

Info-Reihe Massivumformung, Extraausgabe

*Simulation
in der Massivumformung*



Info
EXTRA

Simulation

in der

Massivumformung

Herausgeber:

Infostelle Industrieverband Massivumformung e. V.

Telefon: +49 (0) 23 31 / 95 88 28

Telefax: +49 (0) 23 31 / 95 87 28

Internet: www.metalform.de

E-Mail: orders@metalform.de

Goldene Pforte 1

58093 Hagen, Deutschland

Impressum

Manuskript: Dr.-Ing. Michael Muckelbauer, Ennepetal
Dipl.-Ing. HTL Thomas Christoffel, Reinach/Schweiz
Robert Filgertshofer, Denklingen
Dipl.-Ing. (FH) Otto Handel, Remscheid
Martin Porr, Homburg/Saar
Dipl.-Ing. Jürgen Krämer, Meinerzhagen
Dr. rer. nat. Mathias Lutz, Hausach
Dr.-Ing. Volker Szentmihályi, Hausach

Redaktion: **Infostelle** Industrieverband Massivumformung e. V.

Verantwortlich für die Gesamtherstellung: Ing. Werner W. Adlof
Infostelle Industrieverband Massivumformung e. V.

Titelbild: CDP Bharat Forge GmbH

Layout und Satz: Grafik Design Peter Kanthak, Arnsberg-Neheim

Druckschriften-Nr.: EI-SI-0204-20DOM

Ausgabe: Februar 2004

ISBN: 3-928726-19-6

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung und der Vervielfältigung, vorbehalten. Auszugsweise Wiedergabe des Inhalts nur nach Rückfrage bei der **Infostelle** Industrieverband Massivumformung e. V. mit Quellenangabe gestattet.

Printed in Germany

Den Veröffentlichungen der **Infostelle** Industrieverband Massivumformung e. V. liegen die Ergebnisse der Gemeinschaftsforschung der im Industrieverband Massivumformung e. V. zusammen geschlossenen Industrierwerke zu Grunde.

Simulation

in der Massivumformung

Der Einsatz von Softwarewerkzeugen zur Simulation des Umformvorgangs ist für die Massivumformung zu einem vorrangigen Thema geworden. Gerade zur Auslegung komplexer Prozesse und der Feinjustierung von Stadienfolgen hinsichtlich optimiertem Materialeinsatz bei hohen Taktzeiten und geringsten Ausschuss- und Nacharbeitsquoten ist der Einsatz solcher Systeme äußerst nützlich oder sogar erforderlich.

Diese Druckschrift beschreibt die Erfahrungen von Unternehmen der Massivumformung, die derartige Simulationssysteme einsetzen, angefangen mit der Einführung der Software über den heutigen Stand bis zu der zukünftigen Arbeitsweise bzw. der Erwartungshaltung an die Weiterentwicklung. Dabei werden jedoch nicht nur Softwareaspekte beleuchtet; vielmehr soll der Nutzen – von dem letztendlich auch die Abnehmer der Massivumformprodukte profitieren – in den Vordergrund gestellt werden.

Inhalt

	Seite
Einleitung	7
Grundsätzliches zur Anwendung der Simulation in der Massivumformung	8 – 9
Erfahrungsberichte	10 – 28
CDP Bharat Forge GmbH	10 – 13
Hatebur Umformmaschinen AG	14 – 15
Hirschvogel Automotive Group	16 – 18
ThyssenKrupp Turbinenkomponenten GmbH	19 – 20
ThyssenKrupp Gerlach GmbH	20 – 22
Otto Fuchs KG	22 – 24
Neumayer Gruppe	24 – 28
Forschungsprojekte	28
Zusammenfassung / Ausblick	29

Einleitung

Bis vor einigen Jahren beschäftigten sich in erster Linie Forschungseinrichtungen mit der Erprobung von Softwaretools, die in den meisten Fällen selbst auf Hochschulentwicklungen zurückzuführen waren. Mit Rechenzeiten von mehreren Wochen, großen Ungenauigkeiten, instabilen Berechnungsdurchläufen und einer ungenügenden Bedienerfreundlichkeit war von einem Industrieinsatz nur in zaghaften Versuchen die Rede.

Mit diesen Kinderkrankheiten haben die Systeme mittlerweile größtenteils abgeschlossen. In Deutschland kommen von den praxistauglichen Programmen für die Massivumformung jedoch hauptsächlich sechs zum industriellen Einsatz. Es handelt sich dabei zum einen um FORGE3 (Transvalor, Frankreich) und zum anderen um MSC.Superforge und MSC.Superform (beide MacNeal-Schwendler Corp., USA) sowie DeForm (SFTC, USA).

Wenn auch die Anfangsmühen hinsichtlich des Einsatzes von Schmiedesimulationssoftware überwunden sind, so setzt die Anwendung der einzelnen Programme doch eine gewisse Erfahrung voraus. Die Programme befinden sich in einer stetigen Weiterentwicklung, die mit den Fortschritten von CAD-Systemen der ersten Stunde durchaus verglichen werden können. Dies gilt für die Funktionalität, aber auch für die Bedienung, Rechengeschwindigkeit und Genauigkeit.

Unternehmen	Software
CDP Bharat Forge GmbH	Forge3
Hatebur Umformmaschinen AG	Forge2, Forge3
Hirschvogel Automotive Group	Forge2, Forge3, MSC.Superform
ThyssenKrupp Turbinenkomponenten GmbH	MSC.Superforge, eesy-2-form
ThyssenKrupp Gerlach GmbH	Forge3
Otto Fuchs KG	MSC.Superforge, Qform
Neumayer Gruppe	DeForm-2D DeForm-3D

Tabelle 1: Am User-Kreis beteiligte Unternehmen

Für den Einsatz solcher Systeme in den einzelnen Unternehmen ist fast immer ein Spezialist erforderlich, der die Einführung der Software und die Durchführung von Simulationsprojekten betreut. Viele Probleme können von diesem FEM-Experten dann schnell vor Ort gelöst werden, bevor in schwierigen Fällen auf den Support zurückgegriffen werden muss.

Zum Zweck des Erfahrungsaustauschs werden von den Softwareherstellern meist im jährlichen Turnus User-Tagungen angeboten, um mit anderen Anwendern der gleichen Software ins Gespräch zu kommen und voneinander zu lernen.

Um jedoch auch von den Erfahrungen der Anwender anderer Softwaresysteme zu profitieren, die Vor- und Nachteile dieser Programme kennenzulernen und dieses Wissen für den

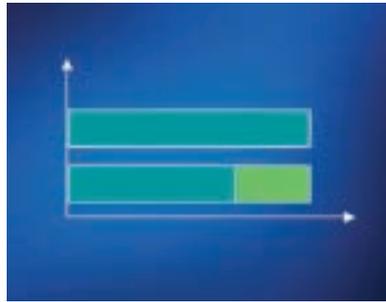
Einsatz des eigenen Systems zu nutzen bzw. die Softwarehersteller über entsprechende Verbesserungswünsche zu informieren, wurde ein systemübergreifender User-Kreis initiiert. Die beteiligten Unternehmen sowie die jeweilig im Einsatz befindlichen Programme sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

Auch wenn unterschiedliche Systeme für unterschiedliche Prozesse zum Einsatz kommen, so ist doch der Erfahrungsaustausch für den Anwender der Software das "A und O". In dieser Schrift kommt jede Firma einzeln zu Wort, es wird aber auch über gemeinsame Forschungsprojekte berichtet.

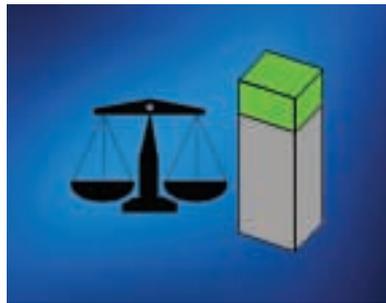
Grundsätzliches zur Anwendung der Simulation in der Massivumformung

Eines haben alle Anwender von Simulationsprogrammen gemeinsam: Ihr Ziel ist es, über die virtuelle Abbildung der Realität Kosten zu sparen. Sei es bei der Bauteil-Simulation, um kostenintensive Prüfstandsversuche mit ebenfalls kostenintensiven Prototypen zu reduzieren oder – wie im Folgenden näher erläutert – um den Umformprozess am Rechner zu optimieren und somit teure Pressenstunden und Werkzeugänderungen zu vermeiden.

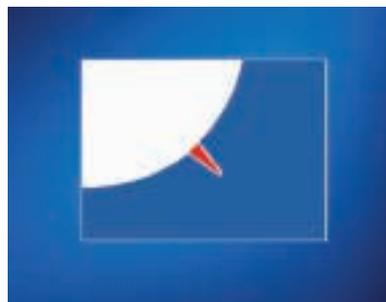
Die grundsätzlichen Vorteile, die letztlich alle eine Kostenreduzierung und somit eine Stärkung der Wettbewerbsposition der Massivumformprodukte bewirken, sind in den Bildern 1.1 bis 1.5 aufgeführt.



Verkürzung der Prozessentwicklung



Reduzierung des Einsatzgewichts



Erkennung von Problembereichen



Ausbildung der Konstrukteure



Versuche

Bilder 1.1 bis 1.5:
Vorteile des Einsatzes von Simulationssystemen

Verkürzung der Prozessentwicklung

Die Verkürzung der Prozessentwicklung wird damit erreicht, dass ein Prozess nicht über Reparaturlösungen während eines Umformvorgangs und über eine Vielzahl von Umformungen langwierig zur Serienreife geführt wird. Vielmehr kann der Einsatz der Simulation helfen, den Prozess am Rechner zu optimieren und so, im Idealfall, kaum noch Änderungen während der Herstellung eines Musterteils durchführen zu müssen. Ein wesentlicher Vorteil dabei ist auch, dass "Überraschungen" vermieden werden, die einen reibungslosen Ablauf unmöglich machen. Dies können Arbeitsfehler sein; in erster Linie sind sie jedoch darauf zurückzuführen, dass Umformprozesse oft noch aufgrund von Erfahrungswissen ausgelegt werden und dabei kaum Hilfsmittel zum Einsatz kommen.

Reduzierung des Einsatzgewichts

Ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Kosten des Umformteils ist das Einsatzgewicht. Naturgemäß ist jeder Prozessentwickler bestrebt, diese Kosten möglichst gering zu halten. Das Wechselspiel zwischen Einsatzmasse, dem Auftreten von

Fehlern bzw. Ausschuss und der Nacharbeitsquote sowie dem Füllen der Gravur ist ein sensibles Gebilde, das in dem Fertigungsbetrieb nur schwer in den Griff zu bekommen ist. Kostengünstiger und mit viel größeren Einflussmöglichkeiten versehen, lassen sich einsatzgewichtszureduzierende Maßnahmen mit der Simulation durchführen. Oftmals können damit Sekundäreffekte erzielt werden, wie z. B. die Verringerung des Werkzeugverschleißes.

Erkennung von Problembereichen

Ein gerade aus den Zeiten der "praxisuntauglichen Rechenzeiten" bekanntes Einsatzgebiet ist die Simulation zur Erkennung von Problembereichen. Gerade als die Simulation noch nicht präventiv eingesetzt werden konnte, weil durch die langen Rechenzeiten zu lange Verzögerungen im Entwicklungsprozess in Kauf genommen werden mussten, ist eine solche Analyse erst zum Einsatz gekommen, wenn Probleme besonders hartnäckig wurden. Auch heute findet der Prozessentwickler einige Fehler erst dann, wenn er weiß, wo er sie suchen muss. Doch selbst in solchen Fällen ist die Simulation von großem Vorteil, da die Visualisierung (das

"Unsichtbarmachen" der Werkzeuge) ganz neue Einblicke vermittelt.

In erster Linie werden Problembereiche heute im Präventivbereich erkannt und führen somit wiederum zur Verkürzung der Prozessentwicklung und möglicherweise auch zur Reduzierung des Einsatzgewichts. Dieses gilt mittlerweile nicht nur für das Umformteil, sondern auch für die Werkzeuge, da auch diese mit den meisten Systemen auf ihre Festigkeit und ihr Deformationsverhalten untersucht werden können. In jedem Fall dient die wiederkehrende Erkennung von Problembereichen der Ausbildung der Konstrukteure bzw. Prozessentwickler, da diese einen tieferen Einblick in ihre Prozesse erhalten.

Ausbildung der Konstrukteure

Selbst in Lehrbüchern kann man oft lesen: "Schmieden ist mehr eine Kunst als eine Wissenschaft". Dies bedeutet, dass ein Prozessentwickler für Umformprozesse kaum aus Lehrbüchern, sondern mehr durch das eigene Entwickeln und das damit verbundene Aneignen von Erfahrungswissen zum Profi werden kann. Das "Durchschauen" durch die Gesenke und das genaue Analysieren der selbst entwickelten Pro-

zesse hilft, das notwendige Erfahrungswissen schneller aufzubauen, als dies ohne Simulation möglich wäre.

Versuche

Wettbewerbsvorteile definieren sich in der Regel über den Know-how-Vorsprung gegenüber Wettbewerbern. Dabei kann der Wettbewerb auch in anderen Verfahrensbereichen zu Hause sein. Die Gießereien und der Blechumformbereich sind neben der eigenen Branche die Hauptwettbewerber der Massivumformer. Um in diesem Wettbewerb Schritt halten zu können, stehen zwei grundsätzliche Wege offen:

- Entwicklung bestehender Produkte mit neuen Verfahren und
- Entwicklung neuer Produkte mit bestehenden Verfahren.

Schließlich bleibt selbstverständlich noch die seltenere Variante, die diese beiden Wege kombiniert. Die mit diesen lebenswichtigen Entwicklungen verbundenen Kosten lassen sich durch den Einsatz der Simulation deutlich verringern und bedeuten somit auch eine Herabsetzung der Hemmschwelle, neue Wege auszuprobieren, was letztlich der Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit dient.

Erfahrungsberichte

Im Folgenden erläutern die Unternehmen, die dem eingangs genannten Userkreis angehören, ihre Erfahrungen mit der Simulation.

Punkte, die mehr oder weniger alle Firmen betreffen, werden separat genannt.

CDP Bharat Forge GmbH

Um als Zulieferer hoch komplexer Automobilkomponenten in einem immer stärker werdenden Wettbewerb Schritt halten zu können,

Die Entwicklungskette für einen geschmiedeten Radträger ist in Bild 2 dargestellt. Grundsätzlich wird eine sehr frühe Einbindung in den

vorgegebenen Bauraum und dem Lastenheft werden in der Entwicklungskette die modernsten Softwarewerkzeuge eingesetzt.



Bild 2: Entwicklungskette vom Lastenheft/Bauraum über CAD/FEM-Einsatz zum Werkzeug und zur Produktion

nen, ist die Nutzung aller zur Verfügung stehenden modernen Hilfsmittel insbesondere in Entwicklung und Konstruktion zwingend erforderlich. Vom ersten Entwurf bis zur Prüfstandserprobung der hergestellten Komponente kommen Methoden sowie Hard- und Software auf dem neusten Stand durchgehend zum Einsatz.

Entwicklungsprozess beim Automobilhersteller angestrebt. Das hat den Vorteil, dass das für die verfahrensgerechte und funktionsorientierte Entwicklung von Massivumformteilen erforderliche Know-how von Anfang an einfließen kann. Entwicklungszeiten werden so verkürzt und Kosten für Mehraufwand reduziert. Ausgehend von dem vom Kunden

Damit verbunden werden diese Abläufe parallelisiert, man spricht dabei von Simultaneous Engineering. Während das Massivumform-Unternehmen an der Entwicklung seiner Werkzeuge arbeitet, kann so z. B. die Planung der mechanischen Bearbeitung optimiert werden, weil beide Prozesse auf der davor stehenden Entwicklung des Umform-

rohteils aufbauen, sich aber gegenseitig nur geringfügig beeinflussen. Bei erforderlichen Änderungen, die aus einem parallel laufenden Prozess herrühren, kann aufgrund der änderungsfreundlichen CAD-Anwendung schnell eingegriffen werden.

Die Systemeinführung

Bei CDP wurden ab 1999 die Simulationssysteme MSC.Superforge und Forge (Transvalor) umfangreich getestet. Im Anschluss an diese Testphase wurde mit der Einführung des Systems Forge3 begonnen. Man hat sich dabei von Anfang an

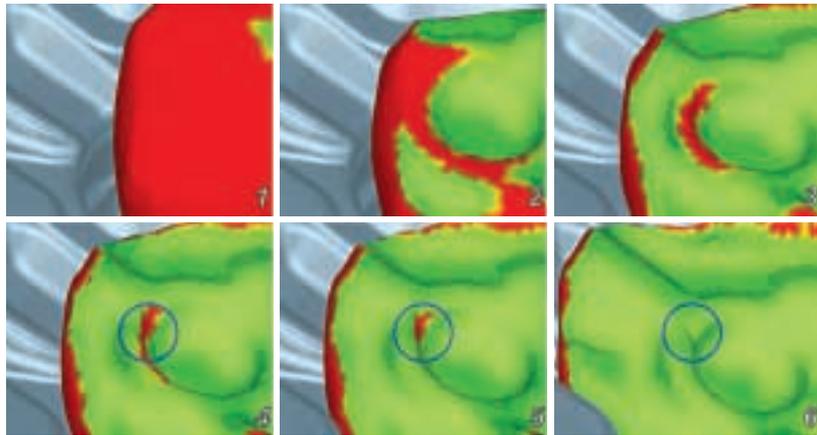


Bild 3: Visualisierung eines Massivumformfehlers (Bildfolge von links nach rechts)

für drei Lizenzen entschieden, da die Vielzahl der komplexen Teile, die eine Simulation rechtfertigen, sehr hoch ist. Das Einsatzgebiet be-

schränkte sich damals auf die Visualisierung von Schmiedefehlern (Bild 3), wie Falten und Stiche sowie Unterfüllungen bei Prozessen, die als kritisch angesehen wurden. Der Anwenderkreis umfasste zunächst nur zwei Mitarbeiter.

Heute wird Forge3 für alle Neuteile eingesetzt. Darüber hinaus werden auch Serienprozesse simuliert, wenn Optimierungen durchgeführt werden sollen. Dem Anwendungsgebiet der Versuche kommt ferner eine immer größer werdende Bedeutung zu, da durch die Steigerung der Leistungsstärke auf der Software- wie auf der Hardwareseite vertretbare Rechenzeiten erreicht werden. Anwender des Systems sind gegenüber der Startphase keine reinen FEM-Experten. Vielmehr wurde der Systemeinsatz voll in den Konstruktionsprozess integriert. Der Konstrukteur kann somit seine eigene Arbeit prüfen und mit Hilfe der Simulation optimieren.

Einsatz des Systems

Seit der Einführung von Forge3 ist eine Vielzahl von Funktionen hinzugekommen bzw. diese werden so weiterentwickelt, dass sie wirtschaftlich einsetzbar sind. Zu diesen Funktionen gehört z. B. die Darstellung von Faserverlauf und Scherkan-

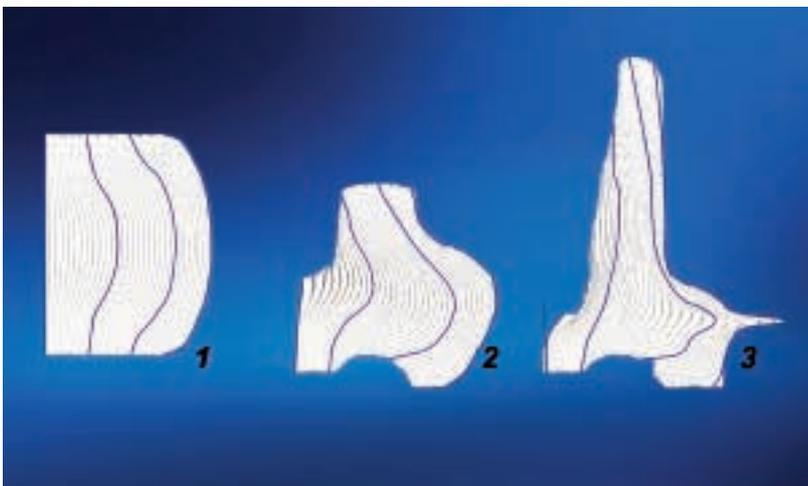


Bild 4: Simulation des Faserverlaufs

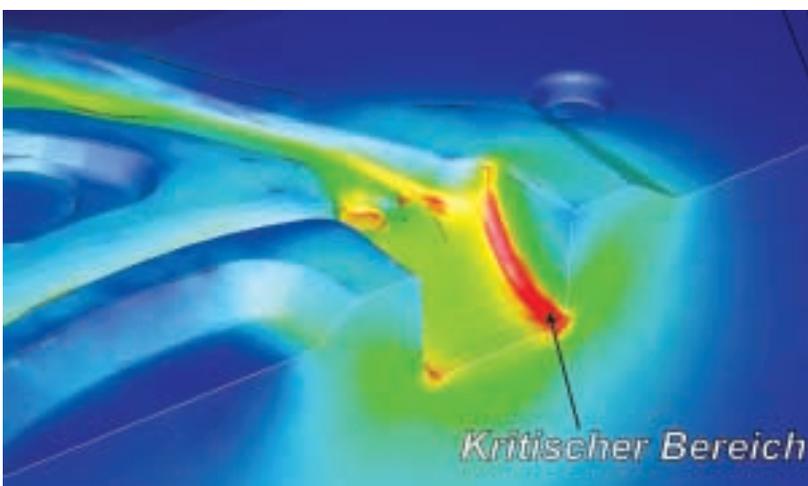


Bild 5: Festigkeitsanalyse eines Untergesenks (Schnitt)

ten (Bild 4, Seite 11). Mit der dafür zur Verfügung gestellten Funktionalität kann ein beliebiger Bereich des Werkstücks während des Umformvorgangs verfolgt werden. So ist es grundsätzlich auch möglich, einen bestimmten Bereich am Endprodukt auf seinen Ursprungsbereich an der Ausgangsgeometrie zurück zu verfolgen.

Erfahrungen mit dem System

Aufgrund der Güte der Ergebnisse (Tabelle 2 auf Seite 13 gibt einen Überblick über die Berechnungsqualität), der Rechengeschwindigkeit, der Bedienerfreundlichkeit, des Funktionsumfangs und der Leistung des Supports berichtet CDP durchaus von guten Erfahrungen mit Forge3.

Neben den direkt im Prozess durchgeführten Optimierungen ist insbesondere der Lern- bzw. Schulungseffekt zu nennen. Bedingt ist dies dadurch, dass der Konstrukteur seine Ideen direkt mit der Simulation prüfen kann und die Möglichkeit hat, in den Prozess hineinzusehen.

Die immer noch hohen Rechenzeiten (z. B. bei einer Reckwalzsimu-

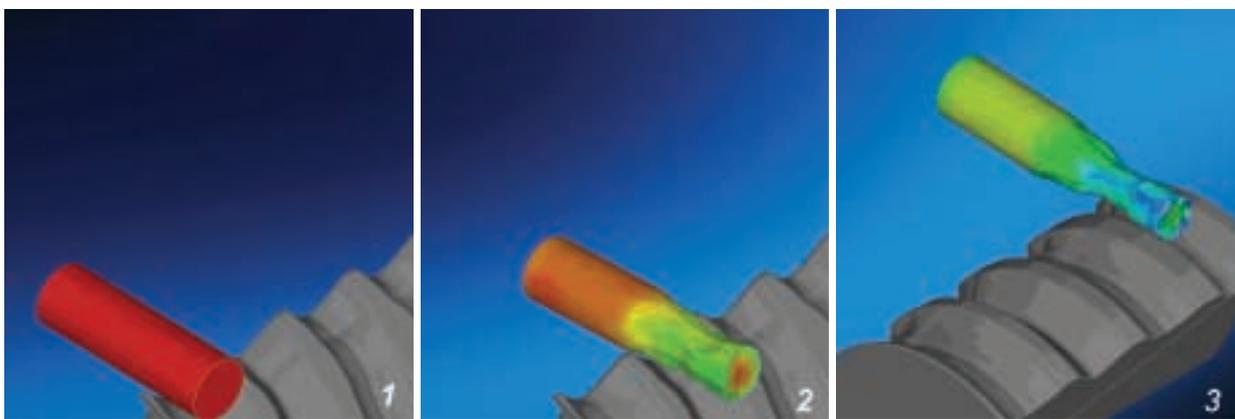


Bild 6: Simulation des Reckwalzprozesses

Eine weitere Funktionalität, die in der Vergangenheit nur über den Umweg der Simulation mit weiteren Systemen möglich war, ist die Festigkeitsanalyse von Gesenken. Im Rahmen der Standardsimulationen muss hier die Ausgabe spezieller benötigter Dateien aktiviert werden. Mit einer nachgeschalteten Simulation können Spannungen (Bild 5, Seite 11) und Verformungen untersucht und entsprechende Gegenmaßnahmen eingeleitet werden.

Auch wenn es grundsätzlich in allen diesen Punkten Verbesserungswünsche gibt, ist der Einsatz schon heute durch ein bedeutendes Einsparpotenzial gerechtfertigt. Durch die enormen Kosten, die durch Schwachstellen in Schmiedeprozessen erzeugt werden, ist gerade bei komplexen Massivumformteilen der Einsatz der Simulation zur Aufrechterhaltung der Wettbewerbsfähigkeit zur Voraussetzung geworden.

lution, Bild 6) bei CDP sind dadurch zu erklären, dass hier die erhöhte Geschwindigkeit durch Soft- und Hardwareverbesserungen zu Gunsten der Genauigkeit eingesetzt wird.

Es hat sich bewährt, etwa im Turnus von einem bis maximal zwei Jahren einen Austausch des Simulationsrechners vorzunehmen. Dabei ist zu beachten, dass Forge3 die Fähigkeit besitzt, seine Rechenarbeit auf mehrere Prozessoren aufzuteilen. CDP setzt daher nur 2-Pro-

zessor-PC's zur Simulation ein, da diese das beste Preis-Leistungsverhältnis darstellen. Tabelle 3 (siehe unten rechts) zeigt einen Überblick über durchschnittliche Rechenzeiten.

Die benötigte Zeit für das Pre- und Postprocessing hängt stark vom Anwendungsfall ab.

Die Standardanwendung liegt bei zwei bis sechzehn Stunden für ein komplettes Projekt, bei Sonderanwendungen, wie z.B. der Simulation des Faserverlaufs oder einer Festigkeitsanalyse der Werkzeuge, kann diese Zahl auch auf sechzehn bis vierzig Stunden anwachsen.

Zukünftige Erwartungen

Die Software-Entwicklung hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. Wo vor wenigen Jahren nur FEM- und Computer-Experten als Bediener in Frage kamen, kann man heute ohne diese auskommen. Für die Standardanwendung ist somit ohne großen Schulungsaufwand der Einsatz im Konstruktionsbereich ohne weiteres möglich. Eine weitere Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit ist jedoch

Anwendungsgebiet	Güte der Ergebnisse / Bemerkung
Schmiedefehler (Falten, Stiche etc.)	90 % Grobe Fehler werden in der Regel abgebildet, kleinere Fehler sind nur mit sehr feiner Vernetzung darstellbar
Formfüllung	95 % Formfüllung und Gratausbildung sind sehr gut, Füllverhalten von sehr tiefen Gravurbereichen oft nicht ganz korrekt
Faserverlauf und Scherkante	95 % Sehr gute Übereinstimmung
Presskraft	80 % Gute Übereinstimmung durch Berücksichtigung der Abkühlung (Simulation Transfer erforderlich)
Spannungen im Werkzeug	50 % Qualitative Aussage sehr gut, quantitativ jedoch nicht immer schlüssig
Verschleiß	60 % Relativ gute Übereinstimmung

Tabelle 2: Berechnungsqualität mit Forge3

nötig, um auch den Zeitaufwand für Pre- und Postprocessing zu reduzieren.

Weiterer Optimierungsbedarf befindet sich bei der Erhöhung der Stabilität, der Erweiterung der Funktionalität und der Verbesserung der Ergebnisse für gewisse Anwen-

dungsgebiete. Insbesondere die Festigkeitsanalyse und die derzeit nicht korrekt wiedergegebene Presskraftprognose sind hier als vorrangig anzusehen.

Fertigungsstufe	Genauigkeit/Netzgröße	Rechenzeit
Voroperation (Stauchen, Flachdrücken)	Grob/10 mm	< 1 h
	Fein/8 mm	< 5 h
Vorschmieden/ Fertigschmieden	Grob/10 mm	< 4 h
	Mittel/8 mm	4 - 12 h
	Fein/6 mm	12 - 72 h
Festigkeitsanalyse eines Werkzeugs	-	< 5 h

Tabelle 3: Durchschnittliche Rechendauer für die Simulation von Pkw-Radträgern

Hatebur

Umformmaschinen AG

Die Systemeinführung

Seit 1999 ist Forge2 und seit 2000 Forge3 im Haus Hatebur im Einsatz. Die Systemevaluation wurde in einem Team durchgeführt und umfasste Softwarevergleiche, Diskussionen mit bestehenden Anwendern und Benchmarks mit intern bekannten, kritischen Teilen. Die eigentliche Einführung dauerte relativ lange, da bei Hatebur nicht ein Spezialist mit der Durchführung der Simulation beauftragt ist, sondern mehrere Mitarbeiter aus verschiedenen Gruppen, welche fallbezogen die Berechnungen neben ihrem normalen Aufgabenbereich durchführen. Dies hat die gesamte Einführungs- und Lernphase deutlich verlängert,

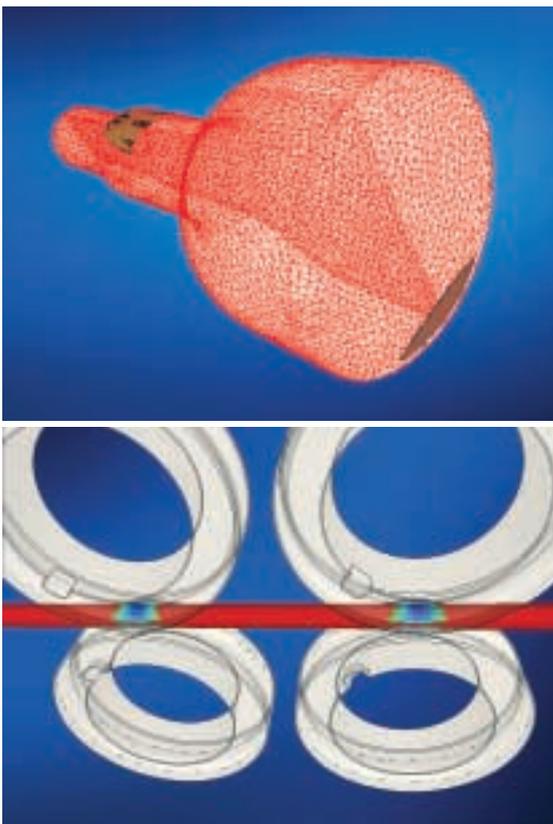


Bild 7a: Beispiele für den Einsatz des Systems

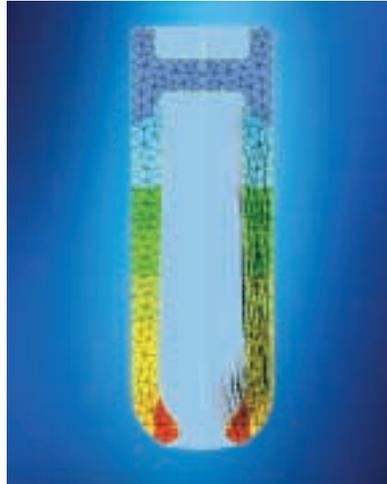


Bild 7b: Beispiele für den Einsatz des Systems

hat aber den Vorteil, dass Probleme gemeinsam gelöst werden, mehrere Mitarbeiter dieses neue Tool nutzen können und das Unternehmen nicht von einer Einzelperson abhängig ist.

Einsatz des Systems

Bei Hatebur wird die Simulationssoftware für die Berechnung von Kaltfließpress- und Warmmassivumformprozessen auf schnell laufenden, horizontalen Mehrstufenpressen eingesetzt. Zur Hauptsache geschieht dies:

- Im Vorfeld eines Maschinenprojekts, d. h. bevor Werkzeuge ausgelegt oder gar entwickelt werden, kann der Einsatz der Simulationssoftware dann gerechtfertigt sein, wenn die Risiken im Vergleich zu herkömmlichen Projekten deutlich höher sind. Dies ist bei neuartigen Pressteilen, Werkstoffen in ungewohnten Temperaturbereichen
- oder aber zur Dokumentation und Verifizierung von komplexen Verfahrensschritten der Fall.
- Für die Werkzeugentwicklung hat Hatebur nicht nur Mehrstufenpressen, sondern auch dazugehörige Werkzeuge entwickelt, hergestellt und erprobt. Für die Entwicklung der optimalen Stadienfolge wird standardmäßig die Simulationssoftware eingesetzt. Dies kann im Zusammenhang mit einer Maschinenbestellung oder aber auch bei bestehenden Kunden als Folgeaufträge für Werkzeugentwicklungen der Fall sein.
- Im Bereich Forschung und Entwicklung, da sich mit der Simulationssoftware nicht nur neuartige Prozesse oder Verfahrensschritte untersuchen und optimieren lassen, sondern diese auch für außenstehende Personen sehr leicht visualisiert und nachvollziehbar gemacht werden können.

Hatebur setzt einen Dual Prozessor PC ein, auf dem die Berechnungen vorbereitet und durchgeführt werden. Insgesamt sind fünf Mitarbeiter auf dem System geschult, die die Berechnungen von Fall zu Fall durchführen.



Bild 8: Vergleichsuntersuchungen an einem Achsteil

Folgende Punkte werden dabei im Normalfall untersucht:

- Stofffluss, erreichbare Geometrien, Temperaturverteilungen und diverse Spannungszustände (Bild 8).
- Werkzeugbelastungen, Spannungszustände in kritischen Werkzeugen (Bild 9).
- Faserverlauf (Bild 10).
- Kontrolle auf Falten und Risse.

Erfahrungen mit dem System

Die gemachten Erfahrungen sind zum größten Teil sehr positiv. Es zeigt sich, dass nicht die Handhabung des Systems, sondern die Interpretation der Ergebnisse das eigentlich Schwierige an der Simulation ist. Die Erfahrungen mit dem System werden aber von Tag zu Tag erweitert und es wird versucht, so oft wie möglich von den realen Ergebnissen auf die Simulation zurückzugreifen und die Werte zu vergleichen. Unsicherheit und eine gewisse Ungenauigkeit ergeben sich in der Berechnung von nicht alltäglichen Prozessen. Dabei fehlt oft die Zeit oder Erfahrung, sich die notwendigen Grundlagen zu erarbeiten (richtige Eingabeparameter wie Wärmeübergangswerte, Reibwerte, etc.).

Zukünftige Erwartungen

Als Entwicklungsziel müsste die Simulationssoftware in Zukunft eine deutliche Verbesserung der Rechenleistung, respektive kürzere Berechnungszeiten auch bei 3D-Berechnungen aufweisen. Um eine effiziente Nutzung im alltäglichen Gebrauch zu ermöglichen, müsste die Dateneingabe und Datengrundlage (Fließkurven, Reibwerte, Stoffdaten etc.) so ausgestattet sein, dass Berechnungen über den gesamten Temperaturbereich einfach und ohne vertiefte Grundlagenarbeit durchgeführt werden können.

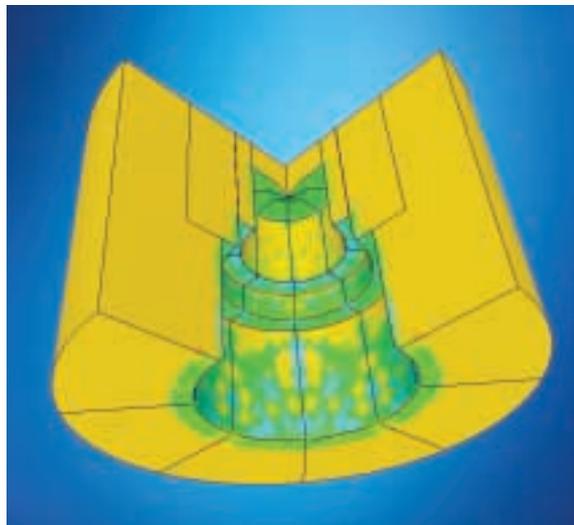


Bild 9: Spannungszustände in einem kritischen Werkzeug

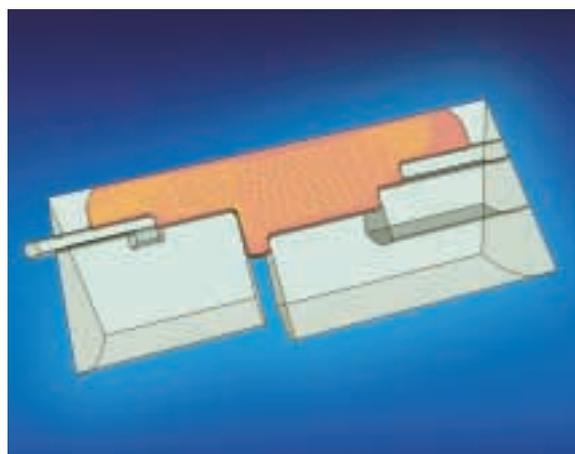


Bild 10: Faserverlauf bei einer Umformung

Hirschvogel Automotive Group

Die Systemeinführung

Bei der Hirschvogel Umformtechnik GmbH begann man 1996 mit der Umformsimulation MARC/Autoforge (heute MSC/Superform) zweidimensionale Prozesse zu berechnen. Dreidimensionale Berechnungen beschränkten sich zu dieser Zeit noch auf ein Minimum, denn diese konnten aufgrund von langen Berechnungszeiten und des sehr unstabilen Berechnungslaufs noch nicht produktiv im "Alltagsgeschäft" eingesetzt werden. Es musste hierfür stets ein hoher Zeitaufwand einkalkuliert werden.

Der Leistungsstand heutiger Simulationsprogramme hat jedoch einen beachtlichen Grad erreicht, so dass auch komplexe Simulationsaufgaben mit einem akzeptablen Aufwand durchgeführt werden können.

Durch die wesentliche Verbesserung der Bedienerfreundlichkeit ist es jetzt auch dem sporadischen Anwender ohne eingehende FEM-Erfahrung möglich, "Standardrechnungen" wirtschaftlich durchzuführen.

Bei Hirschvogel Umformtechnik werden Neuteilentwicklungen ausschließlich mit der Unterstützung der Simulation durchgeführt. Dadurch

können verschiedenste Fertigungsvorschläge überprüft, miteinander verglichen und bewertet werden, ohne Werkzeuge für eine Versuchsabpressung anfertigen zu müssen. Die Simulation kann hierbei sicherlich nicht den Realversuch ersetzen, jedoch die Anzahl der benötigten Versuchsschleifen reduzieren und somit Entwicklungszeit und Kosten erheblich senken.

Bei der Hirschvogel Automotive Group werden die Systeme Superform (früher MARC/Autoforge) und FORGE2/3 eingesetzt. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf letzteres, da hiermit der Großteil der Simulationen erfolgt.

Hirschvogel problemlos zu simulieren. Der Einsatz der FEM geht aber über die reine Stoffflussimulation weit hinaus. So wird bereits bei der Bauteil-Entwicklung von den Möglichkeiten dieser Berechnungsmethode Gebrauch gemacht, wie Bild 11 zeigt.

Dieses Bauteil wurde basierend auf einem Geometrie-vorschlag des Kunden und dem zugehörigen Lastenheft zuerst einer Topologieoptimierung unterzogen. Das dabei erzielte Berechnungsergebnis diente als Grundlage für die Beschreibung einer umformtechnisch herstellbaren Geometrie. Abschließend wurde dieser Vorschlag mittels Strukturanalyse noch in mehreren Berechnungsschleifen

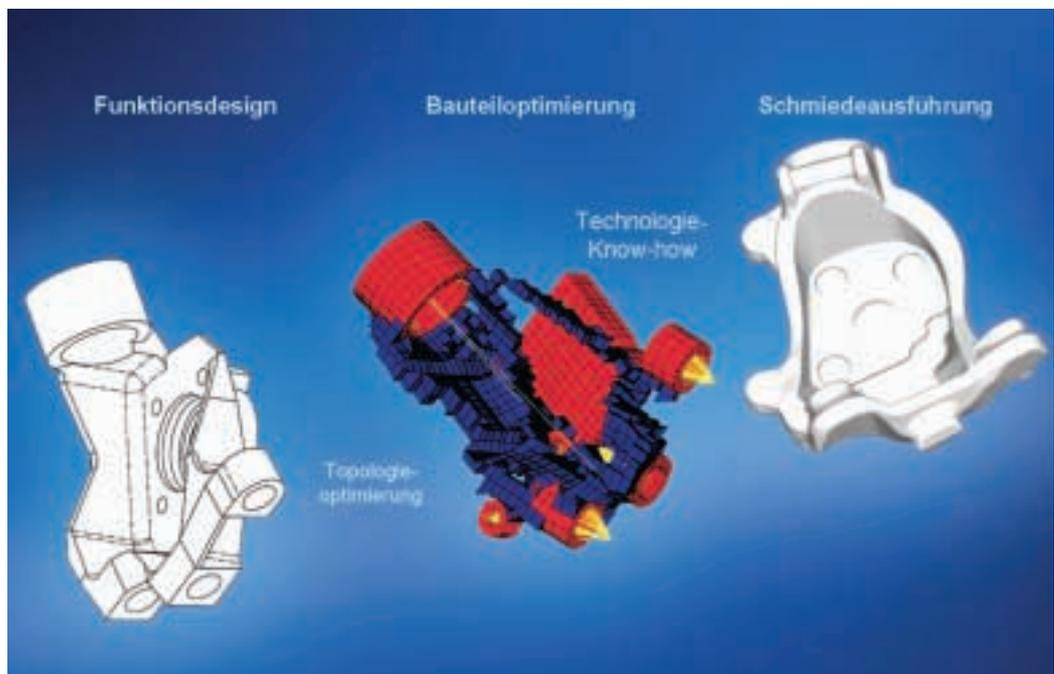


Bild 11: Entwicklungsschritte eines Aluminium-Schwenklagers

Einsatz des Systems

Warmumformung

Den anteilmäßig größten Simulationsbedarf hat seit der Einführung der Umformsimulation mit FORGE2/3 die Warmumformung eingenommen. Die dort entscheidende Ergebnisgröße, der Stofffluss, ist mit dieser Software auch bei komplexen Prozessen für das Teilespektrum von

gewichts- und spannungsoptimiert (nicht in Bild 11 dargestellt).

Nach Festlegung der endgültigen Bauteilform konnte mit der Auslegung der Stadienfolge begonnen werden. Ausgehend von einer CAD-modellierten Vorstufengeometrie wurde das Füllverhalten der Fertiggraur überprüft. In gleicher Weise wurden auch Vorstufengeometrien

(Bild 12) ermittelt, wo bereits Umformfehler wie Falten, Unterfüllungen und Materialanhäufungen erkannt und durch Überarbeitung der einzelnen Umformstufen vermieden wurden.

Kaltumformung

Zur Herstellung von Kaltfließpress-teilen werden in der Regel armierte Werkzeugverbände eingesetzt, um Zugspannungen in den meist sprödharten Werkzeugwerkstoffen zu vermeiden, da diese zum sofortigen Ausfall der Matrize durch Bruch führen würden. Für deren Auslegung und Optimierung hat sich heute die Simulation als ein unverzichtbares Hilfsmittel herausgestellt. Bei diesen

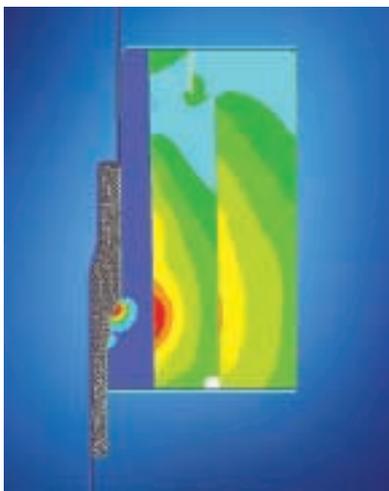


Bild 13: Kombinierte 2D-axialsymmetrische Berechnung von Stofffluss und armiertem Werkzeugverband

Teilen (Getriebewellen, Gelenkteile mit fertiggepressten Funktionsflächen, Verzahnungen etc.) sind meist enge Maßtoleranzen einzuhalten. Elastische Dehnungen müssen daher weitestgehend vermieden oder dementsprechend vorgehalten werden, um maßhaltige Teile produzieren zu können.

Bei der in Bild 13 dargestellten Hülse ist es durch die Unterstützung der Prozesssimulation möglich, die Beanspruchung des Werkzeugver-

bands während des Pressvorgangs zu verfolgen. Mit Hilfe der Beanspruchungsanalyse kann eine optimale Werkzeugauslegung gefunden werden, ohne dass große Investitionen getätigt werden.

Halbwarm/ Kaltumformung

Am Beispiel der Außenglocke eines Gleichlaufgelenks ist der Kombinationsprozess Halbwarm/Kaltumformung dargestellt. Das Bauteil (s. Bild 14) wird in mehreren Stufen halbwarm (ca. 900 °C) gratlos umgeformt, nach dem Abkühlen beschichtet und durch Kaltumformung im Innenbereich der Glocke mit einem Hinterschnitt versehen. Die Anforderungen an Maß- und Formtoleranz beider Laufbahnen (Käfig- und Kugellaufbahn) sind hoch, denn der gesamte Innenbereich ist nur noch mit einem Schleifaufmaß versehen.

Bei der Auslegung dieser Stadienfolge bedarf es einer sehr genauen Abstimmung der beiden Einzelprozesse zueinander, um die geforderten Toleranzen einhalten zu können. Für eine wirtschaftliche Herstellung

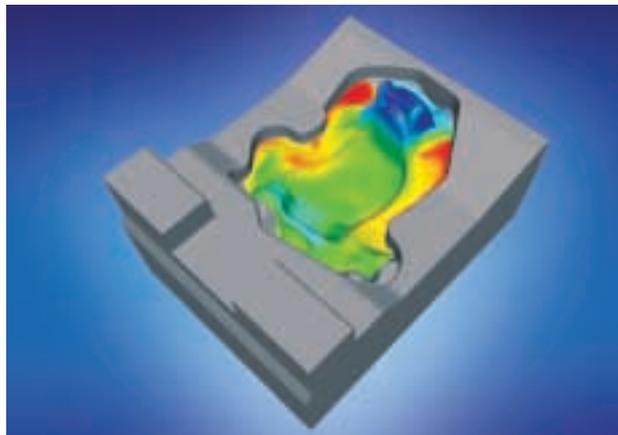


Bild 12: Vorform für das Aluminium-Schwenklager

dieses Bauteils ist die Anwendung der Umformsimulation notwendig, denn eine empirische Prozessentwicklung scheidet aufgrund des hohen Aufwands aus. In Bild 15 (Seite 18) ist der Vergleichsumformgrad der letzten Halbwarmstufe im ausgeformten Zustand abgebildet.

Die Vorgehensweise bei der Bestimmung der Stadienfolge ist ähnlich wie im Abschnitt Warmumformung beschrieben. Eine CAD-modellierte Halbwarmstadiengeometrie wird durch Simulation der Kaltumformstufen solange angepasst, bis eine optimale Geometrie gefunden wird. Anschließend werden die Einzelschritte der Halbwarmstufe ausgelegt.

Noch vor zwei Jahren wurde aufgrund der langen Berechnungszeiten bei der Vorauslegung der Formstufen mit zweidimensionalen Berechnungen gearbeitet, um Zeit zu sparen.



Bild 14: Umformrohling und fertig bearbeitetes Bauteil aus dem Antriebsstrang

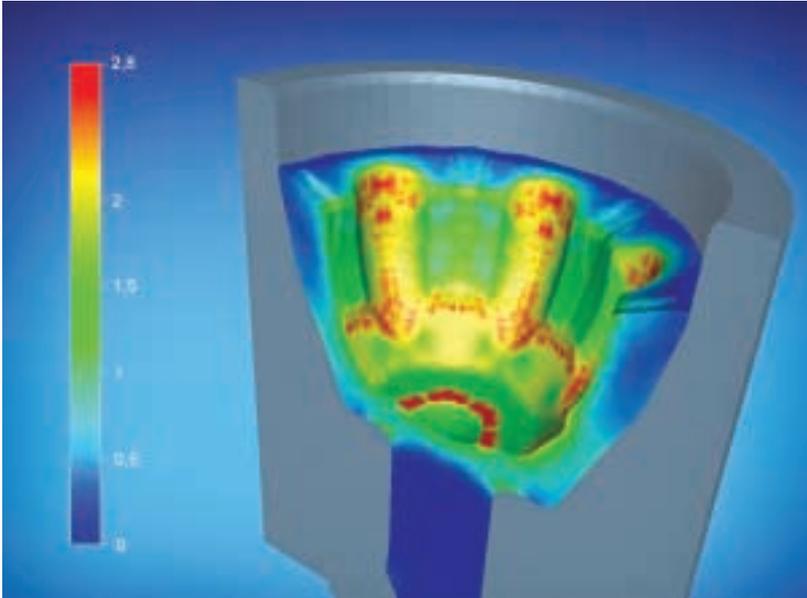


Bild 1.5: Verteilung des Umformgrads in der letzten Halbwarmstufe

Erst die Feinabstimmung wurde mit dreidimensionalen Analysen durchgeführt. Heute ist diese Vorgehensweise durch den verfügbaren Leistungsstand der Software nicht mehr notwendig. Auch die Vorauslegung kann mit dreidimensionalen Modellen unterstützt werden.

Erfahrungen mit dem System

Die anfängliche Skepsis gegenüber der Prozesssimulation ist heute deutlich zurückgewichen. Die Simulation wird mittlerweile vom Werker bis zum Produktionsleiter als Hilfestellung bei der Neuauslegung oder zur Problemlösung herangezogen. Der damit verbundene ständig steigende Bedarf an Simulationsrechnungen soll durch zusätzliche Benutzer in der Konstruktionsabteilung abgedeckt werden; heute wird dies noch als Dienstleistung einer Zentralabteilung für den Konstrukteur zur Verfügung gestellt. Diese Erweiterung muss jedoch sorgfältig durchgeführt werden, denn der Umgang mit der FEM bedingt immer noch einige Erfahrung und ersetzt noch nicht den erfahrenen Umformtechniker.

Die Wirtschaftlichkeit der eingesetzten Simulationstools ist weitgehend akzeptiert. Wenngleich das Kosten/Nutzen-Verhältnis nur schwer zu berechnen ist, sprechen einige Aspekte für den Einsatz einer Umformsimulation:

- Steigender Kostendruck zwingt, das mögliche Rationalisierungspotenzial voll auszuschöpfen.
- Neuteilentwicklungen sind bei dem hier beschriebenen Teilespektrum ohne Simulation nicht mehr wirtschaftlich möglich.
- Die Einarbeitung neuer Mitarbeiter wird durch die Prozessvisualisierung beschleunigt.

Von entscheidender Bedeutung für eine hohe Qualität der Simulationsergebnisse und damit der Aussagekraft der Berechnungen sind die Eingabedaten. Um diese kontinuierlich zu verbessern, wird laufend ein Abgleich zwischen Realprozessen und den Berechnungsergebnissen (z. B. Temperaturen, Bauteilmessungen, Presskräfte) durchgeführt. Zu den Eingabewerten gehören aber vor allem die Fließkurvendaten des Umformwerkstoffs. Deshalb lässt

Hirschvogel Umformtechnik für häufig eingesetzte Werkstoffe eigens Fließkurvendaten von namhaften Instituten anfertigen.

Zukünftige Erwartungen

Es wäre wünschenswert, wenn die Anwendung von Prozesssimulationstools in wenigen Jahren dieselbe Selbstverständlichkeit wie heute die Anwendung von CAD erlangen könnte. Hier liegt ein großes Potenzial, Kosten bereits in der Planungsphase zu vermeiden.

Betrachtet man die Entwicklung der letzten Jahre, so ist eine rasante Entwicklung bezüglich Funktionsumfang, Berechnungsgeschwindigkeit und Stabilität etc. zu verzeichnen. Dennoch können viele Einflussfaktoren wie z. B. die Reibung in der Wirkfuge, die Pressencharakteristik, Roh-teilgewichtstoleranzen und vieles mehr, mit dem heutigen Stand der Software überhaupt nicht oder nur unzureichend abgebildet werden. Es wird die Aufgabe der nächsten Jahre sein, mehr "Realität" in das Simulationsmodell zu integrieren. Dabei sind vor allem die Hochschulen gefragt, die geeignete Modelle erarbeiten müssen, welche dann auch alltagstauglich umzusetzen sind.

Ferner sind weitere Themenfelder voranzutreiben. Dies betrifft die Gefügesimulation, die Abbildung der komplett durchgängigen Prozesskette, von der Berücksichtigung der Herstellung des Halbzeugs über die Abbildung der gesamten Umformung, bis hin zur Werkstoffschädigung des Umformteils, um z. B. Zentralrisse und Schubrisse zu vermeiden.

Die Simulationskompetenz wird in Zukunft ein integraler Bestandteil der Prozessentwicklung sein und eine wesentliche Bedeutung in der Definition der Technologieführerschaft eines umformtechnischen Unternehmens erlangen.

ThyssenKrupp Turbinenkom- ponenten GmbH

Die Systemeinführung

Die Umformsimulation wird bei ThyssenKrupp Turbinenkomponenten GmbH mit zwei Programmen durchgeführt. Im zweidimensionalen Bereich kommt das Programm eesy-2-form zum Einsatz, im 3D-Bereich MSC.Superforge.

2D-Simulation:

Zur Simulation rotationssymmetrischer Bauteile wurden erste Versuche mit "finel" (heute "eesy-2-form") 1986 unternommen. Die Software wurde 1991 angeschafft und wird seitdem konstruktionsbegleitend, mit immer besserer Anpassung an die Realität, zur Simulation eingesetzt.

3D-Simulation:

MSC.Superforge ist seit 1997 installiert. Durch die hohe Komplexität und Größe der zu simulierenden Bauteile (Turbinenschaufeln mit einer Länge bis ca. 1 600 mm bei einer mini-

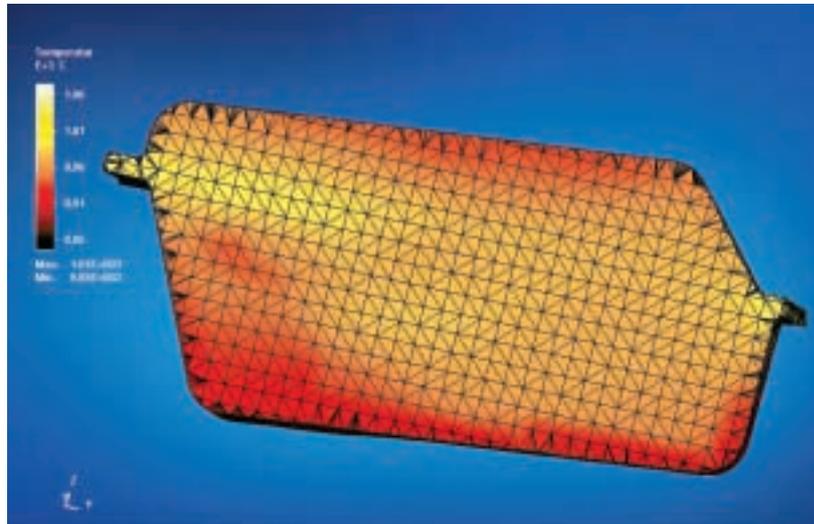


Bild 16: Schnitt durch einen Fuß einer Turbinenschaufel, Darstellung der Temperatur

malen Dicke von ca. 6 mm) ist die Einführung der Software für den "täglichen Gebrauch" noch nicht abgeschlossen und wird zur Zeit nur für spezielle Fragestellungen genutzt.

Einsatz des Systems

2D-Simulation:

Bei ThyssenKrupp Turbinenkomponenten wird eesy-2-form für die Simulation von Schmiedeprozessen auf Spindelpressen, hydraulischen Pressen und Gegenschlaghämmer eingesetzt.

Die Software wird:

- Zur Prozessauslegung (Stadiengang, Temperatur) und Schmiedekonturoptimierung hinsichtlich Materialfluss und Einsatzgewicht eingesetzt.
- Zur Nachsimulation von Prozessen eingesetzt, um Fehlerquellen zu lokalisieren.
- Zur Ermittlung der Werkzeugbelastung eingesetzt.
- Neben der Auslegung des Schmiedeteils, auch in der Angebotskalkulation für Teile, die im Grenzbereich der Aggregate liegen, genutzt.

Die Ergebnisse der Simulationen werden hauptsächlich hinsichtlich des Materialflusses, der Temperaturverteilung und der erreichten Umformgrade ausgewertet.

Die 2D-Simulationen werden von vier Mitarbeitern auf WindowsNT®-Rechnern durchgeführt und standardmäßig zur Neuteilkonstruktion eingesetzt.

3D-Simulation:

MSC.Superforge wird bei ThyssenKrupp Turbinenkomponenten hauptsächlich für die Simulation innerhalb von Entwicklungsprojekten

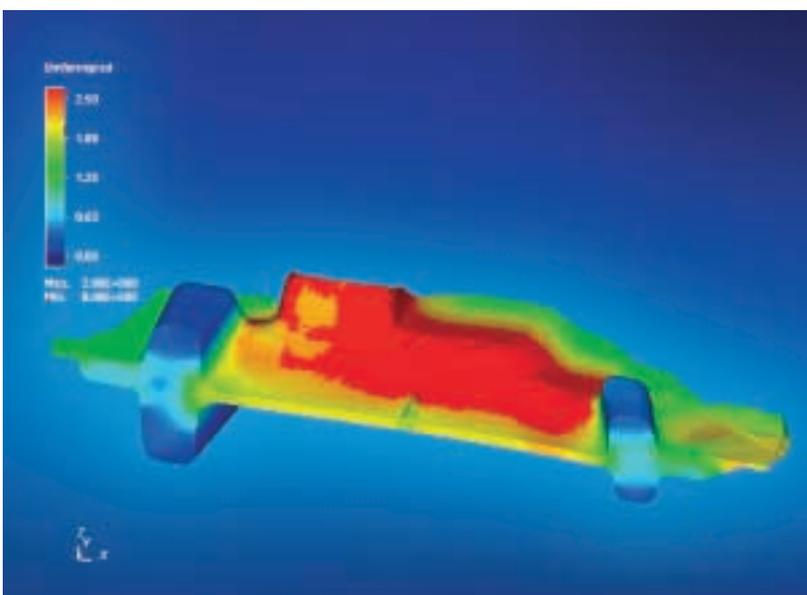


Bild 17: Längsschnitt durch eine Turbinenschaufel, Darstellung des Umformgrads

eingesetzt. Für eine Simulation innerhalb einer Neuteilentwicklung ist die Rechenzeit für die Bauteilgröße (teilweise ca. fünf bis acht Tage) zu lang, bzw. für schnellere Ergebnisse zu ungenau. Durch das letzte Release und durch aktuelle Hardware ist auch hier eine schnelle und genaue Simulation möglich.

MSC.Superforge wird:

- Zur Auslegung des Schmiedeteils
- Zur Prozessauslegung
- Zur Ermittlung der Werkzeugbelastung und
- Zur Nachsimulation von Prozessen, um Fehlerquellen zu lokalisieren

eingesetzt.

Die Ergebnisse der Simulationen werden hauptsächlich hinsichtlich des Materialflusses, der Temperaturverteilung und des erreichten Umformgrads ausgewertet (Bilder 16 und 17, Seite 19).

3D-Simulationen werden von einem Mitarbeiter auf einem Dual-Processor-WindowsNT®-Rechner durchgeführt.

Erfahrungen mit dem System

2D-Simulation:

Die Erfahrungen im 2D-Bereich sind durchweg positiv. Durch den Einsatz der Software wird der Entwicklungszyklus von Bauteilen deutlich verkürzt. Durch die intensive Zusammenarbeit mit dem Software-Hersteller werden Verbesserungen schnell umgesetzt und dadurch die Qualität der Simulation verbessert.

3D-Simulation:

Nach unserer Erfahrung wird der Materialfluss in der Simulation gut abgebildet. Schwierigkeiten bereiten die für eine Schmiedesituation einzustellenden Parameter. Für die Festlegung der Parameter (z. B. Wärmeübergangskoeffizienten, Reibwerte usw.) muss für jede neue Schmiedesituation (Änderung Schmiedeaggregat, Temperaturbereich usw.) eine Parameterstudie durchgeführt werden.

Die Bedienung des Programms ist einfach. Die Ergebnisse der Simulation müssen mit der Realität immer wieder abgeglichen werden.

Zukünftige Erwartungen

In Zukunft sollten deutlich schnellere Simulationen von 3D-Bauteilen mit einer sehr guten Abbildung der Realität möglich sein. Des Weiteren sollte es möglich sein, ein Bauteil von der ersten Massivumform-Operation bis zur letzten Wärmebehandlung nicht nur hinsichtlich des Materialflusses, sondern auch hinsichtlich der Gefügeeigenschaften zu simulieren. Auch das Simulieren mit elastischen Werkzeugen ist eine Anforderung an die Softwarehersteller, die kurzfristig realisiert werden sollte.

ThyssenKrupp Gerlach GmbH

Die Systemeinführung

Aufgrund der hohen Komplexität der Bauteile bei ThyssenKrupp Gerlach bieten numerische Verfahren ein großes Potenzial für die Optimierung der Produkte.

Der Wunsch zur Nutzung einer Umformsimulationssoftware war im Jahr 2000 Anlass zu einer intensiven Marktanalyse angebotener Systeme. Eine Vorauswahl infrage kommender Produkte erfolgte nach der Kontaktaufnahme mit verschiedenen namhaften Anbietern relativ schnell, worauf bereits im Mai 2000 ein Benchmark durchgeführt wurde. Hierzu stellte die Konstruktion Pro/Engineer CAD-Daten einer 6-Zylinder-Pkw-Kurbelwelle zur Verfügung, womit alle Umformstufen simuliert wurden. Die gelieferten Ergebnisse konnten hinsichtlich Presskraft und Füllverhalten

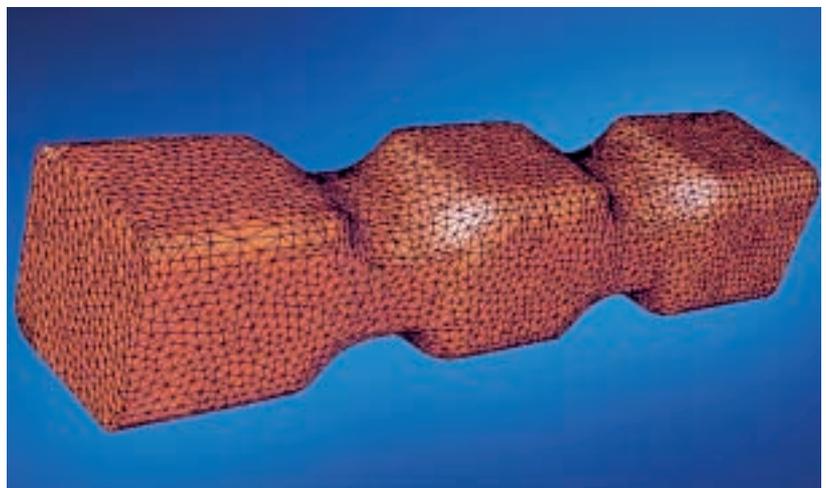


Bild 18: FEM-Netz eines Vierkant-Walzrohrlings als Vorformstufe einer Kurbelwelle

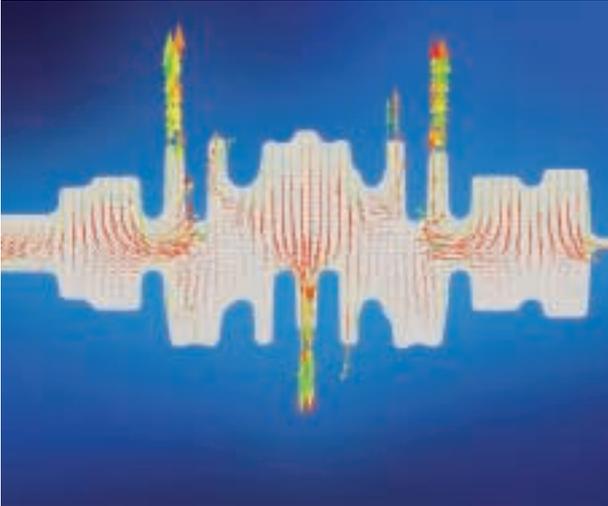


Bild 19: Vektordarstellung der Fließgeschwindigkeit einer Kurbelwelle

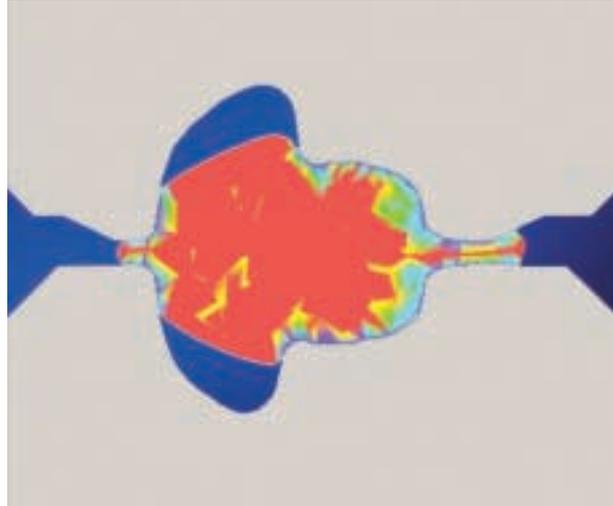


Bild 20: Schnitt durch eine Wange vor beendeter Umformung

ausgewertet und die Produkte in einem umfangreichen Anforderungsprofil unter folgenden Gesichtspunkten verglichen werden:

- Leistung: Analyse- und Auswertungsmöglichkeiten, Genauigkeit, Geschwindigkeit (Solver).
- Technik: Schnittstellen, Randbedingungen, mitgelieferte Materialdaten, Pressencharakteristik, Reibung, Hardware.
- Handhabung/Kosten: Bedienbarkeit, Service, Referenzen, Entwicklungsfähigkeit, Preis.

Schlussendlich entschied man sich für das System Forge3 von Transvalor. Da die Systemauswahl und -betreuung einem Spezialisten übertragen worden war, konnte die Einführung und erste Kalibrierung verhältnismässig rasch realisiert werden.

Einsatz des Systems

Die Software wird zur dreidimensionalen Simulation von Schmiedeteilen mit komplexen Geometrien genutzt. Ziel ist in jedem Fall die Optimierung der Schmiedewerkzeuge hinsichtlich Füllverhalten, Standzeit und Prozesssicherheit sowie die Optimierung von

Gewicht und Massenverteilung des Rohlings. Dazu werden alle Umformstufen simuliert. Als Hardware kommt ein Dualprozessor PC zum Einsatz, auf welchem die Berechnungen durchgeführt werden, während simulationsvorbereitende Tätigkeiten im Allgemeinen von CAD-Workstations aus vorgenommen werden.

Heute werden folgende Kriterien beurteilt:

- Materialfluss (Bilder 19 und 20)
- Füllverhalten von Kurbelwellen und Pleuel (Bild 21) (Teilegeometrie am Ende der jeweiligen Umformstufe)
- Druckverteilung im Zuschnitt zur qualitativen Beurteilung der Werkzeugstandzeit (Bild 22, Seite 22)
- Spannungszustände im Gesenk zur quantitativen Beurteilung der Werkzeugstandzeit (Bild 23, Seite 22).

Erfahrungen mit dem System

Durch die notwendige Interaktion der Simulationssoftware mit CAD-Systemen und um einen größtmöglichen internen Erfahrungsaustausch zu ermöglichen, hat es sich als zweckmässig erwiesen, allen Konstrukteuren die Nutzung der Software

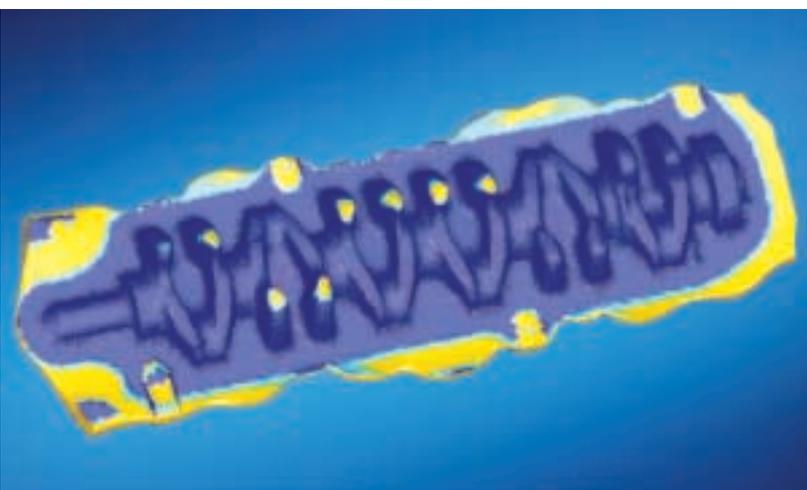


Bild 21: 3D-Darstellung einer fertiggeschmiedeten 6-Zylinder-Kurbelwelle mit unvollständig gefüllten Wangenspitzen

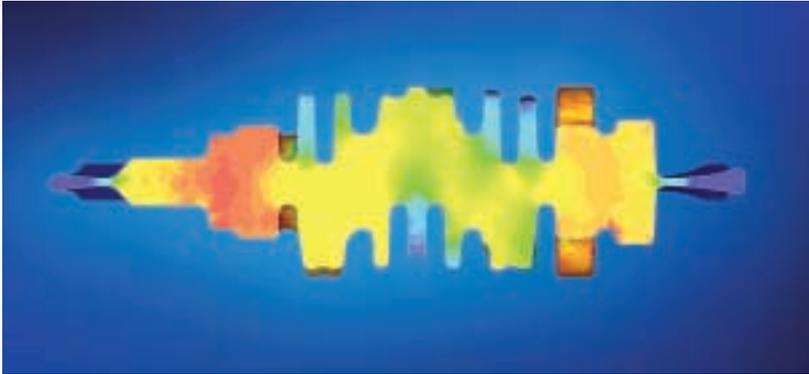


Bild 22: Druckverteilung bei geschnittener Seitenansicht

zu ermöglichen. Der Werkzeugkonstrukteur ist in der Anwendung von Forge3 geschult und übernimmt selbstständig die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Simulationen des Tagesgeschäfts. Zusätzlich ist übergreifend ein Projektgenieur mit der Optimierung der Simulationsrandbedingungen, der technischen Weiterentwicklung der Softwareanwendung und der Ausarbeitung von Simulationsrichtlinien beschäftigt. Die Erfahrungen sind größtenteils positiv, insbesondere das simulierte Füllverhalten zeichnet im Vergleich mit dem geschmiedeten Teil ein erfreulich realistisches Bild.

Projektvorbereitende Tätigkeiten sind zur Zeit leider noch etwas aufwändig. Ebenfalls verbesserungswürdig sind die Möglichkeiten zur Werkstückvermessung nach beendeter Simulation.

Zukünftige Erwartungen

Oftmals wird in Verbindung mit Computersimulationen die Forderung nach erheblicher Verbesserung der Berechnungsgeschwindigkeit erhoben. Selbstverständlich sind Zeiterparnisse in diesem Zusammenhang wünschenswert. Dabei darf natürlich nicht vergessen werden, dass neben den vom Softwareentwickler eingesetzten numerischen Methoden auch die technische Ausstattung des Anwenders ihren Teil zur Simulationszeit beiträgt.

Erfreulich wäre eine Schnittstelle aus Forge3 zum verwendeten CAD-System, um die dort vorhandenen leistungsfähigen Vermessungsfunktionen und Möglichkeiten von Gewichts- und Volumenanalyse nutzen zu können.

Positiv erwähnt werden sollte der qualifizierte und reaktionsschnelle Support von Transvalor, der jederzeit eine solide und zufriedenstellende Zusammenarbeit ermöglicht hat.



Bild 23: Maximale Druckspannung innerhalb des Werkzeugs einer 2-Zylinder-Kurbelwelle

Otto Fuchs KG

Die Systemeinführung

Im Jahr 1993 wurde bei Otto Fuchs das 2D-Schmiedesimulationsprogramm CAPS-FINEL eingeführt. 1998 kam das 3D-System SuperForge dazu. Inzwischen betreut eine dreiköpfige Gruppe die Schmiedesimulationen sowie die linear elastischen FEM-Simulationen. Über die Jahre wurde CAPS-FINEL durch das Programm QForm ersetzt, da dieses Programm bei Faltenbildung stabiler läuft und in einem internen Benchmark realistischere Ergebnisse brachte.

Einsatz des Systems

Im 2D-Bereich ist die Umformsimulation schon zu einem Standardwerkzeug für die Werkzeug- und Vorformauslegung geworden. So werden alle rotationssymmetrischen Bauteile simuliert. Es ist das Ziel, alle Neuteile – auch im 3D-Bereich – vor der Fertigung der Werkzeuge zu simulieren, um so eventuell nötige Änderungen schon in das erste Werkzeug einfließen lassen zu können.

Bei metallurgisch anspruchsvollen Werkstoffen sind oft auch die Temperaturen und Umformgrade innerhalb des Werkstücks interessant, die sich einer direkten Messung entziehen, aber die Gefügeausbildung (und damit auch die mechanischen Kennwerte) stark beeinflussen.

Die Ergebnisse aller Rechnungen werden im Team durchgesprochen und bewertet. Das Team besteht aus Mitarbeitern der Fertigung, der Konstruktion und gegebenenfalls des Werkstofflabors.

Bild 24 zeigt den Schnitt durch eine Vorform für ein Leichtmetall-Pkw-Rad. In dem Schnitt durch die Temperaturverteilung sind senkrechte Fließlinien in den Ausgangsquerschnitt eingebracht worden, die jetzt im umgeformten Zustand gut die innere Struktur des Schmiedeteils wiedergeben, wie sie auch im Makroschliff erkennbar ist.

Erfahrungen mit dem System

Die Erfahrungen mit dem System SuperForge sind größtenteils positiv. Es lassen sich über einfach gestaltete Bedienoberflächen Simulations-

Die Ergebnisse zeigen in den meisten Prozessen gute Übereinstimmung mit der Realität. Besonders bei der Vorhersage von Schmiedefalten und bei der Optimierung der Vor-

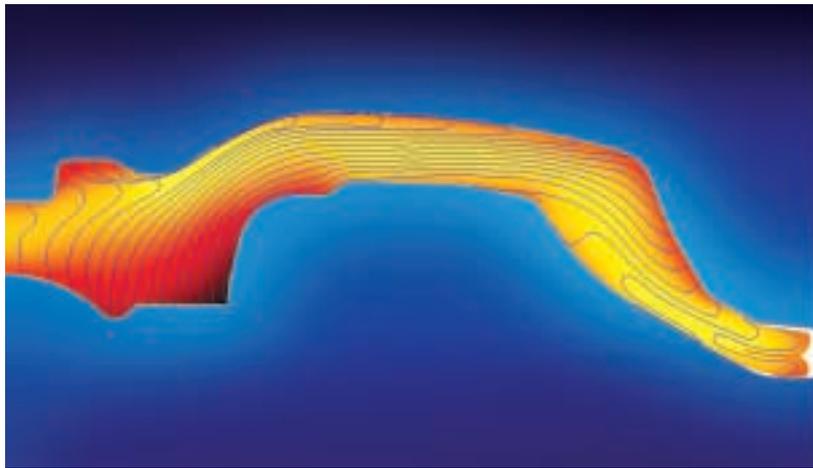


Bild 24: Faltenbildung in einer 2D-Simulation (mit senkrechten Fließlinien)

projekte definieren. Alle Parameter wie Temperaturen, Geschwindigkeitsverläufe der Pressen und Rei-

formauslegung ist die Simulation inzwischen zu einem unverzichtbaren Werkzeug geworden.

Schwachstellen sind z. Zt. noch die Kraftberechnungen und die Visualisierung von Schmiedefehlern, die im Inneren des Bauteils auftreten, wie zum Beispiel von Durchschüssen. Mit einiger Erfahrung kann man zum Teil schon aus dem Füllverhalten gefährdete Stellen erkennen und entsprechende Gegenmaßnahmen ergreifen. Auch Oberflächenfehler sind nicht immer zweifelsfrei identifizierbar. Hier ist ein geschultes Auge des Simulationsfachmanns nötig, um Fehler zu erraten.

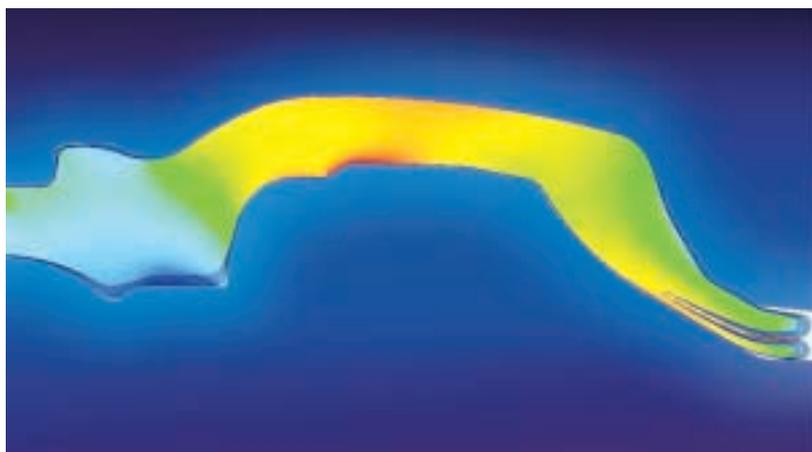


Bild 25: Faltenbildung in einer 2D-Simulation (mit oberflächennahen Fließlinien)

Im Schnitt durch die Umformgradverteilung (Bild 25) sind oberflächennahe Fließlinien dargestellt. Diese in QForm vorhandene Funktionalität hilft Falten und Sogstellen besser herauszustellen.

lungswerte können in einer Datenbank gespeichert werden. Auf einem 2,2-GHz-Doppelprozessor-PC laufen die Berechnungen je nach Schwierigkeitsgrad zwischen drei und sechzehn Stunden.

Umformoperationen, die einen Biegeanteil enthalten, müssen systembedingt bei SuperForge mit einem anderen Solver gerechnet werden, um realistische Ergebnisse zu erhalten.

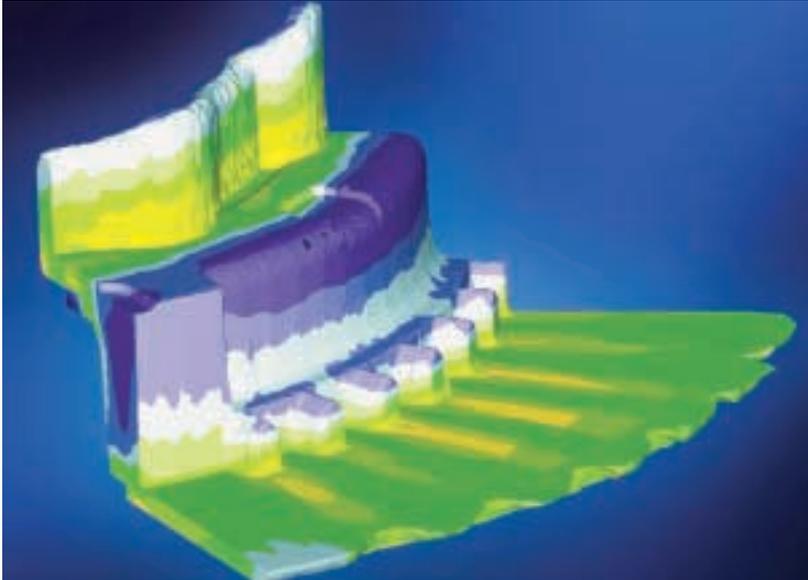


Bild 26: Symmetriesegment eines Synchronrings

Zukünftige Erwartungen

In Zukunft werden einfache 2D-Simulationen direkt vom Konstrukteur durchgeführt. Hierzu wäre es sinnvoll, eine direkte Schnittstelle zu dem genutzten CAD-System zu schaffen (z. Zt. läuft der Geometrieimport über eine STL-Schnittstelle). Bei linearer elastischer FEM gibt es bereits direkte Anbindungen, zum Beispiel ist beim CAD-System Unigraphics ein Tool namens Szenario verfügbar. Mit einer solchen Kopplung für die Umformsimulation wäre ein schnellerer Iterationsprozess in der Schmiedewerkzeug-Entwicklung realisierbar.

Abgesehen von der Zeitersparnis wird sich daraus auch ein besseres Verständnis des Konstrukteurs für den Prozess der Warmmassivumformung ergeben.

Zur Zeit wird ein Gefügesimulations-Modul namens MATILDA eingeführt, damit sollen Korngrößen und Rekristallisationszustände in metallurgisch komplexen Legierungen vorhergesagt werden. Das Modul kann mit dem Programm MSC.Superform und zukünftig auch mit MSC.Superforge verwendet werden.



Bild 27: Umformgrad an einem Seitenleitwerksbeschlag
(ca. 1100 x 700 mm)

Neumayer Gruppe

Die Systemeinführung

Um den komplexer werdenden Anforderungen, die heute an einen Automobilzulieferer gestellt werden, gerecht zu werden, wurde am Standort des Stammsitzes der Neumayer Gruppe in Hausach bereits vor einigen Jahren die gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft New Form Tec GmbH (NFT) gegründet. Die an den acht Standorten der Gruppe vorhandenen Entwicklungsabteilungen bleiben dabei weiterhin für die Entwicklung ihrer Stammprodukte zuständig, erfahren aber durch die NFT Unterstützung, wenn es darum geht, neue Produkte, Verfahren und auch Entwicklungswerkzeuge einzuführen. Unter anderem zählt in diesem Zusammenhang der Aufbau und die Pflege einer durchgängigen CAX-Kette für alle Gruppenmitglieder zu den permanenten Aufgaben der NFT.

Zur Einführung von Umform-Simulationswerkzeugen wurde zunächst (1999) innerhalb der NFT eine Lizenz von DeForm-2D (SFTC) installiert, die von zwei geschulten Mitarbeitern mit umformtechnischem Background bedient wird. Die Aussagekraft der Simulationen wurde dabei zunächst an bekannten Teilen der Erich Neumayer KG in Hausach überprüft. Hauptaugenmerk wurde hierbei auf die Übereinstimmung von vorhergesagtem und tatsächlichem Füll- und Fließverhalten gelegt. In dieser Phase konnte auch ein Eindruck darüber gewonnen werden, inwieweit Vereinfachungen bei der Modellierung des Prozesses, z. B. Beachtung von Abkühlungen im Mehrstufenprozess, einen Einfluss auf die Genauigkeit der Ergebnisse besitzen. Nachdem der große Nutzen der 2D-Simulationen demonstriert werden konnte, wurde

im Jahr 2001 als Erweiterung eine DeForm-3D-Lizenz beschafft. Zur Kapazitätserweiterung wurde 2003 im italienischen Werk der Gruppe in Avigliana (Tekfor S.p.A.) je eine 2D- und eine 3D-Lizenz installiert, wodurch die zuvor als Dienstleistung von der NFT bearbeiteten Simulationen nun direkt vor Ort durchgeführt werden können.

Einsatz des Systems

Auf Grund der bei Neumayer stark vertretenen kombinierten Warm-Kaltumformung ist auch bei den Umformsimulationen oftmals eine Optimierung des gesamten Stadiengangs, bestehend aus einem Mehrstufen-Schmiedeprozess (Hatebur), dem sich zumeist mehrere Kaltfließpressoperationen anschließen, durchzuführen. Mit Hilfe der Simulation werden dabei vorwiegend folgende Fragen untersucht:

- Optimierung des Füllverhaltens (Reduktion von Umformkraft und Werkzeugbelastung)
- Vermeidung von Materialüberlappungen
- Vermeidung von Spannungsspitzen im Werkzeug
- Vermeidung von Schmier- und Kühlmittleinschlüssen (Wassersäcke).

Daneben wird das Simulationssystem auch für speziellere Problemstellungen eingesetzt:

- Simulation von Fügeprozessen
- Analyse von Erwärmungs- (u. A. partiell, induktiv) und Abkühlprozessen
- Beurteilung der Auswirkungen von Einsatzgewichtschwankungen
- Auswirkungen von Rundlauf Fehlern auf nachfolgende Prozessschritte (ungleichmäßiges Füllverhalten, Werkzeugbelastung)
- Optimierte Prozessgestaltung bei Präzisionsumformteilen.

Fertigungsstufe	Netzgröße	Rechenzeit
Voroperation 2D	250 – 500 Elemente	< 10 min
Fertigschmieden 2D	500 – 1 000 Elemente	< 20 min
Werkzeug-Spannungsanalyse 2D (entkoppelte Analyse)		< 10 min
Voroperation 3D	2 500 – 10 000 Elemente	< 4 h
Fertigschmieden 3D	5 000 – 50 000 Elemente	2-8 h
Werkzeug-Spannungsanalyse 3D (entkoppelte Analyse)		< 10 min

Tabelle 4: Rechenzeiten für typische 2D- und 3D-Probleme

Da es sich bei einer Vielzahl der in der Gruppe auftretenden Umformteile um Varianten von bereits vorhandenen Teilen handelt, wird die Simulation nicht zwingend für jedes Teil eingesetzt. Vielmehr wird in der Regel weiterhin mit klassischen Mitteln der Prozess auf Erfahrungswerten basierend ausgelegt und die dazugehörigen Werkzeuge in der Konstruktionsabteilung entwickelt. Dies ermöglicht es, sich darauf zu konzentrieren, diejenigen Teile, bei denen bezüglich Prozess oder Werkstoff Neuland betreten wird, eingehend in der Umformsimulation zu untersuchen.

Erfahrungen mit dem System, Stärken und Schwächen

Seit Einführung von DeForm-2D bei der NFT im Jahre 1999 hat sich insbesondere die Bedienung des Systems stark verbessert. Die etwas gewöhnungsbedürftige ursprüngliche Benutzeroberfläche ist inzwischen sowohl bei der 2D- als auch bei der 3D-Version durch eine weitgehend dem aktuellen Windows-Standard entsprechende Oberfläche ersetzt worden. Der Wechsel auf die Windows-Benutzeroberfläche hat zudem die grafische Darstellung im Hinblick auf Detailtreue und Bildaufbaugeschwin-

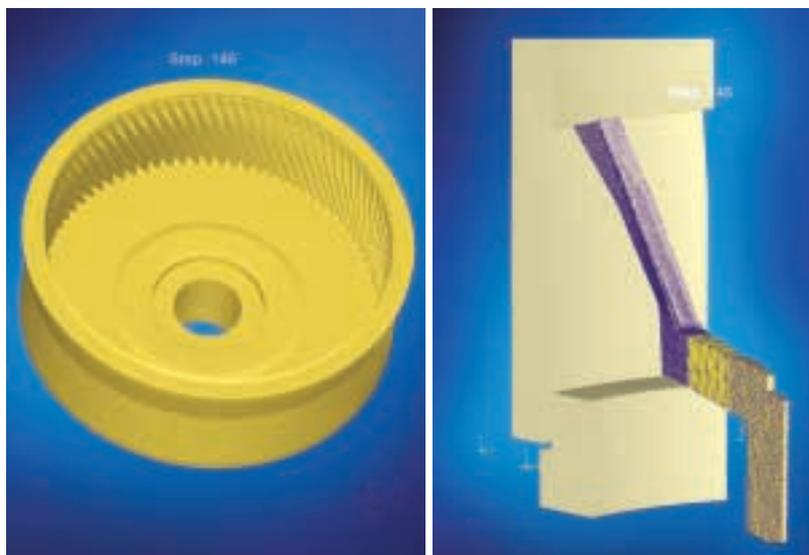


Bild 28: Bauteil mit Schräg-Innenverzahnung (links das gesamte Bauteil, rechts der in der Simulation abgebildete Ausschnitt)

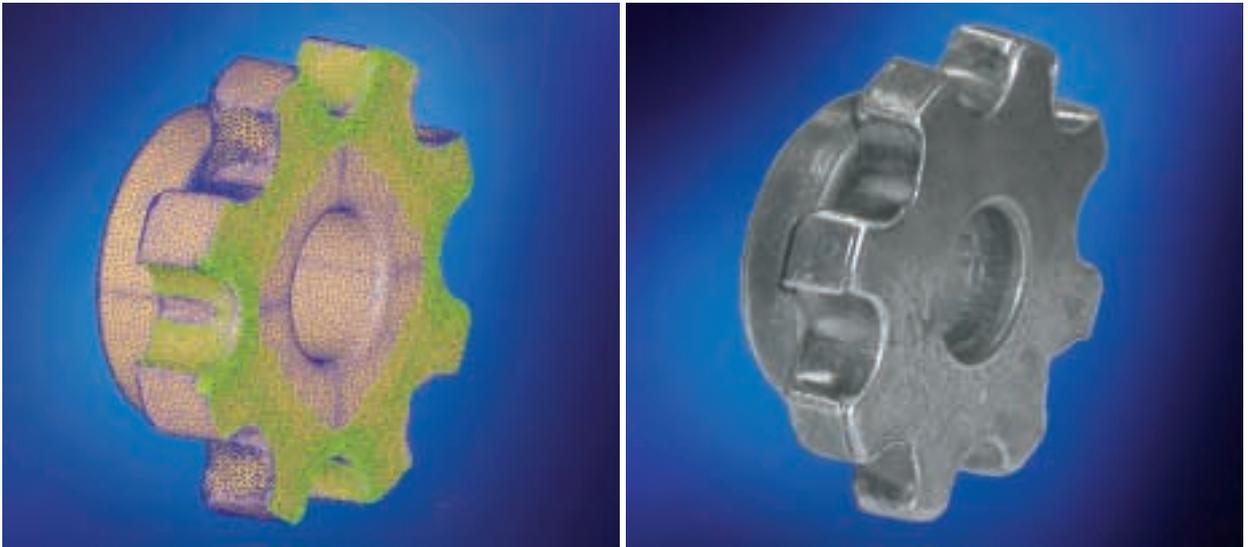


Bild 29: Füllverhalten an einem Präzisions-Umformteil

digkeit wesentlich verbessert. Als Erleichterung für den Bediener werden in den meisten Eingabefeldern inzwischen Vorgabewerte bereits vorgeschlagen, sodass man Standardprobleme sehr einfach abbilden kann und trotzdem die Möglichkeit bewahrt wurde spezifische Eingaben vorzunehmen. Für die bei Neumayer behandelten Probleme wurde bisher kein Gebrauch von den zahlreichen frei programmierbaren Schnittstellen (User-Routines) gemacht, sodass hierüber keine Beurteilung möglich ist.

Der eigentliche Simulationsprozess, inklusive der Neuvernetzung von verformten Objekten kann als sehr zuverlässig und auch schnell bezeichnet werden. Bei aufwändigen 3D-Problemen wird eine Simulation typischerweise zunächst mit reduzierter Detailtreue, d. h. relativ grob vernetzt durchgeführt, um den Prozess allgemein bewerten zu können. Anschließend werden besonders kritische Bereiche durch lokal verfeinerte Netze stärker detailliert. Beim Vergleich mehrerer Varianten hat sich die Möglichkeit der Queue-Abarbeitung bewährt.

Bei einfachen 2D-Materialflussuntersuchungen kann man auf einem modernen PC innerhalb einiger Minuten Ergebnisse erhalten, sodass hierbei

nicht mehr die benötigte Rechenzeit, sondern vielmehr der zeitliche Aufwand für das Erarbeiten von Veränderungen und Varianten als dominant anzusehen ist. In Tabelle 4 (Seite 25) sind Rechenzeiten für typische 2D- und 3D-Probleme aufgelistet.

Mehrstufige Prozesse, bei denen die Rotationssymmetrie erst in einer der letzten Stufen aufgehoben wird, können bis zu diesem Schritt innerhalb von DeForm-2D bearbeitet werden und anschließend in 3D-Daten konvertiert werden. Ein sehr großes Potenzial zur Reduktion der Rechenzeit lässt sich zudem durch die Ausnutzung von vorhandenen Symmetrien ausschöpfen. Neben ebenen Symmetrien können in DeForm-3D auch rotationssymmetrische Geometrien genutzt werden. Bild 28 (Seite 25) zeigt ein innenverzahntes Teil und den Ausschnitt, auf den die Simulation unter Ausnutzung der Rotationssymmetrie reduziert werden konnte.

Die insgesamt für ein Umformteil aufzuwendende Zeit ist schwer abzuschätzen. Insbesondere für 3D-Probleme ist zusätzlich der Aufwand beim Erstellen der Werkzeugmodelle und deren Varianten im CAD als erheblich anzusehen. Bei einfachen Prozessen gelangt man mit Hilfe der Ergebnisse

einer ersten Simulationsrechnung meist in ein bis zwei Optimierungsschritten zu einer wesentlich verbesserten Lösung. Bei grundlegend neuen Teilen und speziellen Prozessen, z. B. mit mehrteiligen, gefederten Werkzeugen, können allerdings durchaus mehr als 10 Varianten untersucht werden, bis eine befriedigende Lösung gefunden ist.

Die Qualität der durchgeführten Simulationen wird ständig im Vergleich mit den realen Umformprozessen bewertet. Zur Beurteilung bieten sich dabei folgende Kriterien an:

- Materialfluss

Bei einem Großteil der durchgeführten Simulationen steht die Optimierung des Materialflusses im Vordergrund. Die Übereinstimmung des simulierten Materialflusses kann allerdings nur anhand von gewissen Merkmalen des realen Teils verifiziert werden. Eine häufig auftretende Fragestellung ist z. B. die Ermittlung der Lage des Schergrats am fertigen Teil. Die mit Hilfe des "Point-Trackings" durchgeführten Untersuchungen liefern hierbei in nahezu 100 % der Fälle präzise Vorhersagen.

Die oftmals charakteristische Kontur von Materialüberläufen und

damit auch die Gratform wurde in sämtlichen Simulationsrechnungen exakt vorhergesagt.

Durch Einführung einer sog. "Fold-Detection" in den aktuellen DeForm Versionen ist die Erkennung von Schmiedefehlern wesentlich zuverlässiger geworden. Zuvor war ein zuverlässiges Auffinden von Materialüberlappungen oft nur möglich, wenn bereits Erkenntnisse am realen Teil vorlagen und somit bei der Simulation gezielt die entsprechenden Bereiche betrachtet werden konnten.

- Kräfte

Eine Vorhersage von auftretenden Presskräften hat sich bei Prozessen mit großem Kraftanstieg gegen Pressende (Werkstoff nahezu komplett eingeschlossen) als nicht sinnvoll erwiesen. Beim Vergleich von unterschiedlichen Stadiengängen beschränkt sich Neumayer zumeist auf eine relative Optimierung der Kräfte, die für einen vergleichbaren Füllgrad benötigt wird.

Auch bei Voll-Vorwärts-Prozessen, wie sie unter Verwendung von Schmierzusätzen auf Umformmaschinen durchgeführt werden, ist eine zuverlässige Vorhersage von Presskräften nicht möglich. Dies ist wohl auf eine für diese Prozesse zu starke Vereinfachung der Reibmodelle zurückzuführen.

- Spannungen

Spannungen im Werkzeug werden bei Neumayer fast ausschließlich bei real vorliegenden Werkzeugproblemen ermittelt. Daher ist hier zumeist eine relative Absenkung der auftretenden Spannungsspitzen gefragt. Bei den meisten Prozessen bietet sich eine sogenannte entkoppelte (Einschritt) Analyse am Ende des Pressvorgangs an. Damit ist ein zeitintensives Durchlaufen der gesamten Simulation mit vernetzten elastischen Werkzeugen nicht notwendig. Die Lage der Spannungsspitzen war bei allen untersuchten Fällen mit den tatsächlich auftretenden Werkzeugbrüchen identisch.

Auf Grund der bisher gemachten guten Erfahrungen wird bei Neumayer auch weiterhin ein spezielles Team von regelmäßig geschulten Mitarbeitern für die Durchführung der Umformsimulationen zuständig sein. Je nach Häufigkeit von komplexen Umformprozessen an den einzelnen Standorten wird dabei entschieden, ob lokal eine Lizenz erworben wird und eine oder mehrere Personen geschult werden, oder ob die Berechnungen in der für alle Gruppenmitglieder zur Verfügung stehenden New Form Tec durchzuführen ist. Auch bei den immer besser werdenden Simulationswerk-

zeugen ist weiterhin eine gute Kenntnis aller Randbedingungen, die nicht in der Simulation abgebildet werden, unabdingbar (z. B. Transport, Führungsspiel, ...).

Zukünftige Erwartungen

In den derzeit verwendeten Werkstoffmodellen wird das Zusammenspiel von Gefügeumwandlungen und mechanischen Eigenschaften eines Werkstoffs zumeist stark vereinfacht abgebildet. Damit ist der größte Teil der Möglichkeiten, die sich insbesondere bei der kombinierten Warm-Kaltumformung durch eine optimierte Wärmebehandlung ergeben, nicht mit Hilfe der FEM-Simulation zu analysieren. Die Erweiterung der Simulationskette auf die Wärmebehandlung mit Hilfe des Moduls DeForm-HT wird derzeit bei Neumayer auf ihre Praxistauglichkeit hin untersucht. Problematisch sind hierbei unter anderem die nur für sehr wenige Werkstoffe vorliegenden Materialdaten. Da die Ermittlung dieser erweiterten Werkstoffkennwerte sehr aufwändig ist, kann hier wohl kurzfristig nicht mit einer wesentlichen Besserung gerechnet werden. Weiterhin ist auf Grund des komplexeren Modells allgemein mit wesentlich höheren Rechenzeiten zu rechnen.

Ein Ziel für die zukünftige Software-Entwicklung sollte die Möglichkeit der Automatisierung von Auswertungen

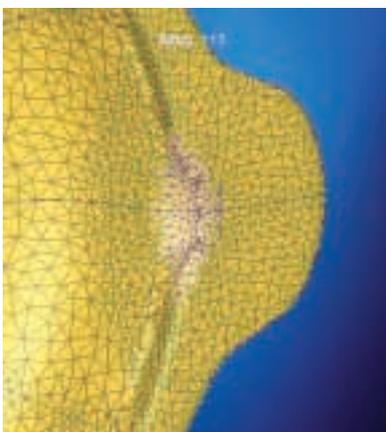


Bild 30: Entstehung einer Materialüberlappung an einem Flanschteil

sein. In den meisten Fällen werden mehrere Simulationen mit leicht veränderten Werkzeuggeometrien oder leicht veränderten Parametern durchgeführt und anschließend verglichen. Sowohl für die Generierung dieser Varianten, als auch für die Auswertung

der betreffenden Ergebnisse wäre eine Makrosprache, wie sie z. B. von Office-Anwendungen bekannt ist, wünschenswert.

Eine Einschränkung in der Praxis stellt weiterhin die sehr eng gefasste Lizenzpolitik von SFTC dar. So wäre es

z. B. wünschenswert, das Pre- und Postprocessing der Daten auf einem separaten Rechner durchführen zu können, ohne den Rechner, der gerade die eigentliche Umformsimulationsrechnung durchführt, damit unnötig zu belasten.

Forschungsprojekte

Die Massivumformer sind bei der Einführung bzw. Weiterentwicklung von innovativen Technologien auf Forschungsergebnisse angewiesen, die gemeinsam mit universitären Einrichtungen (Hochschuleinrichtungen) generiert werden. Derzeit befinden sich die in Tabelle 5 aufgeführten Projekte im Bereich der Simulation in Arbeit bzw. in Planung.

Titel	Forschungsziel	Institut/ Hochschule	Laufzeit
Realitätsnahe Bestimmung von Prozess-Randgrößen für die Simulation von Umformprozessen	Optimale Parameter für Wärmeübergangs- und Emissionskoeffizient für verschiedene Werkstoffe, Schmierstoffe und Oberflächenbeschaffenheiten	IBF/RWTH-Aachen	01.07.2001 bis 30.06.2003
Optimierte Anwendung der Finite-Elemente-Methode in der Schmiedeprozessauslegung	Optimale Einstellungen/Parameter für gängige Simulationssysteme	IFUM, IPH/ Uni Hannover	01.05.2002 bis 31.01.2004
Entwicklung eines Verfahrens zur Rückwärtssimulation von Massivumformprozessen zur schnellen Auslegung der Stadienfolge	Simulationswerkzeug für stahlverarbeitende Unternehmen der Kalt- und Warmmassivumformung zur Auslegung der Stadienfolge durch Rückwärtssimulation, ausgehend von der Fertigteilgeometrie	IFUM/Uni Hannover	01.01.2002 bis 29.02.2004
Vorhersage des Verschleißes und der Rissbildung mit Hilfe der Finite-Element-Methode bei Gesenkschmiedewerkzeugen	Algorithmus zur Vorhersage und Quantifizieren des zu erwartenden Verschleißes und der Rissbildung	IFUM/Uni Hannover	01.08.2003 bis 30.07.2005
Entwicklung einer Optimierungsstrategie zur Auslegung von Umformwerkzeugen unter Berücksichtigung von Simulationsparametern	Kompensation der elastischen Deformationen zur Optimierung der Gesenkkontur mit Hilfe eines Korrekturalgorithmus bei der Warm- und Halbwarmumformung	IWP/TU Chemnitz	01.11.2003 bis 31.10.2005
Integrierte Prozess- und Produktionssimulation hoch beanspruchter geschmiedeter Stahlbauteile	Kopplung zwischen Stofffluss- und Bauteilsimulation, Berücksichtigung von mechanischen Eigenschaften	LBF/TU Darmstadt; IfM/Bergakademie Freiberg	Geplant: 2005
Gekoppelte Simulation von Umformprozess und Maschine	Optimierung der Werkzeugkosten zur Minimierung von Werkstückfehlern und Gesenkbelastung	WZL/RWTH Aachen	Geplant: 01.01.2005 bis 31.12.2006

Tabelle 5: Forschungsprojekte im Bereich der Simulation

Zusammenfassung / Ausblick

Die Simulation in der Massivumformung hat auf Grund der rasanten Entwicklung auf der Hardware- sowie auf der Softwareseite mittlerweile einen sehr hohen Stellenwert erreicht. Gerade für Unternehmen der Massivumformung, die sich mit der Herstellung von Hoch-Technologie-Produkten befassen, hat sich der Einsatz dieser Softwaretools zu einem wesentlichen Wettbewerbsfaktor entwickelt. Immer mehr Kunden, insbesondere Automobilhersteller, schreiben die Anwendung der Simulation in das Lastenheft ihrer Zulieferer, weil dem steigenden Kostendruck mit diesem Hilfsmittel sehr gut begegnet werden kann. Dabei kann nicht davon ausgegangen werden, dass bereits kurz nach der Einführung eines solchen Systems mit dem optimalen Nutzen gerechnet werden kann. Vielmehr zählt sich der Einsatz der Simulation über die Erfahrung, die man mit der Software sammeln muss, im Mittelfristbereich unbedingt aus.

Bei künftigen Entwicklungen sollte, neben der Funktionserweiterung und Steigerung der Simulationsgüte, auch die Integration der FEM-Umformsimulation in die CAD-Landschaft eine stärkere Berücksichtigung finden. Die stetig steigende Anzahl der Benutzer, die vor allem auch in den Konstruktionsgruppen stark zunimmt, bedingt eine möglichst gute Verknüpfung mit dem CAD-Modell, um einen damit verbundenen zusätzlichen Dokumentations- und Konvertierungsaufwand möglichst gering zu halten.

Der heute praktizierte Datenaustausch, der üblicherweise über die neutrale Schnittstelle STL (= Stereolithographie) ausgeführt wird, erfüllt diesen Anspruch nicht. Außerdem birgt diese Vorgehensweise zusätzliche Fehlerquellen und verursacht einen Genauigkeitsverlust, der durch die Facettenbeschreibung der Geometrie entsteht. Häufig muss zudem noch der Detaillierungsgrad der verwendeten Geometrie herabgesetzt werden, um ein "rechenbares Modell" zu erhalten. Diesen Aufwand gilt es zukünftig weiter zu minimieren, damit sich der Konstrukteur bei der Entwicklung eines Prozesses auf die wesentlichen Aspekte, nämlich der Untersuchung des Umformung, konzentrieren kann, und sich nicht mit spezifischen Handhabungen der Software bei der Erstellung eines Simulationsjobs befassen muss.

Ferner ist es erforderlich, Grundlagen für eine Abbildung der Bauteileigenschaften in der Festigkeitsanalyse zu schaffen. Durch Simulation der Eigenschaften eines Massivumformteils, wie z. B. Gefüge und Faserverlauf, und Übergabe in eine kommerzielle FEM-Software zur Analyse der konstruktiven Auslegung kann der Umformprozess berücksichtigt und somit der Wettbewerbsvorteil des Umformteils ausgeschöpft werden (siehe Forschungsprojekt "Integrierte Prozess- und Produktionssimulation hoch beanspruchter geschmiedeter Stahlbauteile", Tabelle 5).

Auf dem Gebiet der konstruktionsbegleitenden Simulation sollte es möglich sein, in einer Art "Rückwärts-simulation" oder auch "Shape-Optimierung" Vorschläge durch das Simulationswerkzeug erstellen zu lassen. Erst so kann vermieden werden, dass manuell nach Trial-and-Error nach der besten Konstruktionslösung gesucht werden muss.

Abschließend lässt sich sagen: Die Umformsimulation auf dem Gebiet der Massivumformung hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. Am Ende ist diese Entwicklung jedoch noch lange nicht. Es gibt weiterhin ein großes Potenzial, das es in Gemeinschaftsarbeit zwischen Softwarehersteller, Massivumformern und Forschungseinrichtungen zu erschließen gilt.

Bildquellen

Bilder 1 bis 6: CDP Bharat Forge GmbH

Bilder 7 bis 10: Hatebur Umformmaschinen AG

Bilder 11 bis 15: Hirschvogel Automotive Group

Bilder 16 bis 17: ThyssenKrupp Turbinenkomponenten GmbH

Bilder 18 bis 23: ThyssenKrupp Gerlach GmbH

Bilder 24 bis 27: Otto Fuchs KG

Bilder 28 bis 30: Neumayer Gruppe

Infostelle

Industrieverband
Massivumformung e. V.

Goldene Pforte 1
58093 Hagen, Deutschland
Telefon +49 (0) 23 31 / 95 88 28
Telefax +49 (0) 23 31 / 95 87 28

E-Mail: orders@metalform.de

Weitere Informationen unter:
www.metalform.de

ISBN 3-928726-19-6

Den Veröffentlichungen
der **Infostelle**
liegen die Ergebnisse
der Gemeinschaftsforschung
der im Industrieverband
Massivumformung e. V.
zusammengeschlossenen
Industriewerke zugrunde.

Stand: Februar 2004
EI - SM - 0204 - 20 DOM