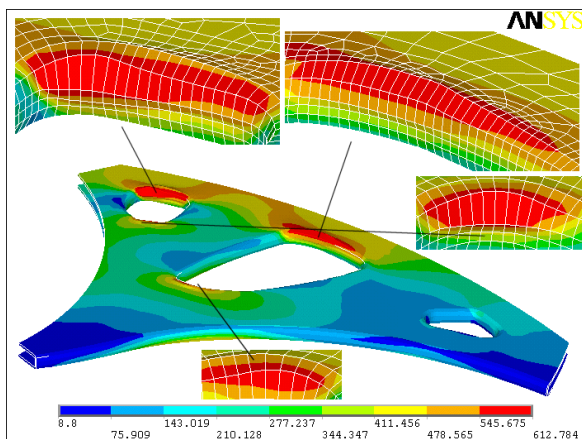


Abb.: 8. Spannung nach 6 Iterationen

Es wurde am 1. Loch eine Spannungsreduktionen von über 45% erreicht sowie in der gesamten Geometrie von 41,6%.

CONCLUSION

1. Die Optimierung durch nur eine Schwell-schichtvereinbarung ist ungünstig, weil sich die Spannungsspitze auf die andere Seite der Platte (entgegengesetzt der Schwell-schichtstelle) verschiebt. Um dies zu verbessern soll eine zweite

Schwell-schicht auf der anderen Seite vereinbart werden und noch mal optimiert werden.

2. Die besten Ergebnisse der Optimierung des scharfen Kantenmodells der Platte erzielt man, indem man die Schwell-schicht nur in der dicken Richtung (Z-Richtung) wachsen lässt.

3. Im Gegensatz zum scharfen Kantenmodell erreicht man bei der Optimierung des runden Kantenmodells der Platte die besten Ergebnisse, indem man die Schwell-schicht in alle Richtungen (3-Richtungen) wachsen lässt.

4. Die Erstellung der verschiedenen Modelle kostet etwa die gleiche Zeit, wenn die Makros für das runde Modell einmal vorhanden sind.

5. Die Herstellung aller Modelle ist aufgrund der komplizierten Form der optimierten Geometrie schwierig. Um dies zu vereinfachen kann man die am meisten zugewachsene Stelle am Lochrand als Bezug nehmen und dieses Profil vollständig um den ganzen Lochrand ziehen.

6. Als Voraussetzung für eine prozess-nahe Optimierung bleibt nach wie vor die Bestimmung der Belastungssituation. Aus der Sicht der Verfasser wären Messungen zur Ermittlung der realen (nicht vereinfachtes Kräfte-modell) auf das Kuttermesser einwirkenden Kräfte, in der praktischen Anwendung zwingend notwendig. Erst dann wäre man in der Lage reale Optimierungsergebnisse zu bekommen.

7. Aufgrund des Einsatzes der Struktur-optimierung in der frühen Phase des Entwicklungsprozesses eröffnen sich neue Möglichkeiten in der Prozesskette der Produktentwicklung.

REFERENCE

- [1] Radwan Maktabi: Spannungsminimierung und – homogenisierung gelochter Kuttermesser mittels CAO-Optimierung in der Dickerichtung. Diplomarbeit, TU Ilmenau 2002
- [2] Moldenhauer, H.: Die CAO-Methode mit Ansys-Rev.5.
- [3] Mattheck, C.: Design in der Natur, der Baum als Lehrmeister. Freiburg im Breisgau: Rombach, 1997.