

Info-Reihe Massivumformung, Extraausgabe
Forging Industry Information Service - Special Edition



Simulation in der Massivumformung

Simulation in the Forging Industry

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

Publisher

Infostelle Industrieverband Massivumformung e. V.

Telephone: +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, Germany

Impressum

Manuskript/Manuscript:

Dr.-Ing. Ralph Bernhardt, Ennepetal

Masch.-Ing. Thomas Christoffel, Reinach/Schweiz

Jochen Heizmann, Denklingen

Dipl.-Ing. Peter Janscheck, Remscheid

Dipl.-Phys. Knut Bauer-Partenheimer, Remscheid

Dipl.-Ing. Martin Porr, Homburg/Saar

Dipl.-Ing. Olaf Barz, Remscheid

Dipl.-Ing. Jürgen Krämer, Meinerzhagen

Dr.-Ing. Mathias Lutz, Hausach

Masch.-Techniker Albert Stockhausen, Warstein

Redaktion/Editor:

Infostelle Industrieverband Massivumformung e. V.

Verantwortlich für die Gesamtherstellung/ Responsibility for the whole production:

Infostelle Industrieverband Massivumformung e. V.

Titelbild/Title picture:

CDP Bharat Forge GmbH, Ennepetal

Layout und Satz/ Layout and setting:

Grafik Design Peter Kanthak, Wickede (Ruhr)

Druckschriften-Nr./
Publication No.:

EI-SI-0206-40DOM

Ausgabe/Printed:

Februar 2006

ISBN:

3-928726-21-8

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.

ŭ ŭ

Den Veröffentlichungen der Infostelle Industrieverband Massivumformung e. V. liegen die Ergebnisse der Gemeinschaftsforschung der im Industrieverband Massivumformung e. V. zusammengeschlossenen Unternehmen zu Grunde.

Imprint

Copyright. All rights reserved, including those for translating and copying. No reproduction of excerpts is permitted without prior permission of **Infostelle** Industrieverband Massivumformung e. V. and without including source reference.

Publications of the **Infostelle** Industrieverband Massivumformung e. V. are based on the results of joint research of companies belonging to the Industrieverband Massivumformung e. V. (German Forging Industry Association).

Simulation in der Massivumformung

Die Simulation von Massivumformprozessen gehört für viele Unternehmen der Massivumformung zum Tagesgeschäft. Sie findet heute standardmäßig Anwendung in der Auslegung und Optimierung immer komplexer werdender Teilegeometrien sowie in der rechnergestützten Analyse zur Schaffung stabiler und reproduzierbarer Fertigungsprozesse.

Diese Druckschrift beschreibt die Erfahrungen von Unternehmen der Massivumformung, die diese Simulationssysteme einsetzen, angefangen mit den heutigen Standardanwendungen, Einbindung der Simulation in das Tagesgeschäft bis hin zur Erwartungshaltung an die Weiterentwicklung. Dabei werden nicht nur Softwareaspekte beleuchtet. Vielmehr soll der Nutzen – von dem nicht zuletzt die Kunden als Abnehmer der Massivumformteile profitieren – in den Vordergrund gestellt werden.

Simulation in the Forging Industry

The simulation of forging and other bulk metal forming processes is a daily routine for many companies in the forging industry. It finds its standard applications in the layout and optimisation of ever more complex part designs as well as in computer-aided analysis to create robust and reproducible production processes.

This brochure describes the experience of forging companies who utilise such simulation systems, starting with current standard applications, through the integration of simulation into their daily work, and finishing with expectations from further developments. Not only are software aspects looked at; but much more the use of simulation, from which not least the customer, as recipient of the forged parts, should benefit, is placed in the foreground.

Inhalt

Contents

		Seite/Page
Einleitung	Introduction	7
Grundsätzliches zur Anwendung der Simulation in der Massivumformung	Fundamentals of the application of simulation in the forging industry	8 – 9
Erfahrungsberichte	Reports on Experience with Simulation	10 – 39
CDP Bharat Forge GmbH	CDP Bharat Forge GmbH	10 – 13
Hatebur Umformmaschinen AG	Hatebur Umformmaschinen AG	14 – 15
Hirschvogel Automotive Group	Hirschvogel Automotive Group	16 – 19
Leistritz Turbinenkomponenten Remscheid GmbH	Leistritz Turbinenkomponenten Remscheid GmbH	20 – 21
ThyssenKrupp Gerlach GmbH	ThyssenKrupp Gerlach GmbH	22 – 25
ThyssenKrupp Präzisionsschmiede GmbH	ThyssenKrupp Präzisionsschmiede GmbH	26 – 29
Otto Fuchs KG	Otto Fuchs KG	30 – 33
Neumayer Tekfor Gruppe	Neumayer Tekfor Gruppe	34 – 37
Siepmann-Werke GmbH & Co. KG	Siepmann-Werke GmbH & Co. KG	38 – 39
Forschungsprojekte	Research projects	40 – 41
Zusammenfassung/Ausblick	Summary/Outlook	42 – 43

Einleitung

Die Einführung der Umformsimulation bei den Unternehmen der Massivumformung kann als weitgehend abgeschlossen betrachtet werden.

Die Verkaufszahlen der Lizenzen der vier führenden industriellen Systeme hat bereits im Jahr 2003 eine gewisse Sättigung erreicht. Im Bereich der KMU sind noch potenzielle Käufer vorhanden, die großen Unternehmen der Massivumformung setzen die Simulation schon jetzt ausnahmslos im Tagesgeschäft ein. Heute gehen die Kunden der Massivumformung davon aus, dass beim Zulieferer entsprechende Systeme im Einsatz sind.

Unverändert sind hierbei die Systeme FORGE2/3 (Transvalor, Frankreich), MSC.Superform und MSC.Superforge (MacNeal-Schwendler Corp., USA), DeForm (SFTC, USA) und QForm (Quantor Ltd., Russland) die am meisten eingesetzten Programme.

Alle genannten Softwarepakete unterliegen einer permanenten Weiterentwicklung. Dies betrifft vor allem die Bereiche Vernetzungs- und Remeshing-Algorithmen, Stabilität der Solver, neue Features (z. B. die Gefügesimulation) und die Verkürzung der Rechenzeiten. Letztgenanntes Thema stand in den vergangenen Monaten sehr

stark im Fokus der Entwickler und Anwender. So konnte beispielsweise im Jahr 2004 die cluster-fähige Version von Forge3 erfolgreich am Markt etabliert werden. Bei einem Cluster mit 9 Knoten ist eine durchschnittliche Rechenzeitersparnis von einem Faktor 8 bis 9 im Vergleich mit einer herkömmlichen Workstation mit Single-Prozessor erreichbar.

In der Regel gilt, dass der Einsatz von Simulationstools mindestens einen Experten im Unternehmen erfordert. Neben der internen Schulung und Qualifikation der Anwender obliegt ihm neben der Betreuung der Simulationsprojekte auch der technische Support, die zentrale Pflege der Parameter-Datenbanken sowie die Mitarbeit in externen Expertengremien bzw. der permanente Austausch mit den jeweiligen Softwareanbietern.

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. Darüber hinaus wurde ein systemübergreifender User-Kreis initiiert, um von den Erfahrungen der Anwender anderer Programme zu profitieren. Die momentan beteiligten Unternehmen sowie die jeweiligen im Einsatz befindlichen Programme sind in Tabelle 1 aufgeführt.

In dieser Druckschrift kommt jede Firma einzeln zu Wort, es wird aber auch über gemeinsame Forschungsprojekte berichtet.

Introduction

The introduction of simulation of forming processes in the forging industry can be seen as largely completed. Already by 2003 the sale of licences of the four leading industrial systems had reached a certain saturation. There are still potential customers amongst small- and medium-sized enterprises, but the larger forging companies now use simulation in their daily business almost without exception. Nowadays the forging industry's customers assume that their suppliers are using such systems.

As before, the systems FORGE 2/3 (Transvalor, France), MSC.Superform and MSC.Superforge (MacNeal-

Schwendler Corp., USA), DeForm (SFTC, USA) and QForm (Quantor Ltd., Russia) are the most widely used.

All the software packages mentioned are being continuously developed. This particularly concerns the meshing and remeshing algorithms, the stability of the solver, new features such as micro structure simulation, and the shortening of computing times.

Unternehmen/Company	Software
CDP Bharat Forge GmbH	Forge3 (Cluster)
Hatebur Umfommaschinen AG	Forge2, Forge3
Hirschvogel Automotive Group	Forge2, Forge3 (Cluster)
Leistritz Turbinenkomponenten Remscheid GmbH	MSC.Superforge, easy-2-form
ThyssenKrupp Gerlach GmbH	Forge3 (Cluster)
Otto Fuchs KG	MSC.Superforge, QForm Forge3 (geplant/planned)
Neumayer Tekfor Gruppe	DeForm-2D DeForm-3D

Tabelle 1: Am User-Kreis beteiligte Unternehmen Table 1: Companies participating in user circle

The last-mentioned topic has been very much in the focus of developers and users in recent months. So, for example, the cluster-capable version of Forge3 was established successfully in the market during 2004. For a Windows-cluster with 9 nodes, the computing time is speeded up on average by a factor of 8 to 9 in comparison to previous workstations with a single processor.

A general rule is that the use of a simulation tool requires at least one expert in the company. Besides carrying out internal training and qualification of users, he should be responsible for supervising simulation projects as well as for technical support, central maintenance of parameter databases, taking part in external bodies of experts, and permanent contact with the relevant software suppliers. For the purpose of exchange of experience, most software houses run user conferences, mostly on an annual basis, to enable users of the same software to get into contact with, and learn from one another.

Further to this, a user circle covering different systems has been established, to enable users to benefit from the experience of users of other systems. The current member companies in this circle with the programs respectively in use are shown in Table 1.

In this publication all of these companies get a hearing, but there are also reports on common research projects.

Grundsätzliches zur Anwendung der Simulation in der Massivumformung

Fines haben alle Anwender von Simulationsprogrammen gemeinsam: Ihr Ziel ist, 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 um den Umformprozess am Rechner zu optimieren und somit teure Maschinenstunden und Werkzeugänderungen zu vermeiden. Die grundsätzlichen Vorteile, die letztlich alle eine Kostenreduzierung und somit eine Stärkung der Wettbewerbsposition massivumgeformter Teile bewirken, werden nachfolgend näher erläutert.

Verkürzung der Prozessentwicklung

Die Verkürzung der Prozessentwicklung wird erreicht, indem das "trial-anderror" nicht mehr am teuren Produktionsaggregat, sondern am Rechner stattfindet. Im Idealfall müssen dann während der Musterschmiedung keine oder nur noch marginale Änderungen durchgeführt werden. So stellen sich zum einen Zeitvorteile gegenüber der konventionellen Entwicklung ein, zum anderen können heute wesentlich komplexere Geometrien realisiert werden, die noch vor Jahren als "unschmiedbar" galten.

Reduzierung des Einsatzgewichts

Gerade in den letzten Jahren hat der Kostenfaktor Einsatzgewicht aufgrund der dramatischen Rohstoffpreisentwicklungen an Bedeutung gewonnen. Die Einführung gewichtsreduzierender Maßnahmen unter Beibehaltung eines stabilen und qualitätsgerechten Fertigungsprozesses ist ohne Simulation kaum noch vorstellbar. Oftmals stellen sich Sekundäreffekte, wie z. B. die Verringerung der im Werkzeug auftretenden Spannungen und des Werkzeugverschleißes, ein.

Erkennung von Problembereichen

Durch die Einführung leistungsfähiger Hardware und die Parallelisierung der Berechnungsalgorithmen konnte die Verlässlichkeit bei der Erkennung von Problembereichen enorm gesteigert werden. Durch die heute mögliche hohe Auflösung der FEM-Netze (2 bis 3 mm) können mögliche Fehlerquellen bereits im Vorfeld mit einer hohen Wahrscheinlichkeit erkannt werden. Dieses ailt mittlerweile nicht nur für das Formteil, sondern auch für die Werkzeuge, da auch diese mit den meisten Systemen auf Beanspruchung und ihr Deformationsverhalten hin untersucht werden können. In jedem Fall dient die wiederkehrende Erkennung von Problembereichen der Ausbildung der Konstrukteure bzw. Prozessentwickler, was in Folge zu weniger Fehlerquellen und damit auch einer Reduzierung der virtuellen Entwicklungsschleifen führt.

Ausbildung der Konstrukteure

In Lehrbüchern kann man oft lesen: "Schmieden ist mehr eine Kunst als eine Wissenschaft". Dies bedeutet, dass ein Prozessentwickler für Massiv-

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 Prozesse hilft neben dem immer noch unverzichtbaren Lernen in der Praxis, das notwendige Erfahrungswissen schneller aufzubauen, als dies ohne Simulation möglich wäre.

Versuche

Wettbewerbsvorteile definieren sich in der Regel über den Know-how-Vorsprung gegenüber Mitbewerbern. Dabei kann der Hauptwettbewerb neben der eigenen Branche auch in anderen Verfahrensbereichen, wie im Guss- und Blechumformbereich, angesiedelt sein. 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 wichtigen Entwicklungen verbundenen Kosten lassen sich durch den Einsatz der Umformsimulation deutlich verringern und bedeuten somit auch eine Herabsetzung der Hemmschwelle, neue Wege auszuprobieren, was letztlich der Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit dient.

Fundamentals of the Application of Simulation in the Forging Industry

All users of simulation programs have one thing in common: their goal is to save cost through the virtual representation of reality, be it through component simulation to reduce cost-intensive testing on test rigs with equally cost-intensive prototypes, or through optimising the forming process on the computer, thus avoiding expensive machine hours and modifications on forging dies. The basic advantages, which in the end result in cost reduction and thus an improved competitive position for forged parts, are explained in more detail below.

Shortening of process development

The shortening of process development is achieved by using the computer rather than trial-and-error methods on expensive production machinery. In the ideal case no alterations or only marginal ones need to be made during the forging of samples. On the one hand this results in a time advantage as compared with conventional development processes and on the other hand it enables considerably more complex designs to be forged which only a few years ago were considered to be "unforgeable".

Reduction of initial weight

Especially in recent years the cost factor initial weight has gained in importance because of the dramatic

increases in raw material prices. The introduction of weight-saving measures, whilst retaining the robustness and quality of the production process can hardly be imagined without simulation. Often there are other secondary effects, like the reduction of die stresses or die wear.

Recognition of problem areas

Through the introduction of powerful hardware and the parallel running of computer algorithms, the possibilities for the recognition of problem areas have been vastly increased. The high resolution of FEM-meshes (2 - 3 mm) possible today means that possible sources of failure can, with a high degree of probability, be found in advance. Nowadays this is not only the case for the formed parts themselves, but also for the dies, as in most systems this can be analysed with respect to loading and deformation. In any case, the recurring recognition of problem areas serves to train designers and process developers, which in turn leads to fewer sources of failure and thus also to a reduction in the number of virtual development iterations.

Training of designers

In textbooks one can often read,
"forging is more an art than a science."
This means that a process developer
for forging and bulk metal forming

processes can scarcely learn anything from textbooks, but can in fact only become a professional through his own development activity and the accompanying acquisition of experience. "Seeing through" the dies and the exact analysis of processes developed by oneself helps, along with the still indispensable learning-by-doing, to build up knowledge gained through experience more quickly than would be possible without simulation.

Trials

Competitive advantage can normally be defined by one's know-how lead compared to competitors. Alongside firms in the same industry, the main competition here can be companies using other technologies such as casting or sheet metal forming. In order to keep up in this competition, there are two basic methods available:

- Development of existing products with new methods and
- Development of new products with existing methods.

Finally there remains the more unusual variant of combining these two ways. The costs involved in these important developments can be markedly reduced by the use of forming simulation and this reduces the threshold of inhibition connected with exploring new ways, which in turn serves to secure competitiveness.

Erfahrungsberichte

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

CDP Bharat Forge GmbH

Als Entwickler und Zulieferer hoch komplexer Automobilkomponenten für alle namhaften OEM ist man bei CDP Bharat Forge GmbH darauf eingestellt, alle zur Verfügung stehenden, modernen Hilfsmittel, insbesondere in Entwicklung und Konstruktion, einzusetzen, um in einem immer stärker werdenden Wettbewerbsumfeld bestehen zu können.

heute unverzichtbare Komponente in der Entwicklung ist die Umformsimulation.

Einsatz des Systems

Seit der Einführung von Forge3 im Jahr 1998 sind zahlreiche Funktionen hinzugekommen bzw. so weiterentwickelt worden, dass sie wirtschaftlich einsetzbar sind. Zu diesen Features gehören neben der eigentlichen

Spezifikation Bauteilentwicklung Bauteiloptimierung entwicklung Bearbeitung

Specification Component development Component Optimisation development Machining

Bild 1: Entwicklungskette – vom Lastenheft zum massivumgeformten Produkt Fig. 1: Chain of development – from the specification to the forged product

Die heutige Entwicklungskette für einen geschmiedeten Radträger ist in Bild 1 dargestellt. Entgegen der traditionellen Vorgehensweise wird eine sehr frühe Einbindung in den Entwicklungsprozess beim Automobilhersteller angestrebt. Entwicklungszeiten werden dadurch verkürzt und Kosten für Mehraufwand reduziert. Ausgehend von dem vom Kunden vorgegebenen Bauraum und Lastenheft werden in der "Simultaneous Engineering"-Entwicklungskette die modernsten Softwarewerkzeuge eingesetzt. Eine

Materialflusssimulation und der Werkzeugspannungsanalyse z. B. die Darstellung von Faserverlauf und Scherkanten und die Rückwärtssimulation von so genannten "marking grids" zur Detektierung von Überschussmaterial oder Fehlern (Bild 2). So kann beispielsweise ein beliebiger Bereich des Werkstücks während des Umformvorgangs verfolgt werden. Ebenso ist es möglich, einen bestimmten Bereich am Endprodukt auf seinen Ursprungsbereich an der Ausgangsgeometrie zurück zu verfolgen. Zunehmend werden auch alle

qualitäts- und eigenschaftsrelevanten Prozesse, die dem Umformen vor- bzw. nachgeschaltet sind, in die Analyse mit einbezogen. Bild 3 zeigt beispielhaft Untersuchungen zur Ausbildung so genannter Einzüge beim Warmscheren von 140 mm Vierkantstangen.

Eine weitere integrierte Funktion ist die Spannungsanalyse von Gesenken. Mit einer dem Stofffluss nachgeschalteten Simulation können Spannungen (Bild 4) und Verformungen untersucht und entsprechende Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Die Einführung der gekoppelten Simulation (Materialfluss und Werkzeuganalyse in einer Berechnung), welche noch wesentlich genauere Ergebnisse liefert, steht kurz vor der Einführung als Standard.

Erfahrungen mit dem System

Aufgrund der guten Ergebnisse, der Rechengeschwindigkeit, der Bedienerfreundlichkeit, des Funktionsumfangs und der Leistung des Supports kann bei CDP Bharat Forge GmbH von guten Erfahrungen mit Forge3 berichtet werden. Auch wenn es nach wie vor Verbesserungswünsche gibt, ist der Einsatz schon heute durch ein bedeutendes Einsparpotenzial gerechtfertigt. Die enormen Kosten, die durch Schwachstellen in Umformprozessen erzeugt werden, rechtfertigen den Einsatz der Simulation.

Neben den im System hinterlegten Algorithmen sind für die in der Tabelle 2 dargestellten Ergebnisgüten die Qualifikation und das physikalische Verständnis der Anwender maßgeblich. Teilweise deutliche Verbesserungen in der Vorhersagbarkeit von Schmiedefehlern, Füllverhalten und Presskraft werden durch ein neues physikalisch basiertes Reibmodell erzielt, welches die Reibung als Knotenvariable lokal und zeitlich veränderlich berechnet. Das Modell ist als "black box"-Lösung implementiert und bedarf keiner weiteren Eingaben durch

Experience Reports

Below, companies belonging to our user circle elaborate on, among other things, their experience with simulation in forging and bulk metal forming.

CDP Bharat Forge GmbH

As a developer and supplier of highly complex automotive components for all well-known OEMs, we at CDP Bharat Forge GmbH are focussed on utilising every modern aid available, especially in design and development, so as to be able to hold our own against steadily increasing competition.

The present development chain for a forged wheel carrier is shown in Fig. 1. As opposed to the traditional method, the automobile manufacturer is involved at a very early stage. Development times are thus shortened and cost for additional expenditure reduced. Starting with the structural space allowed by the customer and with the specification, the most modern software is used in the simultaneous engineering development chain.

An indispensable part of development today is the simulation of forming processes.

System application

Since the introduction of Forge3 in 1998, many functions have been added or have been further developed so that they are of economic interest. Among these features are, alongside the actual material flow simulation and stress analysis of the forging dies, such things as representation of grain-flow and of sheared surfaces, and the reverse simulation of so-called marking grids for the detection of surplus material and of faults (Fig. 2). For example, any area of the work-piece can be traced through the forming process. Equally it is possible to retrace any part of the finished product back to its original position in the initial stock (billet) used. Increasingly all processes which have an effect on quality or on properties, which take place either before or after

the actual forming process, are being brought into the analysis. Fig. 3 shows examples of investigations into the formation of so-called edge-deformation formed during hot shearing of 140 mm square bars.

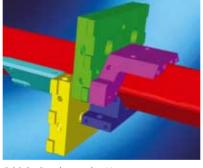
A further integrated function is the stress analysis of dies. By using a simulation following on from the material flow, stress patterns (Fig. 4) and

good experience with Forge3. Even if, as before, wishes for improvements exist, its use now is justified by the considerable potential savings available. The enormous cost caused by weak points in the forging process justify the use of simulation.

Besides the algorithms on which the system is based, the quality of the results presented in Table 2 are highly



Bild 2: Rückverfolgung der Lage von Überschussmaterial (blau) im Grat zum Vorprodukt Fig. 2: Retracing position of excess material (blue) in flash through previous production stages



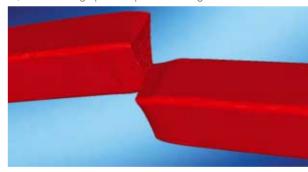


Bild 3: Simulation des Kanteneinzugs an warmgescherten Abschnitten

Fig. 3: Simulation of edge deformation of hot-sheared billets

deformations can be analysed and the necessary countermeasures introduced. Coupled simulation (material flow and tool analysis in one simulation), which will provide considerably more accurate results than hitherto, is to be introduced shortly as a standard method.

Experience with the system

Because of the good results achieved, its computing speed, its range of functions and its good support, CDP Bharat Forge GmbH can report having

dependant on the user's qualifications and his physical understanding of the process. Distinct improvements in predicting of forging defects, fill-up of dies and forging force can sometimes be achieved using a new physically-based friction model which calculates friction forces as a nodal variable, wheras this variable is computed locally and time dependent for each increment. The model has been implemented as a blackbox solution and requires no input

Bild 4: Spannungs- und Deformationsanalyse eines Obergesenks (Schnitt)

Fig. 4: Stress- and deformation-analysis of upper die-half (section)

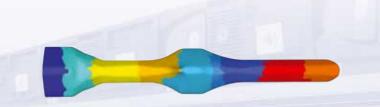


Bild 6: Windows-Cluster: Aufteilung des Netzes eines Reckwalzrohlings in neun Teilnetze (Partitionen) Fig. 6: Windows cluster: Division of mesh of blank for reducer rolling into nine partial meshes (partitions)

den Anwender. Beispielhaft ist in Bild 5 die Evolution der Reibungsverteilung bei der Schmiedung eines Achsschenkels dargestellt.

Darüber hinaus wurden für alle Standardprodukte so genannte "Projekt-Templates" erstellt und zentral abgelegt, um eine weitere Vereinheitlichung im Preprocessing zu erreichen. Netze in vertretbaren Zeiten berechnet werden

Ein Rechenzeitvergleich für einen Pkw-Radträger mit verschiedenen Hardware-Konfigurationen ist in Tabelle 3 aufgeführt.

Die benötigte Zeit für das Pre- und Postprocessing hängt stark vom Anwendungsfall und der Zielsetzung der schritte gemacht. Wo vor wenigen
Jahren nur FEM- und ComputerExperten als Bediener in Frage kamen,
werden Standardanwendungen heute
als Alltagsgeschäft von entsprechend
geschulten Konstrukteuren erledigt. Eine
weitere Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit ist jedoch nötig, um auch den
Zeitaufwand für Pre- und Postprocessing zu reduzieren.

Weitere Optimierung ist bei der Erhöhung der Stabilität, der Erweiterung der Funktionalität und der Verbesserung der Ergebnisse für spezielle Anwendungsgebiete notwendig. Insbesondere die Festigkeitsanalyse und Verschleißprognose von Werkzeugen sowie die tiefere Durchdringung werkstoffphysikalischer Aspekte der Gefüge-Eigenschaftsbeziehungen sind hier als vorrangig anzusehen.

Durch die Möglichkeit der Berechnung feiner Netze bei der Clustertechnik hat sich der Bedarf nach leistungsfähigen Dokumentations- und Archivierungstechniken sprunghaft erhöht. Datenaufkommen von bis zu 10 GByte für eine Umformstufe sind keine Seltenheit mehr und werden künftig eher steigen, zieht man in Betracht, dass mittelfristig die gekoppelte Simulation sowie die Gefügeberechnung als Standard möglich sein werden.

Anwendungsgebiet		Güte der Ergebnisse / Bemerkung		
Schmiedefehler (Falten, Stiche etc.)	95 %	Grobe Fehler werden in der Regel abgebildet, kleinere Fehler nur mit sehr feiner Vernetzung (Netzgröße kleiner/gleich Fehlerdimension!)		
Formfüllung	95 %	Formfüllung und Gratausbildung sehr gut, Füllverhalten tiefer Gravurbereiche nur mit speziellen Reibmodellen möglich		
Faserverlauf und Scherkante	95 %	Sehr gut		
Presskraft	90 %	Relativ gut (Abweichungen von ± 1015 %)		
Spannungen im Werkzeug	70 %	Qualitative Aussage sehr gut, quantitativ nicht immer schlüssig (mit speziellen Werkzeugstahldaten und gekoppelter Simulation auch quantitativ verbesserte Vorhersage)		
Verschleiß	70 %	Relativ gut – momentan nur qualitative Aussage		

Tabelle 2: Berechnungsqualität mit Forge3

Der Anwender muss lediglich die produktspezifischen Geometrien, Pressenkinematiken und Materialfiles ergänzen.

Neben den direkt im Prozess durchgeführten Optimierungen ist insbesondere der Lern- bzw. Schulungseffekt zu nennen. Der Konstrukteur kann heute seine Ideen direkt mit der Simulation überprüfen und hat die Möglichkeit, in den Prozess hinein zu sehen.

Seit Einführung eines Windows-Clusters mit 9 Knoten können heute auch größere Projekte mit feineren Netzen berechnet werden. Somit ist bereits bei der ersten Berechnung die Wahrscheinlichkeit der Detektierung möglicher Fehler stark gestiegen. Bild 6 zeigt die Netz-Partitionierung eines Reckwalzmodells. Waren früher Netzgrößen von 12 mm schon eine Herausforderung für das System, so können heute 6 mm Simulation ab. Die Standardanwendung liegt hier bei 2 bis 16 Stunden für ein komplettes Projekt.

Zukünftige Erwartungen

Die Soft- und Hardware-Entwicklung hat in den letzten Jahren große Fort-

Anwendung	Rechenzeit mit Netzgröße 8 bis 10 mm			Rechenzeit mit Netzgröße 4 bis 6 mm		
	1x3,5 GHz	2x2,2 GHz	Cluster: 9 x 3,5 GHz	1x3,5 GHz	2x2,2 GHz	Cluster: 9 x 3,5 GHz
Reckwalzen mit 4 Stichen	13 h	12 h	2,5 h	25 h	24 h	6 h
Stauchen	1 h	45 min	4 min	2 h	1,5 h	10 min
Vor-/Fertig- schmieden	38 h	37 h	4 h	67 h	64 h	8 h
Festigkeitsanalyse eines Werkzeugs (Standard nur ein Prozessor) < 2 h						

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

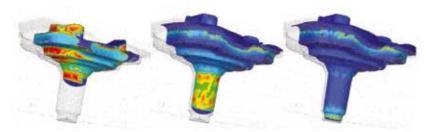


Bild 5: Automatisch berechnete Reibung bei der Simulation eines Lkw-Achsschenkels (rot = hohe Reibung; blau = Minimalreibung)
Fig. 5: Automatically computed friction values during simulation of truck steering knuckle (red = high friction; blue = minimal friction)

from the user. An example can be seen in Fig. 5, which shows the progression of friction distribution during the forging of a truck steering knuckle.

Furthermore, so-called project templates have been created for all standard products. These are centrally archived to achieve a further standardisation of pre-processing. The user must merely add the product geometry, press kinematics and material files.

Alongside the optimisation directly in the process, in particular the learning or training effect must be mentioned. The designer today can check out his ideas directly in the simulation and has the possibility of looking inside the process.

Since the introduction of a Windows cluster with nine nodes, larger projects with finer meshes have now become possible. With this system the probability of detection of possible faults during the very first calculation has increased markedly. Fig. 6 shows the mesh-partitioning of a reducerrolling model. In the past, even mesh-modules of 12 mm placed large demands on the system, whereas now 6 mm meshes can be computed within acceptable time spans.

A comparison of the computing

time needed for a passenger car carrier, using various hardware configurations, is shown in Table 3.

The time required for pre- and post-processing depends very much on the application and on the aim of the simulation. The standard application takes between 2 and 16 hours for a complete project.

can run standard applications as part of their daily routine. A further improvement in economic aspects is however needed to reduce the time required for pre- and post-processing.

Further optimisation is necessary to increase stability, to widen functionality and to improve the results for special areas of application. In particular

Area of application	Quality of the results / Remarks
Forging fault 95 % (folds, cracks, etc.)	Major faults are normally shown, minor faults only with a very fine mesh (mesh size less than or equal to size of fault!)
Filling of the form 95 %	Form-filling and flash formation very good, filling behaviour in more deeply die cavity only possible with special frictional models
Grain flow and 95 % shearing edges	Very good
Forging force 90 %	Relatively good (deviation of ± 1015 %)
Die stresses 70 %	Qualitative prediction very good, quantitative prediction not always conclusive (with special tool steel data and linked simulation also improved quantitative prediction)
Wear 70 %	Relatively good – at present only qualitative prediction

Table 2: Quality of calculation using Forge3

Future expectations

The development of software and hardware has made great strides in the last few years. Whereas a few years ago only FEM and computer experts were able to use the systems, nowadays suitably trained designers

strength analysis and wear prediction for dies as well as a deeper penetration of the material physical aspects of grain-microstructure property relationships are to be seen as having priority.

The possibility of calculating finer meshes using the cluster technique has increased the demand for powerful documentation and archiving technologies enormously. Data quantities of up to 10 Gbyte for one forming stage are no longer unusual and will in future become more common, taking into consideration that in the medium term coupled simulation as well as calculation of micro-structure evolution will be possible as a standard.

					•	
Application	Computing time with mesh size 8 – 10 mm			Computing time with mesh size 4 – 6 mm		
	1x3,5 GHz	2x2,2 GHz	Cluster: 9 x 3,5 GHz	1 x 3,5 GHz	2x2,2 GHz	Cluster: 9 x 3,5 GHz
Reducer-rolling with 4 passes	13 h	12 h	2,5 h	25 h	24 h	6 h
Upsetting	1 h	45 min	4 min	2 h	1,5 h	10 min
Blocker/ Finisher	38 h	37 h	4 h	67 h	64 h	8 h
Elastic die stress analysis (standard with only one processor) < 2 h						

Table 3: Average computing time for simulation of passenger car wheel carriers

Hatebur Umformmaschinen AG

Die Systemeinführung

Seit 75 Jahren entwickelt und vertreibt die Hatebur Umformmaschinen AG horizontale, schnell laufende Mehrstufenpressen für die Warm- und Kaltmassivumformung. Die Fähigkeit, Ver-

Entwicklung, Herstellung und teilweise Erprobung im Haus. In diesem Prozess wird für die Auslegung der optimalen Stadienfolge standardmäßig die Simulationssoftware eingesetzt.

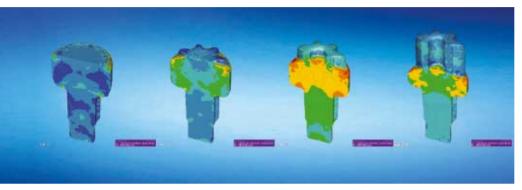


Bild ${\it 7}$: Stempelseitiges Fließpressen von Verzahnungsgeometrien

Fig. 7: Punch-side trapped extrusion of toothed forms

fahren für die eigenen Maschinen zu entwickeln, zu fertigen und im Falle von kleineren Anlagen auch im Hause testen zu können, ist ein wichtiger Bestandteil, um als Partner am Markt aufzutreten

Neben der Erfahrung ist für die Entwicklung von Mehrstufenprozessen der Einsatz von modernen Hilfsmitteln ein wichtiges Element. Aus diesem Grund werden Forge 2 und Forge 3 seit 1999 für die Verfahrensentwicklung wie auch zur Beurteilung der Machbarkeit von Pressteilen im Vorfeld eines Maschinenprojekts eingesetzt.

Einsatz des Systems

Bei Hatebur wird die Simulationssoftware für die Berechnung von Kaltfließpress- und Warmmassivumformprozessen verwendet. Vorwiegend geschieht dies in folgenden Fällen:

- Im Vorfeld eines Maschinenprojekts kann der Einsatz der Simulationssoftware dann gerechtfertigt sein, wenn ein Verfahren mit neuartigen Pressteilen oder Werkstoffen in ungewohnten Temperaturbereichen zum Zug kommt sowie bei der Dokumentation und Verifikation von komplexen Verfahrensschritten.
- Die Werkzeugentwicklung für Hatebur Mehrstufenpressen umfasst die

 Bei der Forschung und Entwicklung lassen sich mit der Simulationssoftware nicht nur neuartige Prozesse oder Verfahrensschritte untersuchen und optimieren, sondern sie werden auch für außen stehende Personen nachvollziehbar und leicht verständlich (Bild 7).

Die Ergebnisse werden immer in einem Team gemeinsam mit Praktikern besprochen und ausgewertet. Im Normalfall werden dabei folgende Punkte untersucht:

 Stofffluss, erzielbare Geometrien, Abschätzung der Presskräfte und auftretende Spannungen (Bild 8).

Seltener:

- Werkzeugbelastungen, Spannungszustände in kritischen Werkzeugen (Bild 9),
- Faserverlauf, Verfolgung von bestimmten Punkten am Pressteil,
- Kontrolle auf Falten und Risse (Bild 10).

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 Anspruchsvolle ist. Um die Sicherheit und Genauigkeit der Ergebnisse zu verbessern. werden die realen Ergebnisse mit der Simulation so oft wie möglich verglichen. Dies ist vor allem in Bezug auf die Presskräfte von großer Bedeutung, da diese stark voneinander abweichen können (z. B. wenn der Auspressgrad zwischen Theorie und Praxis nur leicht unterschiedlich ist). Gewisse Unsicherheiten und Ungenauigkeiten können sich in der Berechnung von nicht alltäglichen Prozessen ergeben. Dabei fehlt oft die Zeit oder die Erfahrung, um sich die notwendigen Grundlagen zu erarbeiten (richtige Eingabeparameter wie Wärmeübergangswerte, Reibwerte, etc.).

Zukünftige Erwartungen

Die Handhabung der Software muss eine noch effizientere Nutzung im alltäglichen Gebrauch mit größerer Sicherheit der Ergebnisse erlauben. Die Dateneingabe und Datengrundlage (Fließkurven, Reibwerte, Stoffdaten, etc.) muss so gestaltet sein, dass Berechnungen über den gesamten Temperaturbereich einfach und ohne vertiefte Grundlagenarbeit durchgeführt werden können.

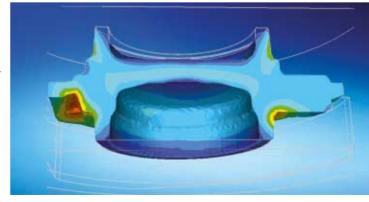


Bild 8: Untersuchung des Füllverhaltens bei einem geschmiedeten Flansch

Fig. 8: Investigation of filling behaviour of forged flange

Hatebur Umformmaschinen AG

Hatebur Umformmaschinen AG has been developing and marketing horizontal high-speed multistation presses for hot and cold forging for 75 years. The ability to develop, produce and, in the case of smaller machines,

sometimes in-house trials. In this process, simulation software is used as a standard to establish the optimal layout of the forming sequence.

In research and development,

ing load, as the two can diverge considerably (e. g. when the filling degree of the part differs just slightly between theory and practice). Particular uncertainties and inaccuracies can occur in the calculation of processes which

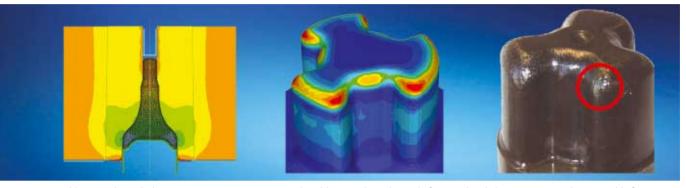


Bild 9: Werkzeugbelastungen in einem Armierungsverbund bei geschmiedeten Fließpressteilen (links), Zone mit starkem Verschleiß (Mitte), Verschleiß am realen Werkzeug (rechts)

Fig. 9: Die stress in armouring kit for forged extrusions (left), high wear zone (centre), wear of actual die (right)

also do in-house testing of forming processes for our own machines is an important reason for our being able to act in the market as a partner. As well as experience, the use of modern tools is an important element in the development of multistation forming processes. For this reason, Forge 2 and Forge 3 have been in use since 1999 for process development as well as for judging the evaluation of the feasibility of parts in advance of machine projects.

System application

At Hatebur the simulation software is used for the calculation of cold and hot forming processes. This happens mainly in the following cases:

- At the start of a machine project, the use of simulation software can be justified when a process involving new types of formed parts or using materials at unusual temperatures is requested, as well as for the documentation and verification of complex production stages.
- Tool development for Hatebur multistation presses includes the development, manufacture and

simulation software not only allows the analysis and optimisation of new types of process or process steps, but it can also be made easily understandable for outside persons (Fig. 7).

The results are always discussed and evaluated with practical experts as a team. Normally the following points are investigated:

Material flow, achievable geometry, estimation of forming loads and resulting stresses (Fig. 8).

More rarely:

- Tool loading, stress conditions in critical tools (Fig. 9),
- Grain flow, tracing of particular points on the formed part,
- Checking for laps and cracks (Fig. 10).

Experience with the system

The experience gained has been for the great part highly positive. It has been shown that it is not the actual use of the system which is exacting, but rather the interpretation of the results. In order to improve the certainty and accuracy of the results, real-life results are compared as often as possible with the simulation. This is of great importance, especially with regard to the form-

are not done daily. Here the time or the experience to acquire the necessary parameter (correct input parameters such as heat transfer rates, friction coefficients, etc.) is often lacking.

Future expectations

The handling of the software must allow more efficient utilisation in daily use together with greater reliability of the results. Data input and the data basis (flow graphs, friction coefficients, material data. etc.) must be so organised that calculations can be performed simply over the whole temperature range and without further work on fundamentals.

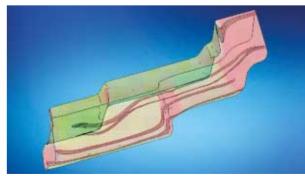


Bild 10: Kontrolle auf Falten anhand des Faserverlaufs

Fig. 10: Checking for laps using fibre orientation

Hirschvogel Automotive Group

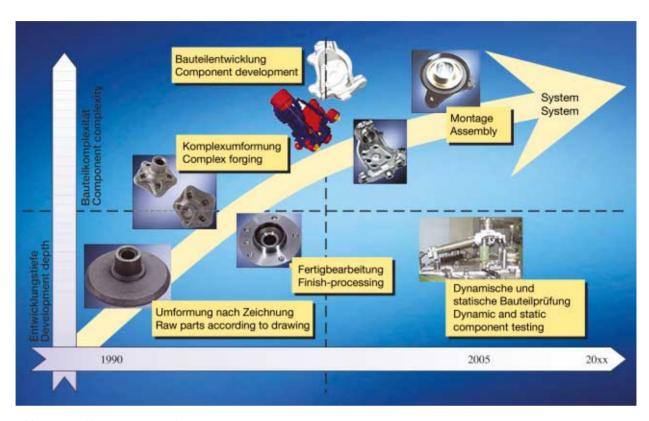


Bild 11: Entwicklung zum Systemanbieter Fig. 11: Development to system supplier

Die intelligente Ausarbeitung einer fertigungstechnisch und kostenseitig optimalen Prozesskette ist heutzutage wichtiger denn je. Die klassische Umformung einfacher Rohteile nach Zeichnung verliert immer mehr an Bedeutung. Stattdessen werden immer häufiger anspruchsvolle, fertig bearbeitete Bauteile mit zugesicherten Eigenschaften angefragt. Dies erfordert sowohl virtuelle Werkzeuge während der Prozessauslegung einerseits, wie auch die Kombination unterschiedlicher Verfahren (z. B. Halbwarm- mit Kaltumformung) andererseits, um den gesteigerten Anforderungen gerecht zu werden. Zudem lässt sich erkennen, dass sich die Bauteilentwicklung zusehends in Richtung der Zulieferer verlagert. Die Hirschvogel Automotive Group stellt sich dieser Herausforderung und liefert bereits heute einbaufertige Komponenten samt kompletter Bauteilentwicklung und kann auf Wunsch statische und dynamische Bauteilprüfungen anbieten (Bild 11).

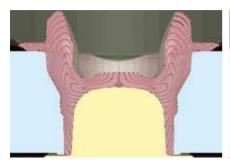
Einsatz des Systems

Inzwischen hat die Simulation des Materialflusses Einzug in den normalen Ablauf der Umformprozessauslegung aefunden. Dies ailt im Übriaen nicht mehr nur für 2D-Simulationen rotationssymmetrischer Bauteile, sondern ebenso uneingeschränkt für komplexe dreidimensionale Umformvorgänge. Das Finden der idealen Vorform ist heutzutage problemlos möglich, auch anspruchsvollere Prozesse lassen sich mit FEM hinreichend genau abbilden. Dies reicht so weit in den Prozess der Bauteilauslegung hinein, dass ein optimaler Faserverlauf mit Hilfe der Simulation gefunden werden kann. Bekanntlich vermögen Bauteile, deren Faserverlauf in Richtung der maximalen Belastung verläuft, dieser besonders hohen Widerstand zu leisten. Hier bietet sich die Möglichkeit, die Schmiedeart bereits in der Konstruktionsphase nach Durchführung einer Materialflusssimulation inklusive Faserverlaufsuntersuchung festzulegen (Bild 12).

Erfahrungen mit dem System

Trotz stetiger Leistungssteigerung im Bereich der Hardware war eine massive Erweiterung der Berechnungskapazität bei der Hirschvogel Automotive Group erforderlich. Als zusätzliche Aufgabe musste die Berücksichtigung der Multi-User-Umgebung gelöst werden, d. h. um allen Anwendern trotz räumlicher Trennung gleichermaßen Zugang zu verschaffen, galt es gleichzeitig ein Batch-Management-System einzurichten. Die Lösung findet sich als Windows-Cluster, der gegenüber Standard-Hardware eine erheblich gesteigerte Rechenleistung zur Verfügung stellt. Dennoch kommt der Organisation einer sinnvollen Nutzung dieser enormen Rechenleistung große Bedeutung zu. Der Konstrukteur profitiert von den deutlich reduzierten Rechenzeiten, da die Berechnungsaufgabe von mehreren PCs gleichzeitig bearbeitet werden kann. Wird die Berechnung eines größeren Modells, wie sie häufig z. B. bei Fahrwerksteilen

Hirschvogel Automotive Group



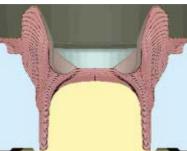
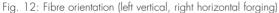


Bild 12: Faserverlauf (links stehende, rechts liegende Schmiedung)



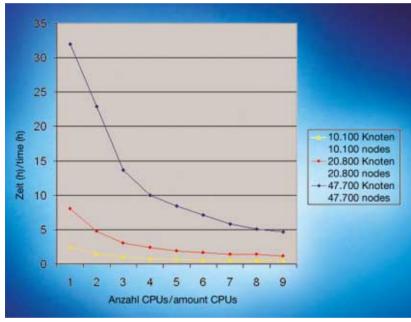


Bild 13: Performance Windows-Cluster Fig. 13: Performance of Windows cluster

The intelligent development of a process chain which is optimal from both the production and the economic viewpoint has nowadays become more important than ever. The classic forming of simple raw parts to drawing is losing more and more in significance. Instead, demanding, machined components ready for assembly with assured properties are required ever more often. This requires both the use of virtual tools during the process layout and the combination of several different processes (e. g. warm and cold forging) to do justice to the increased requirements. Furthermore. it can be seen that component development is being moved ever more in the direction of the supplier.

The Hirschvogel Automotive Group has accepted this challenge and is already delivering ready-to-assemble components, including the whole development process and can, if required, offer static and dynamic component testing (Fig. 11).

System application

In the meantime, simulation of material flow has found a place in the normal course of creating process design. This, by the way, is no longer the case just for 2D simulations of axisymmetrical components, but equally unrestrictedly for complex 3D forming processes. Finding the ideal preform is nowadays unproblematic, and even more demanding processes

can be adequately represented by FEM. This goes so deep into the layout process for components that with the aid of simulation an optimal fibre orientation can be found. As is well known, components whose fibre orientation runs in the direction of highest loading demonstrate the highest resistance to failure. Here the possibility occurs of already deciding at the design stage on the forging process to be used after having carried out a material flow simulation including a fibre orientation investigation (Fig. 12).

Experience with the system

In spite of continuous improvement in performance of the hardware available, a massive expansion of computing capacity in the Hirschvogel Automotive Group was required. As an additional task, the consideration of the multi-user environment had to be solved, i. e. to give every user equal access, despite spatial separation, a batch management system had to be implemented. The solution takes the form of a Windows cluster, which offers greatly increased computational power as compared with standard hardware. Nevertheless, the efficient use of this enormous computational power has large consequences for the organisation. The engineer profits from the markedly reduced computing times as the computational task can be carried out by several PCs simultaneously. When the calculation of a large model, such as often found with chassis parts, is started the evening before, the results are available the next morning. In comparison, calculation times of up to a week were quite usual for similar components in the past (Fig. 13).

The application of FEM is nowadays no longer exclusively limited to the conventional forging process, but more and more the periphery is moving into the foreground. In this way also the stresses and the associated deformations in the die are increasing in importance (Fig. 14).

vorgefunden wird, am Vorabend gestartet, bekommt man bereits am anderen Morgen Ergebnisse geliefert. Im Vergleich dazu sollte beachtet werden, dass in der Vergangenheit für gleichartige Bauteile Rechenzeiten bis zu einer Woche durchaus üblich waren (Bild 13).

Die Anwendung der FEM beschränkt sich heutzutage nicht mehr ausschließlich auf den klassischen Umformprozess, mehr und mehr rückt die Peripherie in den Vordergrund. So gewinnen zunehmend auch die Beanspruchung der Werkzeuge und die damit verbundene Deformation an Bedeutung (Bild 14).

Inzwischen kann sogar die während der Umformung auftretende Verzerrung von Gesenkgravuren vorgehalten werden, um letztendlich maßhaltige Umformteile zu fertigen (Bild 15).

Zukünftige Erwartungen

Um die Innovationskraft zu steigern, nimmt die Hirschvogel Automotive Group stets an einer Reihe von Forschungsprojekten als Industriepartner teil. So gibt es im Rahmen eines Forschungsprojekts Bestrebungen, das Verhalten des Umformaggregats in der Simulation mit zu berücksichtigen. Ziel hierbei ist es, die Stößelschiefstellung durch Kopplung von Umform- und Maschinensimulation unter Berücksichtigung von Führungsspielen und Maschinensteifigkeit zu ermitteln (Bild 16).

Elastische Bauteilsimulation ist bei Hirschvogel inzwischen Routine. Zukünftig kann der Kunde ebenso durch Berechnung von so genannten "Versagensfällen" unterstützt werden, bei denen plastische Deformationen eine wesentliche Rolle spielen (Bild 17).

So kommen zwar immer mehr Software-Werkzeuge im Bereich der Massivumformung zur Anwendung, jedoch dürfen sich Entwickler und Anwender keinesfalls mit dem Erreich-

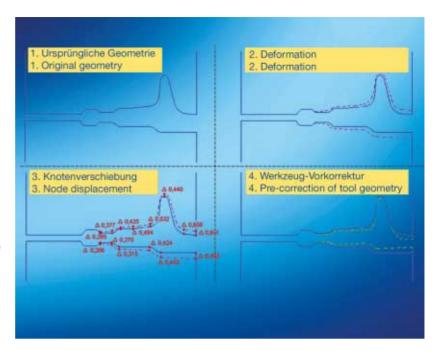


Bild 15: Vorhaltung Aktivgeometrie Fig. 15: Pre-correction of die geometry

ten zufrieden geben. Weitere gemeinsame Projekte von Forschung und Industrie werden notwendig sein, um z. Zt. noch vorhandene Defizite der virtuellen Prozessauslegung auszumerzen. Für die Beschreibung der Reibung in der Wirkfuge gibt es z. B. noch immer keinen zuverlässigen Lösungsansatz. Genauso liefert die Vorhersage der Materialschädigung in der Kaltumformung noch zu ungenaue Ergebnisse, um hinreichend guantifizieren zu können, wann tatsächlich das Umformvermögen des Werkstoffs erschöpft ist. Als weiteres potenzielles Thema findet sich u. a. eine auf Gefügesimulation basierte Ermittlung der Fließspannung. Als gemeinsames Ziel der deutschen Massivumformung lässt sich zusammenfassend formulieren, dass letztendlich die gesamte Prozesskette vom Vormaterial bis hin zum einbaufertigen Bauteil und dessen

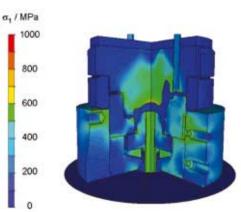


Bild 14: Simulation Werkzeugbelastung Fig. 14: Die stress analysis

Eigenschaften durchgängig am Rechner darstellbar sein sollen, um die Wettbewerbsfähigkeit durch technologischen Vorsprung für die Zukunft zu erhalten. In the meantime, even the distortion of the forms in the dies can be considered, so as to finish up with dimensionally correct parts (Fig. 15).

Future expectations

To increase their power of innovation, the Hirschvogel Automotive Group has always taken part in a series of research projects as an industrial partner.

For example, in the context of a research project the attempt is being made to take the behaviour of the forging machine into account in the simulation. The aim here is to determine the slant of the ram by linking forming and machine simulations, taking into account guide clearance and machine stiffness (Fig. 16).

Elastic component simulations are already routine at Hirschvogel. In future the customer can also be supported by the calculation of so-called "failure cases", where plastic deformation plays a major role (Fig. 17).

Ever more software tools in the business of bulk metal forming are indeed coming into use, but neither developer nor user can be completely satisfied with what has been so far achieved. Further projects combining research institutions and industry will be necessary to eradicate the remaining deficits in creating virtual process layouts. For the description of friction in the workpiece-die-interface, for example, there is still no solution in sight. In just the same way, the prediction of material failure in coldforming provides results which are too inaccurate to quantify the point where the formability of the material will be exhausted. One further potential topic for simulation is the computation of yield-stresses based on micro-structure simulation. Summing up, the ultimate common goal of the German forging

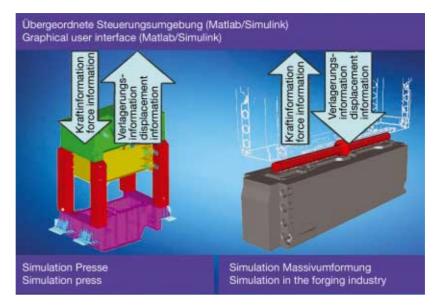


Bild 16: Gekoppelte Simulation Umformprozess und -maschine Fig. 16: Linked simulation of forming process and forming machine

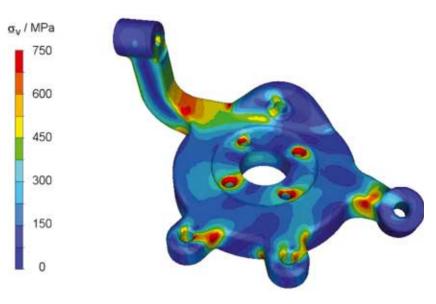


Bild 17: Elastisch-plastische Bauteilsimulation Fig. 17: Elasto-plastic structural analysis

industry can be expressed as follows: we should be able to represent on the computer the entire process chain, from raw material to ready-to-assemble component, including all relevant

properties and characteristics, so as to ensure that our competitiveness can be maintained in the future through our technological lead.

Leistritz Turbinenkomponenten Remscheid GmbH

Leistritz Turbinenkomponenten Remscheid (ehemals ThyssenKrupp Turbinenkomponenten) ist ein langjähriger Zulieferer für Flugtriebwerke. Zum Fertigungsprogramm gehören neben Turbinenschaufeln auch Scheiben und Ringe (Bild 18) aus hochwarmfesten Sonderwerkstoffen wie Nickellegierungen. Die Gebrauchseigenschaften dieser Teile sind stark abhängig von der Führung des Umformprozesses. Insbesondere lokale Überhitzungen infolge der durch Umformung generierten Wärme oder geringe Umformgrade beeinflussen in hohem Maße das Mikrogefüge und damit Schwingund Kriechfestigkeit. Als Umformaggregate werden Gegenschlaghämmer, Spindelpressen und hydraulische Pressen eingesetzt. Hydraulische Pressen lassen sich so steuern, dass die Umformenergie über der Zeit definiert aufgebracht werden kann, um eine optimale Gefügeentwicklung zu ermöglichen. Die dazu notwendigen Steuerparameter werden durch Umformsimulation ermittelt.

Mit Hilfe des 2D-Simulationsprogramms easy2form (CPM, Herzogenrath) und den darin enthaltenen speziellen Features werden seit geraumer Zeit diese diffizilen Umformprozesse mit großem Erfolg am Rechner ausgelegt. Zum Einsatz kommt ein an der Bergakademie Freiberg erstelltes integriertes Mikrostrukturmodell für Nickelwerkstoffe. Bei der Entwicklung von Neuteilen oder aber auch bei Produktverbesserungen werden Geometrie von Vorformen und Gesenken sowie Prozessparameter variiert. Zur Verfügung stehen Maschinencharakteristika von Energie gebundenen Umformmaschinen wie Gegenschlaghämmer und Spindelpressen, Weg gebundenen (Kurbelpressen) sowie Kraft gebundenen Maschinen (hydraulische Pressen). Dabei kann die Gefügeentwicklung über alle Prozessschritte wie Aufwärmen, Vorschmieden, Nachwärmen, Fertigschmieden und Abkühlen verfolgt werden. Grundlage für verlässliche Simulationen sind die genauen Messwerte der Fließkurven der eingesetzten Werkstoffe über

den gesamten Bereich der zu erwarten-

den Temperaturen, Umformgrade und -geschwindigkeiten, die in normierten isothermen Stauchversuchen aufgenommen wurden. Von erheblicher Bedeutung sind ebenfalls die mit der Temperatur veränderlichen Werte für Wärmeleitung und -kapazität. Weiter spielen Reibung und Wärmeübergang in der Wirkfuge eine große Rolle, sind aber nur als integrale Größen bekannt.

Notwendigerweise müssen alle die Mikrostruktur beeinflussenden lokalen Größen wie Umformgrad (Bild 19 als Beispiel), Temperatur, Umformgeschwindigkeit usw. mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden. Zur Verifikation der Simulationen wird neben der Übereinstimmung der berechneten und geschmiedeten Geometrien eine Energiebetrachtung bzw. bei mechanischen und hydraulischen Pressen der Kraftverlauf herangezogen. Dabei ist die Güte der Vorhersagen besser als 95 %.

Als Beispiel ist in Bild 20 der Vergleich der bei der Schmiedung des gezeigten Teils auf einem 500 kJ-Gegenschlaghammer gemessenen mit der in der Simulation berechneten Wirkenergie gezeigt. In der Rechnung geht nach dem 13. Schlag die Wirkenergie gegen Null, d. h. alle weiteren Schläge sind Prellschläge und tragen nicht weiter zur Umformung des Massivumformteils bei. Daher hat das Programm an dieser Stelle die Rechnung beendet. Im entsprechenden Messprotokoll zeigt sich dieser Umstand im gleichbleibenden Energieniveau.

Die Ausgangskorngröße der Vorform wurde in diesem Beispiel auf einen konstanten Wert von ASTM 8 gesetzt. Erwartungsgemäß zeigt die Simulation der Korngröße (Bild 21) nach dem letzten Schlag in den Flanschen des Rings eine Korngröße von ASTM 8 bis 9 in



Bild 18: Ringförmige Turbinenscheibe Fig. 18: Ring-shaped turbine disc

den Bereichen, in denen nur ein geringer Vergleichsumformgrad realisiert wurde (vgl. Bild 19). Entsprechend ist in Bereichen mit höherer Umformung durch dynamische Rekristallisation ein feineres Korn entstanden. Diese Ergebnisse decken sich gut mit der in Gefügeschliffen ermittelten durchschnittlichen Korngröße, wobei der Einfluss lokaler Unregelmäßigkeiten wie Seigerungen im Modell nicht berücksichtiat wird. Weitere Darstellungen liefern verlässliche Aussagen über den Anteil an dynamischer und statischer Rekristallisation bzw. eventuellem Kornwachstum. Die Kontur des fertigen Bauteils und die Ultraschall-Prüfkontur sind einblendbar.

Mit dem beschriebenen 2D-Simulationssystem ist es möglich geworden, für rotationssymmetrische Teile aus schwierig umzuformenden Werkstoffen Vorhersagen für die Gestaltung von Werkzeugen und Prozessen zu treffen. Neben der Gestaltoptimierung wird die benötigte Anzahl der Schläge in Abhängigkeit der Anfangsenergie des Hammers oder der Spindelpresse bzw. die Presskraft ermittelt. Die in der Vergangenheit notwendigen und teilweise zahlreichen Versuchsschmiedungen konnten drastisch reduziert und damit erhebliche Kosten- und Zeitvorteile realisiert werden.

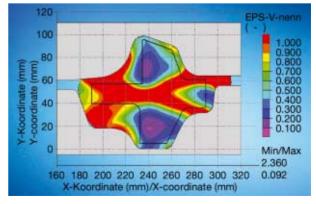


Bild 19: Vergleichsumformgrad nach dem Fertigschmieden Fig. 19: Relative degree of forming after final forging operation



Leistritz Turbinenkomponenten Remscheid GmbH

Leistritz Turbinenkomponenten Remscheid (formerly ThyssenKrupp Turbinenkomponenten) has been a component supplier for aircraft engines for many years. The production programme includes not only turbine blades, but also discs and rings (Fig.18) made of heatresisting special materials such as nickel alloys.

The usage characteristics of these parts are strongly depending on how the forming process is conducted. Particularly, both local overheating resulting from the heat generated by the forming process, and low strain influence the microstructure and thus dynamic strength and creep resistance. Counterblow hammers, screw presses and hydraulic presses are in use. The latter can be so controlled that the forming energy is used up in time-defined a manner, so that an optimal microstructure is developed. The necessary parameters are determined by simulation.

With the aid of the 2D simulation program easy2form (CPM, Herzogenrath) and the special features it contains, these difficult forming processes have been laid out on the computer with great success for some considerable time now. An integrated microstructure model for nickel materials, developed by the Mining Academy in Freiberg, is used. For the development of new parts and also for product improvements, both the design of preforms and dies, and the process parameters can be varied. Machine characteristics are available for energydependant machines such as counterblow hammers and screw presses, for path-dependant machines (crank presses) and for force-dependant machines (hydraulic presses). The microstructure development can be followed through all the process steps such as heating, pre-forging, re-heating, finish-forging and cooling.

Fundamentals for reliable simulations are provided by exact measurements made in isothermal upsetting tests and expressed in flow curves for the materials used, which cover the whole

range of expected temperatures. degrees of forming and strain rates. Of major importance are also the changing values with temperature of heat conductivity and heat capacity. Furthermore, friction and heat transition in the working joint play a large role, but are known only as integral values. It is necessary to determine all the local values affecting the microstructure, strain (Fig. 19 as an example), temperature, strain rate, etc. with sufficient accuracy. To verify simulations, not only must the agreement between the computed and the actual forged shapes be studied, but also the energy characteristics or, with mechanical and hydraulic presses, the press-force progression diagram. Here the quality of the predictions is better than 95 %.

As an example, in Fig. 20 the working energy measured in forging the part shown on a 500 kJ counterblow hammer is compared with that calculated in the simulation. In the calculation, the working energy approaches zero after the 13th blow, that is to say all further blows are rebound blows which do not contribute further to forming the part. Therefore the program cut out at this point. The relevant test chart shows this as a constant energy level.

The starting grain size of the preform was set in this example to a constant value of ASTM 8. As expected, the simulation of the grain size (Fig. 21) showed, after the final blow, a grain size of ASTM 8 to 9 in the flanges of the ring in those areas where only a small degree of forming had occurred (cf. Fig. 19). Correspondingly, in the areas with a higher strain, a finer grain arose through dynamic recrystallisation. These results agree well with the average results found in polished sections, whereby irregularities like segregation are not considered in the model. Further presentations of results deliver reliable statements about the proportion of static and dynamic recrystallisation and about possible grain growth. The contour of the finished

component and the ultrasonic test contour can be faded in.

With the 2D simulation system described, it has become possible to achieve reliable predictions concerning the design of tools and processes for rotationally symmetrical parts made of materials which are difficult to force. Besides the optimisation of the shape, the number of blows needed can be established, depending on the initial energy of the hammer or screw press, or on the press force. It has been possible to drastically reduce the sometimes numerous trial forgings necessary in the past, and thus considerable cost and time advantages have been realised.

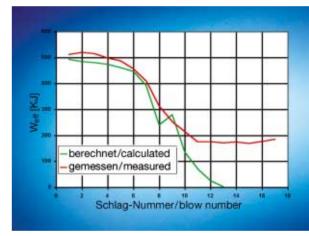


Bild 20:Vergleich berechneter zu gemessener Wirkarbeit

Fig. 20: Comparison of calculated and measured active energy

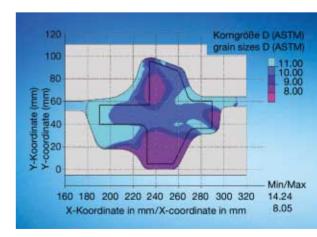


Bild 21: Korngröße nach dem Fertigschmieden Fig. 21: Grain-size after final forging operation

ThyssenKrupp Gerlach GmbH



Bild 22: Konzept des Full Service Suppliers Fig. 22: Full Service Supplier concept

Die Unternehmen der ThyssenKrupp Gerlach-Gruppe und der ThyssenKrupp Metalúrgica Campo Limpo-Gruppe, beides Tochtergesellschaften der ThyssenKrupp Automotive AG, haben ihre Aktivitäten in der Geschäftseinheit Crankshafts gebündelt. An 14 Standorten weltweit fertigen wir in enger Zusammenarbeit mit den Kunden ein breites Spektrum an Motorkomponenten, das u. a. aus geschmiedeten und einbaufertig bearbeiteten Kurbelwellen besteht.

Als Full Service Supplier sind wir Partner von der Entwicklung des Produkts bis hin zur Serienproduktion und Lieferung einbaufertiger Teile (Bild 22). Zu jedem Zeitpunkt kommen modernste Entwicklungstools und Simulationsprogramme zum Einsatz, die sowohl bei der Produktentwicklung als auch in den Produktionsverfahren alle Optimierungsmöglichkeiten ausschöpfen. Die durchgängige CAD-Prozessdatenkette ermöglicht ein problemloses Simultaneous Engineering (Bild 23).

Einsatz des Systems

ThyssenKrupp Gerlach entschied sich im Jahr 2000 nach intensiver Marktanalyse und ausgiebigen Benchmarks für Forge3 vom französischen Anbieter Transvalor. Die Software wird zur dreidimensionalen Simulation von Massivumformteilen mit komplexen Geometrien genutzt. Ziele sind die Optimierung der Schmiedewerkzeuge hinsichtlich Füllverhalten, Standzeit und Prozesssicherheit sowie die Optimierung von Gewicht und Masseverteilung des Vormaterials. Dazu können alle Umformstufen simuliert werden.

Als Hardware kommt ein 9-Knoten Windows-Cluster-System mit 3,6 GHz Single-Prozessor-Rechnern zum Einsatz. Hierauf werden die Berechnungen durchgeführt, während simulationsvorbereitende Tätigkeiten und die Auswertungen von leistungsfähigen CAD-Workstations aus vorgenommen werden.

Durch die notwendige Interaktion der Simulationssoftware mit CAD-Systemen und um einen optimalen internen Erfahrungsaustausch zu gewährleisten, hat es sich als zweckmäßig erwiesen, allen Konstrukteuren die Nutzung der Software zu ermöglichen. Der Werkzeugkonstrukteur ist in der Anwendung von Forge3 geschult und übernimmt selbstständig die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Simulationen. Übergreifend ist ein Spezialistenteam mit der Optimierung der Simulationsrandbedingungen und der technischen Weiterentwicklung der Softwareanwendung beschäftigt. Simulationsrichtlinien werden gemeinschaftlich erarbeitet und Schulungen intern durchgeführt.

Die Erfahrungen mit dem System sind insgesamt positiv, insbesondere die simulierte Konturgenauigkeit zeichnet im Vergleich mit dem geschmiedeten Teil ein erfreulich realistisches Bild. Neben der Beurteilung des Materialflusses und des Füllverhaltens (Bild 24) kommt der Spannungsanalyse von Gesenken wachsende Bedeutung zu. Durch gezielte geometrische Werkzeugänderungen können Werkzeugstandzeiten verbessert werden (Bild 25).

ThyssenKrupp Gerlach GmbH

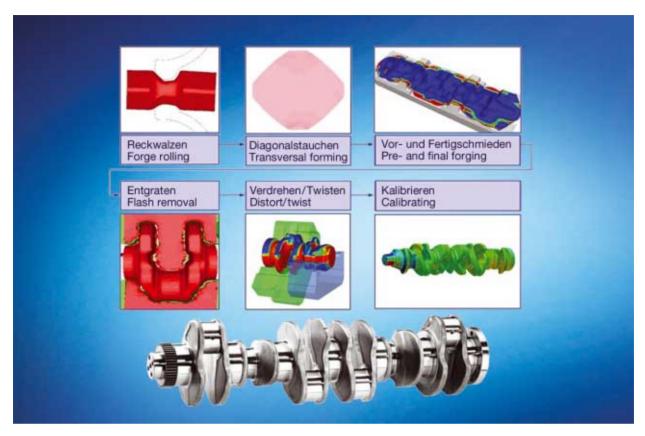


Bild 23: Simulation der kompletten Prozesskette Fig. 23: Simulation of a complete process chain

The companies of ThyssenKrupp Gerlach Group and ThyssenKrupp Metalúrgica Campo Limpo Group, both subsidiaries of ThyssenKrupp Automotive AG, have bundled their activities in the business unit Crankshafts. At 14 locations worldwide, we produce a broad spectrum of engine components in close cooperation with our customers, which contains forged and ready-to-install crankshafts.

As a full service supplier, we are a competent partner ranging from the development of the product and serial production up to the delivery of ready-to-install parts (Fig. 22). We use the most modern development tools and simulation programs at all times, which exhaust all optimisation options, both in product development as well as in the production procedures. The continuous CAD process chain enables trouble-free simultaneous engineering (Fig. 23).

System application

Following an extensive market analysis and thorough benchmarking,

ThyssenKrupp Gerlach opted for Forge3 by the French supplierTransvalor in 2000. The sofware is used for the 3D-simulation of bulk forming parts with complex geometries. Our aim is to optimise the forging tools with regard to loading behavior, service life and process safety as well as to optimise the weight and mass distribution of the material. All forming stages can be simulated with the software.

The hardware consists of a 9-node Windows cluster system with 3.6 GHz single processor computers. The calculations are performed on these systems, while activities for preparing the simulation as well as the analyses are carried out on high-performance CAD workstations.

Because of the required interaction of the simulation software with CAD systems, and in order to ensure an optimum internal exchange of experiences, all designers have access to the software. The tool designer was trained in the application of Forge3 and performs the preparation,

implementation and analysis of the simulations independently. A team of specialists works on the optimisation of the simulation conditions and the advanced technical development of the software application. Simulation guidelines are developed jointly and trainings performed internally.

The experiences with the system are altogether positive; especially the simulated contour accuracy shows a surprisingly realistic image when compared with the forged part. The tension analysis of dies is becoming increasingly important besides the assessment of the material flow and the loading behavior (Fig. 24). Targeted geometrical tool modifications result in longer tool service lives (Fig. 25).

Besides shorter computing times with standard network sizes, the increased computing performance of the cluster system enables the refinement of networks to detect local effects. If a dual processor workstation were used, the computing time would

Die erhöhte Rechenperformance des Cluster-Systems bietet neben der kürzeren Rechenzeit bei herkömmlicher Netzgröße die Möglichkeit zur Netzverfeinerung, um lokale Effekte detektieren zu können. Beim Einsatz einer Dual-Prozessor-Workstation wäre die Rechendauer so lang, dass sich keine realistischen Projekttermine ergäben.

Erfahrungen mit dem System

Die Umformstufen bis zum Fertigschmieden werden heute durch die Simulation realistisch wiedergegeben. Das Einsatzfeld reicht von der Standardanwendung innerhalb der Neuteilentwicklung über die Bestätigung teilespezifischer Änderungen bis hin zu Grundsatzuntersuchungen. Der Fokus

Da bei gleicher Durchlaufzeit wie noch Anfang des Jahrs 2005 heute deutlich mehr Optimierungsschleifen berechenbar sind, verändert sich der Prozess der Entscheidungsfindung. So ist ein wichtiger Faktor bei der Cluster-Anwendung die in kürzester Zeit anfallende Datenmenge. Die Erzeugung von 200 GByte in einem Monat ist nicht ungewöhnlich. Hieraus ergeben sich völlig neue Anforderungen an die Archivierung und Dokumentation von Simulationsergebnissen. Der größere Umfang von vorliegenden Entscheidungshilfen muss so aufbereitet sein, dass die richtigen Entscheidungen schnell getroffen werden können.

ThyssenKrupp Gerlach begegnet diesen Herausforderungen auf der

generelle Optimierung der Strukturanalysemethodik und die quantitative Vorhersage des Werkzeugverschleisses sind mittelfristige Ziele.

Als verbesserungswürdig beim Einsatz des Cluster-Rechners betrachten wir die Solverstabilität bei sehr komplexen Formteilen. Die Verwendbarkeit aller zur Verfügung stehenden Prozessoren und die damit verbundene Partitionierung des Bauteils in neun Einzelteile ist noch zu stabilisieren. Selbst bei Projekten mit einem hohen Termindruck rechnet ThyssenKrupp Gerlach GmbH deswegen mit einer geringeren Anzahl an CPUs und nimmt längere Rechenzeiten in Kauf.

Nach wie vor fehlt ein brauchbares

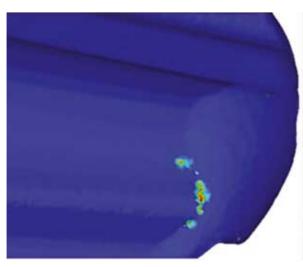




Bild 24: Simulation – Entstehung einer Schmiedefalte. Schmiedeteil – Nachweis des Defekts durch Anschliff Fig. 24: Simulation – formation of forging lap. Forging – detection of defect by grinding critical section

liegt aufgrund des Kostendrucks der letzten Jahre insbesondere auf der Reduzierung des Materialeinsatzes.

Im Bereich der so genannten langlebigen Folgewerkzeuge findet ein kontinuierlicher Entwicklungsprozess statt, der zur Überprüfung und Feinabstimmung des Fertigformwerkzeugs dient. Ziel ist die Verbesserung der Endkonturgenauigkeit beim Schmieden mit der Option zur Reduzierung von technologisch vorgegebenen Aufmaßen.

Speziell beim Entgratvorgang (Bild 26) begrenzt die Leistungsfähigkeit aktueller CPUs und vorhandener Algorithmen die Entwicklungsgeschwindigkeit. Schwierigkeit hierbei ist die extrem feine Knotendichte, die zur Erreichung einer akzeptablen und aussagefähigen Trennfläche benötigt wird.

einen Seite mit der Reduktion von Daten auf das absolut Notwendige und mit einer standardisierten, aussagekräftigen Projektdokumentation auf der anderen Seite.

Zukünftige Erwartungen

Neben dem Wunsch nach Verbesserung vorhandener Funktionalitäten hinsichtlich Aussagegenauigkeit und Berechnungsgeschwindigkeit steht die Forderung nach bisher nicht implementierten Features im Vordergrund. Dies sind verschiedene Punkte zur Steigerung der Anwenderfreundlichkeit im Pre- und Postprocessing. In absehbarer Zukunft wird die Mehrprozessorfähigkeit der gekoppelten Simulation zwischen Werkzeug und Werkstück eine Standardanwendung sein. Die

Schnittstellenformat zum Export von simulierten Geometrien für CAD-Systeme. Das in Simulationsprogrammen verbreitete stl-Format kann nach dem Export aus Forge3 beispielsweise in Pro/Engineer nicht konstruktiv verwendet werden. An dieser Stelle kann man sich heute allenfalls mit teuren Reverse-Engineering-Tools behelfen.

Wir sehen heute in Forge3 die Software, die unseren Prozess realistisch abbildet. Die stetigen Software-Entwicklungen führten dazu, dass das System fester Bestandteil der Prozessentwicklung geworden ist. Der permanente Dialog zwischen Softwareentwicklern und Anwendern garantiert dabei die ständige Weiterentwicklung auf beiden Seiten.

be so long that it would be impossible to realize realistic project deadlines.

Experiences with the system

These days, the forming stages up to finish-forming are reflected realistically by the simulation. The application field ranges from standard deployment in new parts development via the confirmation of part-specific modifications up to fundamental analyses. Due to the cost pressure in the past years, activities focus on the reduction of the material usage.

A continuous development process is taking place in the field of the so-called durable follow-on tools, which serves to check and fine-tune the finish-forming tool. The aim is to

acceptable and informative separation surface.

As it is possible to calculate significantly more optimisation loops today in the same processing time than at the beginning of 2005, the decision-making process is changing. One important factor with the cluster application is the data quantity generated within the shortest time. Quantities of 200 GByte per month are not unusual. This results in completely new demands on the archiving and documentation of simulation results. The larger part of available decision-making aids must be designed in such a way that the right decisions can be made quickly. ThyssenKrupp Gerlach meets this challenge by reducing data to an

implemented so far is also in the foreground. This concerns the most varied options to increase user-friendliness in pre and post-process ing. The multi-processor capacity of the linked simulation between the tool and the workpiece will be a standard application in the near future. The general optimisation of the structural analysis method and the quantitative forecast of the tool wear are medium-term goals.

We think that the solver stability with very complex formed parts needs improving with the application of the cluster computer. The usability of all available processors and the respective partitioning of the part into nine individual parts still have to be stabilized. ThyssenKrupp Gerlach GmbH therefore works with less CPUs and accepts longer computing times even with projects with a tight deadline.

We still need a usable interface format for exporting simulated geometries for CAD systems. The stl-format, which is widely used in simulation programs, cannot be used constructively in Pro/Engineer, for example, after export from Forge3. At this point, we can at most compensate this with expensive reverse engineering tools.

For us, Forge3 is the software that maps our processes realistically. Due to the continuous software developments, the system has become a permanent process development component. The permanent dialog between software developers and users ensures constant advance development on both sides in this respect.

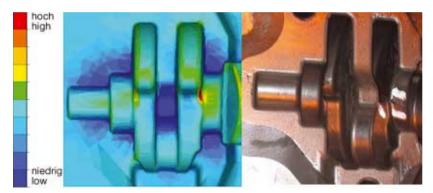


Bild 25: Korrelation der linear-elastischen Werkzeugberechnung (links) mit einem vorzeitigen Bruch (rechts)

Fig. 25: Correlation of linear-elastic tool calculation (left) and a premature fracture (right)

improve the final contour accuracy during forging with the option to reduce technologically specified allowances.

Especially during deburring (Fig. 26), the capacity of current CPUs and the available algorithms limit the development speed. One difficulty in this respect is the extremely fine node density required for achieving an

absolute minimum on the one hand and with standardized and informative project documentation on the other.

Future expectations

Besides the desire to improve available functions with respect to information accuracy and calculation speed, the demand for features not



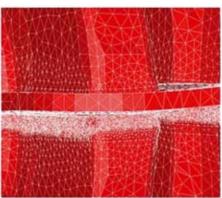


Bild 26: Entgraten einer Zweizylinder-Motorradkurbelwelle. Dauer: 111 Stunden mit 9 Prozessoren Fig. 26: Trimming of 2-cylinder-motor-cycle crankshaft. Time consumed: 111 hours with 9 processors

ThyssenKrupp Präzisionsschmiede GmbH

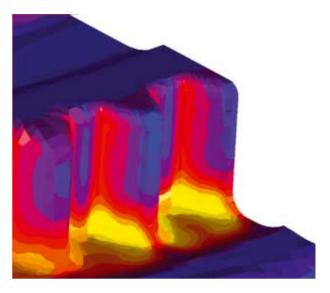


Bild 27: Monoblock-Gangrad, Kegelrad und Rücklaufrad Fig. 27: Monoblock gearwheel, bevel gear, reverse idler gear

Anwendung der Simulation

Die ThyssenKrupp Präzisionsschmiede GmbH stellt hochfeste Präzisionsumformteile mit einbaufertig umgeformten Funktionsflächen für den Antriebsstrang von Kraftfahrzeugen wie Monoblock-Gangräder, Kegelräder und Rücklaufräder (Bild 27) produktabhängig durch Kalt-, Halbwarm- oder Warmumformung her. Um die für die Prozessauslegung der komplexen Massivumformteile notwendigen Entwicklungszeiten und Entwicklungskosten zu minimieren, wird die Umformsimulation seit 1997 für die Neuteilkonstruktion sowie für Prozessoptimierungen eingesetzt. So können Werkzeugkonzepte schnell hinsichtlich der erzielbaren Umformteilqualitäten und ggf. qualitativ der zu erwartenden Werkzeugstandmengen beurteilt werden, sodass die Notwendigkeit von u. U. mehreren, zeitraubenden und teuren Versuchsschmiedungen entfällt. Die Simulationen werden insbesondere in Hinsicht auf den Materialfluss, die notwendigen Umformkräfte und/oder die resultierenden Werkzeugbelastungen ausgewertet.

Einsatz des Systems

Aktuell werden die Simulationen auf einem Dual-Prozessor-PC unter Windows 2000 mit MSC.Superform

und MSC.Superforge als 2D- und 3D-Simulationen durchgeführt. Sie starten mit einem internen Simulationsauftrag, der alle für die Simulation notwendigen Angaben enthält. Zusammen mit ihm werden die CAD-Daten der Werkzeuge und Werkstücke – für 2D-Rechnungen im IGES- und für 3D-Rechnungen im STL-Format – von den entsprechenden Konstruktionsabteilungen bereitgestellt. Zur Modellbildung werden diese Daten anschließend im FEM-Programm aufbereitet. Dank der langjährigen Erfahrung mit der Präzisionsumformung von Verzahnungen wird der Einfluss aus Schwund und elastischer Werkzeugdeformation auf das Umformteil bereits bei der Werkzeugauslegung berücksichtigt. Mit Ausnahme der Standmengenoptimierung durch Spannungsoptimierung ist daher das Rechnen mit starren Werkzeugen ausreichend.

Als Werkstoffkenndaten werden die vom Programm zur Verfügung gestellten Werte verwendet. Die übrigen Simulationsparameter wie der Reibungskoeffizient, der Wärmeübergangskoeffizient oder die Werkzeugtemperatur wurden individuell für die verschiedenen Umformaggregate und Umformprozesse durch Abgleich der Simulationsergebnisse mit Versuchs-

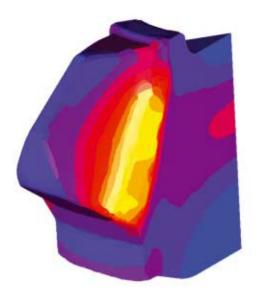
ergebnissen verifiziert und stehen als Vorlagen für die Simulation von Produktvarianten zur Verfügung.

Nach der Simulation werden die Ergebnisse als Film im AVI-Format aufbereitet und in einer Datenbank zusammen mit dem Auftrag und ggf. ausgearbeiteten Auswertungen archiviert. Auf die Datenbank haben alle Konstrukteure Zugriff, sodass diese von ihrem Arbeitsplatz aus mit den Ergebnissen arbeiten können. Abschließend wird die Rechnung von Simulationsingenieur, Konstrukteur und ggf. der Fertigung im Team diskutiert und bewertet. Gemeinsam wird von ihnen das weitere Vorgehen beschlossen. Je nach Produktund Prozesskomplexität können zur Erzielung einer optimalen Auslegung mehrere Rechendurchläufe notwendig sein.

Bild 28 zeigt eine im Rahmen einer Standardsimulation in der Konstruktionsphase erkannte und anschließend behobene Schmiedefalte. Insbesondere bei mehrstufigen Umformprozessen ist die Simulation ein zentrales Hilfsmittel zur optimalen Stadiengangauslegung in Hinsicht auf die Erzeugung von umformfehlerfreien Teilen.

Das Ergebnis einer Simulation zur Sicherstellung eines gleichmäßigen Gravurfüllverhaltens zur Minimierung

ThyssenKrupp Präzisionsschmiede GmbH





System application

ThyssenKrupp Präzisionsschmiede GmbH manufactures high-strength precision forgings with finished forged functional elements - readv-toassembly - for the powertrain of vehicles using hot, warm and cold forging processes, depending on the product. Examples of such forgings are monoblock speed gears with clutch toothing, bevel gears and reverse idler gears (Fig. 27). To minimise the development time and cost for these complex forgings, forging-simulation has been in use for the design of new parts and for process optimisation since 1997. With this method tooling concepts can be quickly evaluated in regard of the achievable forging quality and qualitatively, in regard of the expected die life, so that the necessity of carrying out several time- and costintensive trial forgings is avoided. The simulations are evaluated especially with respect to material flow, the required forging forces and the resulting die load.

How the system is employed

At present simulations are performed on a dual-processor PC under Windows 2000, using MSC.Superform and MSC.Superforge as both 2D and 3D simulations. The process starts with an internal simulation order containing all the details necessary for the simulation. Along with this order, the design department in question provides the CAD data for the tools and workpieces, for 2D calculations in IGES- and for 3D in STL-format. For modelling, this data is then processed by the FEM program. Due to many years' experience in the precision forging of toothed profiles, the influence of shrinkage and elastic tool deformation on the workpiece is already been taken into consideration in the design of the tooling. With the exception of die life optimisation through stress analysis, calculations with rigid dies are sufficient.

The data on material characteristics is provided by the program. The other simulation parameters such as friction coefficients, heat transfer coefficients and tool temperatures are individually verified for the various forming machines and processes by comparison of the simulation results with real-life test results, and are available later for the simulation of product variants.

After the simulation, the results are prepared as a film in AVI format and archived in a database together with the order and with any evaluations which have been made. All the designers have access to this database, so that they can work with these results directly from their workplace. Finally the calculation is discussed and evaluated by the simulation engineer, the designer and. if required, the production department, working as a team. Together they decide on how to proceed further. Depending on the complexity of the product and of the machine, several computing runs may be necessary to achieve an optimal layout.

Fig. 28 shows a forging lap which was discovered at the design stage in the course of a standard simulation and subsequently eliminated.

Especially with multi-station forging processes, simulation is an essential aid to achieving optimal process layouts in regard of producing parts free from forging faults.

The result of a simulation to secure an even filling of all parts of the die, to minimise the forging force and to maximise the die life is depicted in Fig. 29, showing the typical filling

der Umformkraft und Maximierung der Werkzeugstandmengen ist in Bild 29 mit dem typischen Füllverhalten beim Auspressen von Kegelradzähnen dargestellt. Durch die Berechnungen werden hier sowohl unterschiedliche Werkzeugkonzepte als auch unterschiedliche Vorformgeometrien hinsichtlich ihrer Eignung zur Umformung der geforderten Geometrie geprüft. Auch werden z. B. die Auswirkungen von Vorformgewichtsschwankungen ermittelt, die insbesondere bei der Umformung im geschlossenen Gesenk einen entscheidenden Einfluss auf die Werkzeugstandmengen und die Umformteilqualität haben.

Regel so gut ist, dass bei Neuteilschmiedungen keine nennenswerten Werkzeugänderungen aufgrund von Materialflussproblemen mehr vorgenommen werden müssen. Die sich ergebenden Abweichungen können auf Vereinfachungen bzgl. des Simulationsmodells gegenüber der Realität zurückgeführt werden, wie z. B. auf die Nichtbeachtung des Scherwinkels von Scherlingen.

Die Entstehung von Überlappungen wird angezeigt, wenn die Überlappungstiefe ein vielfaches der Elementgröße beträgt. Kleinere Überlappungen werden nicht abgebildet oder sie werden im Lauf der Simulation wäre es wünschenswert, durch eine Optimierung der Vernetzungssysteme die Erkennung auch kleinster Umformfehler zu ermöglichen. Ideal wären "intelligente Vernetzungsalgorithmen", welche anhand der Werkzeugkontur oder des Materialflusses entscheiden, welche Bereiche feiner vernetzt werden müssen bzw. wo gröber vernetzt werden kann. So könnte die z. T. notwendige, zeitaufwändige Analyse der Vernetzungshistorie vermieden werden.

Durch eine Verbesserung der Reibalgorithmen sollte die Simulation komplexer Vorwärts- und Rückwärtsfließpressprozesse vereinfacht werden. Diese sind bisher nur nach Model-

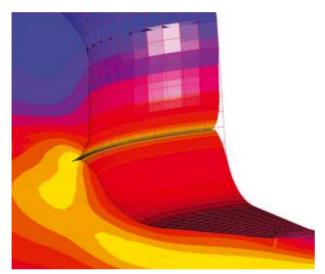


Bild 28: Überlappung Fig. 28: Laps

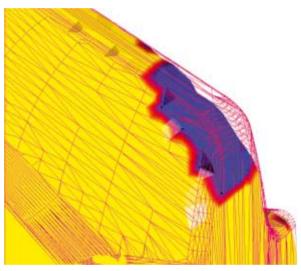


Bild 29: Nichtfüllung Fig. 29: Underfilling

Während die in den Bildern 28 und 29 dargestellten Standard-Umformsimulationen mit starren Werkzeugen durchgeführt worden sind, wurden für die in Bild 30 gezeigte Belastungsanalyse eines Pressdorns elastische Werkzeuge verwendet. Die Standmenge konnte hierbei durch eine Optimierung der Werkzeuggeometrie erheblich erhöht werden. Neben den produktabbildenden Umformwerkzeugen werden so z. B. auch Armierungsverbände hinsichtlich der optimalen Übermaße sowie Zerspanungswerkzeuge bzgl. ihres Verformungsverhaltens im Einsatz optimiert.

Erfahrungen mit dem System

Beim Einsatz der Umformsimulation in den letzten 8 Jahren hat sich herausgestellt, dass die Nachbildung des Materialflusses im Makrobereich in der "übernetzt" und verschwinden somit.
"Übernetzte" Schmiedefalten lassen sich in der Regel durch Analyse der Vernetzungshistorie erkennen, d. h. durch die Kontrolle der Neuvernetzung von Inkrement zu Inkrement.

Schließlich werden die Umformkräfte sowie die resultierenden Spannungen in den Werkzeugen qualitativ
sehr gut abgebildet. Sowohl bei der
Optimierung von Umformprozessen
durch Presskraftoptimierung als auch
bei der Standmengenerhöhung durch
Spannungsverringerung infolge von
Geometrieoptimierung konnten die
Ergebnisse der FEM durch die Prozessergebnisse verifiziert werden.

Zukünftige Erwartungen

Um die Umformsimulation noch effektiver mit dem Ziel der Zeit- und Kostenersparnis einsetzen zu können, lierung aufwändiger Reibungs-Randbedingungen auf Basis der User-Erfahrungen zu berechnen.

Die Berechnung der Werkzeugbelastung sollte zukünftig auch in 3D in Form einer gekoppelten Rechnung durchgeführt werden. Neben einer Versagensanalyse der Werkzeuge durch Verschleiß und Rissbildung wäre hier die Temperaturentwicklung der Werkzeuge über den Gesamtprozess von besonderem Interesse.

Schließlich ist ein übergreifendes System aus CAD und Simulationssoftware als auch Datenmanagement denkbar, durch das der z. T. mühsame CAD-Datenaustausch und die gegebenenfalls notwendige Aufbereitung dieser Daten für das FEM-System entfallen könnte. Auch das Verwalten der Simulationsmodelle sowie der Rechenergebnisse würde vereinfacht.

behaviour during the forging of bevel gear teeth. Using forging-simulation, several different tooling concepts and various preform designs are tested with regard to their suitability for forging the design geometry required. The effects of weight variation in preforms are also investigated, as these have a decisive influence on die life and forging quality, especially when using closed dies.

While the standard forming simulations shown in Figs. 28 and 29 were done by using rigid dies, that for the load analysis of a press punch shown in Fig. 30 uses elastic bodies

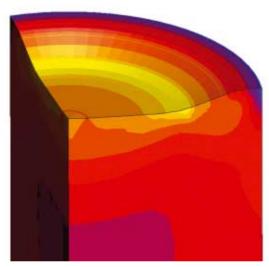


Bild 30: Spannungsverteilung in einem Pressdorn Fig. 30: Stress distribution in punch

for the tooling. Through the use of simulation, it was possible in this case to increase the tool life considerably through optimisation of the tool design. Besides to the shape giving dies such tools as die armouring kits are optimised with respect to optimal oversize, and cutting tools with respect to their deforming behaviour when in use.

Experience with the system

The use of simulation over the past eight years has shown that the representation of material flow in the macro range is normally so good that, when forging new parts, no appreciable tool alterations need to be made as a result of material flow problems. The resulting variations can be traced back to simplifications in the simulation model as compared with reality, such as not taking into account the shearing angle of sheared billets.

The emergence of laps is shown when the depth of the lap is several

times the size of the elements used. Smaller laps are either not shown or they are "overmeshed" in the course of the simulation, and thus disappear. "Overmeshed" laps can usually be found by analysing the meshing history of the simulation, i. e. by checking the new mesh from increment to increment. Lastly the

forming forces, together with the resulting tool stresses, are portrayed very well. The simulation results are verified by actual process results, both in the optimisation of forging processes by optimising press forces, and in tool life improvement by reducing stresses as a result of design optimisation.

Future expectations

To be able to use the forgingsimulation even more effectively, with the aim of saving time and money, it would be desirable to have an optimisation of the meshing systems of simulations which would enable even the smallest forging fault to be found.

The ideal would be an "intelligent meshing algorithm" which could decide, on the basis of tool contours or of material flow, which areas needed to be more finely meshed and where coarser meshing would be appropriate. In this way the time-consuming method of analysing meshing histories, which is sometimes necessary today, could be avoided.

An improvement of the friction algorithm should simplify the simulation of complex forward-and backward-extrusion processes. Computing of these has so far only been possible after modelling complex friction boundary conditions on the basis of user experience.

The computation of tool loading should in future be carried out by a coupled calculation, also in 3D. As well as the prediction of tool failure through wear and through crack formation, the temperature development in the die during the entire process would be of particular interest.

Lastly a general system combining CAD, FEM and data management is conceivable, through which the great amount of work sometimes involved in data exchange and in the processing of the resulting data could be eliminated. The administration of simulation models and of their results would also be simplified.

Otto Fuchs KG

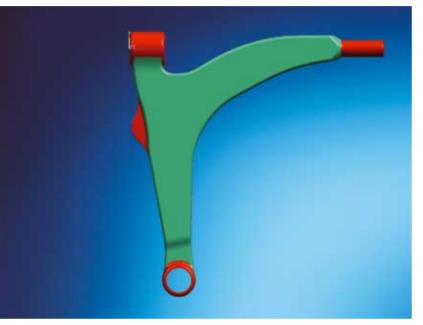


Bild 31: Bauraummodell Fig. 31: Structure space model

Bild 32: Ergebnis der Topologieoptimierung Fig. 32: Result of topology optimisation

Anwendung der Simulation

Schon seit Jahren wird die Umformsimulation bei der Otto Fuchs KG eingesetzt, um für vom Kunden vorgegebene Fertigteilgeometrien die optimalen Geometrien der Massivumformteile, Gesenke und Vorstufen auszulegen. So konnten in der Vergangenheit die nötigen Probeschmiedungen für neue Produkte deutlich reduziert werden. Nun kommt es immer häufiger dazu, dass die Verantwortung für die Feinauslegung der Fertigteile vom OEM (z. B. Automobilhersteller) auf den Umformteillieferanten übertragen wird. Der Kunde stellt nur noch die Geometrie des verfügbaren Bauraums und der Anbindungspunkte zu anderen Bauteilen (Bild 31) sowie ein FEM-Lastenheft zur Verfügung. Aus diesen Angaben kann der Lieferant eine geeignete Umformteilgeometrie ermitteln, um mit möglichst wenig Einsatzmaterial (Bauteilgewicht) die geforderten Lasten

übertragen zu können. Dies muss er dem OEM durch die Ergebnisse von linear elastischen FEM-Berechnungen (für die Gebrauchslastfälle) und elastisch plastischen FEM-Berechnungen (für die Missbrauchslastfälle) nachweisen.

Nach der Ermittlung einer optimalen Fertigteilgeometrie folgt dann die übliche Prozessauslegung unter Zuhilfenahme der Umformsimulation.

Topologie/Shape-Optimierung

Für die Ermittlung von möglichst leichten Strukturen, die gegebene Lasten übertragen sollen, wurden Software-Pakete entwickelt, die eine so genannte Topologieoptimierung durchführen. Dabei werden auf Basis von linear elastischen FEM-Berechnungen wenig belastete Teile einer Ausgangsgeometrie entfernt. Zurück bleibt eine Struktur, die nur noch aus "tragenden" Elementen besteht (Bild 32).

In der Vergangenheit waren diese Strukturen größtenteils nicht für eine Fertigung geeignet, da oft Hohlräume im Teil oder sehr filigrane Verstrebungen entstanden. Inzwischen können aber Fertigungsrestriktionen für Massivumformteile, wie z. B. Auszugsrichtungen, berücksichtigt werden. Die Ergebnisse sind aber immer noch keine fertigen Massivumformteile. Oft gibt es noch Stellen am Teil, die durch die idealisierte Lagerung im Modell zu wenig belastet werden und dadurch sehr dünn ausfallen. Hier muss ein kundiger Bauteilentwickler Hand anlegen, um aus einem "Designvorschlag" ein Teil zu machen. Danach kann ein "Feintuning" des Teils durch eine Shape-Optimierung folgen. Das auf Basis der Topologieoptimierung neu konstruierte Teil wird dabei vernetzt und wieder mit den überlagerten Betriebslasten beaufschlagt. Stark belastete Elemente des Netzes wachsen (unter Einhaltung des

Otto Fuchs KG





Bild 33: Spannungsverteilung vor (links) und nach (rechts) der Shapeoptimierung Fig. 33: Stress distribution before (left) and after shape (right) optimisation

System application

Forming simulation has been in use for years at Otto Fuchs KG for creating optimal designs for forgings, dies and preforms for achieve the finished product designs provided by our customers. Over the past years, it has been possible to markedly reduce the number of trial forgings necessary for new products.

Now an increasing demand by OEMs (e.g. automotive companies) for the detailed design of finished components by the forging supplier has arisen. The customer merely provides the geometry of the available space and the joining points to other components (Fig. 31) together with a FEM specification.

From this data the supplier can create a suitable design for the formed part, so that the required loads can be transmitted with a minimum use of material (component weight). This

has to be demonstrated to the customer through the results of linear FEM calculations for normal use and elasticplastic FEM calculations for misuse loadcases (crash).

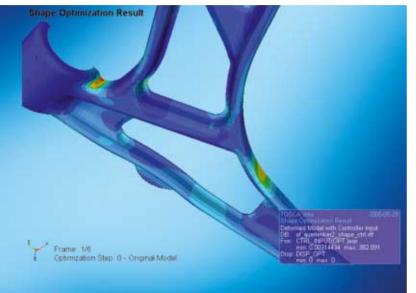
After establishing an optimal design for the finished part, there follows the normal process layout using forming simulation as an aid.

Topology/Shape-optimisation

For the creation of the lightest possible structures able to carry the required loads, software packages have been developed which carry out a so-called topology optimisation. Here, lightly loaded elements of the initial design are removed on the basis of linear elastic calculations. A structure remains which only consists of load-bearing elements (Fig. 32).

In the past these structures were mostly not suitable for production,

because they often had hollow spaces or filigree bracing. In the meantime however manufacturing restrictions for forged parts, such as directions of part removal from the tools, can be taken into consideration. The results are not yet, however, finished forged parts. There are often regions on the part which turn out to be too lightly loaded, and thus extremely thin, due to the idealised boundary conditions of the model. Here an experienced component developer must take over, to make a part out of a "design suggestion". After this, "finetuning" of the part by shape-optimisation can follow. The part, now redesigned on the basis of topology optimisation, is now meshed and the operating loads are again applied. Heavily-loaded elements in the mesh grow (taking into consideration the maximum space available) while lightly-loaded



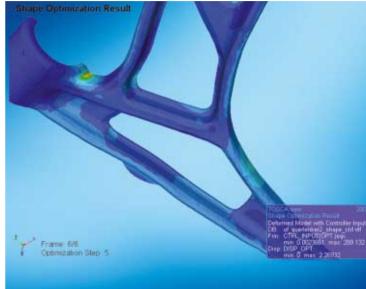


Bild 34: Detail Spannungsverteilung vor (links) und nach (rechts) der Shapeoptimierung Fig. 34: Detail of stress distribution before (left) and after (right) shape optimisation

Bauraums) nach außen, während wenig belastete Elemente schrumpfen. Es ergibt sich eine gleichmäßigere Spannungsverteilung (Bilder 33 und 34).

Natürlich wird der Umformprozess eines auf diese Art optimierten Teils nicht einfacher, Durchbrüche und Rippen im Massivumformteil machen eine sehr genaue Vorformauslegung nötig, um Schmiedefehler wie Durchschüsse zu vermeiden. Oft sind Verfahren zur Vorverteilung des Materials wie Reck- oder Querwalzen notwendig, um fehlerfrei und wirtschaftlich zu fertigen. Auch diese Verfahren können inzwischen durch die Umformsimulation abgebildet werden.

Sehr hilfreich sind Fließlinien bei der Simulation von verrippten Bauteilen (Bild 35). Dazu werden im Ausgangswerkstück in gleichmäßigen Abständen Linien generiert. Diese Linien werden bei der Umformung des Teils mitverformt. Die deformierten Linien lassen Fehler im Materialfluss erkennen, die sonst unter Umständen erst im Makro-

schliff bei der zerstörenden Werkstoffprüfung auffallen würden.

Durch geeignete Maßnahmen, wie z.B. Einbringen von Blindgravuren, kann dann die Bildung solcher Materialflussfehler verhindert werden.

Zukünftige Erwartungen

Es gibt immer mehr Hilfsmittel, um Bauteile und Fertigungsfolgen optimal zu gestalten. Oft kann schon aus dem CAD-System heraus, ohne großes Spezialwissen, eine Strukturanalyse eines Bauteils gestartet werden. Ähnliches wird es auch bald für Topologieund Shape-Optimierungsprogramme geben.

Die Rechenzeiten von Umformsimulations-Programmen werden durch leistungsfähige Hardware und Parallelisierung immer kürzer. Auch inkrementelle Umformvorgänge wie das Ringoder das Drückwalzen werden bald innerhalb der normalen Prozessentwicklungszeit simulierbar sein. Durch die deutlich kürzeren Rechenzeiten werden allerdings auch deutlich mehr

Varianten gerechnet, um vielleicht dem Optimum noch einen Schritt näher zu kommen. Abgesehen von den daraus entstehenden großen Datenmengen muss, um die große Menge gerechneter Varianten überhaupt noch überblicken zu können, eine sorgfältige und durchgehende Dokumentation generiert werden kann. Es gibt erste Simulations-Verwaltungsprogramme, mit denen die Simulationen erfasst werden können, die mit der einen unterstützten Software erstellt wurden. Ein Programm, mit dem solch eine Dokumentation für alle Simulationen eines Bauteils automatisch generiert werden können, gibt es zur Zeit noch nicht. Jeder Anwender muss hier sein eigenes System entwickeln. Hier gibt es für die Softwareanbieter noch ein lohnendes Betätigungsfeld.

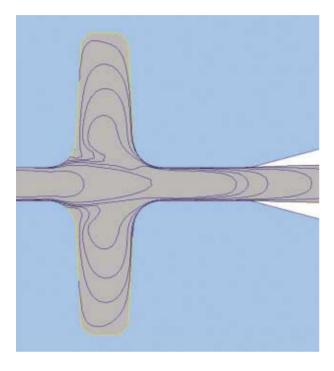


Bild 35: Durchschuss in der Umformsimulation (Schnitt durch eine Rippe)

Fig. 35: Flow-through defect in forming simulation (section through rib)

elements shrink. A more even stress distribution comes about (Figs. 33 and 34).

Naturally, optimising a part in this fashion does not make the forging process easier; cut-outs and ribs in forgings require very exact volume layouts to avoid forging faults such as flow-through defects. Processes to predistribute material, such as reducer or cross rolling, are often necessary to manufacture economically and free of faults. Nowadays these processes can be modelled in forming simulation.

Flow lines are very helpful in the simulation of ribbed components (Fig. 35). For this purpose, lines are generated on the initial blank at even intervals. These lines are deformed together with the workpiece. The so-deformed lines allow faults in the material flow to be recognised, which would perhaps otherwise not be noticed until a macrosection is made during destructive material testing of the finished part.

Using suitable measures, such as introducing additional cavities (to take the excess material), the formation of such material flow faults can be prevented.

Future expectations

There are more and more software tools for optimally designing components and production sequences. Often a structural analysis can be started directly out of a CAD system, without needing any great specialised knowledge. It will soon be similar for topology- and shape-optimising programs.

The computing times of forming simulation programs are becoming ever shorter through the introduction of powerful hardware and parallel-processing. It will soon even be possible to simulate incremental forming processes like ring- and flow-forming within normal process development times. Because of the distinctly shorter computing times though, more variants are being

computed to perhaps approach the optimum more closely. Apart from the large resulting data mass, the large number of variants calculated means that careful and thorough documentation has to be created in order to be able to retain an overview at all. The first programs for the administration of simulations have now appeared, with which simulations created by software applications supported by these programs can be registered. A program with which a documentation for all the simulations of one component can be automatically generated does not exist at the moment. Every user is having to develop his own system. There is a rewarding field of activity here for software suppliers.

Neumayer Tekfor Gruppe



Bild 36: Abbildung aller Schritte einer kombinierten Warm/Kaltumformung in einer verketteten Simulation

Fig. 36: Illustration of stages in combined hot/cold forging in linked simulation

Als Spezialist für hochentwickelte Produktlösungen in der Automobilindustrie setzt die Neumayer Tekfor Gruppe verstärkt auf CAE-Techniken. Damit werden die Potenziale, die durch die Verlagerung der Bauteilverantwortung vom OEM auf den Zulieferer entstehen, voll nutzbar. Für Teile der Warmmassivumformung bedeutet dies in der Regel, dass Bauteilform, Materialauswahl und Wärmebehandlung im Hinblick auf Funktion und Herstellung optimiert werden können.

Einsatz des Systems

Mit der Verwendung von UmformSimulationswerkzeugen wurde bei
Neumayer Tekfor Gruppe zunächst
1999 innerhalb der zentralen Forschungs- und Vorentwicklungsgesellschaft New Form Tec GmbH (NFT)
begonnen. Zum Einstieg wurde eine
Einzelplatzlizenz von DEFORM-2D
(SFTC) installiert, mit der das damalige
Teilespektrum im Stammwerk Hausach
schon zu großen Teilen abgedeckt
werden konnte. Wegen der immer
größer werdenden Zahl komplexer

Umformteile und im Zusammenhang mit dem stetigen Wachstum der Gruppe wurde dann im Jahr 2001 zunächst eine Einzelplatzlizenz DEFORM-3D bei der NFT installiert. Aufgrund der enorm kurzen Berechnungszeiten von DEFORM-2D und der weiterhin großen Zahl rotationssymmetrischer Teile im Spektrum von Neumayer Tekfor Gruppe wird auch in Zukunft an der Verwendung der 2D-Version parallel zum 3D festgehalten werden.

Die wesentliche Anwendung der Umformsimulation ist nach wie vor die Stoffflussuntersuchung. Die bei Neumayer Tekfor Gruppe stark vertretene kombinierte Warm/Kalt- und Halbwarm/Kaltumformung erfordert, dass meist auch die Umformsimulation über alle Fertigungsstufen hinweg durchzuführen ist. Als sehr hilfreich hat sich dabei die Verwendung der neuen Multiple-Operations-Funktion in DEFORM erwiesen. Damit kann eine beliebige Abfolge von Umform-, Aufwärm- und Abkühlvorgängen (Bild 36) als verkettete Simulation durchlaufen werden. Bei einer solchen Verkettung können somit Varianten, die aus Modifikationen in einer frühen Umformstufe entstehen, sehr effizient untersucht werden. Nach der Änderung in der betreffenden Stufe wird mit Hilfe dieser Funktion die gesamte Stadienfolge als verketteter Prozess ohne Eingriff durch den Bediener komplett simuliert.

Als Erweiterung der reinen Stoffflussuntersuchung ist das Verfolgen
von ausgewählten Punkten oder Bereichen eine häufig eingesetzte Anwendung (Bild 37). Mittels "Point Tracking"
werden dabei insbesondere eventuell
schädliche Scherflächen verfolgt. Oftmals ist durch eine Anpassung der
Umformstufen bzw. durch die Wahl
eines anderen Rohlingdurchmessers
eine Verlagerung dieser Flächen in
unkritische Bereiche möglich.

Mit Hilfe des Reverse Point Trackings ist es zudem möglich, bei Fehlern im Werkstück deren Ursprung im Rohmaterial zu lokalisieren. Daraus lassen sich zumeist Informationen über die Art und die Lage von Ausgangsmaterial-Fehlern ermitteln.

Neumayer Tekfor Gruppe



Bild 37: Verfolgung der Scherfläche vom Scherling bis zum Fertigteil Fig. 37: Following sheared surface through from sheared billet to finished part

As a specialist for highly developed product solutions in the automotive industry, the Neumayer Tekfor Gruppe is increasingly using CAE techniques. With these, the potential resulting from the transfer of responsibility for components from the OEM to the supplier can be fully utilised. For hot-forged parts this generally means that component form, choice of material and heat treatment can all be optimised with respect to function and manufacture.

System application

Forming simulation tools were first used in the Neumayer Tekfor Gruppe in 1999 by the central research and pre-development company New Form Tec GmbH (NFT). As an introduction, a single place licence for DEFORM-2D (SFTC) was installed, with which the then range of parts manufactured in the parent plant, Hausach, could be largely covered. Due to the ever increasing number of complex formed parts, and in connection with the continuous growth of the group, in

2001 a single licence for DEFORM-3D was also installed at NFT. Because of the extremely short computing times of DEFORM-2D and the continued large number of rotationally symmetrical parts in the Neumayer Tekfor Gruppe product range, the 2D version will continue to be used, in parallel to the 3D version.

The essential application of forming simulation is, as before, the analysis of material flow. The large number of combined hot/cold and warm/cold forming processes at Neumayer Tekfor Gruppe mostly makes it necessary for the forming simulation to be implemented over all the production steps. The use of the new Multiple-Operations function in DEFORM has been found to be highly useful. With this, an arbitrary series of forming, heating and cooling steps (Fig. 36) can be run as an interlinked simulation. With such interlinking, variants arising from modifications in previous production stages can be very efficiently analysed. After the alteration in the respective stage, the complete sequence is

simulated as an interlinked process using this function, without the user having to intervene.

As an extension of the pure material-flow analysis, the tracing of individual points or areas on the workpiece is an often-implemented application (Fig. 37). Using "Point Tracking", enables in particular harmful shear surfaces to be traced. Often an adaptation of the forming stage or the choice of a different diameter of billet enables this problem area to be moved to an uncritical position.

With the aid of Reverse Point
Tracking it is also possible to trace
back faults in the workpiece to their
origin in the raw material. In this way,
information on the type and position
of faults in the raw material can be
obtained

For the investigation of die stress, DEFORM allows the individual or fully-linked analysis of several elastic and plastic bodies. With this, a realistic analysis of die stress is possible throughout the entire forming process (Fig. 38). The absolute values obtained

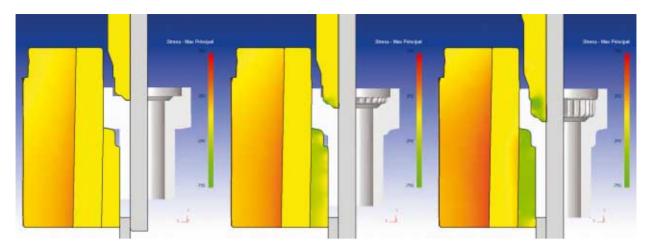


Bild 38: Untersuchung der Spannungen in einem Werkzeugaufbau während des gesamten Umformprozesses

Fig. 38: Investigation of stresses in tool configuration during whole forming process

Für die Untersuchung von Werkzeugbelastungen ermöglicht DEFORM neben der entkoppelten auch die voll gekoppelte Analyse mehrerer elastischer und plastischer Körper. Damit ist eine realistische Untersuchung von Werkzeugbeanspruchungen und -deformationen über den gesamten Umformprozess möglich (Bild 38). Die hierbei erhaltenen Absolutwerte sind zwar zumeist mit recht großen Unsicherheiten behaftet, die Lage der in der Simulation aufgefundenen Spannungsspitzen ist jedoch stets in sehr guter Übereinstimmung mit den tatsächlich vorliegenden Werkzeugbrüchen. Als zweckmäßiges Vorgehen hat sich daher der Vergleich einzelner Varianten und die anschließende Auswahl der Variante mit den geringsten Spannungsspitzen bewährt.

Neben der reinen Spannungsanalyse ist inzwischen auch eine Beurteilung von Werkzeugverschleiß mittels FEM-Umformsimulation möglich (Bild 39). Auch hierbei ist allerdings bisher nur eine relative Bewertung möglich, sodass diese Funktion im Wesentlichen zur Optimierung bereits bestehender Prozesse eingesetzt wird.

Neben den Standardverfahren wurden inzwischen auch inkrementelle Umformprozesse mittels DEFORM-3D untersucht (Bild 40). Bei Untersu-

chungen von Querkeilwalzprozessen konnten dabei sehr gute Übereinstimmungen zwischen Simulation und realem Prozess erzielt werden. Problematisch bleibt hierbei allerdings die recht lange Rechenzeit auf der z. Zt. verwendeten Hardware (Doppel-Xeon; 2 x 3,6 GHz).

Zukünftige Erwartungen

Aufgrund der wachsenden Zahl von Umformprozessen, die mittels Simulation bei der Neumayer Tekfor Gruppe untersucht werden und der immer bedienerfreundlicher werdenden Software, wird derzeit von der zentralen Simulations-Dienstleistung durch die New Form Tec auf eine weltweite Verfügbarkeit in den einzelnen Entwicklungsabteilungen der Gruppenmitglieder umgestellt. Um weiterhin eine optimale Auslastung der Software zu ermöglichen, werden hierfür weltweit zugängliche Floating-Lizenzen eingerichtet. Damit sind zukünftig die Mitarbeiter von Neumayer Tekfor in USA, Brasilien, Italien, Indien und Deutschland in der Lage, vor Ort ihre Prozesse zu untersuchen. Eine Verkürzung der teilweise recht langen Berechnungszeiten wird von einer zukünftigen DEFORM-Version erwartet, die auf verteilten Prozessoren (Cluster) rechnet.

Eine weitere Herausforderung für die Zukunft stellt die bessere Einbindung der Umformsimulation in den gesamten Entwicklungsprozess dar. Da derzeit sämtliche Werkzeuggeometrien als STL-Dateien aus dem CAD exportiert und dann manuell in die Simulation eingebaut werden, verursacht die eindeutige Zuordnung der jeweils untersuchten Varianten einen sehr großen Dokumentationsaufwand, bei dem immer die Gefahr besteht, dass sich Fehler einschleichen. Gleiches gilt für die aus der Simulation erhaltenen Ergebnisse, die zudem aufgrund der auftretenden Dateigrößen (teilweise mehrere GByte) schwierig zu handhaben sind. Für eine effizientere Auswertuna, insbesondere bei der Beurteiluna von Prozessvarianten, wäre weiterhin eine automatisierte Auswertung mit Hilfe einer Makrosprache, wie sie z. B. von Office-Anwendungen bekannt ist, sinnvoll.

Verbesserungen in der Vorhersagequalität von Umformsimulationen sind im Wesentlichen durch verbesserte Werkstoff- und Reibmodelle zu erwarten. Hierbei stellt sich allerdings das Problem weniger in der Umsetzung der komplexeren Modelle innerhalb der Software als vielmehr in der Ermittlung der material- und prozessspezifischen Parameter.

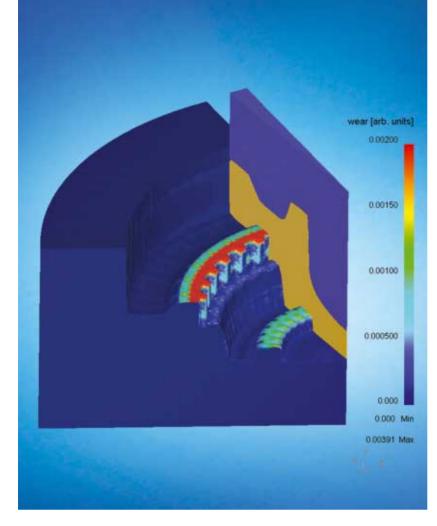


Bild 39: Verschleiß an einem Schmiedewerkzeug, ermittelt nach Usul

Fig. 39: Wear on forging tool, determined using Usul

are indeed full of great uncertainty but, however, the position of the peak stresses found by the simulation is always in very close agreement with actual tool failure. The comparison of several variants and the subsequent

choice of the variant with the lowest peak loading has proved to be a suitable method.

As well as pure stress analysis, an evaluation of tool wear has now become possible using FEM forming

> simulation (Fig. 39), Also here, only a relative evaluation is possible, so that this function is essentially used for the optimisation of existing processes. Alongside the standard methods. DEFORM-3D was also used to investigate incremental forming processes (Fig. 40). In the analysis of cross wedge rolling

Star Photos 123 120

Bild 40: Querkeilwalzen Fig. 40: Cross wedge rolling

processes, very good agreement between simulation and the actual process is achieved. The only problem is the rather long computing time with the hardware currently used (Dual-Xeon; 2 x 3,6 GHz).

Future expectations

Because of the increasing number of forming processes being analysed using simulation in the Neumayer Tekfor Group and the ever more user friendly software, the central simulation service currently offered by New Form Tec is being changed to give worldwide availability to the individual development departments. In order to allow an optimal exploitation of the software, world-wide floating licences are being set up. These will in future enable staff in Brazil, Germany, Italy, India and the USA to analyse their processes on the spot. A shortening of the sometimes rather long computing times at present is expected from a future DEFORM version, which will work using distributed processors (clusters).

A further challenge for the future will be the better embedding of the forming simulation into the total development process. As at the moment all tool geometries are exported form CAD systems as STL files and then manually inserted into the simulation, a clear allocation of the variant examined presents a considerable documentation effort, whereby there is always the danger of mistakes creeping in. The same is true for results from simulations, which are also difficult to handle, as a result of the size of the resulting files (sometimes several Gbyte). Furthermore, for efficient analysis, especially for the evaluation of process variants, an automatic evaluation with the aid of a macro language, as used for example in Office applications, would be a good idea.

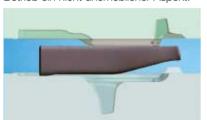
Improvements in the quality of prediction in forming simulations can be expected mainly from improved material and friction models. The problem arises here, however, less in the manipulation of the more complex models within the software than in the establishing of material- and process-specific parameters.

Siepmann-Werke GmbH & Co. KG

Die Systemeinführung

Nach 5 Jahren effektiver Nutzung von QFORM 2/3D können die Siepmann-Werke ein Resümee über die Funktionstüchtigkeit der Simulationssoftware bilden.

Der Einführung gingen intensive Systemvergleiche voraus. Die Entscheidung zu Gunsten QFORM wurde wegen des guten Preis/Leistungsverhältnisses getroffen. Für einen mittelständischen Betrieb ein nicht unerheblicher Aspekt.



Kunden eingesetzt werden.

Bekanntlich unterliegt der Umformprozess vielen, auch negativen, physikalischen Einflüssen. Um diesen zu begegnen, untersuchen wir bestehende Produkte nach Optimierungspotenzial, die Anzahl der Umformstufen steht hier im Blickfeld des Konstrukteurs, ebenso der Materialbedarf sowie erhöhter Werkzeugverschleiß.

QFORM ermöglicht auch das Bewerten des Temperaturgefälles innerhalb

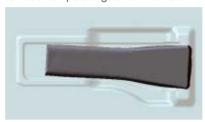


Bild 41: Längsschnitt durch Schmiedegesenk mit Rohling (links: Seitenansicht/rechts: Draufsicht) Fig. 41: Longitudinal cross-section of forging die with raw part (left: side view/right: top view)

Weiterhin überzeugte die benutzerfreundliche Bedienoberfläche sowie die schnelle Erlernbarkeit .

Die Nutzung erfolgt nicht in einem Berechnungsteam, sondern durch den jeweiligen Konstrukteur. Der Datentransfer von PRO-E nach QFORM bereitet keine Probleme. Alle Simulationsdaten werden zentral in einem Netzwerk gespeichert. Kurze Berechnungszeiten bei angemessener Genauigkeit sind bei 2D-Anwendungen gegeben. Die Software kann leicht an die betrieblichen Parameter angepasst werden. Anwenderwünsche bezüglich der Software werden durch QUANTORSOFT zügig erledigt.

Durch die Anwendung im Frühstadium eines Produkts sind die Weichen für eine optimale Werkzeug bzw. Prozessstruktur und damit zu einer realistischen Preisfindung gestellt.

Verschiedene gezielte Anwendungsbereiche und damit verbundene Erkenntnisse unterstützen technische Entscheidungen.

Einsatz des Systems

Im Rahmen der Angebotserstellung überprüfen wir mit Hilfe der Simulation Formanlage, Prozessstufen, Presskräfte, Füllverhalten und den Materialbedarf für ein Produkt. Bei Bedarf kann die Simulation auch überzeugend zur gemeinsamen Gestaltung von Bauteilen mit dem

eines oder mehrerer Umformprozesse. Die metallurgischen Anforderungen an das Teil werden durch Anpassen der Prozessstruktur eingehalten (Umformstufen, Nachwärmen).

Ein wesentlicher Vorteil bei Neuentwicklungen ergibt sich durch eingesparte Nullserien. Mit Hilfe der Simulation sind die Werkzeuge und Prozesse weitgehend serientauglich. Einfahrphasen an der Produktionsmaschine werden erheblich verkürzt.

Erfahrungen mit dem System

Das Formstück "Klammer" wird in Fahrsystemen der Personenbeförderung eingesetzt. Es handelt sich um ein sicherheitskritisches Bauteil, da es die Antriebseinheit in einer stabilen Lage stützt. Hohe mechanische Belastungen erfordern wegen des eingeschränkten Bauraums ein entsprechend hoch belastbares Schmiedestück.

Zum Verfahrensablauf gehören die Arbeitsschritte Erwärmung im Gasofen, Breiten des Vierkantrohlings unter einer Kurbelpresse, Fertigschmieden, Abgraten und Biegen.

Umformkritische Arbeitsgänge stellen sich im ersten Simulationsschritt wie folgt dar:

Breiten des Rohlings auf Formbreite der Fertiggravur im Gabelbereich. Beim Simulieren der Fertigschmiede zeigte sich ein dreiseitiger Staubedarf des Rohmaterials zur fließoptimierten Füllung der Gabel. In mehreren Schritten ist dann die optimale Dicke und die Längsposition des Rohlings ermittelt worden (Bild 41).

Da wegen der Fertigung auf einem Gegenschlaghammer der Verzicht auf eine Vorgravur angestrebt wurde, ist die korrekte Einlage des Rohlings entscheidend für ein fehlerfreies Produkt. Der Einfluss einer falschen Positionierung wurde ebenfalls optional untersucht.

Die Gabel im Bereich der Plattenanbindung zeigte wegen der Querschnittsdifferenz Fließfehler.

Mit Hilfe der QFORM Option "oberflächennahe Fließlinien" konnte der schwerwiegende Mangel durch Verschieben des Rohlings beseitigt werden. Das Horn an der sehr dünnen Klammerplatte ist ebenfalls eine umformtechnische Herausforderung. Die ursprünglich annähernd parallelen Flanken mit kleiner Anbindung an die Platte führten zu Füllfehlern am Hornkopf und Fließfehlern am Hornfuß (Bild 42). Eine schrittweise Hornfußerweiterung unter Beachtung des zur Verfügung stehenden Querschnitts führte auch hier mit Hilfe der Fließlinienanzeige zu einem fehlerfreien Bauteil (Bild 43).

Der erste Umformversuch entsprach weitgehend dem vorher mit QFORM optimierten Umformprozess. Die Einführung der Simulation führte zu erheblichen Einsparungen durch nicht erforderliche Umformversuche in Testreihen.

Zukünftige Erwartungen

Kostendruck sowie kurze Angebotsund Liefertermine erfordern zwingend den Einsatz einer Simulationssoftware. Der Aufwand, zu einem verwertbaren Ergebnis zu kommen, ist relativ gering. Die Ergebnisse und der damit verbundene Schulungsprozess unterstützen den Konstrukteur bei der optimalen Gestaltung von Massivumformteilen. Aus unserer Sicht sind noch Entwicklungen in folgende Richtungen wünschenswert: Die Reduzierung der Berechnungszeit bei 3D-Anwendungen, Erweiterung der Materialdatenbanken, Einfluss von Trennmitteln im Umformprozess (z. B. Sägemehl), Verschleißvorhersage an den Werkzeugen.

Siepmann-Werke GmbH & Co. KG

Introduction of the system

Having used the QFORM 2/3D system effectively for five years, the Siepmann-Werke can provide a summary on the efficiency of the functions of the simulation software.

The introduction was preceded by an intensive comparison of various systems. The decision in favour of QFORM was made on the basis of its good value for money, a not unimportant aspect for a medium size

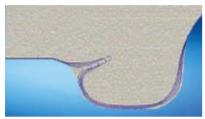


Bild 42: Füllfehler Fig. 42: Flow faults

company. Furthermore, we were convinced by its ergonomic user interface and ease of learning.

It was then used not in a calculation team but by the individual designers. Data transfer from PRO-E to QFORM presented no problems. All simulation data is centrally stored in a network. Short computing times with sufficient accuracy are provided by 2D applications. The software can be easily adapted to the operational parameters. User wishes concerning the software are dealt with speedily by QUANTORSOFT.

The application at an early stage of a product sets the points for an optimal tool and process structure and thus for realistic a price estimate.

Various applications directed at specific objectives and their associated findings support technical decision-making.

System application

In the course of preparing quotations we check, with the help of simulation, the shape, process stages, press forces, filling behaviour and materialrequirements for a product. If required, the simulation can also be used convincingly when jointly designing components with the customer.

As is well-known, the forming process is subject to many physical influences, some negative. To counter these, we analyse the existing product for optimisation potential: the number of forming steps are looked at by the designer, just as are material requirements and increased tool wear.

QFORM makes possible the evaluation of the temperature gradient within one or more forming processes. The metallurgical requirements on the



Bild 43: Hammerschmieden, Schlag 5; rechts: Gebogenes, optimiertes Endprodukt Fig. 43: Hammer-forging, blow 5, right: optimised finished product after bending operation

component are maintained by adapting the process structure (forming stages, reheating).

An essential advantage in new developments results from the saving of preseries production. With the help of simulation, the tools and processes are largely ready for series production. Running-in phases on the production machinery are considerably shortened.

Experience with the system

The forging product "clamp plate" is used in tramways. It is a safety-critical part, because it holds the drive unit in a stable position. Because of the limited space available, the high mechanical loads require a forged component able to meet such requirements.

The production process consists of the operations heating in a gas furnace, upsetting of the square billet under a crank press, finish-forging, trimming and bending.

Critical forming stages appear in the first simulation as follows:
Upsetting of the billet to the width of the finishing die in the fork area. During simulation of the finish forging, raw material was required on three sides for a flow-optimised filling of the fork. In several stages, the optimal thickness and the longitudinal position of the blank was then established (Fig. 41).
Because manufacture on the

counterblow hammer meant that preforming in a die should be avoided, the correct positioning of the preformed part is decisive for a fault-free product. The influence of false positioning was also investigated as an option.

Because of the differences in section, the fork showed flow faults in the area where it joins the clamp plate. With the aid of the QFORM option "subsurface flow-lines" this serious fault could be rectified by moving the preform. The horn on the very thin clamp plate is also a technological

challenge in forming. The originally almost parallel flanks with only a small connection to the plate led to filling faults at the top end of the horn and flow faults in the horn foot (Fig. 42). A step-by-step widening of the horn foot while paying attention to the available section led here too, with the aid of undersurface flow lines, to a fault-free component (Fig. 43).

The first forging attempt was largely in accordance with the forging process as previously optimised using QFORM. The introduction of simulation led to considerable savings because forming test series were not necessary.

Future expectations

Pressure of costs and short order and delivery lead times make the use of simulation software absolutely necessary. The effort needed to come to a usable result is relatively small. These results, and the learning process involved, support the designer in the optimal configuration of forged and formed components.

From our point of view we see developments in the following directions as desirable: reduction of the computing time in 3D applications, extension of material databases, influence of separating media (e. g. sawdust) in the forming process, wear prediction for dies.

Forschungsprojekte

Die Unternehmen der Massivumformung stützen sich bei der Einführung und Entwicklung innovativer Technologien und Produkte auf die bewährte Kooperation mit kompetenten Forschungs- und Hochschulpartnern. Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die kürzlich abgeschlossenen, laufenden und geplanten Forschungsprojekte auf dem Gebiet der Simulation.

Titel	Ziel	Institut/Hochschule	Laufzeit
Gekoppelte Simulation von Massivumformprozess und Maschine	Verbesserte Vorhersage des Umform- pozesses durch Einbeziehung des Maschinenverhaltens	Laboratorium für Werkzeug- maschinen und Betriebslehre der RWTH Aachen WZL	01.12.2004 bis 30.11.2006
Entwicklung einer Optimierungs- strategie zur Auslegung von Umformwerkzeugen (Konstruk- tionsparameter)	Kompensation der elastischen Deformation zur Optimierung der Gesenkkontur mit Hilfe eines Korrekturalgorithmus bei der Warm- und Halbwarmumformung	Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse Professur Fertigungstechnik / Umformverfahren TU Chemnitz	01.11.2003 bis 31.10.2005
Halbwarm-Präzisionsschmieden eines Pleuels mit offenem Steg	Entwicklung kostengünstiger "near-net- shape" Schmiedetechnologien	Fraunhofer Institut Werkzeug- maschinen und Umformtechnik (IWU) Chemnitz	01.10.2003 bis 30.09.2005
Vorhersage des Verschleißes und der Rissbildung mit Hilfe der FEM bei Gesenkschmiedewerkzeugen	Algorithmus zur quantitativen Vorhersage des zu erwartenden Verschleißes und der Rissbildung	Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Hannover	01.08.2003 bis 31.07.2005
FEM in Schmieden (Optimierte Anwendung der Finite-Elemente- Methode in der Schmiedepro- zessauslegung)	Optimale Parametersätze für gängige Simulationssysteme mit Schwerpunkt auf Reibungs- und Wärmeübergangs- modellierung	Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen und Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH (IPH)	01.05.2002 bis 31.01.2004
Rückwärtssimulation von Massiv- umformprozessen zur schnellen Auslegung der Stadienfolge	Simulationswerkzeug zur schnelleren Auslegung der Stadienfolge, ausgehend von der Fertigteilkontur	Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Hannover	1.01.2002 bis 29.02.2004
Studie: Standardisierung von Fließkurven	Vereinheitlichung und Anpassung der Prüfbedingungen an die Erfordernisse der Massivumformung	CPM Gesellschaft für Computeranwendung Prozeß- und Materialtechnik mbH, Aachen	geplant
Schmiedemodellierung AFP (neue Fließspannungsberechnung zur FEM)	Simulation der Gefüge- und Eigenschafts- kennwerte für Schmiedeteile aus AFP- Stählen	Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH (MPIE)	geplant

Tabelle 4: Forschungsprojekte im Bereich der Simulation

Research projects

The companies in the forging industry are supported in their introduction and development of innovative technologies by successful co-operation with competent research and university partners. The following table gives an overview of recently completed, on-going and planned research projects in the area of simulation.

Title	Objective	Institute/University	Duration
Coupled simulation of forming process and machine	Improved prediction of forming process by including machine behaviour	Laboratorium für Werkzeug- maschinen und Betriebslehre der RWTH Aachen WZL	01.12.2004 to 30.11.2006
Development of optimisation strategy for design of forging dies (design parameters)	Compensation for elastic deformation for optimisation of die contour with help of correction algorithm for hot and warm forging	Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse Professur Fertigungstechnik / Umformverfahren TU Chemnitz	01.11.2003 to 31.10.2005
Warm precision forging of con-rod with open web	Development of more economical "near-net-shape" forging technologies	Fraunhofer Institut Werkzeug- maschinen und Umformtechnik (IWU) Chemnitz	01.10.2003 to 30.09.2005
Prediction of wear and crack for forging dies using FEM	Algorithm for quantitative prediction of expected wear and crack formation	Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Hannover	01.08.2003 to 31.07.2005
FEM in forging (optimised application of finite element methods in process layouts for forging)	Optimised parameter sets for common simulation systems with emphasis on friction and heat transfer modelling	Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen und Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH (IPH)	01.05.2002 to 31.01.2004
Reverse simulation of massive forming processes for quick layout of forging sequences	Simulation tool for faster layout of forging sequences, starting with contour of finished part	Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Hannover	1.01.2002 to 29.02.2004
Study: standardisation of flow stress graphs	Unification and adaptation of test conditions to requirements of forging	CPM Gesellschaft für Computeranwendung Prozeß- und Materialtechnik mbH, Aachen	planned
Advanced AFP material data (new flow stress calculation for FEM applications)	Simulation of grain-structure and property values for forgings in AFP- steels	Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH (MPIE)	planned

Table 4: Research projects in the simulation field

Zusammenfassung / Ausblick

Die Simulation hat in den letzten Jahren aufgrund der rasanten Entwicklung auf der Hardware- sowie auf der Software-Seite 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 zahlt sich der Einsatz der Simulation über die Erfahrung, die man mit der Software sammeln muss, erst im Mittelfristbereich, dafür aber nachweislich aus.

Bei künftigen Entwicklungen sollte neben der Funktionserweiterung und Steigerung der Simulationsgüte auch die Integration der FEM-Umformsimulation in die CAD-Landschaft noch 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. Eine engere Kopplung an das CAD-System könnte die Verwendung und die Durchführung einer Simulationsuntersuchung nochmals wesentlich erleichtern, und somit die Verbreitung und Genauigkeit nochmals steigern.

Der heute praktizierte Datenaustausch, der üblicherweise über die neutrale Schnittstelle STL 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 die Untersuchung der Umformung, konzentrieren kann.

Hat man sich in der Vergangenheit mehr oder weniger mit der Analyse der einzelnen Stufen einer Stadienfolge befasst, so werden mehr und mehr komplette Prozessketten simuliert. Das bedeutet, es werden alle qualitätsrelevanten Fertigungsstufen einschließlich Trennoperationen, Transportvorgänge (Abkühlung), Abgraten/Lochen, Wärmebehandlung einer entsprechenden Betrachtung unterzogen und deren Einfluss auf das Gesamtergebnis bestimmt.

Eine weitere Qualitätssteigerung ist die schon mögliche gekoppelte Simulation von Werkstück und Werkzeug. Erst diese Vorgehensweise ermöglicht, bezogen auf die tatsächliche Werkzeugbelastung, auch in quantitativer Hinsicht eine immer realitätsnähere Vorhersage des Umformergebnisses. Die flächendeckende Anwendung wird momentan lediglich durch die begrenzte Performance der Systeme gebremst. Clusterfähige Lösungen sind eine Voraussetzung für den Einsatz gekoppelter Simulationen.

Darüber hinaus wird der ganzheitliche Simulationsansatz in den Fokus der Anwender rücken, was momentan noch Schwerpunkt akademischer Untersuchungen ist. Er bezieht zusätzlich das Maschinenverhalten und die Evolution der Gefügeentwicklung respektive der Fließspannungen mit in die Berechnungen ein.

Ziel ist es, anhand der über den gesamten Herstellprozess simulierten Eigenschaften Vorhersagen zum Verhalten des Bauteils unter Betriebsbedingungen zu treffen. Die Vision ist es, auch ohne teure Prüfstandsversuche bzw. bereits in einer sehr frühen Phase der Entwicklung verlässliche Aussagen über das Massivumformteil zu bekommen.

Um diese Vision zu erreichen, bedarf es der gemeinsamen Anstrengung der Softwareanbieter, Anwender und Forschungseinrichtungen.

Bildquellen

Bilder 1 bis 6: CDP Bharat Forge GmbH
Bilder 7 bis 10: Hatebur Umformmaschinen AG
Bilder 11 bis 14 und 17: Hirschvogel Automotive Group

Bild 15: Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, Chemnitz
Bild 16: Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre, RWTH Aachen

Bilder 18 bis 21: Leistritz Turbinenkomponenten Remscheid GmbH

Bilder 22 bis 26: ThyssenKrupp Gerlach GmbH

Bilder 27 bis 30: ThyssenKrupp Präzisionsschmiede GmbH

Bilder 31 bis 35: Otto Fuchs KG

Bilder 36 bis 40: Neumaver Tekfor Gruppe

Bilder 41 bis 43: Siepmann-Werke GmbH & Co. KG

Tabellen 1 bis 3: CDP Bharat Forge GmbH

Tabelle 4: Industrieverband Massivumformung e. V.

Summary/Outlook

Simulation has become a highly valued process in recent years as a result of rapid developments on both hardware and software sides. In particular for forging and forming companies involved in the production of high-technology products, the use of these software tools has become an essential competitive factor. More and more customers, especially automotive companies, are writing system application into their specifications, because this means is a very good way of countering the increasing cost pressure. It cannot however be assumed that, shortly after introducing a simulation system, an optimal use of the system can already be reckoned with. Rather, the use of simulation pays off, via the experience which one needs to gather with the software, only in the medium term, but then demonstrabably.

Future developments should, along with the extension of functions and the increase in the quality of the simulations, take the integration of FEM forming simulations into the CAD landscape more strongly into consideration. The continually increasing number of users, particularly of those in design groups, stipulates the best possible interlinking with the CAD model, so as to keep the documentation and conversion effort to a minimum. Closer linking to the CAD system could further substantially ease the use and implementation of

simulation analyses, thus increasing their dissemination and accuracy yet again.

Data exchange as practised today, usually via the neutral interface STL, does not fulfil this requirement.
Furthermore, this approach conceals further sources of error and causes a loss of accuracy, caused by the facetted description of the geometry. The degree of detail of the geometry used must also often be reduced in order to achieve a "computable model". This effort needs to be minimised in future, so that the designer can concentrate on the essential aspects of development, namely the analysis of the forming process.

Where in the past the analysis of the individual stages of a process was mostly involved, now more and more complete process sequences are being simulated. This means that all quality-relevant production stages, including cutting-off operations, transport (cooling), trimming and hole-punching, and heat treatment are being taken into consideration and their influence on the whole process determined.

A further improvement in quality is the linked simulation of workpiece and die, which is already possible. Only this approach is making it possible to achieve a quantitative prediction of the forming result which is ever closer to reality with respect to the actual tool loads. A full application of the system is

curbed only by its limited performance. Cluster-capable solutions are a prerequisite for the employment of linked simulations.

Furthermore, integral simulation application, which is at the moment still the main emphasis of academic investigations, will move into the focus of the user. It brings the factors machine behaviour and evolution of grain size and flow stress into the calculation.

The goal is, on the basis of the simulated characteristics of the entire manufacturing process, to make predictions about the behaviour of the component under operating conditions. The vision is to achieve reliable statements about forged parts without expensive test rigs and at an early stage of development.

To achieve this vision, the combined efforts of software houses, users and research institutions are required.

Image sources

Figs 1 to 6: CDP Bharat Forge GmbH
Figs 7 to 10: Hatebur Umformmaschinen AG
Figs 11 to 14 and 17: Hirschvogel Automotive Group

Fig 15: Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, Chemnitz
Fig 16: Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre, RWTH Aachen

Figs 18 to 21: Leistritz Turbinenkomponenten Remscheid GmbH

Figs 22 to 26: ThyssenKrupp Gerlach GmbH

Figs 27 to 30: ThyssenKrupp Präzisionsschmiede GmbH

Figs 31 to 35: Otto Fuchs KG

Figs 36 to 40: Neumayer Tekfor Gruppe

Figs 41 to 43: Siepmann-Werke GmbH & Co. KG

Tables 1 to 3: CDP Bharat Forge GmbH

Table 4: Industrieverband Massivumformung e. V.



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 3-928726-21-8

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

Stand: Februar 2006 Ei-Si-0206-40 DOM