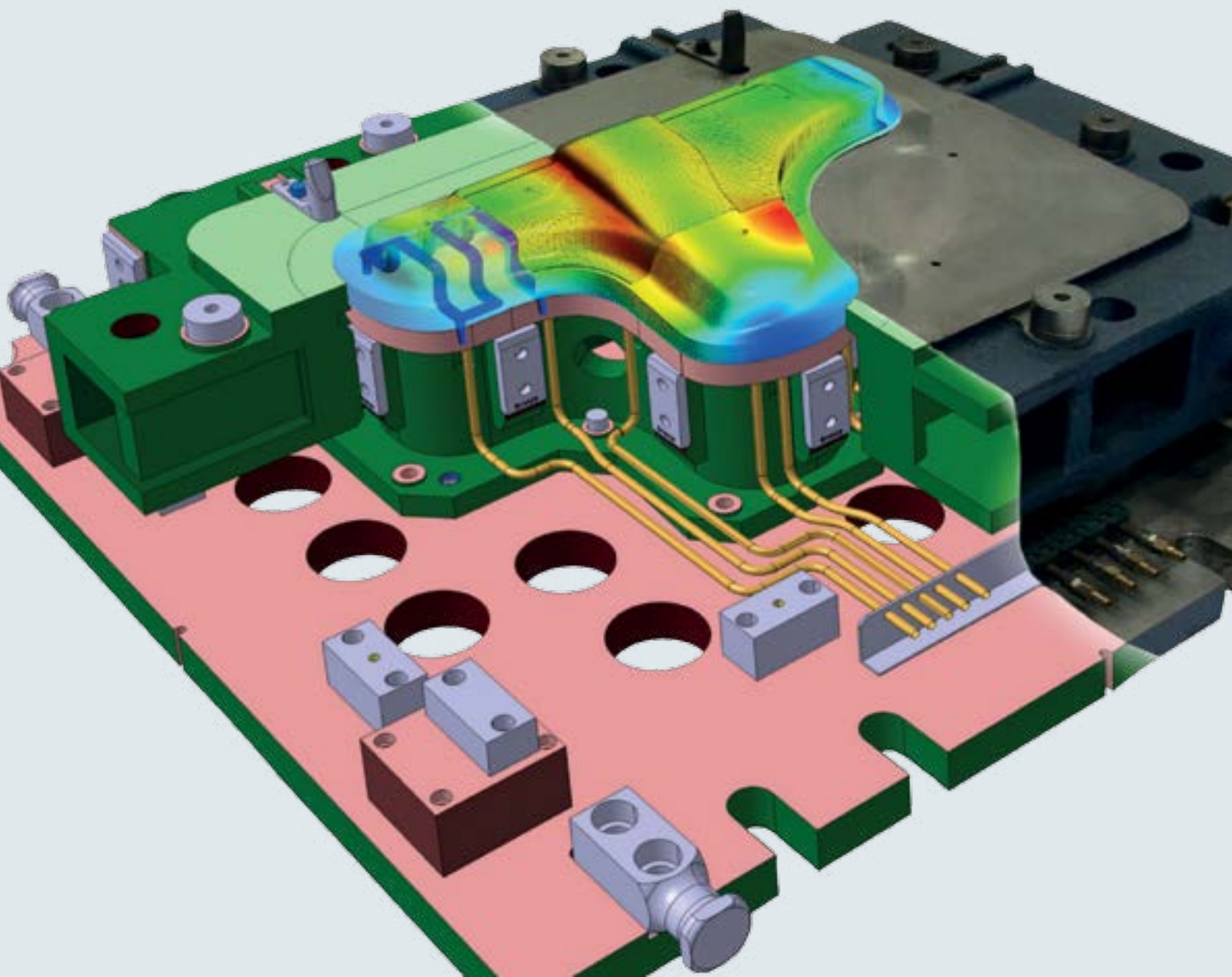


# **SIMULATION** IN DER UMFORMTECHNIK





1

## SIMULATION IN DER BLECHUMFORMUNG

Die Simulation als Werkzeug für die virtuelle Produktentwicklung ist vor allem in der Automobil- und Luftfahrtindustrie ein wichtiger Bestandteil der Entwicklungskette. Immer breiter wird die Simulation auch für die Entwicklung und Optimierung von Formgebungsprozessen eingesetzt. In der Blechumformung können mit Finite-Element-Programmen (FEM) die Geometrien und Eigenschaften von Bauteilen vorhergesagt und durch eine gezielte Variation der Prozessparameter und der Werkzeugform optimiert werden.

Am Fraunhofer IWU werden Blechumformsimulationen mit einer Vielzahl von physikalischen Phänomenen detailliert betrachtet. Dazu gehören der Einfluss der Rückfederung sowie die Berücksichtigung von thermischen Effekten, Hochgeschwindigkeitseffekten sowie von Versagenserscheinungen. Hauptziele der Blechumformsimulation sind die Untersuchung der Herstellbarkeit von Bauteilen sowie die Auslegung und Optimierung der Werkzeuge und Prozesse.

Basis für die detaillierte und hochgenaue Untersuchung von Formgebungsprozessen mithilfe der FEM sind dabei

- Produktgeometrien und Bauräume,
- Prozesskinematiken und -abläufe,
- hochgenaue Werkstoffkennwerte sowie
- exakte Kennwerte für die Prozesstribologie.

Mit der Blechumformsimulation untersuchen wir schwerpunktmäßig folgende Prozesse:

- Tiefziehen/Streckziehen
- Biegen/Falzen
- inkrementelle Blechumformung
- Walzprofilieren
- überlagerte Prozesse (thermisch, dynamisch)

Zur Prozessentwicklung und -untersuchung kommen die Softwarepakete ABAQUS Standard/Explizit, ANSYS, PAM-STAMP, AutoForm, LS-Dyna, COPRA und DEFORM zum Einsatz. Am Institut steht ein Rechencluster mit 128 Kernen zur Verfügung, das die komplexen Simulationsaufgaben bei kurzen Rechenzeiten löst.

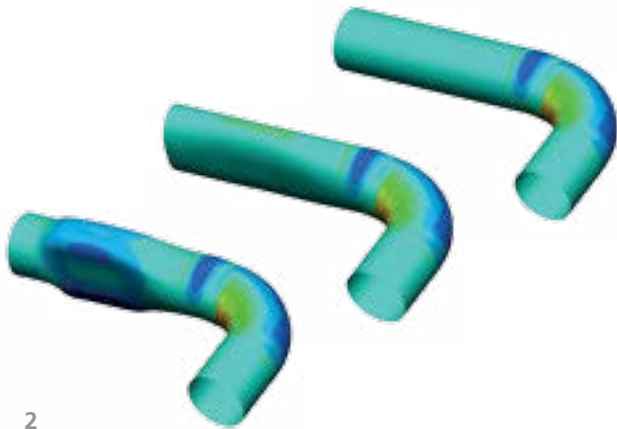
Die Ergebnisse der Untersuchungen bilden die Grundlage für

- die Werkzeugkonstruktion (Geometrie und Belastung),
- die Prozessgestaltung (Prozesskurven, Prozessüberwachung),
- die Beurteilung von Bauteilqualitäten (geometrische Abweichung) und Prozessstufen sowie
- die Produkt- und Prozessoptimierung.

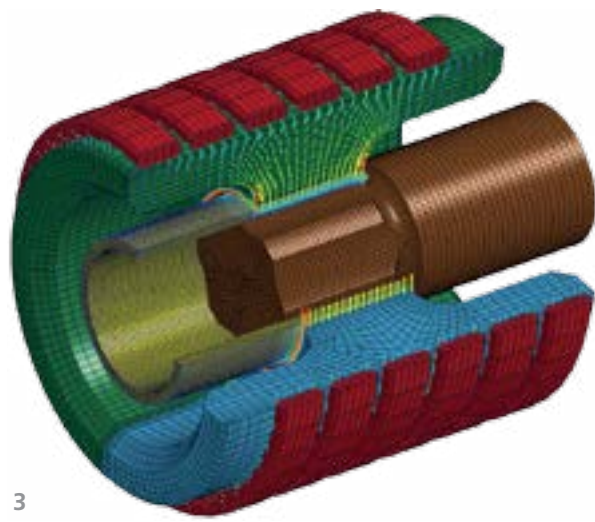
**1** *Rücksprungoptimierte Federbeinstütze für Automobile*

**2** *Prozesskettensimulation für ein Titan-Abgasteil*

**3** *Fügen mit elektromagnetischer Pulstechnologie*



2



3

## SIMULATION VON WIRKMEDIEN- UND WIRKENERGIEBASIERTEN PROZESSEN

Im Bereich der Blechumformung beschäftigen wir uns auch mit der Weiterentwicklung und Optimierung von wirkmedien- und wirkenergiebasierten Umformprozessen. Im Mittelpunkt der wirkmedienbasierten Prozesse stehen insbesondere

- die Innenhochdruck-Umformung von Rohren und Profilen,
- die Innenhochdruck-Umformung von Blechen sowie
- Gasgeneratorverfahren zur Blechumformung.

Beim Innenhochdruck-Umformen (IHU) werden gasförmige und flüssige Medien in kaltem oder heißem Zustand zum Ausformen genutzt. Als Hilfsmittel für die Bauteilentwicklung und die Machbarkeitsanalyse wird die Umformsimulation (FEM) eingesetzt, mit deren Hilfe der IHU-Prozess einschließlich seiner vorgelagerten Umformprozesse wie Vorbiegen, Reduzieren oder Vorformen realitätsnah abgebildet werden kann. Die Simulationsergebnisse wiederum sind Grundlage für die Optimierung der Prozesskette und der Bauteileigenschaften. Unser Ziel ist die Herstellung wirtschaftlicher und endfunktionsoptimaler Vorformen für den IHU-Prozess. Dazu entwickeln wir Optimierungsalgorithmen und untersetzen sie mit praktischen Ergebnissen.

Mit Hilfe der Umformsimulation führen wir eine Prozessauslegung für die gesamte Prozesskette durch. Dazu werden schwankende Prozesseinflussgrößen wie Werkstoffeigenschaften, Werkstoffdicke, Druck und Tribologie mit Variantenuntersuchungen in Richtung eines robusten Prozessfensters optimiert. Somit sind bereits vor der Werkzeugfertigung und -erprobung die geeignetsten Parameter (zum Beispiel Nachschiebeweg und Druckanstieg) für die Bauteilherstellung bekannt und führen zu einem geringeren Aufwand im Prototyping.

Ein spezielles Verfahren in der Gruppe wirkenergiebasierter Umformprozesse ist die elektromagnetische Umformung (EMU). Bei diesem Verfahren werden die auftretenden Wechselwirkungen zwischen elektrisch gut leitfähigen metallischen Werkstoffen und Hochleistungsmagnetfeldern genutzt, um gezielte Umformungen in den Halbzeugen zu bewirken.

Als mögliche Verfahrensvarianten untersuchen wir

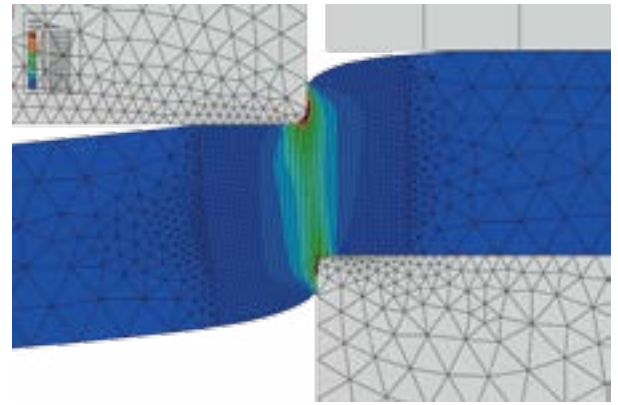
- die Kompression/Expansion von Rohren und Hohlprofilen,
- die Umformung von ebenen oder vorgeformten Blechen sowie
- das Schneiden von Profilen und Blechen.

Die Prozesssimulation für diese Vorgänge muss eine Vielzahl von physikalischen Phänomenen betrachten. Dazu gehören u. a. die mechanischen Werkstoffeigenschaften und das Versagensverhalten unter hohen Umformgeschwindigkeiten, die elektrischen und magnetischen Werkstoffeigenschaften sowie deren Beeinflussung durch die Temperatur. Aufgrund der Wechselwirkungen zwischen den physikalischen Effekten ist eine gekoppelte Feldberechnung der Struktur, des Magnetfeldes und der Temperatur für eine möglichst exakte Prozessauslegung notwendig. Wir greifen auf leistungsstarke Softwarepakete zurück, um diese Phänomene zu berücksichtigen.

Auf Basis der elektromagnetischen Umformsimulation können wir Aussagen über die Prozessfähigkeit und die notwendigen geometrischen und werkstofflichen Randbedingungen sowie die optimalen Anlagen- und Werkzeugparameter treffen.



1



2

## SIMULATION VON SCHNEIDPROZESSEN

Schneidprozesse sind in der Prozesskette der Blechbearbeitung von maßgeblicher Bedeutung für vorangegangene und Folgeprozesse. Durch die Simulation von Beschnittvorgängen können Auswirkungen auf die Prozesskette bereits vor der Realteilerprobung analysiert werden.

Wir untersuchen und bewerten mithilfe der FEM-Simulation unter anderem folgende konventionelle Schneidverfahren und Hochgeschwindigkeitsschneidverfahren:

- Scherschneiden
- Feinschneiden/Genauschnitten
- Profilschneiden
- Hochgeschwindigkeitsscherschneiden (HGSS)
- Schneiden mit elektromagnetischem Impuls
- Schneiden mit Gasgeneratorverfahren

Dabei ist eine Vielzahl physikalischer Effekte zu beachten, die eine gekoppelte thermo-mechanische Simulation unter Berücksichtigung des dehnraten- und temperaturabhängigen Verformungsverhaltens, des komplexen Versagensverhaltens und der hochdynamischen Prozessbedingungen erfordert. Die Auslegung von Werkzeugaktivteilen und Prozessanforderungen erfolgt entsprechend der Qualitätsanforderungen an beschnittene Bauteile in Bezug auf Bauteilmaßhaltigkeit, Bruchzonenqualität und Werkstoffeigenschaften nach dem Schnitt.

### 1 3D-Feinschneidsimulation für

Wangengeometrie

### 2 2D-Rotationsschnitt mit

Deformationen

### 3 Presshärten mit Kühlkanal-

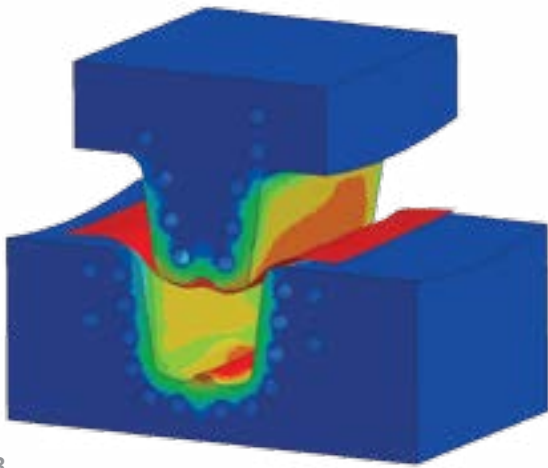
struktur

### 4 IHU-Presshärten einer Crashbox

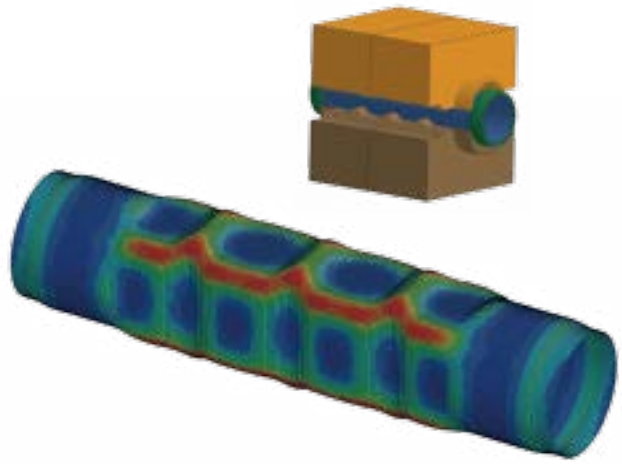
Für die Schneidsimulation werden höhere Anforderungen an die Simulationsumgebung der Blechumformung gestellt. In der konventionellen 3D-Blechumformung wird die Platine mithilfe von Schalenelementen abgebildet. Diese müssen für die Schneidsimulation durch Volumenelemente ersetzt werden, um eine ausreichende Diskretisierung über den Blechquerschnitt zu erreichen. Andernfalls ist eine exakte Wiedergabe der Spannungs- und Verformungsverhaltens in der Schneidzone nicht gewährleistet. Diese Modellierung führt zu einer wesentlich detailtreueren und rechenzeitintensiveren Simulation.

Zudem ist ein automatischer Neuvernetzungsalgorithmus zu berücksichtigen, um die auftretenden starken Verzerrungen des Netzes und die damit verbundenen numerischen Rundungsfehler zu minimieren. Die Trennung des Werkstoffs wird in der FEM-Schneidsimulation mithilfe von Versagensmechanismen (Bruchkriterien) realisiert. Bekannte mathematische Ansätze zur Beschreibung des Materialversagens nach Cockcroft-Latham oder Rice-Tracy kommen zum Einsatz. Die notwendigen Parameter werden anhand experimenteller Abgleichversuche für die Werkstoffe ermittelt. Um Rechenzeit einzusparen, kann das Modell in der Symmetrieebene geteilt oder bei rotationssymmetrischen Schneidbedingungen in einer Schnittebene abgebildet werden.

Für korrekte Vorhersagen ist der Temperaturverlauf in der Scherzone des Werkstoffs entscheidend, da die Temperatur das Formänderungsvermögen des Werkstoffs und somit auch das Bruchverhalten beeinflusst. Der größte Teil der Schneidarbeit dissipiert in Wärme, so dass sich während des Schneidvorgangs ein erheblicher Wärmeeintrag abzeichnet.



3



4

## SIMULATION THERMISCH UNTERSTÜTZTER UMFORMPROZESSE

Bei Technologieentwicklungen der Blechumformung ist die Temperatur immer häufiger eine wichtige Einflussgröße und Prozessparameter. So nutzen zum Beispiel die in der Fahrzeugindustrie etablierte Presshärten, aber auch zahlreiche andere Technologien die verbesserten Umformeigenschaften der Werkstoffe bei erhöhten Temperaturen. Für Entwickler und Konstrukteure ergeben sich aus der Berücksichtigung thermischer Prozesse Fragestellungen, welche die Nutzung und Einbeziehung von Simulationsergebnissen unabdingbar machen.

Für die rechnerische Analyse dieser Prozesse besteht die Herausforderung in erster Linie darin, dass das gekoppelte thermo-mechanische Randwertproblem zwingend zu einem deutlich umfangreicheren und komplexeren numerischen Modell führt. Dieses Modell muss die thermischen Verhältnisse im Werkzeug und gegebenenfalls in dessen Umgebung in die Simulation des eigentlichen Umformvorgangs mit einbeziehen.

Die Analyse der thermo-mechanischen Vorgänge baut auf physikalisch begründeten thermischen Anfangs-, Rand- und Übergangsbedingungen auf und erfordert die Berücksichtigung von Kühl- und Heizstrategien im Werkzeug sowie spezielle temperaturabhängige Materialmodelle. Der Zeitmaßstab für die thermischen Vorgänge liegt typischerweise um mehrere Größenordnungen über dem Zeitmaßstab der Umformprozesse.

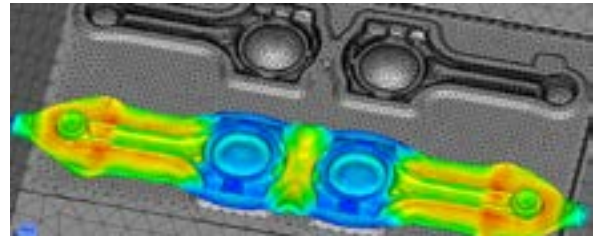
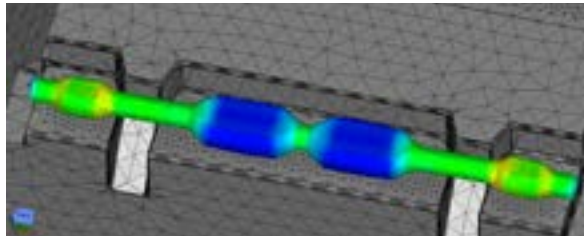
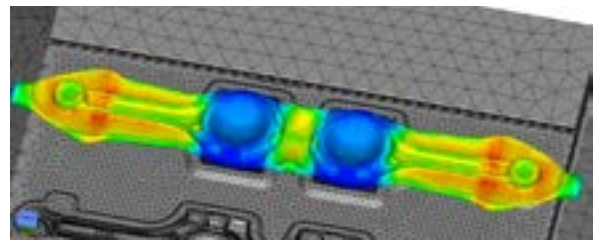
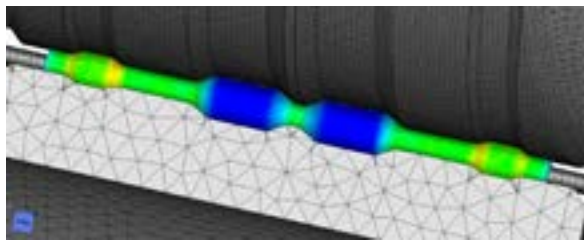
Die Modellierung von konkreten Aufgaben mit thermisch gekoppelter Simulation setzt, bedingt durch die notwendige räumliche Vernetzung der Werkzeuge bei gleichzeitig präziser Approximation der Gravur und des Umformprozesses, ein spezifisches Know-how voraus. Um mit überschaubarem Aufwand effektive Lösungen wie etwa eine Prozessoptimierung zu erzielen, werden zum Teil spezielle neue Simulationstechniken eingesetzt.

Unsere Kompetenz liegt in der Bearbeitung von Projekten mit hohem Simulationsanteil, bei denen die thermische Beeinflussung von Umformvorgängen im Mittelpunkt steht. Dazu gehören unter anderem folgende Themenstellungen:

- Simulation des Presshärteprozesses, sowohl als Tiefziehprozess als auch als wirkmediengestützter Prozess
- Simulation, Auslegung und Optimierung von Kühlkanal-konzepten in Werkzeugen, einschließlich strömungsmechanischer Simulation
- Simulation des thermischen Verhaltens von Werkzeugen innerhalb mehrerer Prozesszyklen
- Simulation von Umformvorgängen unter Nutzung von superplastischen Materialeigenschaften

Als Simulationssoftware wird neben den Programmen ABAQUS, PAM-STAMP, AutoForm und ANSYS-CFX insbesondere LS-Dyna verwendet.

Im Ergebnis der Untersuchungen erhält der Anwender einen sehr detaillierten Einblick in die thermo-mechanischen Wechselwirkungen innerhalb der Prozesse und gewinnt Informationen, wie technologische Abläufe durch gezielte Beeinflussung optimiert werden können. Durch den Einsatz der Simulation wird so in vielen Fällen der experimentelle Aufwand erheblich reduziert. Die Optimierung thermischer Abläufe dient auch der Steigerung der Energieeffizienz und ist auf eine verbesserte Produktqualität ausgerichtet.



1

## SIMULATION VON PROZESSKETTEN DER MASSIVUMFORMUNG

Die Möglichkeiten der Simulation werden am Fraunhofer IWU auch genutzt, um komplette Prozessketten der Massivumformung – vom Schneiden des Rohlings über dessen Erwärmung und die Umformstufen bis hin zur thermischen Nachbehandlung – ganzheitlich zu untersuchen. Gefügebetrachtungen können ebenso in die Bewertung einbezogen werden wie die Wechselwirkungen zwischen dem Umformprozess und der Werkzeugmaschine.

Schwerpunkte unserer Simulationsstudien sind:

- Machbarkeitsstudien für neue Produkte
- Auslegung und Optimierung der Masseverteilung zur Senkung des Rohmaterialeinsatzes
- Ermittlung des thermisch stabilen Zustands von Werkzeugen in Prozessstufen
- Einsparung von Prozessschritten zur Senkung von Energieverbrauch und Kosten
- Erzeugung von Materialverbänden für den Leichtbau
- Verringerung bzw. Vermeidung von spanender Nachbearbeitung
- Funktionsintegration durch Zusammenlegung von Bauteilen

Ergänzend zu diesen Simulationsstudien unterstützen und beraten wir unsere Kunden bei der Entscheidungsfindung zur Einführung neuer Umformprozesse und Prozessketten.

Für möglichst realitätsnahe Simulationsergebnisse sind exakte Werkstoffkennwerte besonders wichtig. Für neue Werkstoffe nehmen wir deshalb Warm- und Kaltfließkurven auf, die unmittelbar in die Simulation einfließen. Zur Simulation der Prozessketten in der Massivumformung nutzen wir vorwiegend die Programme Forge und Simufact Forming.

- Die Ergebnisse der Simulationsstudien widerspiegeln sich in
- der Anpassung von Bauteilgeometrien an einzelne Umformschritte zur Minimierung von Werkzeugbelastung und Verschleiß,
  - der Auslegung und Konstruktion der Werkzeuge,
  - der Auslegung der Prozessschritte und der Anpassung der Prozessparameter,
  - der Optimierung bestehender Prozessketten sowie
  - der Entwicklung und Bewertung neuer Prozessketten.

Aufgrund der ständigen Weiterentwicklung von Hard- und Software beschäftigen wir uns zunehmend mit der Simulation

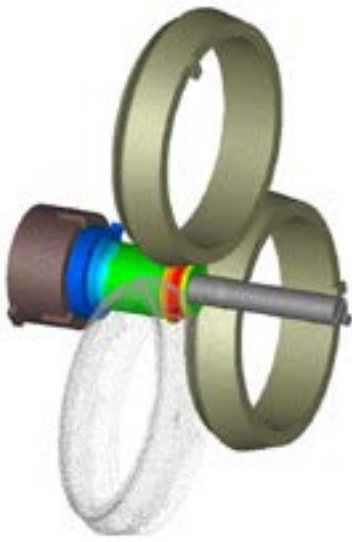
- der Verbindung von Umformprozess und Gefügeeinstellung,
- der Einbeziehung der Wärmebehandlung in die Prozesskette,
- der Verbindung unterschiedlicher Prozesse zur Generierung neuer Produkteigenschaften und
- dem Einformen von Blechstrukturen in Massivbauteile.

1 *Prozesskette des Gesenkschmiedens eines Pleuels*

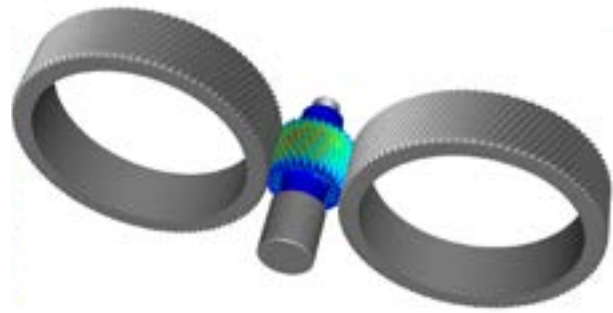
2 *Temperaturentwicklung beim Bohrungsdrücken*

3 *Umformgrad beim Verzahnungswalzen*

2



3



## SIMULATION INKREMENTELLER MASSIVUMFORMPROZESSE

Bei inkrementellen Massivumformprozessen entsteht die umgeformte Geometrie durch mehrfach wiederholtes, lokal begrenztes Plastifizieren des Werkstücks. Die lokale Zone der Plastifizierung wird entsprechend der Prozesskinematik fortschreitend im Werkstück weiterbewegt. Inkrementelle Verfahren benötigen daher nur einen Bruchteil der erforderlichen Umformkraft beispielsweise im Vergleich zum Schmieden oder Fließpressen. Sie zeichnen sich durch eine hohe Flexibilität in Folge der teilweise kinematikgebundenen Geometrieherstellung aus.

Prozess- und Werkzeugauslegung sind jedoch gegenüber nichtinkrementellen Verfahren wesentlich komplexer. Sowohl für die Auslegung von Prozessen und Werkzeugen als auch für die Entwicklung neuer Prozesse und Varianten inkrementeller Umformverfahren ist die Simulation daher ein besonders wertvolles Arbeitsinstrument. Wir untersuchen folgende Verfahren, für die am Institut zu einem Großteil auch Anlagentechnik zur Verfügung steht:

Für wellenförmige Bauteile und Masseverteilungen:

- Querkeilwalzen, Axialvorschubquerwalzen
- Bohrungsdrücken
- Rundkneten, Axialformen (auch für Hohlteilmontage mit gleichzeitiger Innen- und Außenkonturbearbeitung)

Zur Verzahnungsherstellung:

- Verzahnungswalzen
- Taumelschmieden

Zur Herstellung ringförmiger Bauteile/Vorformen

- Ringwalzen
- Axialgesenkwalzen

Bei inkrementellen Verfahren hat die Kinematik des Prozesses einen starken Einfluss auf die Geometriebildung. Gerade bei der Neuentwicklung und Anpassung von Maschinen liefern Prozesssimulationen wesentliche Aussagen zum Prozess und den Wechselwirkungen mit der Maschine. Somit können auf die Fertigungsaufgabe zugeschnittene Lösungen im virtuellen Versuch vorab geprüft werden.

Im Fokus der numerischen Simulation von inkrementellen Umformprozessen stehen

- die ganzheitliche Betrachtung bei der Einführung und Bewertung ressourceneffizienter Prozesse, der Net-Shape-Umformung sowie der Masseverteilung,
- die Entwicklung neuer Prozesse bzw. die Optimierung bestehender Prozesse,
- die Applikation neuer Materialien (Seltene Erden, medizinisch relevante Werkstoffe, hochfeste und hochwarmfeste Legierungen),
- die Bewertung der Walzbarkeit von Ringen und Verzahnungen,
- die Bestimmung stabiler Prozessbedingungen und
- die Überprüfung und Optimierung der Werkzeuggeometrie.

Aussagen zur Funktionsfähigkeit der Werkzeuge unter dem Einfluss der Kinematik bzw. der Umsetzbarkeit eines Produkts auf vorhandener Maschinenteknik sind damit ebenso möglich wie die Bewertung der thermischen Prozessführung, des Werkzeugverschleißes oder der Bauteilschädigung.

### **Herausgeber**

Fraunhofer-Institut für  
Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU  
Reichenhainer Straße 88  
09126 Chemnitz

Telefon +49 371 5397-0  
Telefax +49 371 5397-1404  
info@iwu.fraunhofer.de  
www.iwu.fraunhofer.de

### **Abteilung Blechbearbeitung und Grundlagen**

Dipl.-Ing. Matthias Demmler  
Telefon +49 371 5397-1327  
matthias.demmler@iwu.fraunhofer.de

### **Abteilung Werkzeugmaschinen**

Dr.-Ing. Markus Bergmann  
Telefon +49 371 5397-1302  
markus.bergmann@iwu.fraunhofer.de

Titelbild: Abkühlsimulation B-Säulenfuß

© Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen  
und Umformtechnik IWU 2021