

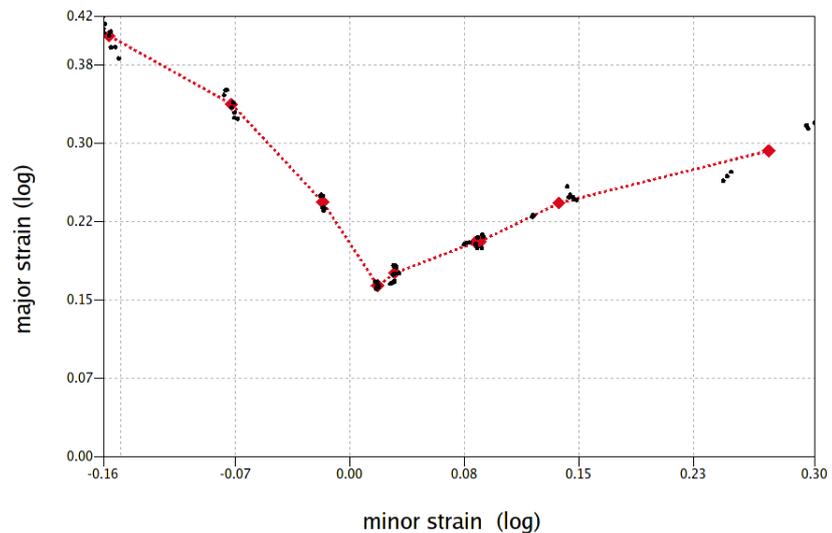
Anwendungsbeispiel: Materialprüfung

Materialkennwerte: Bestimmung der Verfahrensgrenzen bei der Umformung von Blechwerkstoffen - Die Grenzformänderungskurve

Messsysteme: ARAMIS

Keywords: Grenzformänderungskurve (FLC), Grenzformänderungsdiagramm (FLD), Material-Kenndaten

Das Grenzformänderungsschaubild (Forming Limit Diagramm, FLD) bietet die Möglichkeit, die Verfahrensgrenzen bei der Umformung von Blechwerkstoffen zu bestimmen und dient somit der Beurteilung der Umformeigenschaften von Blechen.



FLC Chart

GOM mbH
 Mittelweg 7-8
 38106 Braunschweig
 Deutschland
 Phone +49 531 390 29 0
 Fax +49 531 390 29 15
info@gom.com

GOM International AG
 Bremgartnerstrasse 89B
 8967 Widen
 Schweiz
 Phone +41 5 66 31 04 04
 Fax +41 5 66 31 04 07
international@gom.com

GOM France SAS
 10 Quai de la Borde - Bât A2
 91130 Ris Orangis
 Frankreich
 Phone +33 1 60 47 90 50
 Fax +33 1 69 06 63 60
info-france@gom.com

GOM UK Ltd
 Business Innovation Centre
 Coventry, CV3 2TX
 Großbritannien
 Phone +44 2476 430 230
 Fax +44 2476 430 001
info-uk@gom.com

GOM Branch Benelux
 Interleuvenlaan 15 E
 3001 Leuven
 Belgien
 Phone +32 16 408 034
 Fax +32 16 408 734
info-benelux@gom.com

Materialprüfung / Materialkennwerte

Bestimmung der Verfahrensgrenzen bei der Umformung von Blechwerkstoffen - Die Grenzformänderungskurve

Das Grenzformänderungsschaubild

Das Grenzformänderungsschaubild (Forming Limit Diagramm, FLD) mit der Grenzformänderungskurve (Forming Limit Curve, FLC) bietet die Möglichkeit, die Verfahrensgrenzen bei der Umformung von Blechwerkstoffen zu bestimmen und dient somit der Beurteilung der Umformeigenschaften von Blechen. Anwendung findet das Grenzformänderungsdiagramm in der Methodenplanung, im Werkzeugbau und in Presswerken zur Optimierung von Umformwerkzeugen und Bauteilgeometrien. Der Abstand der an einem umgeformten Bauteil gemessenen Formänderungen zur FLC ist ein Maß der Sicherheit bei der Herstellung von Ziehteilen. Mit Hilfe der Formänderungsanalyse und dem Vergleich mit der FLC erfolgt eine sichere Beurteilung des Umformprozesses von Blechen.

Bei Problemen mit Presswerkzeugen in der Blechumformung kann auch eine gezielte Optimierung des Umformprozesses (z.B. Platinen- und Werkzeuggeometrie, Niederhalterdruck, Schmierung, Werkstoff) basierend auf den ARGUS-Messungen durchgeführt werden (siehe auch „Formänderungsanalyse zur Beurteilung von Umformprozessen“).

Ein weiteres wichtiges Einsatzgebiet des FLD liegt im Bereich der numerischen Simulation von Umformprozessen. Die FLC des verwendeten Blechwerkstoffes ist ein wichtiger Materialkennwert für die Umformsimulation.

Erstellt werden die Grenzformänderungskurven üblicherweise vom Materialhersteller nach Nakajima oder nach Marciniak. Damit kann er die Qualität des Materials anschaulich definieren und so dem Verbraucher die Wahl des richtigen Werkstoffes erleichtern.

Ermittlung von Grenzformänderungskurven nach Nakajima

Ein bekanntes Verfahren, die Grenzformänderungskurve eines Blechwerkstoffes zu ermitteln, ist der Nakajima-Versuch.

Das Prinzip des Nakajima-Versuchs beruht darauf, mit einem halbkugelförmigen Stempel Blechplatinen unterschiedlicher Geometrie bis zum Versagen umzuformen (Abb. 1). Durch Variation der Probenbreite (Abb. 2) stellen sich stark unterschiedliche Tief- und Streckziehbedingungen (von der gleichmäßig biaxialen Verformung bis zur reinen Zugbelastung) auf der Blechoberfläche ein.

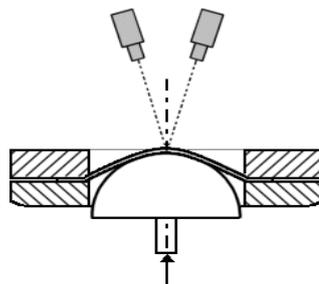


Abb. 1: Versuchsanordnung



Abb. 2: Verschiedene Probengeometrien, vom Vollblech bis zu stark taillierten Blechen

Die charakteristischen maximal erreichbaren Formänderungen (vor dem Versagen) der verschiedenen Probenformen werden bestimmt und definieren so die Grenzformänderungskurve eines Werkstoffes. Bisher erfolgte die Aufnahme einer Grenzformänderungskurve im Allgemeinen durch das Markieren der Bleche vor der Umformung mit Kreis und Liniennetzen. Unter der Belastung des Bleches verformen sich die aufgebrauchten Kreise zu Ellipsen, deren Hauptachsen die Dehnungen an der Bauteiloberfläche in Haupt- und Nebenrichtung darstellen. Nach der Umformung wurden die „verformten“ Liniennetze von Hand, mit Hilfe von Messlupen, Messmikroskopen und biegsamen Messstreifen, vermessen. Begrenzt wird das Verfahren zum einen durch die Konturschärfe des umgeformten Rasters, zum anderen durch die langwierige Auswertung, die geringe Ortsauflösung und die subjektive benutzerabhängige Messwertaufnahme.

Um den Anforderungen der Zeit gerecht zu werden, gilt es die Kennwerte von Blechwerkstoffen genau, reproduzierbar und effizient zu erfassen. Durch den Einsatz des optischen Messsystems ARAMIS wird die Probenpräparation, das Umformen und die Bestimmung der Umformkennwerte einfach und reproduzierbar, so dass heute exakte Materialkennwerte kostengünstig verfügbar sind.

Für die Probenvorbereitung wird statt des Kreis- oder Liniennetzes ein stochastisches Muster mit Hilfe eines Farbsprays aufgetragen (Abb. 3). Zudem sind Richtlinien erarbeitet (gemäß ISO 12004 Vorschlag), die eine gleichmäßige und reproduzierbare Belastung der Probe gewährleisten.

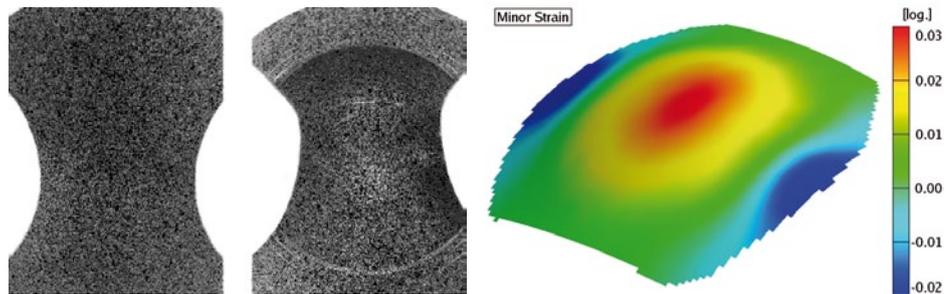


Abb. 3: unverformte und verformte Nakajima-Proben mit stochastischem Muster

Abb. 4: Nebenformänderung Stempelkuppenbereich

Die Erfassung eines Liniennetzes wird ersetzt durch die Zuordnung stochastischer Muster. Dadurch kann die Anzahl der Messstellen drastisch erhöht werden. Zudem werden kleine Unschärfen und Fehlstellen im Muster kompensiert, so dass eine Vielzahl zuverlässiger Messwerte erzeugt wird.

In ARAMIS wird das Referenzbild automatisch in überlappende kleine Bildausschnitte (Quadrate oder Rechtecke) geteilt und der dazu passende Bereich im Stereobild definiert. Durch optimierte Berechnungsmethoden kann der entsprechende Bereich hochgenau (Subpixel) zugeordnet werden. Durch die Zuordnung aller Bildausschnitte zum Stereobild wird mit Hilfe der Kalibrierdaten des Systems die Form des Bleches im Referenzzustand genau vermessen. Nun kann die Zuordnung der Bildausschnitte des Referenzbildes mit den Bildern der nachfolgend aufgenommenen Stereobildpaare erfolgen. Somit sind nach der automatischen Auswertung die entsprechende Form und die Verformung des Bleches in jedem Aufnahmezeitpunkt hochgenau erfasst und vermessen. Ein typischer Aufbau über einer Blechumformprüfmaschine zur effizienten Erfassung der Grenzformänderungskurve mit ARAMIS ist in Abb. 5 dargestellt.



Abb. 5: Messaufbau über verschiedenen Blechumformprüfmaschinen zur Erfassung der Grenzformänderungskurve

Mit der Erfassung von Stereobildpaaren während der Verformung kann der Fortschritt der Verformung und der Belastung erfasst und dokumentiert werden (Abb. 6).

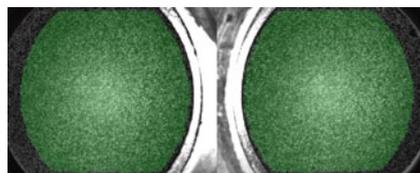


Abb.6: Messbild der linken und der rechten Kamera: grün markiert ist der ausgewertete Bereich (sichtbarer Bereich beider Kameras)

Durch die Aufnahme und Auswertung einer großen Anzahl von Bildern, mit den entsprechenden Belastungskennwerten (Kraft und Hub) während der Umformung, kann das komplette Umformverhalten der Probe bis zum Bruch erfasst, begutachtet und als Datensatz für nachfolgende Auswertungen exportiert werden. In der animierten Darstellung in Bild 7 sind die aktuelle Form des Bleches bei jeder Bildaufnahme sowie die lokale Verformung des Bleches unter der Belastung dargestellt.

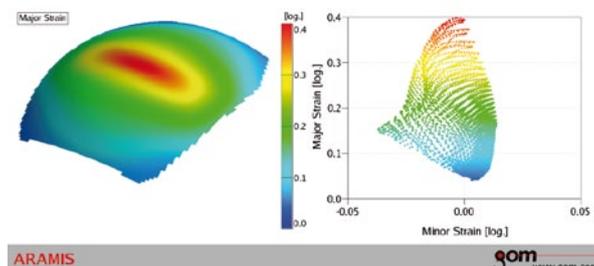


Abb. 7: Formänderung der Blechprobe mit Darstellung der aktuellen Hauptformänderung (als Farbcodierung, Messung von ALCAN)

Für die schnelle Berechnung der Punkte der Grenzformänderungskurve werden aber teilweise auch nur das Referenzbildpaar vor der Belastung und das letzte Bildpaar vor dem Bruch ausgewertet.

Damit wird sichergestellt, dass hochbelastete Bereiche erfasst werden und diese Werte in die FLC-Bestimmung aufgenommen werden. In der ARAMIS-Software werden für die Berechnungen der FLC-Daten Schnitte senkrecht zur Bruchlinie definiert. Aus diesen Schnittdaten (üblicherweise fünf Parallelschnitte) wird gemäß den aktuell gültigen Richtlinien automatisch ein FLC-Punkt mit seiner Messwertabweichung berechnet. Für kundenspezifische FLC-Berechnungen können die Schnittdaten exportiert und mit bestehenden Auswertemethoden verarbeitet werden.

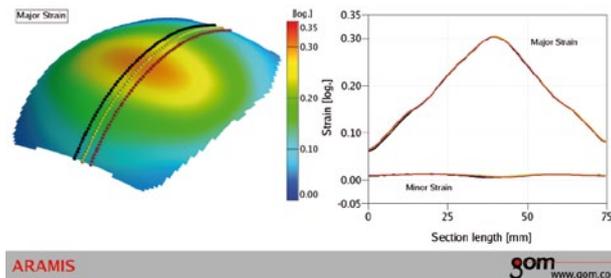


Abb. 8: Schnittbild mit den entsprechenden Schnittdaten. Im Diagramm sind die Haupt- und Nebenformänderung über der Schnittlänge dargestellt

Die Messwerte werden als 3D-Schnitt-Grafik (Abb. 8) und in einem Formänderungsdiagramm (Abb. 9) dargestellt. Durch die Berechnung einer idealen Kurvenform aus den erfassten Messwerten werden in ARAMIS aus jeder Messung die Kennwerte (theoretische Maximalwerte der Haupt- und Nebenformänderung) berechnet.

Bild 9 zeigt die Messergebnisse von 8 verschiedenen Blech-Geometrien. Von jeder Geometrie wurden die Formänderungen beim Messversagen für 3 Proben mit jeweils 3 Schnitten ausgewertet und im FLC-Diagramm dargestellt.

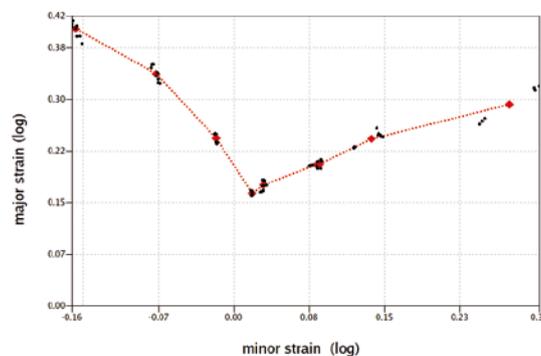


Abb. 9. Dargestellt ist die FLC von einem 1 mm dicken Stahlwerkstoff



Durch Verbinden der gemittelten Messpunkte (aus Haupt- und Nebenformänderung) aus den verschiedenen Probengeometrien kann nun das Grenzformänderungsdiagramm des aktuell geprüften Materials gezeichnet werden. Mit ARAMIS sind Formänderungen und Dehnungen einfach und genau erfassbar. Durch den Aufbau auf eine Prüfmaschine können Grenzformänderungsdiagramme effizient und reproduzierbar erfasst werden.

Mit freundlicher Genehmigung des Lehrstuhls für Fertigungstechnologie der Universität Erlangen-Nürnberg und von Alcan Technology & Management Center, Neuhausen, Schweiz