

BLECH

Herstellen und Verarbeiten von Band, Blech, Rohren und Profilen

ROHRE PROFILE

**METAV 98 – Querschnitt
der Fertigungstechnik**

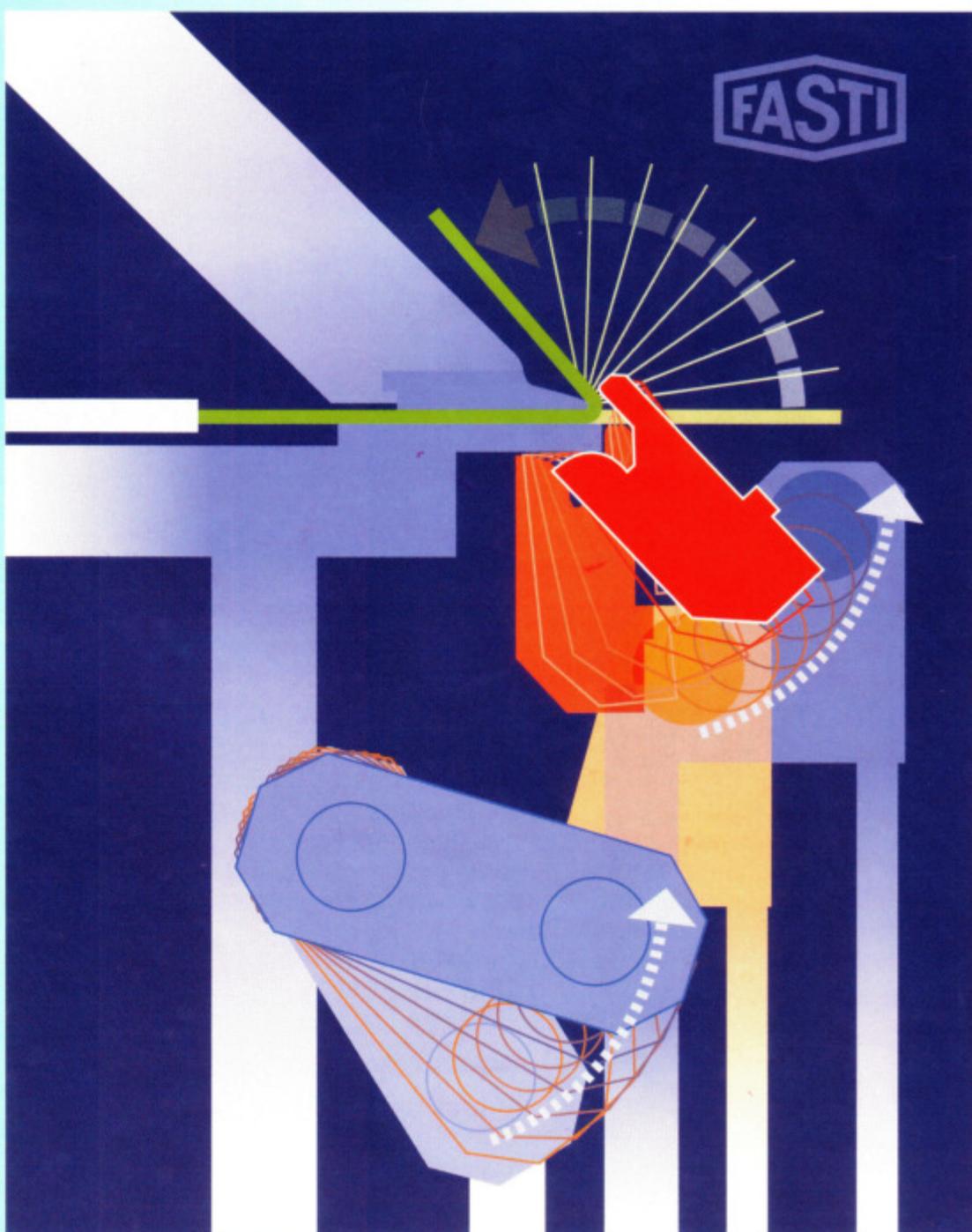
**Konstruktionsprinzipien
einer schnellaufenden
mechanischen
Präzisionspresse**

**CAT 98 – Know-how für
die Produktentwicklung**

**Rationelle
Ähnlichteilsuche in der
Fertigungstechnik**

**Der Weg zur verkürzten
Entwicklungs-
prozeßkette**

**Genauigkeit im
Preßwerk – Teil I:
Der überwachte Prozeß**



Genauigkeit im Preßwerk – Teil I:

Der überwachte Prozeß

Eckart Doege, Holger Hütte, André Kröff, Wolfgang Strache

Mit der Automatisierung und höheren Qualitätsansprüchen wachsen die Anforderungen an die Genauigkeit der im Preßwerk produzierten Teile. Zukünftige Lösungsansätze basieren auf der kontinuierlichen Überwachung des Preßvorgangs und aller relevanten Eingangsgrößen. Der Überwachungsaufwand läßt sich durch Kenngrößen verringern. Die Prozeßüberwachung und die Prozeßsimulation sind die Grundlage für den geregelten Prozeß, der im zweiten Teil des Artikels (BLECH ROHRE PROFILE 7/8 1998) behandelt wird.

In den Preßwerken konnten in den letzten Jahrzehnten erhebliche Produktivitäts- und Qualitätssteigerungen erzielt werden. Die Ansprüche an den Fertigungsprozeß werden z.B. durch die Einführung des Plattformprinzips in der Automobilindustrie weiter steigen. Für die hier eingesetzte automatisierte Fügechnik sind formgenaue Blecheinzelteile eine Voraussetzung. Da der Karosseriebau somit zunehmend dem Anspruch eines Fein- bzw. Präzisionsbaus gerecht werden muß, kommt der Genauigkeit der produzierten Blecheinzelteile eine Schlüsselfunktion zu.

Innerhalb des Preßwerks lassen sich sechs Einflußgrößen auf die Ge-

nauigkeit der Blechteile definieren (Bild 1). Dazu gehören prozeßexterne Einflüsse wie der Blechwerkstoff und die Schmierung sowie die Peripherie und der Mensch. Ein komplexes System stellt insbesondere das Zusammenspiel von Umformwerkzeug und Maschine dar.

Gegenwärtig erfolgt die Kontrolle der Eingangsgrößen und der prozeßinternen Parameter, wie z.B. der Stößelkippung, off-line und nicht kontinuierlich. Die Einstellung der Prozesse sowie deren manuelle Korrektur basieren weitgehend auf Erfahrungswissen, so daß die Maschineneinstellgrößen iterativ optimiert werden. Um eine hohe Prozeß-

sicherheit zu realisieren und damit Teile höchster Qualität produzieren zu können, ist es zwingend erforderlich, alle prozeßrelevanten Parameter on-line zu erfassen und über Regelkreise korrigierend auf den Prozeß einzuwirken. Als übergeordnetes Ziel muß eine automatische Prozeßregelung angestrebt werden (Bild 2).

Einflußgrößen Halbzeug und Befettung

Die Einflüsse des Halbzeugs ergeben sich aus metallurgischen, mechanischen und geometrischen sowie aus tribologischen Eigenschaften (Bild 3). Meßtechnisch werden die

Bild 1 Einflußgrößen auf die Genauigkeit im Preßwerk

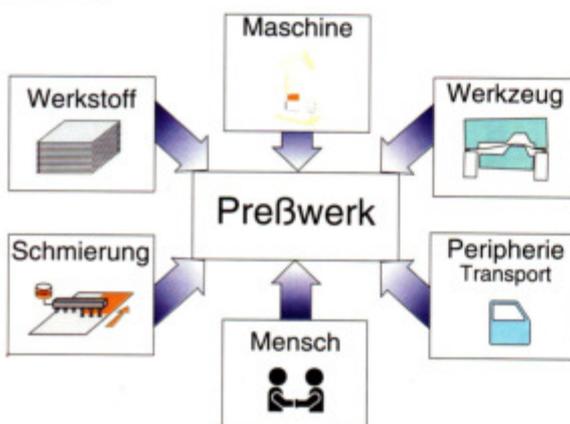


Bild 2 Vergleich Prozeßüberwachung und -regelung

	Heute	Zukunft
Prüfung	Stichprobenartig (Offline) nutzbare Streuung Toleranz Prüfteile	100%-Prüfung (Online) Losgröße
Überwachung	Maschineneinstellgrößen - Hubverstellung - Niederhalterkraft - Stößellageverstellung - usw.	Maschinenkenngrößen
Prozeßregelung	Prozeßregelung und -einstellung auf Basis von a) Erfahrungswissen b) iterativ	Automatische Prozeßregelung und -einstellung Regler

mechanischen Eigenschaften des Blechs derzeit nur stichprobenartig überwacht. Die für die Tribologie [1, 2, 3] ausschlaggebenden Parameter wie die Blechoberfläche oder der Reibwert werden unzureichend berücksichtigt. Eine Prüfung des Schmierzustands erfolgt selten. Streuungen der Blechqualität führen unweigerlich zu Schwankungen in der Genauigkeit der zu produzierenden Blechteile (Bild 4).

Die mechanischen Kennwerte des Blechs können on-line durch zerstörungsfreie Prüfverfahren, z.B. Magnetinduktion [4], Ultraschall [5] oder Mehrfrequenz-Wirbelstrom [6], gemessen werden. Dabei werden die metallurgischen Eigenschaften über Korrelation mit den gemessenen Signalgrößen ermittelt.

Die tribologischen Eigenschaften des Blechwerkstoffs ergeben sich sowohl aus der Topographie der Blechoberfläche als auch durch den Befetzungszustand. Die Blechrauheit bedingt Veränderungen der Werkzeugrauheit, woraus veränderte Reibungsbedingungen resultieren. Die Welligkeit des Blechs verursacht lokal unterschiedliche Flächenpressungen, die zu Abplattungen des Rauheitsprofils und zu einer Verschlechterung der tribologischen Eigenschaften führen [7].

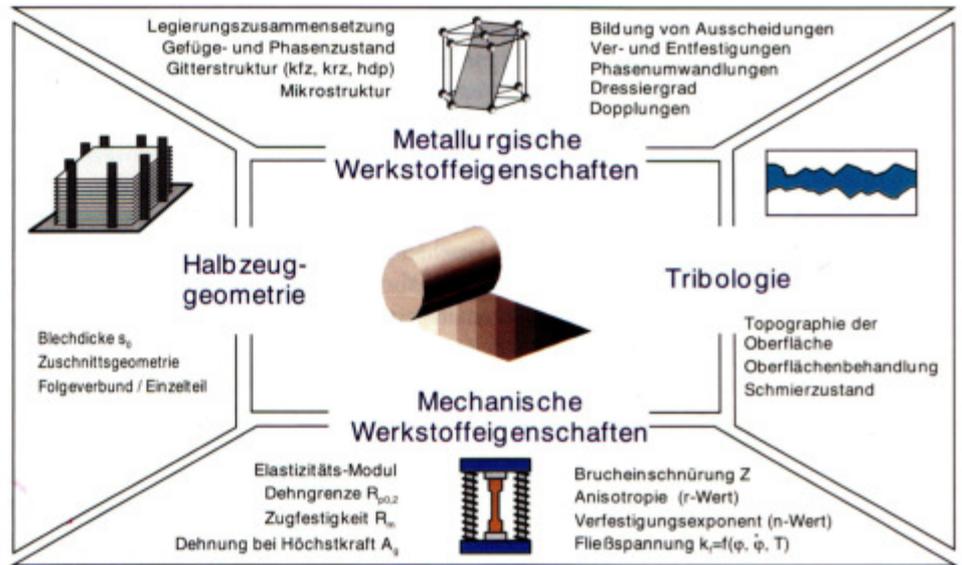
Reibwerte können z.B. im Streifenziehversuch mit Umlenkung [8] ermittelt werden. Allgemeine Aussagen zum Schmierzustand sind mit

gravimetrischen Methoden [9] möglich. Die Schmierfilmdicke kann z.B. durch Infrarot-Absorptionsverfahren [10] on-line und unmittelbar vor dem Umformprozeß aufgenommen werden.

Diese Eingangsgrößen werden für entsprechende Nachstellungen an der Maschine und der Peripherie

Einflußgrößen des Preßvorgangs

Der Einfluß der den Umformprozeß umgebenden Teilprozesse (Peripherie) darf nicht vernachlässigt werden. Beim Platinezugschnitt können Maßabweichungen oder ein unzulässig hoher Grat entstehen. Von einer



oder für das Abschneiden fehlerhafter Bandabschnitte bzw. die Aussonderung von Ziehtteilen gemessen. Untersuchungen bezüglich einer Werkstoffidentifizierung zu Beginn des Ziehprozesses im Umformwerkzeug wurden bereits genutzt [11] sowie Konzepte zur Prozeßregelung vorgeschlagen [7, 12].

wesentlichen Bedeutung ist der Befetzungszustand der Bleche. Vielfach werden deshalb z.B. für Außenhautteile die angelieferten Bleche gewaschen und im Preßwerk mit einer definierten Schmierstoffmenge versehen.

Ein störungsfreier Transport der Zuschnitte sowie der umgeformten

Bild 3

Einflußgrößen des Halbzeugs und der Befetzung auf das Umformergebnis

Bild 4 Eingangsgrößen Halbzeug und Befetzung

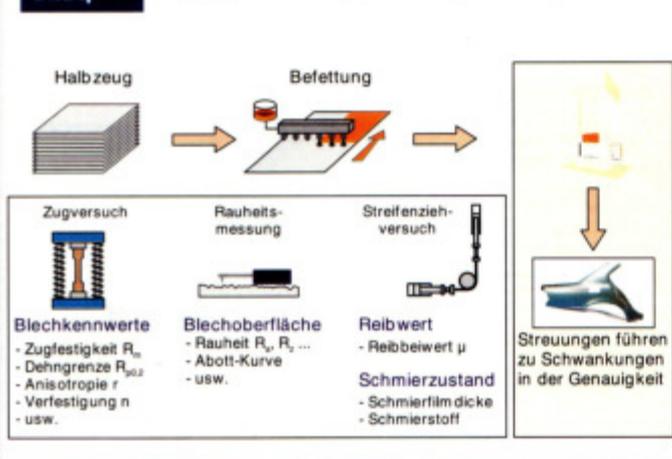
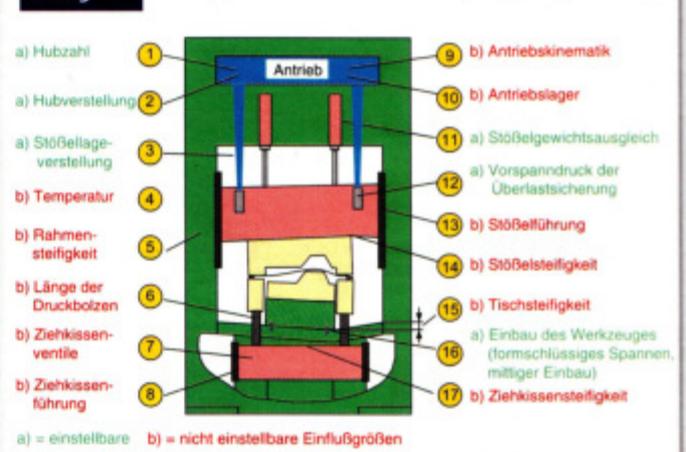


Bild 5 Einflußgrößen der Maschine auf die Fertigungsgenauigkeit



Blechteile zwischen den Bearbeitungsstationen ist wichtig, um mechanische Beschädigungen bzw. Verformungen auszuschließen. In modernen Pressen werden abhängig von der Ziehteilform zwei verschiedene Transfersysteme eingesetzt [13]. Um die elastische Verformung bzw. elastisches Flattern großer, flach gewölbter Teile, wie z.B. Seitenwände, zu verhindern, muß der Transfer anstelle mit Greiferschienen mit Saugerbrücken erfolgen. In Greifern oder Werkzeugen integrierte Sensoren, z.B. induktive Näherungsschalter, überprüfen das Vorhandensein von Werkstücken. Der Transport von Fertigteilen mit Stapelanlagen verhindert Oberflächenschäden und Formabweichungen und ist Voraussetzung für eine automatisierte Weiterverarbeitung.

Werkzeug

Als typisch werkzeuggesteiger Fehler führt Verschleiß auf der Werkzeugoberfläche (Abrasion und Kaltaufschweißung) zu Oberflächenschäden am Werkstück. Darüber hinaus kann eine ungenaue Einarbeitung zu einem ungleichförmigen Tragbild im Niederhalter führen. Durch Hartstoffbeschichtungen bzw. die zukünftige Verwendung von Keramik als Ziehringwerkstoff bei kleinen Stufenwerkzeugen oder als Implantat in hochbelasteten Bereichen von Großwerkzeugen kann Werkzeugver-

schleiß minimiert werden. Um Störungen im Werkzeug zu vermeiden, bietet sich als Alternative der Einsatz vorbeschichteter bzw. lackierter Bleche an. Bei selbstschmierender Wirkung der organischen Blechbeschichtung kann eine zusätzliche Befettung entfallen. Durch die geringe Abrasionsneigung der organischen Blechoberfläche bietet sich der Einsatz von Kunststoffwerkzeugen an.

Nachgiebige Werkzeugsysteme können den Aufwand für die Werkzeugeinarbeitung reduzieren. Sie passen sich an die lokal differierenden Blechdicken im Ziehteilflansch an und gewährleisten eine gleichmäßige Flächenpressung im Flanschbereich. Im Zusammenspiel mit Vielpunkt-Zieheinrichtungen kann die Werkzeugnachgiebigkeit gezielt zur Verbesserung des Ziehergebnisses beitragen [14, 15].

Presse

Die Einflüsse der Maschine (Bild 5) unterteilen sich in

- einstellbare Einflußgrößen (Hubzahl, Hubverstellung, Stößel-lageverstellung, Stößelgewichtsausgleich, Vorspanndruck der Überlastsicherung, Einbau des Werkzeugs) und
- nicht einstellbare Einflußgrößen (Rahmensteifigkeit, Länge der Druckbolzen, Antriebskinematik, Antriebslager, Ziehkissenventile, Stößelsteifigkeit, Tischsteifigkeit,

Ziehkissensteifigkeit, Stößelführung, Ziehkissenführung, Temperatur)

Einstellbare Parameter

Der Einfluß des Vorspanndruckes in der Überlastsicherung auf die Kippung des Stößels kann erheblich sein (Bild 6) [16]. Die Umformkraft wird über das Pleuel und das Öl im Druckpunkt in den Stößel geleitet. Ist der Druckpunkt durch eine eigene Überlastsicherung geschützt und wird die Presse mit geringen Vorspanndrücken betrieben, die den gewünschten Überlastschutz garantieren sollen, hebt ab einer bestimmten Umformkraft der Kolben vom Anschlag ab (Kolbenweg in Bild 6). Daraufhin kippt der Stößel stärker, weil die stabilisierende Wirkung des Pleuels wegen des um Faktor 125 geringeren E-Moduls von Öl zu Stahl stark nachläßt. Sind zwei Druckpunkte mit einer gemeinsamen Überlastsicherung geschützt, hebt bei einer weiteren Lasterhöhung der zweite Kolben ab. Bedingt durch das Prinzip der kommunizierenden Röhren, ergibt sich eine noch größere Kippung des Stößels (Abknicken der Kurven in Bild 6). Die Kippsteifigkeit des Stößels hängt dann von der geringen horizontalen Steifigkeit der Ständer ab.

Ein unterschiedlicher Einbau des Werkzeugs bewirkt einen variieren-

Bild 6

Auswirkung des Vorspanndruckes der Überlastsicherung auf die Stößelkippung

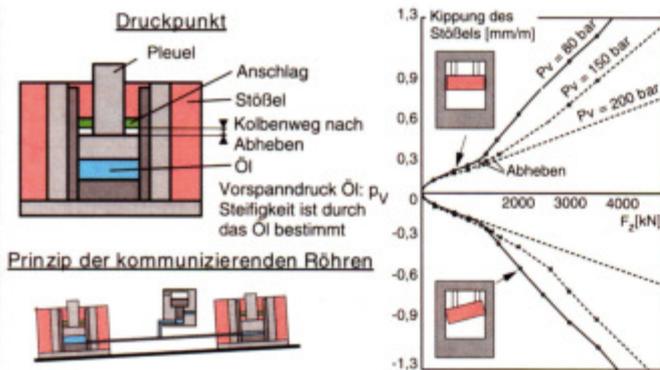
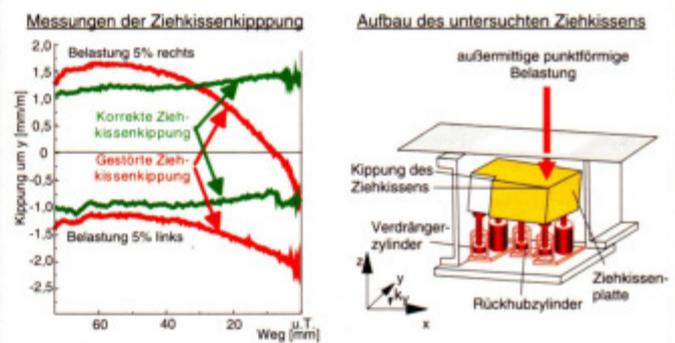


Bild 7

Korrekte und gestörte Ziehkissenkippung



den Kraftschwerpunkt, der zu einer differierenden Belastung und elastischen Verformung der Presse und somit zu Ungenauigkeiten in der Fertigung führt: Die Werkzeuge müssen deshalb formschlüssig stets an der gleichen Stelle gespannt werden. Unterschiedliche Ständerkräfte sind bei symmetrisch aufgebauten Pressen ein Hinweis auf einen außermittigen Kraftschwerpunkt.

Daneben hat der Druck im Stößelgewichtsausgleich Auswirkungen auf die Ständerkraft und damit auf die verfügbare Umformkraft [16]. Bei erhöhtem Druck im Stößelgewichtsausgleich sinken die Ständerkräfte, weil die verfügbare Umformkraft um die Kraft des Stößelgewichtsausgleichs reduziert wird.

Nicht einstellbare Parameter

Nicht einstellbare Parameter (Bild 5) sind meist konstruktionsbedingt und können nicht oder nur aufwendig während des Betriebs verändert werden. Ferner beeinflussen Defekte diese Einflußgrößen.

Beispielhaft ist die Auswirkung eines defekten Ventils auf die Ziehkissenkipung in Bild 7 dargestellt. Im Normalfall kippt das Ziehkissen bei außermittiger Belastung um einen konstanten Betrag über den Ziehweg. Eine Störung eines Ventils des Vierpunktziehkissens verstärkt die Kippung des Ziehkissens über den Ziehweg zu einer Seite.

Das Tragbild der Druckbolzen, über die die Ziehkissenkraft auf den Niederhalter übertragen wird, ist auf den jeweiligen Ziehprozeß zugeschnitten. Unterschiedliche Bolzenlängen, eingehämmerte Kontaktflächen sowie aufliegende Stanzbutzen beeinflussen die einzelnen Druckbolzenkräfte [17] und damit die Niederhalterkraftverteilung und das Ziehergebnis.

Die Führungen des Stößels und des Ziehkissens können zwar während der Wartungsintervalle nachgestellt werden, doch müssen sie während des Produktionsbetriebes als nicht einstellbar angesehen werden.

Die Temperatur der Presse ändert sich abhängig von der Belastung, der Raumtemperatur und der Nutzung [16]. Im Werkzeug bzw. im Fertigungsteil können höhere Temperaturen auftreten [18]. Nach einer Anlaufphase stellt sich ein stationärer Zustand ein, der aber z.B. durch Fertigungsunterbrechungen, beeinflusst wird. Mit einer Überwachung der Temperatur können beispielsweise Anzeichen für Schäden im Triebwerk frühzeitig erkannt werden.

Lösungsansatz: Überwachter Prozeß

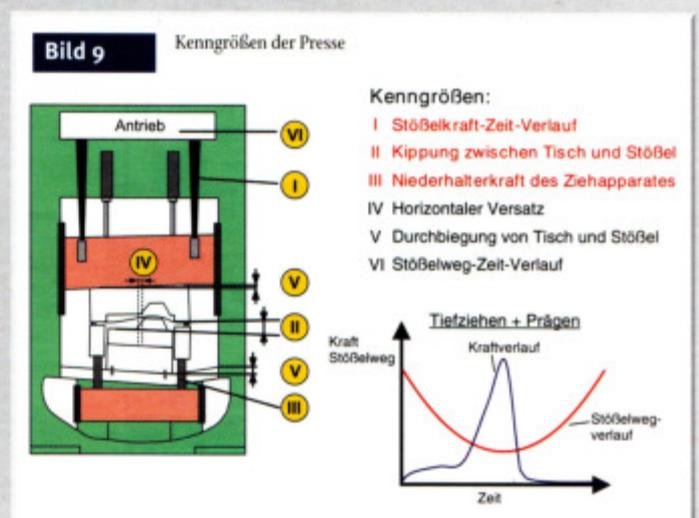
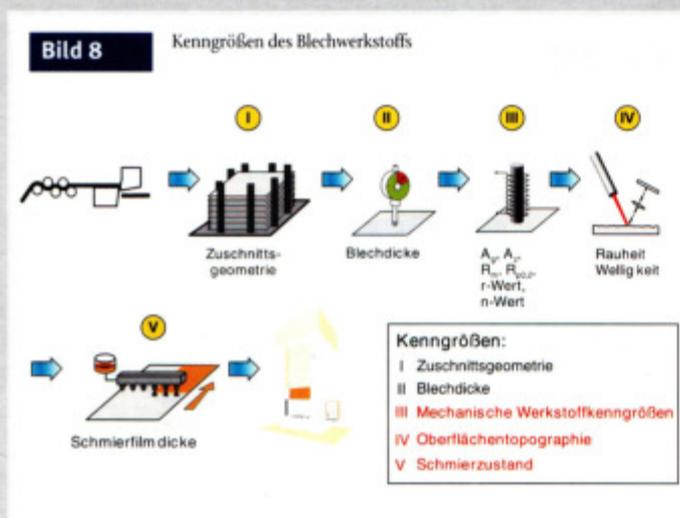
Für eine sichere Prozeßführung reicht eine stichprobenhafte Messung der primären Einflußgrößen nicht aus, vielmehr sollten die we-

sentlichen Parameter kontinuierlich überwacht werden. Eine Überwachung sämtlicher Einflußgrößen ist dennoch nicht erforderlich. Die Bildung von Kenngrößen sowohl für den Blechwerkstoff (Bild 8) als auch für die Presse (Bild 9) ist sinnvoll, um den Aufwand bei der Überwachung zu reduzieren.

Für die Einflußgrößen Halbzeug und Befettung lassen sich fünf Kenngrößen definieren (Bild 8). Die Erfassung geometrischer Kenngrößen, z.B. Blechzuschnitt und Ausgangsblechdicke, ist bereits Stand der Technik. Der Blechzuschnitt wird bereits in der Prozeßplanung optimiert. Die im Walzwerk verursachten Blechdickenschwankungen oder beim Schneidvorgang verursachte geometrische Maßabweichungen können mit taktile Sensorik überwacht werden. Für den eigentlichen Umformvorgang sind Prozeßkenngrößen und Maschinenkenngrößen von Bedeutung.

Kenngrößen des Blechwerkstoffs

Mechanische Werkstoffkenngrößen können innerhalb eines magnetinduktiven Prüfsystems über Regressionsrechnung bestimmt werden [4, 19]. Dabei sind Kalibrierbleche einer zerstörenden Prüfung im Zugversuch und einer magnetinduktiven Prüfung bei unterschiedlichen Erregerfrequenzen und Feldstärken zu



unterziehen. Signifikante Signalparameter werden bei der Auswertung selektiert. Mit diesen können sowohl die senkrechte Anisotropie und der Verfestigungsexponent als auch die Zugfestigkeit und Dehngrenze berechnet und mit vorgegebenen Toleranzbändern verglichen werden.

Die für die Oberflächentopographie relevanten Kenngrößen Mittenrauhwert, Rauhtiefe, die Anzahl der Rauheitsspitzen und die Welligkeit können berührungslos mit CCD-Aufnahmen der Specklemuster [20] erfaßt werden. Für die Schmierung relevante Größen sind neben den chemischen und physikalischen Eigenschaften des Schmierstoffs die Filmdicke, die Relativgeschwindigkeit, der Kontaktdruck und die Kontakttemperatur.

Kenngrößen der Presse

Der horizontale Versatz des Stößels zum Tisch wird bei Tiefziehwerkzeugen durch massive Stollenführungen minimiert. Der Vergleich (Bild 10) der Stößelverlagerungen und -kippen bei einer statischen außermittigen Belastung mit kardanischer Kalotte (d.h. ohne rückdrehendes Moment) und einer dynamischen Belastung mit Werkzeug [16] zeigt, daß die horizontalen Verlagerungen des Stößels durch die Werkzeugführungen nahezu eliminiert werden. Die Stößelkippen hingegen werden kaum vom Werkzeug beeinflusst. Da

die Werkzeugführungen sehr kurz sind, müssen die Stößelkippen von der Presse aufgefangen werden.

Wenn das Durchbiegungsverhalten des Tisches [21] und des Stößels bekannt ist, kann über den Stößelkraft-Zeit-Verlauf auf die Durchbiegung des Tisches und die Verformung des Stößels geschlossen werden. Insofern bedürfen beide Werte keiner besonderen Beachtung.

Der Stößelweg-Zeit-Verlauf einer mechanischen Presse wird im wesentlichen durch die Antriebskinematik und die Hubzahl bestimmt und verändert sich im laufenden Prozeß kaum. Über die Stößelkraft kann bei bekannter vertikaler Steifigkeit auf die vertikale Abweichung (Auffederung) geschlossen werden. Bei Pressen zum Scherschneiden kann der Stößelweg-Zeit-Verlauf bei der Stößelentlastung nach der Scherbewegung nicht vernachlässigt werden.

Kontinuierlich zu überwachende Kenngrößen der Presse

Die Stößelkraft ist eine primäre Prozeßgröße. Ihr Betrag und Verlauf lassen Rückschlüsse auf den Umformprozeß zu. Eine kontinuierliche Überwachung der Stößelkraft wird am IFUM, Hannover, mit Kraftsensoren realisiert, deren Signale von dem Programm MAVIN (Maschinen-Visualisierung und Instandhaltung) kontinuierlich ausgewertet werden.

Die Kippung zwischen Tisch und Stößel wird durch unterschiedliche Flächenpressungen des Niederhalters verursacht und bewirkt neben geometrischen Abweichungen des Werkstücks auch Falten und Reißen [16]. Bei einer Kippung des Stößels von 0,3 mm/m zum Tisch wird im Bild 11 ein grenzwertiges Teil erzeugt. Bei Außenhautteilen kann im Gegenlicht der Einfluß einer Stößelkippen von 0,1 mm/m noch erkannt werden.

Die Niederhalterkraft und deren Verteilung über der Niederhalterfläche haben direkte Auswirkungen auf das Nachfließen des Werkstoffs beim Tiefziehen. Daher sollte der Druck z.B. in einem Vierpunkt-Ziehapparat in allen Zylindern sowie die Kippung des Ziehkissens überwacht werden.

Die kontinuierliche Erfassung und Überwachung der Kenngrößen kann bereits heute durchgeführt werden. Eine Überwachung kann Abweichungen erkennen, diesen jedoch nicht aktiv entgegenwirken. Dazu bedarf es der Verknüpfung der erfaßten Meßwerte mit der Prozeßregelung, die zusammen mit der Prozeßsimulation im zweiten Teil des Artikels dargestellt wird.

Bild 10

Kippungen und Verlagerungen des Stößels bei stat. und dyn. Belastung

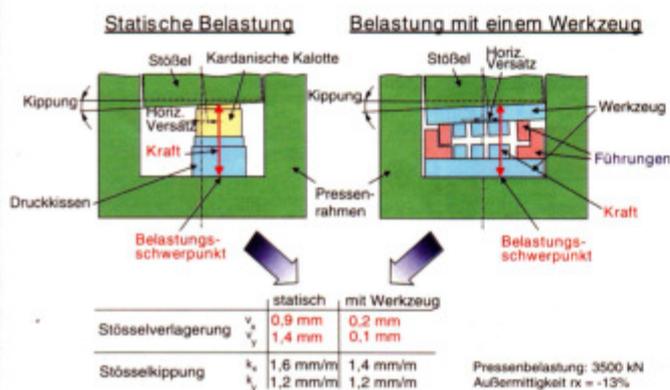


Bild 11

Einfluß der Stößelkippen auf die Werkstückqualität



Literatur

- [1] Fogg, B.: The Relationship between the blank and product surface finish and lubrication in deep-drawing and stretching operations. *Sheet Met. Ind.* 44 (1967), S. 95-112.
- [2] Kawai, N.; u.a.: The frictional mechanism on surface of metals plastically deformed. *Bull. JSME* 108 (1974), S. 803-817.
- [3] Fukui, S.; u.a.: The effect of surface roughness of sheet and tools on deep-drawability. *Sheet Met. Ind.* 40 (1963), S. 739-744, 754.
- [4] Geiger, M.; Schwind, M.; Engel, U.: Prozesssicherung durch magnetinduktive Überwachung mechanischer Blecheigenschaften. *Blech, Rohre, Profile*, Band 41 (1994) Heft 10, S. 668-693.
- [5] Harsch, M.: Ultrasonic Pattern Recognition for the Use of Surface Layer Recognition. *The European Journal of NDT*, 1993.
- [6] Becker, R.: Firmenschrift, Mehrfrequenz-Wirbelstromgerät - Zerstörungsfreie Qualitätsprüfung und Prozesssteuerung mit der Wirbelstromprüfung. Fraunhofer Institut Zerstörungsfreie Prüfverfahren (IZFP), Saarbrücken, 1997.
- [7] Thoms, V.: Blechumformung im Hinblick auf Presse, Werkzeug, Werkstück-Werkstoff und -schmierung. *BLECH ROHRE PROFILE* 41 (1994) 12, S. 838-842.
- [8] Witthüser, K.-P.: Untersuchung von Prüfverfahren zur Beurteilung der Reibungsverhältnisse beim Tiefziehen. Dissertation, Universität Hannover, 1980.
- [9] Gibson, T. J.; u.a.: Development of tests for selecting lubricants suitable for press forming of sheet metals. *Int. Conf. Prod. Technol., Inst. Engineers*, Melbourne, 1974, S. 328-332.
- [10] N.N.: Firmenschrift, On-Site Measurement of Oil Films on Metal Surfaces. Fa. Rautaruukki New Technology, Oulo, Finnland, 1993.
- [11] Manabe, K.; Soeda, K.; Nagashima, T.; Nishimura, H.: Adaptive Control Method of Deep Drawing Using the Variable Blank Holding Force Technique. *Journal of the JSTP*, Vol. 33, No. 375 (1992) 4, S. 423-428.
- [12] Petri, H.: Stand und Ziele der wirtschaftlichen Blechumformung bei Großteilen mit kleinen Losgrößen. *Stahl*, Heft 3 (1992), S. 81-89.
- [13] Schneider, F.; Brandstetter, R.; Hoffmann, H.; Klemm, P.: Recent Developments in Transfer Presses. Tagungsband, 1994 International Conference on Sheet Metal Forming Technology, Columbus, Ohio, USA, 3.-5. Oktober 1994.
- [14] Siegert, K.: CNC Hydraulic Multipoint Blankholder System for Sheet Metal Forming Presses. *Annals of the CIRP* Vol. 42/1/1993.
- [15] Thoms, V.: Anpassung der Werkzeugsysteme zur Blechumformung an die Umformmaschine. *BLECH ROHRE PROFILE* 40 (1993) 5, S. 375-378.
- [16] Brendel, T.: Entwicklung eines Diagnosesystems für Umformmaschinen zur Erhöhung der Verfügbarkeit. Dissertation, Universität Hannover, 1994.
- [17] Hoffmann, H.: Anforderungen an das Genauigkeitsverhalten von Karosserie-Pressen. HFF-Bericht, Nr. 11, Ziehtechnik auf der Großteilstufenpresse, Hannover, 1987, S. 62-63.
- [18] Neugebauer, R.: Maßnahmenkatalog für den Wiederanlauf von Pressen. *BLECH ROHRE PROFILE* 43 (1996) 4, S. 178-183.
- [19] Lutz, B.; Schaffer, R. D.; Haider, H.; Moser, E. L.: Kosten- und zeitsparende Blechprüfung. *Materialprüfung* 34 (1992) 4, Seite 101-104.
- [20] Etemeyer, A.: Ein neues holografisches Verfahren zur Verformungs- und Dehnungsbestimmung. Dissertation, Universität Stuttgart, 1988.
- [21] Wagener, H.-W.; Weikert, J.: Messung der Tisch- und Stößeldurchbiegung an Torgestellpressen. *BLECH ROHRE PROFILE* 44 (1997) 5, S. 46-52.

Autoren

- Prof. Dr.-Ing. Eckart Doege ist Leiter des Institutes für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Universität Hannover.
- Dipl.-Ing. Holger Hütte ist seit 1997 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFUM in der Abteilung Blechumformung tätig.
- Dipl.-Ing. André Kröff ist seit 1997 als Abteilungsleiter am IFUM für die Abteilung Numerische Methoden verantwortlich.
- Dipl.-Ing. Wolfgang Strache ist seit 1995 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFUM in der Abteilung Umformmaschinen tätig.



ENTFETTEN UND REINIGEN MIT SYSTEM

Die clevere Alternative



Reinigungsautomat TD 3001

Reinigungs- und Entfettungsanlage für den Einsatz von CKW, KW oder auf wässriger Basis für Korbware.

Bei Verfahrenswechsel leicht umrüstbar.

Reinigung durch Spritz-, Flut-, Dampfverfahren
Trocknung im Vakuum bzw. mittels Warmluft
Lösemittelaufbereitung mittels Vakuumdestillation

EVT - EIBERGER PFÖHLER GMBH

Am Tiefen See 5/8 · 75433 Maulbronn
 Tel. (0 70 43) 92 07 03 · Fax (0 70 43) 92 07 05



Wir stellen aus: METAV, Halle 12, Stand 12 A 45

HÄBERLE®



Gehrungssägen für Stahl, Edelstahl und Buntmetalle z. B. Modell H 350

Schnittbereich 0°	45° Gehrung
○ 120 mm Ø	○ 120 mm Ø
□ 105 x 105 mm	□ 100 x 100 mm
□ 170 x 60 mm	□ 120 x 70 mm
□ 140 x 80 mm	□ 110 x 80 mm
● 60 mm Ø	

FRANZ HÄBERLE MASCHINENFABRIK
 D-76560 Gaggenau
 Tel. 072 25/39 81, Fax 072 25/71 00

Metallkreissägen für Sägeblatt bis Ø 450 mm

Wir stellen aus: METAV, Düsseldorf, 16.-20. 6 98, Halle 10, Stand B 43
 AMB, Stuttgart, 15.-19. 9. 98, Halle 12, Stand O.004

Für eilige Anzeigen

Meisenbach GmbH
 Postfach 2069
 D-96011 Bamberg

Telefax (09 51) 8 61-161

BOLZENSCHWEISSEN

Die kostengünstigste Verbindung.



in 3 Millisekunden

- Handgeräte
- Stationäre Anlagen
- CNC-Vollautomaten
- Schweißbolzen



HBS Bolzenschweiß-Systeme GmbH & Co. KG, D-85221 Dachau
 Felix-Wankel-Str. 18
 Tel. (49) (01 31) 511-0
 Fax (49) (01 31) 511-100

VORSPRUNG MIT NEUER TECHNOLOGIE

BLECH

Herstellen und Verarbeiten von Band, Blech, Rohren und Profilen

ROHRE PROFILE

Blech am Bau

Kontrolliertes Biegen

Arbeitsgenauigkeit
schnellaufender
Pressen

Genauigkeit im
Preßwerk – Teil II:
Der simulierte und
geregelte Prozeß

Betriebsverhalten von
hydraulischen Zieh-
einrichtungen in Mehr-
stößel-Transferpressen

www.gasparini.com

GPS4 system
patented

ACSG 1 system
patented



GASPARINI

S.p.A.

E-mail: commerc@gasparini.it

Meisenbach
Bamberg



Genauigkeit im Preßwerk – Teil II

Der simulierte und geregelte Prozeß

Eckart Doege, Holger Hütte, André Kröff, Wolfgang Strache

Zur Optimierung der Prozeßauslegung und zur Realisierung der Prozeßregelung werden in Zukunft verstärkt Methoden der Prozeßsimulation mit Hilfe von Finiten Elementen eingesetzt. Aus den FEM-Daten kann ein Prozeßmodell generiert werden, das zusammen mit den kontinuierlich erfaßten prozeßrelevanten Kenngrößen eine Prozeßdiagnose und -regelung ermöglichen soll.

In der blechverarbeitenden Industrie haben die Fortschritte im Bereich der Finite Elemente Simulation sowie Neuerungen auf dem Sektor der Meßtechnik die Zuverlässigkeit der Fehlervorhersage und -erkennung gesteigert. Um Ausfallzeiten und daraus resultierende Kosten zu vermeiden, sind eine präventive Fehlererkennung und ein schnelles Reagieren erforderlich. Die zukünftige Generation von Pressen wird deshalb durch integrierte Regelkreise alle prozeßrelevanten Systemgrößen überwachen, automatisch nachregeln und somit eine On-line Qualitätssicherung gewährleisten. Hierzu ist zunächst eine kontinuierliche Prozeßüberwachung erforderlich, wie

sie in der vorhergehenden Ausgabe [1] beschrieben wurde.

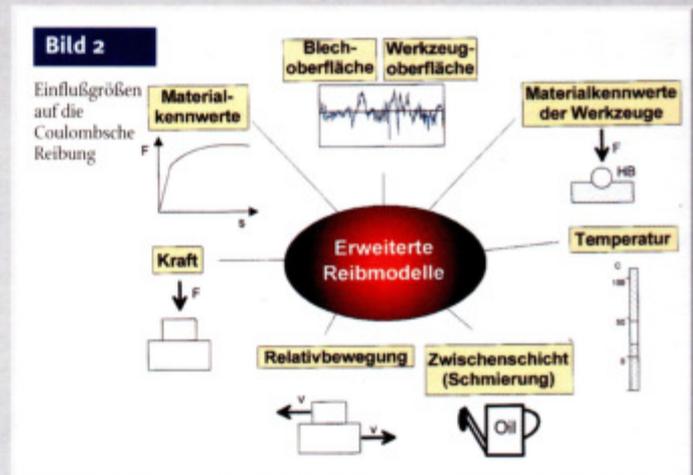
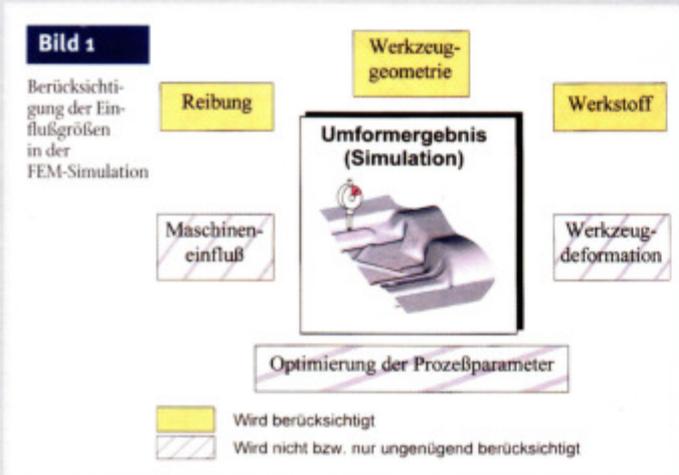
Simulation des Tiefziehprozesses

Um die vom Preßwerk geforderten hohen Genauigkeiten mit der FEM abzubilden, müssen möglichst alle Einflußgrößen des Umformprozesses einbezogen werden (Bild 1). Allerdings findet die elastische Deformation der Werkzeuge (insbesondere des Niederhalters) sowie der Maschineneinfluß, wie z.B. Kippung zwischen Tisch und Stößel oder Stößelkraft-Zeit-Verlauf, in der Vorauslegung des Prozesses kaum Berücksichtigung. Es wird vielmehr in der

Regel von starren Werkzeugen und einem idealen Umformvorgang ausgegangen. Die hierbei erzielbare Berechnungsgenauigkeit ist stark von der Komplexität des Prozesses abhängig [2].

Reibung

Zur Berücksichtigung der Wirkflächenreibung innerhalb der FE-Simulationen findet heute noch fast ausschließlich der Coulombsche Reibwert Anwendung. Nur für Berechnungen relativ kleiner Bauteile werden hiermit gute Ergebnisse erzielt, da bei kleinen Bauteilen der Anteil der Reibkraft gegenüber der Gesamtumformkraft eine unterge-



ordnete Rolle spielt. Diese Verhältnisse kehren sich bei größeren Bauteilen um. Bei einem klassischen Ziehteil mit einem äquivalenten Stempeldurchmesser von z.B. 1200 mm und einer Blechstärke von $s_0 = 1,0$ mm ist der Reibkraftanteil an der Gesamtkraft 3x größer als der Umformkraftanteil. Bezüglich der Validierung der FEM-Ergebnisse sollten daher die Versuche an großflächigen Teilen durchgeführt werden.

Die Verwendung einer konstanten Reibzahl ergibt aufgrund der unterschiedlichen auftretenden Flächenpressungen (Stribeck-Kurve) keine ausreichende Genauigkeit der Simulation. Aus diesem Grund werden neue Reibmodelle mit verbesserter Genauigkeit erarbeitet (Bild 2). Um den Umformvorgang praxisnah abzubilden, müssen die bestehenden Reibmodelle um relevante Einflußgrößen erweitert werden [3]. Speziell bei hohen Relativgeschwindigkeiten, starken Temperaturschwankungen oder unterschiedlichen Normaldrücken ergeben sich bei der Anwendung erweiterter Reibmodelle verbesserte Simulationsergebnisse gegenüber Berechnungen mit einer konstanten Reibzahl.

Werkzeuggeometrie und Werkstoff

Der CAD-Datensatz bildet die Grundlage zur Erstellung der Stempel- und der Niederhaltergeometrie. Diese Werkzeuggeometrien erhält

man, indem man die Matrizenkontur um einen konstanten Ziehspalt reduziert und anschließend eine Trennung in Niederhalter und Stempel vornimmt. Andernfalls können Unregelmäßigkeiten im Ziehspalt zu Fehlinterpretationen des Simulationsergebnisses führen. Die Diskretisierung der Geometrien erfolgt mit Finiten Elementen, wobei durch die Wahl kleinerer Elemente die CAD-Daten besser angenähert werden können.

Die Berücksichtigung des Werkstoffverhaltens in der FEM findet u. a. durch die Verwendung verschiedener Stoffgesetze (z.B. elastisch-plastisch, starr-plastisch) statt. Als weiterreichende Materialbeschreibungen sind hier insbesondere Ansätze zur Beschreibung der im Werkstoff ablaufenden Schädigungsmechanismen und die Berücksichtigung der Anisotropie zu nennen [4, 5]. Die üblichen Materialbeschreibungen führen bei den gängigen Stahlwerkstoffen zu guten Ergebnissen mit den oben genannten Einschränkungen [6, 7]. Hinsichtlich der Beschreibung des Werkstoffverhaltens von Leichtmetallen wie Aluminium- und Magnesiumlegierungen besteht weiterhin Forschungsbedarf.

Durch Rückfederung verursachte Ungenauigkeiten sind sowohl auf das Werkzeug als auch auf den Werkstoff, die Werkstückgeometrie und die Fertigungsbedingungen zurückzuführen [8]. Die Rückfederung kann durch eine stärkere Ausstrek-

kung des Materials vermindert werden, was z.B. durch die Erhöhung des Niederhalterdrucks [9] oder das Anbringen von Ziehwülsten erreicht werden kann. Zusätzlich kann die Flächengeometrie des Werkzeugs zur Kompensation der Rückfederung bombiert werden.

Maschineneinfluß und Werkzeugdeformation

Bisher finden die relevanten Kenngrößen in einer kombinierten FE-Analyse mit dem zu simulierenden Umformprozeß noch keine Berücksichtigung; es wird von idealen Verhältnissen ausgegangen (z.B. keine Durchbiegung des Stößels). In Bild 3 ist eine mögliche Einbindung der FEM in die Prozeßsimulation dargestellt. Ausgehend von einer FEM-Simulation des Tiefziehprozesses, werden die Reaktionskräfte (z.B. Kraft und zugehöriger Angriffspunkt am Stößel) an den Werkzeugen ermittelt und rückwirkend in den simulierten Umformprozeß einbezogen.

Die Berücksichtigung von Werkzeugeinflüssen in der numerischen Simulation des Tiefziehvorgangs ist noch nicht Stand der Technik. Die Ansicht, die in der Regel relativ steif ausgelegte Werkzeuge in der Simulation als elastisch nicht verformbar zu betrachten, kann nicht unwidersprochen bleiben. So hat zwar die Einbringung der Niederhalterkraft durch mehr Pinolen zu höheren und damit steiferen Werkzeugen geführt,

Bild 3 Simulation von Prozeß und Maschine

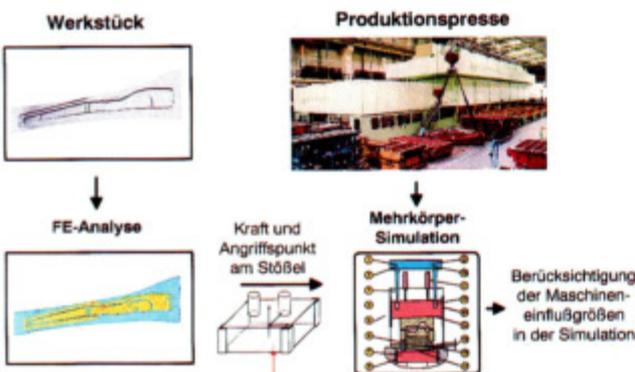
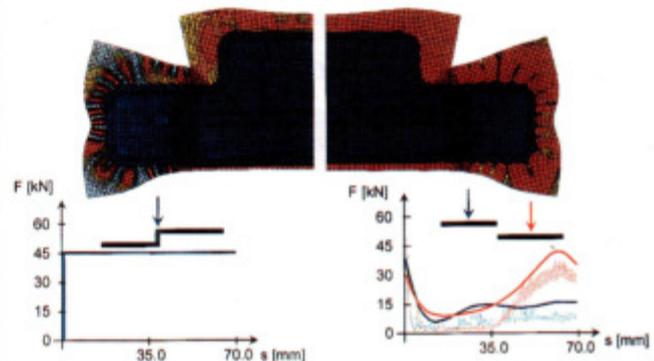


Bild 4 Vergleich zwischen einfachem und segmentiertem Niederhalter



wirtschaftlich widerspricht dies allerdings der Forderung nach leichten und damit weniger steifen Werkzeugen. Dadurch wird die Auslegung mit Hilfe der FEM immer wichtiger.

Im Gegensatz zu den formgebenden Werkzeugen (Stempel und Matrize), ist eine Verformungsmöglichkeit des Niederhalters während des Prozesses häufiger sogar erwünscht, da hierdurch z.B. Blechdickensprünge bei gefügten Feinblechen, Aufdickungen im Flansch oder auch leichte Niederhalterkippungen kompensiert werden können [10].

Optimierung der Prozeßparameter

Die FE-Analyse bietet die Möglichkeit, die Prozeßparameter (z.B. die Niederhalterkraft) optimal auszuwählen. Am Beispiel des Vergleichs der FE-Simulation des einfachen und des segmentierten Niederhalters (Bild 4) läßt sich diese Optimierung darstellen. Bei dem segmentierten Niederhalter werden die Segmente getrennt von einander gesteuert. Unter Beachtung, daß gerade keine Falten auftreten, wurde der Niederhalterkraftverlauf in einem einmaligen Rechenlauf optimal ermittelt.

In Bild 5 ist das Anwendungspotential der FEM in der Blechumformung dargestellt. Als wesentliche Punkte müssen hier vor allem die Verformung der Werkzeuge sowie Maschineneinflußgrößen, wie z.B. die Kippung, der Versatz, die Auf-

derung und auch die Tischdurchbiegung, genannt werden. Diese beeinflussen indirekt über die Werkzeuge die Fertigteilgeometrie und somit die Prozeßsicherheit. Ein weiteres Ziel zur Verbesserung der Simulationsergebnisse ist die Reduzierung des Modellierungsaufwands und der Rechenzeit bei gleichem oder sogar genauem Ergebnis. Der iterative Prozeß der FE-Simulation in der Entwicklungskette kann damit deutlich verkürzt werden [11]. Die Ergebnisse der FEM-Simulation des Prozesses können ferner für die Erstellung des Prozeßmodells genutzt werden, das die Grundlage für die Prozeßregelung bildet.

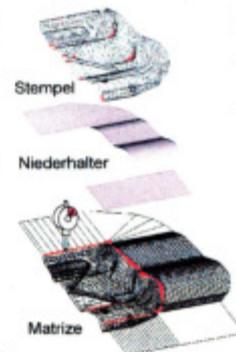
Geregelter Prozeß

Um aktiv in den Prozeß einzugreifen, ist eine Prozeßregelung erforderlich. Die gezielte Einflußnahme auf den Prozeß kann z.B. durch die Regelgrößen Niederhalterkraft, Hubzahl und Schmierzustand erfolgen. Auf die Kippung zwischen Tisch und Stößel kann eine Regelung der Druck-

punkte reagieren. Aufgrund der Wechselwirkungen verschiedener Prozeßparameter stoßen herkömmliche Regelungsverfahren an ihre

Berücksichtigung der Werkzeuge

- Vorhersage von Orten mit hohem Verschleiß
- Optimierung der Werkzeugform
- Simulation der Werkzeugdeformation



Berücksichtigung der Maschine

- Kippung
- Auffederung



Prozeßplanung

- Niederhalterkraftoptimierung
- Zuschnittsoptimierung
- Notwendige Toleranzen in der Blechqualität

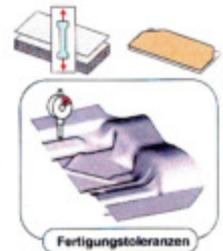


Bild 5

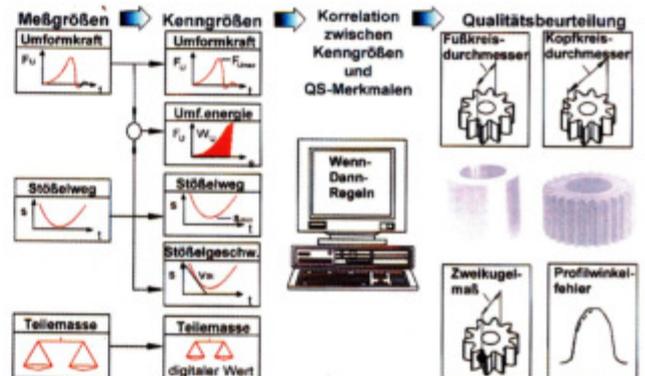
Zukünftiges Anwendungspotential der FEM in der Blechumformung

Grenzen. Für die quantitative Vorhersage von Regelgrößen z.B. der Niederhalterkraft und -verteilung und des Schmierfilmauftrags ist die Kenntnis ihrer funktionalen Zusammenhänge mit den genannten Kenngrößen des Blechwerkstoffs, z.B. den mechanischen Werkstoffkenngrößen sowie den Kenngrößen der Maschine z.B. dem Stößelkraft-Zeit-Verlauf unumgänglich (Bild 6). Dies erfordert die Bildung eines Prozeßmodells über die auf einer teilfaktoriellen Versuchsplanung basierenden Erfassung der Kenngrößen und der qualitätsrelevanten Merkmale z.B. der Faltenbildung in verschiedenen Prozeßzu-

Bild 6 Ableitung von Qualitätsmerkmalen aus Kenngrößen



Bild 7 Ablauf der Prozeßdiagnose für präzisionsgeschmiedete Planetenräder



ständen. Um die Anzahl der Versuche einzugrenzen, kann die FEM einen wichtigen Beitrag liefern. Nach der Kalibrierung der gemessenen Größen kann die Auswertung über Regressionsverfahren oder Neuronale Netze erfolgen.

Eine Prozeßregelung und On-line Qualitätsprüfung für das Schmieden ist exemplarisch am IFUM, Universität Hannover, durch Bildung eines Prozeßmodells mittels Prozeßdiagnose und Trendanalyse realisiert worden.

Prozeßdiagnose und Trendanalyse

Der Ablauf der Prozeßdiagnose für präzisionsgeschmiedete Planetenrädern ist in Bild 7 beispielhaft gezeigt. Aus den Meßgrößen, wie z.B. der Umformkraft, werden Kenngrößen, wie z.B. die Umformenergie, ermittelt. Über vorliegende „Wenn-Dann-Regeln“ (Bild 8) kann eine Korrelation zwischen den Kenngrößen und den Qualitätsmerkmalen z.B. des Profiwinkels, der Fuß- und Kopfkreisdurchmesser sowie des Zweikugelmaßes erfolgen [12]. Zusätzlich können mit der Trendanalyse Fehlentwicklungen aus dem Verhalten der Qualitätsmerkmale erkannt werden. Über die Vorgabe eines anzustrebenden Qualitätsmerkmals ist es möglich, die den Fehlertrend korrigierenden Einstellgrößen aus dem über Regressionsrechnung aufgestellten Prozeßmodell abzuleiten.

In Bild 9 werden die während des Schmiedeprozesses in einem Analyseintervall gemessenen Wertepaare „Prozeßparameter“, hier die Temperatur und die Masse, und „Qualitätsmerkmal“, hier der Fußkreisdurchmesser, mit der Prozeßmodellfläche verglichen. Ein korrigierter Prozeßzustand, der sich aus dem angestrebten Qualitätsmerkmal ergibt, wird festgelegt. Die Einstellgrößen der Maschine können aus der Prozeßmodellfläche, auf der alle möglichen Prozeßpunkte liegen, abgeleitet und der Prozeß geregelt werden. Die Übertragung der im Schmiedeprozess realisierten Prozeßregelung auf den Tiefziehprozeß ist prinzipiell möglich.

Sensorik im Umformprozeß

Eine Alternative zur Überwachung sämtlicher Kenngrößen ist die Messung des Stoffflusses während der Umformung, um hieraus eine Regelgröße für die Einstellung der Niederhalterkraft zu erhalten. Ansätze hierzu können die On-line Messung des Flanscheinzugs am Außenrand mittels taktiler Wegsensoren [13] oder die Wirbelstromtechnik zur Früherkennung von kritischen Verformungen [14] sein. Mit diesen Verfahren ist eine Stoffflußmessung jedoch nur bedingt möglich.

Daher wird am IFUM, Universität Hannover, ein neuer Rollkugelsensor [15] entwickelt, der den Stofffluß di-

rekt im Werkzeug messen soll. Durch den Einbau in Niederhalter und Matrize soll eine On-line Stoffflußmessung im geschlossenen Werkzeug ermöglicht werden. Dabei wird die Erfassung des ebenen Stoffflusses über eine auf dem einfließenden Blechwerkstoff abrollende Kugel gemäß dem Funktionsprinzip des Computer-Eingabegeräts „Maus“ erreicht. Stoffflußrichtung, -geschwindigkeit und -weg sowie Formänderungen beliebig geformter Ziehteile sollen in jedem Ziehstadium kontinuierlich ermittelt werden können. Durch die Integration der Sensorik in einen geschlossenen Regelkreis ist eine On-line Optimierung z.B. der Niederhalterkraft während des Ziehvorgangs und des Befettungszustands realisierbar. Der Einbau des Sensors wird an mit FEM lokalisierten kritischen Stellen im Werkzeug erfolgen.

Die Aufstellung eines Prozeßmodells für eine Prozeßregelung ist dennoch erforderlich, um die Korrelation von Meßgrößen zu erforderlichen Stellgrößen zu erhalten. Im einfachsten Fall kann dies die Vorgabe eines idealen Stoffflußverlaufs sein, der nachgefahren wird.

Vision Preßwerk 2000+

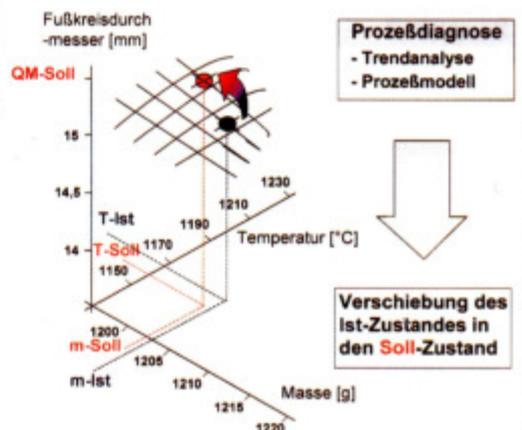
Das Preßwerk 2000+ (Bild 10) sollte sich neben einer optimalen Prozeßauslegung durch eine kontinuierliche Überwachung und Regelung der Eingangsgößen und Maschinenkenn-

Bild 8 Korrelation zwischen Kennwerten und QS-Merkmalen



Bild 9

Korrektur des Prozeßzustands im Prozeßmodell



größen auszeichnen. Mit Hilfe der Prozeßauslegung durch die FEM werden neben den Einflußgrößen Reibung, Werkzeuggeometrie und Werkstoff (Bild 1) die Einflüsse der Maschine auf das Werkzeug bereits in der Konstruktion und der anschließenden NC-Bearbeitung berücksichtigt. Die Form der Werkzeuge wird von vornherein nach dem im Prozeß elastischen Zustand ausgelegt. Dadurch kann langfristig der Tryout-Prozeß entfallen. Vor dem Fertigungsprozeß muß eine zerstörungsfreie On-line Eingangsprüfung des Blechmaterials und der mechanischen Werkstoffkenngrößen erfolgen. Die Oberflächentopographie ist hinsichtlich der Rauigkeit und Welligkeit mit Laser räumlich zu erfassen. Der Schmierfilmauftrag wird abhängig von der gemessenen Topographie geregelt. Während des Fertigungsprozesses müssen neben den peripheren Einrichtungen die Kenngrößen der Presse, insbesondere die Stößel- und Niederhalterkraft und die Kippung zwischen Tisch und Stößel überwacht werden. Mit diesen und weiteren Meßwerten, z.B. dem Stofffluß der Ziehteile, wird eine Prozeß- bzw. Fehlerdiagnose durchgeführt.

Zusätzlich werden die gemessenen bzw. die berechneten Prozeßdaten mit dem Prozeßmodell kontinuierlich verglichen und als Regelgröße an den Prozeß zurückgegeben. Somit kann beispielsweise eine Regelung der Niederhalterkraft und ihrer Verteilung über das Ziehkissen durch

aus der Oberflächentopographie und den Kenngrößen der Maschine abgeleiteten Stellgrößen erfolgen. Durch eine Trendanalyse können Qualitätsschwankungen frühzeitig erkannt werden. Damit ist ein frühzeitiger Eingriff der Prozeßregelung möglich, so daß ein enges Gutteilfenster erreicht wird. Der Werkzeugverschleiß wird durch Hartstoffbeschichtungen oder Keramikeinlagen und unter Be-

rücksichtigung der Haupteinflußgrößen auf den Verschleiß, zu nennen sind hier Tribologie, Normaldruck und Relativbewegung, auf ein Minimum reduziert [1].

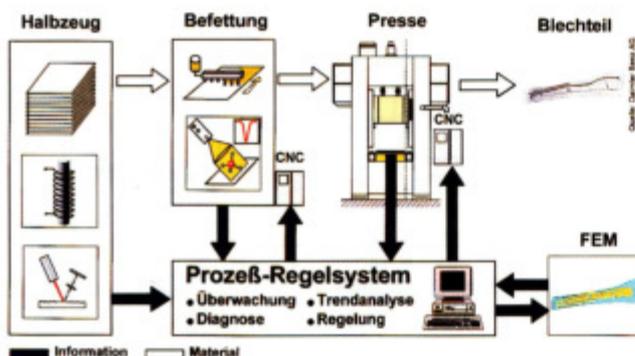
Der Mensch, der derzeit noch einen erheblichen Einfluß auf die Qualität der Produkte hat, wird im Preßwerk der Zukunft als hochqualifizierte Fachkraft Leit- und Kontrollfunktionen übernehmen.

Literaturverzeichnis

- [1] Doege, E.; Hütte, H.; Kröff, A.; Strache W.: Genauigkeit im Preßwerk Teil I: Der überwachte Prozeß; Blech Rohre Profile 6/1998, S. 46-51.
- [2] Doege, E.; Dohrmann, H.; Kösters, R.: Simulation of active and passive blankholder concepts using the Finite Element Method, SheMet'96, Proc. of the 4th International Conference on Sheet Metal, University of Twente, The Netherlands, 1-3 April 1996, pp. 183-192.
- [3] Doege, E.; Bederna, Chr.; Laackmann, B.; Kaminsky, C.: Erfassung und Beschreibung des Zwischenschichtzustandes in der Blech- und Massivumformung, Tagungsband, Berichtskolloquium DFG-Schwerpunktprogramm „Wirkflächenreibung“, 1995, Hannover, S. 21-32.
- [4] El-Doski, T.: Numerische Untersuchungen zur Anisotropie beim Tiefziehen von Feinblech, Dissertation, Universität Hannover, 1995.
- [5] Seydel, M.: Numerische Simulation der Blechumformung unter besonderer Berücksichtigung der Anisotropie, Dissertation, Universität Hannover, 1989.
- [6] Hutchinson, J. W.; Neale, K. W.: Wrinkling of curved thin sheet metal. Plastic Instability, Presses Ponts et Chaussées, 1985, S. 71-78.
- [7] Neale, K. W.; Tugcu, P.: A numerical analysis of wrinkle formation tendencies in sheet metals. Int J. Num. Meth. Engng. Vol. 30 (1990), S. 1595-1608.
- [8] Boinski, F.: Auslegung von Ziehteilen und Preßwerkzeugen mit elementaren Methoden unter besonderer Berücksichtigung der Rückfederung, Dissertation, Universität Hannover, 1996.
- [9] Reizle, W.; Streidl, M.; Drecker, H.; Fischer, F.: Maßhaltigkeit von Preßteilen aus höherfestem Stahlblechen. Stahl und Eisen 103 (1983) 23, S. 61-66.
- [10] Groche, P.; Kösters, R.: Virtuelle Prototypen für die Automobilsitzentwicklung. 15. Umformtechnisches Kolloquium, Hannoversches Forschungsinstitut für Fertigungsverfahren (HFF), Hannover, 29.02.-01.03.1996 (in Serie: HFF-Berichte), Band HFF-13 (1996) Seite 291-301.
- [11] Roll, K.; Gröber, M.: Numerische Prozesssimulation in der Blechumformung – Möglichkeiten und Grenzen. Neuere Entwicklungen in der Blechumformung, Symposium des Inst. für Umformtechnik, Univ. Stuttgart, 03.05.-04.05.1994, (1994) Oberursel: DGM-Informationsges., S. 423-442.
- [12] Behrens, B.-A.: Entwicklung eines automatisierten Präzisionsschmiedeprozesses mit integrierter Qualitätsprüfung, Dissertation, Universität Hannover, 1997.
- [13] Straube, O.: Untersuchungen zum Aufbau einer Prozeßregelung für das Ziehen von Karosserieteilen, Dissertation, Universität Berlin, 1994.
- [14] Stegemann, D.: Härte- und Ermüdungsrisse berührungslos messen, Materialprüfung, 35 (1993) 11/12, Seite 349-351.
- [15] Doege, E.; Griesbach, B.; Schulz-Marner, H.: Adaptive Werkzeugkonzepte zur Umformung von gefügten Halbzeugen. EFB-Kolloquium Tagungsband T17 „Leichtbau durch intelligente Blechbearbeitung“, Fellbach 4./5. März 1997.

Bild 10

Vision Preßwerk 2000+



Autoren

- Prof. Dr.-Ing. Eckart Doege ist Leiter des Institutes für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Universität Hannover.
- Dipl.-Ing. Holger Hütte ist seit 1997 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFUM in der Abteilung Blechumformung tätig.
- Dipl.-Ing. André Kröff ist seit 1997 als Abteilungsleiter am IFUM für die Abteilung Numerische Methoden verantwortlich.
- Dipl.-Ing. Wolfgang Strache ist seit 1995 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFUM in der Abteilung Umformmaschinen tätig.