

# Umformsimulation führt zusammen mit innovativen Erwärmerkonzepten zu mehr Energieeffizienz

Forming simulation + innovative heater concepts = greater energy-efficiency

Michael Wohlmuth, Hendrik Schafstall

Innovative Erwärmungsstrategien auf der Basis von Multi-Umrichter-Anlagen ermöglichen eine robuste, energieeffiziente Prozessführung in der Schmiedeindustrie. Die Berücksichtigung dieser fortschrittlichen Konzepte in der Simulationslösung Simufact.forming führt zu einer deutlichen Qualitätssteigerung der Simulationsergebnisse. Durch die Kopplung beider Technologien gibt es im Rahmen der Prozessoptimierung neue Möglichkeiten, die Fertigung ressourcenschonend und dennoch robust und fehlerfrei auszulegen.

Innovative heating strategies based on multi-converter-systems allow a robust and energy efficient process control for hot forging processes. Taking into account these state of the art concepts in Simufact.forming, a software solution for metal forming process simulation, leads to significant quality improvement in terms of simulation results. Undreamed-of possibilities open up due to the coupling of those two technologies to design optimized manufacturing processes robust and faultless.

## Einleitung

Bei der Simulation von Schmiedeprozessen wird üblicherweise von einem gleichmäßig erwärmten Schmiedeblock ausgegangen. Die homogene Temperatur, die der Anwender vorgibt, entspricht im Allgemeinen der theoretischen Ofentemperatur. Ungeachtet dieser von der Realität abweichenden Vorgehensweise ist hinlänglich bekannt, dass die Ausgangstemperatur, die Temperaturverteilung und die Temperaturführung im Schmiedeprozess einen signifikanten Einfluss auf das Schmiederesultat und die Qualität des finalen Bauteiles haben können. Bislang gab es keine andere Möglichkeit, als so zu verfahren und die bekannten Unzulänglichkeiten billigend in Kauf zu nehmen. Basierend auf dem Programm THERMPROF aus dem Hause ABP und die Anbindung an die Simulationslösung Simufact.forming ist nun die Möglichkeit

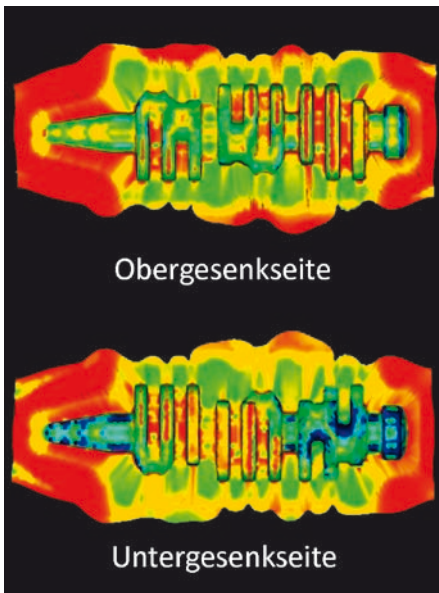
gegeben, mit wesentlich realistischeren Ausgangsparametern zu deutlich besseren Simulationsergebnissen in der Schmiedesimulation zu gelangen.

In der Vergangenheit wurde die Schmiedesimulation lediglich als Werkzeug der Stoffflussanalyse wahrgenommen. Mittlerweile ist sie zu einem probaten Mittel für die umfassende Betrachtung des Fertigungsprozesses geworden. Energieeffizienz und Energieeinsatz spielen hier eine besondere Rolle, wobei die vielfältigen Abhängigkeiten zwischen aufgebrauchter Energie und relevanten Prozessparametern zu beachten sind. Aber auch die Frage, mit wie vielen Operationen ein Schmiedeprozess auszulegen oder ob ggf. eine Zwischenerwärmung erforderlich ist, hat Auswirkungen auf die Gesamt-Energiebilanz. In einer ganzheitlichen Analyse sollte darüber hinaus auch der erforderliche Materialein-

satz, d. h. der Gratabfall und der Ausschuss, betrachtet werden sowie der Gesamtaufwand in der Prozessentwicklung mit all seinen Probeschmiedungen und Fehlversuchen.

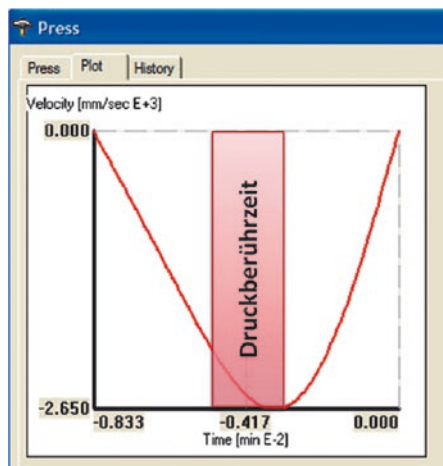
## Umfassende Berücksichtigung der Thermodynamik in der Schmiedesimulation

Für die realitätsnahe Wiedergabe der Temperatur- und Energiesituation in der Schmiedesimulation ist es erforderlich, die gesamte Thermodynamik des Prozesses korrekt abzubilden [1]. Das beginnt mit der Vorgabe der Ausgangstemperatur, die das Werkstück nach Verlassen des Erwärmers hat. Üblicherweise wird hier eine homogene Temperaturverteilung angenommen. Praxisgerechter ist jedoch die Vorgabe der realistischen Temperaturverteilung, wie sie vom Software-Paket THERMPROF zur Verfügung gestellt wird [2]. Für die anschließende Verarbeitung der erwärmten Blöcke wird mit dem Simulationsprogramm zunächst der Wärmeverlust an die Umgebung durch Konvektion und Strahlung berechnet. Wichtig ist hierbei, dass sämtliche Transport- und Liegezeiten in der Simulation mit berücksichtigt werden. Im weiteren Prozessverlauf wird der Wärmeübergang zwischen dem Schmiedegut und den Gesenken berechnet. Im Standardfall werden hier die Werkzeuge mit einer konstanten, stationären Werkzeugtemperatur angenommen, bei Bedarf kann der Anwender von Simufact.forming die Werkzeuge auch wärmeleitend modellieren, so dass Temperaturgradienten in den Gesenken sowie der Wärmeabfluss von



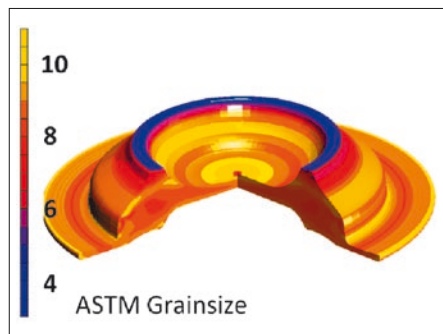
**Bild 1:** Temperaturverteilung nach dem Schmieden einer Kurbelwelle

**Fig. 1:** Temperature distribution after forging of a crankshaft



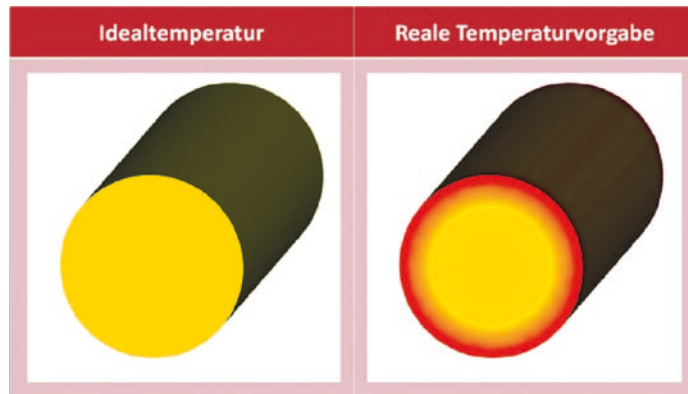
**Bild 2:** Druckberührzeit beim Schmieden mit einer Maxipresse

**Fig. 2:** Contact pressure time while forging with a crank press



**Bild 3:** Korngrößenermittlung durch Gefügesimulation

**Fig. 3:** Grain size prediction by microstructure simulation



**Bild 4:** Temperaturprofil im Abschnitt eines Schmiedeteils

**Fig. 4:** Ingot temperature profile of a forging billet

den Werkzeugen an die Umgebung Berücksichtigung finden.

Darüber hinaus hat schließlich die dissipierte Umformenergie einen großen Einfluss auf den Ablauf des Schmiedeprozesses. Eindrucksvoll kann anhand der Simulationsergebnisse immer wieder der Temperaturanstieg aufgrund der eingebrachten Umformenergie in Abhängigkeit zum lokalen, inhomogenen Umformgrad studiert werden. **Bild 1** zeigt die Temperaturverteilung am Ende des Schmiedens einer Kurbelwelle. Deutlich sind die tieferen Temperaturen zum Untergesenk hin zu erkennen, die dadurch zu erklären sind, dass die Gesenkberührzeiten im Untergesenk wesentlich länger sind als die Kontaktzeiten zum Obergesenk.

Dieses Beispiel zeigt plakativ, welche Bedeutung die Prozesskinematik für die Temperaturführung und damit für die Energiebilanz eines Umformprozesses hat. Aus der Praxis ist hinlänglich bekannt, dass es einen großen Unterschied macht, ob ein Prozess auf einem Hammer, einer Spindelpresse, einer Maxipresse oder einem hydraulischen Aggregat gefahren wird. Eine wesentliche Rolle spielt hier die bereits erwähnte Druckberührzeit, die bei den unterschiedlichen Maschinen deutlich voneinander abweicht. In **Bild 2** ist die Druckberührzeit einer Maxipresse exemplarisch dargestellt.

In enger Abhängigkeit zur Maschinenkinematik bzw. allgemein zur Prozessgeschwindigkeit stehen die Eigenschaften der relevanten Materialparameter. Der Fließwiderstand eines Materials ist eine Funktion der Temperatur und somit unmittelbar an die Werkzeuggeschwindigkeit gekoppelt. Er hat wiederum eine deutliche Auswirkung auf den Kraft- und Energiebedarf.

Die Bedeutung der korrekten Temperatur- und Energieberechnung wird nochmals aufgrund ihres Einflusses auf wichtige Prozessgrößen sichtbar. Der Werkzeugverschleiß ist unmittelbar von der Kontakttemperatur abhängig, ebenso die Reibung und das gesamte tribologische Verhalten. Die Gefügeausbildung, ob Korngröße oder Phasenverteilung, (**Bild 3**) wird ebenfalls durch das Temperatur-Zeit-Verhalten beeinflusst und letztendlich gilt dies auch für Umformfehler und Fließverhalten, Prozesssicherheit und Robustheit sowie Eigenspannungen und Bauteilverzug.

### Temperatureinfluss auf das Schmiedeergebnis

An einem realen Beispiel soll der Einfluss der Temperatur sowie der Temperaturverteilung dargestellt werden. Es handelt sich um eine Zugöse, die in zwei Schmiedeoperationen und anschließendem Abgraten sowie Lochen hergestellt wird. Das Material ist ein Vergütungsstahl C45 bei einer nominellen Schmiedetemperatur von 1260° C. Untersucht wurden die Fälle einer homogenen Ausgangstemperatur und eines realitätsnahen inhomogenen Temperaturprofils (**Bild 4**). Bei der Studie wurden zwei unterschiedliche Schmiedeaggregate zugrunde gelegt: zum einen ein schneller Hammer mit einer Auftreffgeschwindigkeit von ca. 5 m/s und zum anderen eine langsame hydraulische Presse mit einer nahezu konstanten Geschwindigkeit von 40 mm/s. Das Ergebnis zeigt, dass im Fall des schnellen Aggregates, bei dem nicht genügend Zeit zur Verfügung steht, einen Temperaturengleich innerhalb des Schmiedeteiles sicherzustellen, die Simulation einen über 20% höheren Energiebedarf aus-

weist (Bild 5). Das führt in der Simulation zu etwa 7 1/2 Hammerschlägen, ein Ergebnis, das auch von der realen Schmiedung bestätigt wurde. Die Simulation mit einer theoretischen, ideal homogenen Temperaturverteilung „gaukelt“ hingegen einen deutlich geringeren Energiebedarf und somit auch einen Hammerschlag weniger vor. Im Falle der hydraulischen Presse tritt dieser Effekt nicht auf, da es bedingt durch die lange Prozesszeit über einen Temperatureausgleich zu einem sehr homogenen Temperaturbild kommt.

Ein weiteres Kriterium ist der Materialfluss, der letztendlich über einen fehlerfreien Schmiedevorgang entscheidet. In Bild 6 ist deutlich zu erkennen, dass sich die Fehleranzeige in Form von einer Unterfüllung bei der Vorgabe einer realen Temperaturverteilung wesentlich ausgeprägter darstellt als im Fall einer üblicherweise angenommenen Idealtemperatur, im Bild links zu sehen. Auch hier deckt sich dieses Ergebnis mit den Erkenntnissen aus dem realen Prozess, der bei den zu Grunde gelegten Prozessparametern eine deutliche Unterfüllung an der gleichen Stelle aufweist.

Die Erkenntnisse aus dieser Studie sind zweierlei:

Es konnte erstens nachgewiesen werden, dass die Simulation sehr wohl mit realitätsnahen Eingangsparametern, wie z. B. dem tatsächlichen Temperaturprofil, aufgebaut werden muss um auch qualitativ hochwertige, realistische Ergebnisse zu liefern.

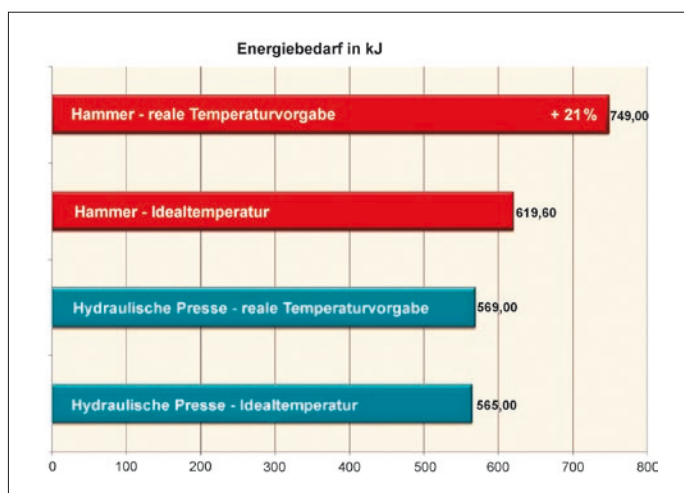
Zweitens – und das ist eine Erkenntnis für den Prozess-Technologen – zeigt die Studie, dass mit der „Stellschraube“ Temperatur und Energie ein Umformprozess teilweise in engen Grenzen sowohl zum Guten als auch zum Schlechten hin gelenkt werden kann. Die Forderung nach einer maßgeschneiderten, individuellen Erwärmungsstrategie, aber auch nach einer Simulationstechnologie, die diese Prozessverhältnisse exakt abbildet, liegt auf der Hand.

## Umsetzung der Anlagen-Simulations-Kopplung

Seitens der Prozesstechnik wird diese Forderung durch das innovative Multi-Umrichter Konzept aus dem Hause ABP realisiert [2]. Diese Anlagen ermöglichen es, jede Spule bzw. jeden Umrich-

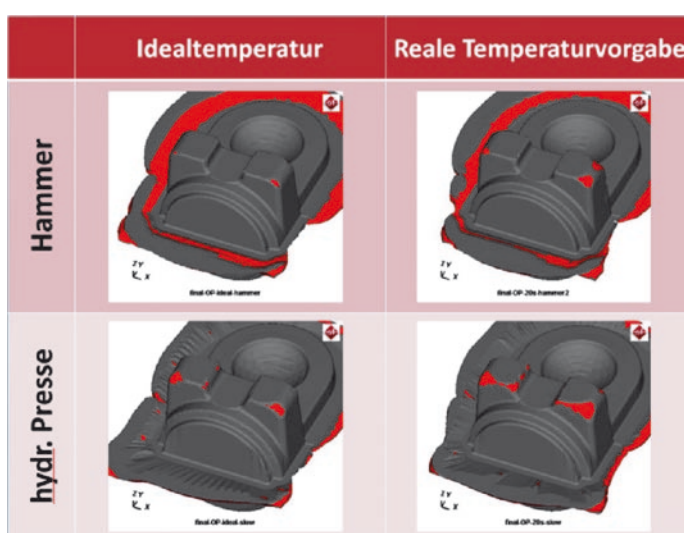
**Bild 5:** Energiebedarf im Vergleich

**Fig. 5:** Comparison of required energy



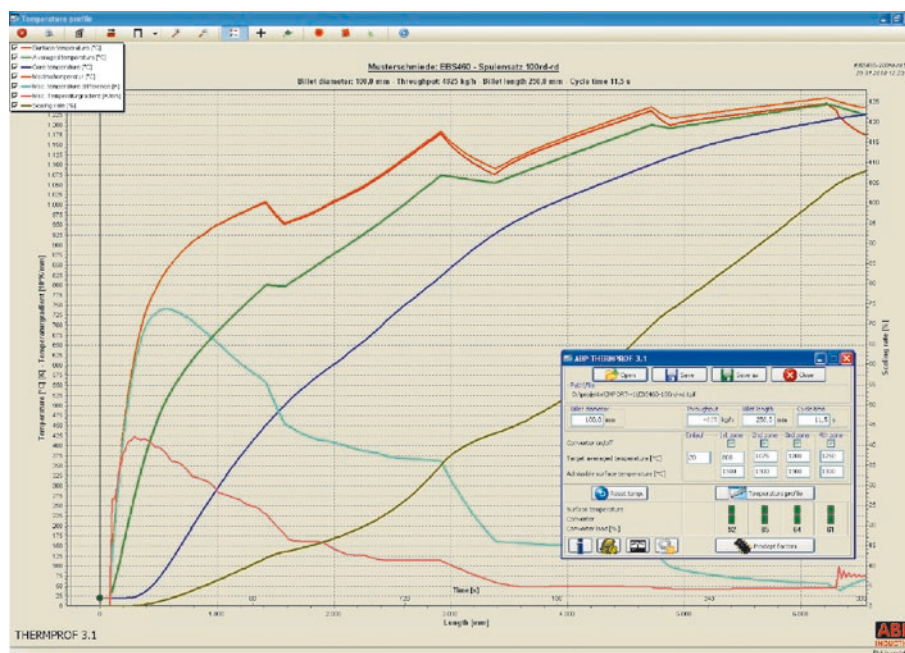
**Bild 6:** Umformfehler im Vergleich

**Fig. 6:** Comparison of forging fault



**Bild 7:** Temperaturberechnung in THERMPROF

**Fig. 7:** Temperature calculation within THERMPROF



ter individuell steuern zu können. Dadurch kann prozessspezifisch eine individuelle, energieoptimierte Heizstrategie gefahren werden. Das Softwaretool THERMPROF ist dafür ausgelegt, die optimalen Parameter für die Umrichter zu finden und die enthalpiegesteuerte Zonenerwärmung, die sich einstellen wird, im Voraus zu berechnen und zu visualisieren (**Bild 7**). Dadurch kann die Schmiedeguterwärmung ohne zeit- und kostenintensive Versuche im Vorfeld optimiert und auf den Schmiedeprozess in Abhängigkeit von den gewünschten Blockabmessungen, dem geforderten Durchsatz oder der Taktzeit eingestellt werden.

Das berechnete – und letztlich auch innerhalb der Induktionsanlagen realisierte – Temperaturprofil kann über eine Datenschnittstelle als Ausgangsbedingung an Simufact.forming übergeben werden [3]. Mit diesen Vorgaben kann die Schmiedesimulation den Umformprozess berechnen und auf Umformfehler, Prozesssicherheit und erforderliche Kraft hin untersuchen. Sollte das geforderte Resultat nicht erzielt werden können, so

besteht die Möglichkeit, durch Modifikation der veränderlichen Prozessparameter – z. B. der Schmiedeguterwärmung – Varianten zu studieren, um so über eine „virtuelle Erprobung“ zu einem optimierten Fertigungsprozess zu gelangen.

## Fazit

Basierend auf den realen Temperaturprofilen ist die Prozesssimulation in der Lage genaue Ergebnisse zu liefern. Diese Vorgehensweise erlaubt es im Vorfeld einer realen Fertigung den Gesamtprozess virtuell zu analysieren und zu optimieren. Das Resultat ist ein energieeffizienter, robuster und fehlerfreier Schmiedeprozess, der durch die computergestützte Entwicklung (Virtual Engineering) in kürzester Zeit in Serie gehen kann. Die Kopplung innovativer Anlagenkonzepte wie der Multi-Umrichter-Technologie mit leistungsstarken Simulationswerkzeugen ist ein wichtiger Schritt in die Richtung eines wettbewerbsfähigen, kosten- und energiebewussten Engineerings.

## Literatur

- [1] Wohlmuth, M.: Energieeinsparung durch verstärkten Einsatz von Umformsimulation, ABP Kundentag 2009, Dortmund, 30.09.–02.10.2009
- [2] Walther, A., Thus, A.: Innovative Zonenerwärmung mittels Multiumrichter-konzept, elektrowärme international (2006) 2, S. 86–89
- [3] Buijk, A.: Accounting for Heat in Hot-Forging Process Design, Forging Magazine 21 (2010) 1, S. 12–13

### Michael Wohlmuth

simufact engineering gmbh,  
Hamburg

Tel.: 040 790162-0  
E-Mail: info@simufact.de



### Dr. Hendrik Schafstall

simufact engineering gmbh,  
Hamburg

Tel.: 040 790162-0  
E-Mail: info@simufact.de



## 1. Praxistagung



# Energieeffizientes Induktives SCHMELZEN

29.+30.06.2010, Essen, Intercity Hotel  
[www.energieeffizienz-thermoprozess.de](http://www.energieeffizienz-thermoprozess.de)

### Termin:

- Dienstag, **29.06.2010**,  
Veranstaltung (10:00 – 17:00 Uhr)  
Abendveranstaltung ab 19:00 Uhr
- Mittwoch, **30.06.2010**,  
Veranstaltung (09:00 – 14:00 Uhr)

### Ort:

Essen, Intercity Hotel, [www.intercityhotel.com](http://www.intercityhotel.com)

### Zielgruppe:

Betreiber, Planer und Anlagenbauer von Schmelzanlagen in den Eisen-, Stahl-, Nichteisen-Gießereien und -Halbzeugwerken.

### Veranstalter

elektro  
wärme  
international  
Zentrum für elektrotechnische Prozesse

ETP Institut für Elektroprozess-technik  
f. e. i. l. o. p. a. Leibniz-Universität Hannover

Mehr Information und Online-Anmeldung unter [www.energieeffizienz-thermoprozess.de](http://www.energieeffizienz-thermoprozess.de)

