

Umformen und Feinschneiden

R.-A. Schmidt, Buderus Edelstahl Band
GmbH, Hoesch Hohenlimburg GmbH,
Feintool Technologie AG Lyss, F. Birzer

Handbuch für Verfahren, Stahlwerkstoffe, Teilegestaltung

ISBN 3-446-40964-5

Leseprobe

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser.de/3-446-40964-5> sowie im Buchhandel

3 Umformverfahren

Die mit dem Feinschneiden kombinierbaren Umformverfahren für Werkstoffe mit höherer Festigkeit gehören teils zum Blechumformen, teils zum Massivumformen. Daraus ergeben sich zwei Gruppen: Die erste, Blechumformen, umfasst die Verfahren Tiefziehen, Kragenziehen und Biegen. Die eingesetzten Blechdicken liegen bei diesen, bedingt durch die Werkstückgeometrie, im unteren Dickenbereich. Die Formänderungen sind gering bis mittel.

In der zweiten Gruppe, dem Massivumformen, finden sich die Verfahren Stauchen und Flachprägen, Einprägen, Einsenken, Durchsetzen und Zapfenpressen. Bei den Massivumformverfahren können deutlich höhere Blechdicken verarbeitet werden als durch die Blechumformverfahren. Es können hohe Formänderungen entstehen, durch die sich die Festigkeit beträchtlich erhöht, sodass die zulässigen Kräfte ggf. eine Verfahrensgrenze bilden.

Bei allen Verfahrenskombinationen Umformen – Feinschneiden erfolgt die Werkstückerzeugung in mehreren Stufen. In jeder Stufe können Schneid- und /oder Umformoperationen anfallen. Die Werkzeugkonstruktion und die Maschinenauswahl erfordern besonders bei höherfesten Werkstoffen eine Berechnung.

3.1 Grundlagen, Allgemeines

Einteilung der Umformverfahren

- Unterscheidung nach dem Spannungszustand nach DIN 8582 (Druck-, Zug-, Zugdruck-, Biege- und Schubumformen)
- Unterscheidung nach der Einsatztemperatur (Kalt-, Warm- und Halbwarmumformung)
- Unterscheidung nach dem Produkttyp (Massiv- und Blechumformung, siehe oben)
- Stationäre/instationäre Umformprozesse, je nachdem, ob sich das Geschwindigkeitsfeld in der Umformzone mit der Zeit ändert

Verformen

Im Gegensatz zum Umformen bezeichnet man das Überschreiten der Plastizitätsgrenze bei nicht beherrschter Geometrie als Verformung.

Umformen ist das Ändern der Form eines festen Körpers unter Beibehaltung des Stoffzusammenhalts und der Masse bzw. des Volumens (DIN 8580). Die Beschreibung des damit umrissenen plastischen Verhaltens fester Körper, insbesondere von Metallen, ist viel komplexer als die des elastischen Verhaltens. Nachstehend werden dazu wichtige Grundlagenbegriffe für die Auslegung und das Verständnis von Umformprozessen, die mit dem Feinschneiden kombinierbar sind, eingeführt.

Massivumformen ist das Umformen mit großen Querschnitts- und Abmessungsänderungen, z.B. durch Fließpressen, Stauchen, Prägen, Einsenken, Durchsetzen. Dabei treten große Formänderungen mit großer Verfestigung des Werkstoffs und damit hohen Kräften und Werkzeugbeanspruchungen auf.

Blechumformen ist das Umformen ohne bzw. mit geringen, ungewollten Änderungen der ursprünglichen Wanddicke von Blechzuschnitten, z.B. durch Tiefziehen, Kragenziehen, Biegen. Biegeumformverfahren können je nach Verfahren und Werkstückabmessungen beiden Verfahrensgruppen zugeordnet sein. Formänderungen, Verfestigungen und damit Kräfte sind bei Blechumformverfahren meist kleiner.

Warmumformen ist das Umformen mit dem Anwärmen auf eine Temperatur oberhalb der Rekristallisationstemperatur. Diese liegt bei Metallen bei ca. 40% der Schmelztemperatur in [K].

Halbwarmumformen ist das Umformen mit dem Anwärmen auf eine Temperatur unterhalb der Rekristallisationstemperatur.

Kaltumformen ist das Umformen ohne Anwärmen, d.h. bei Raumtemperatur. In Kombination mit dem Feinschneiden kommen Kaltumformverfahren des Massiv- und Blechumformens zur Anwendung.

3.1.1 Formänderungen

Allgemeine Definitionen nach dem Zugversuch

Das plastische Verhalten von Metallen lässt sich mit Kennwerten aus dem Zugversuch bestimmen (**Bilder 3.1 und 3.2**). Im Zugversuch selbst werden

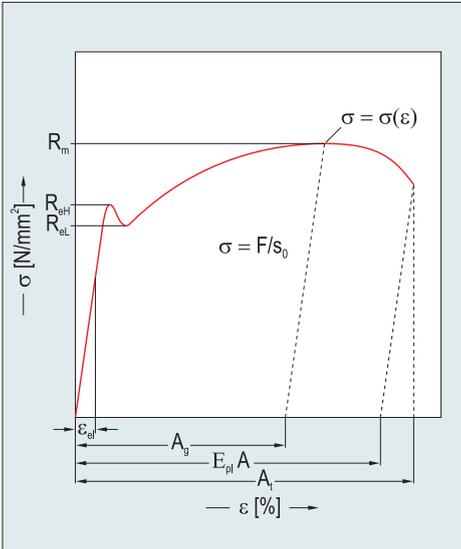


Bild 3.1

Spannungs-Dehnungs-Diagramm mit Kennwerten.

| | | |
|--------------------|---|---------------------------------|
| R_m | = | Zugfestigkeit |
| R_{eH} | = | Obere Streckgrenze |
| R_{eL} | = | Untere Streckgrenze |
| σ | = | Spannung |
| ε | = | Dehnung |
| ε_{el} | = | Elastische Dehnung |
| ε_{pl} | = | Plastische Dehnung |
| ε_t | = | Momentane plastische Dehnung |
| A_g | = | Gleichmaßdehnung |
| A | = | Bruchdehnung |
| A_t | = | Gesamte Dehnung bei einem Bruch |
| F | = | Kraft |
| s_0 | = | Ausgangsquerschnitt |

[EN 10002]

Kräfte und Verlängerungen der Probe gemessen. Generell werden dabei Dehnungen und Kräfte auf den unbelasteten Ausgangszustand bezogen. Es gilt für die Dehnung $\varepsilon = \Delta L/L_0$ oder $\varepsilon = (L - L_0)/L_0$, worin L die momentane, gedehnte Länge und L_0 die Anfangsmesslänge ist. Wegen des durch das Hook'sche Gesetz $\varepsilon_{el} = \sigma/E$ für Metalle gegebenen elastischen Verhaltens bis nahe zur Streckgrenze R_e (**Bild 3.1**) bzw. Proportionalitätsgrenze R_p (**Bild 3.2**) teilt sich die Dehnung in den elastischen Dehnungsanteil ε_{el} und den plastischen Dehnungsanteil ε_{pl} auf; die momentane Gesamtdehnung ist mithin $\varepsilon_t = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl}$.

Zur Beschreibung des elastisch-plastischen Verhaltens von metallischen Werkstoffen wurden folgende Kennwerte genormt:

A_e = Streckgrenzendehnung (am Ende des elastischen Bereichs)

A_g = nichtproportionale Dehnung bei Höchstkraft (Gleichmaßdehnung)

A = Bruchdehnung, $\frac{(L_u - L_0)}{L_0} \cdot 100\%$ (entspricht ε_{pl} beim Bruch),

worin L_u die Messlänge nach dem Bruch ist
 A_t = gesamte Dehnung beim Bruch (entspricht $\epsilon_{el} + \epsilon_{pl}$ beim Bruch) ist
 Z = Brucheinschnürung $\frac{(S_0 - S_u)}{S_0} \cdot 100\%$, worin S_0 = Anfangsquerschnitt
 innerhalb der Versuchslänge und S_u = kleinster Probenquerschnitt nach dem Bruch ist.
 Diese fünf Kennwerte werden in der Regel in Prozent angegeben.

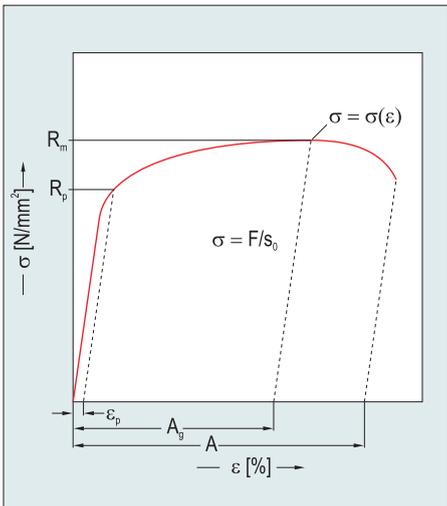


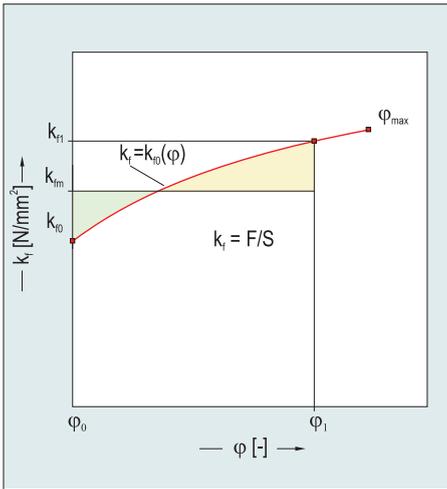
Bild 3.2
 Spannungs-Dehnungs-Diagramm bei nicht-proportionaler Dehnung mit Kennwerten.
 R_m = Zugfestigkeit
 R_p = Streckgrenze
 σ = Spannung
 ϵ = Dehnung
 ϵ_p = Dehnung bei R_p
 A_g = Gleichmaßdehnung
 A = Bruchdehnung
 F = Kraft
 s_0 = Ausgangsquerschnitt

[EN 10002]

Spezielle Definitionen für die Umformtechnik

Für größere Formänderungen wird der elastische Dehnungsanteil häufig vernachlässigbar klein, d.h. $\epsilon_{pl} \gg \epsilon_{el}$. Der Anfangszustand ist dann für die Berechnung der momentanen Formänderungen ohne Bedeutung, und es gilt analog zu $\epsilon = \Delta L/L_0$ auch $d\phi = dL/L$. Durch Integration über die gesamte Formänderung ergibt sich $\phi = \int dL/L = \ln L_1/L_0$. Dieses logarithmische Formänderungsmaß heißt Umformgrad ϕ . Er wird in der Umformtechnik benutzt. Ausgezeichnete Punkte auf der Fließkurve (**Bild 3.3**) sind:

- ϕ_0 = Anfangswert des Umformgrads
- ϕ_1 = Umformgrad zum Zeitpunkt 1
- ϕ_g = Umformgrad bei Gleichmaßdehnung
- ϕ_{max} = Umformgrad bei Bruch

**Bild 3.3**

Fließkurve, Fließspannungs-Formänderungs-Diagramm für $\epsilon_{el} = 0$

- k_f = Fließspannung
 - k_{f0} = Ausgangswert der Fließspannung
 - k_{fm} = Mittlere Fließspannung
 - k_{f1} = Fließspannung zum Zeitpunkt 1
 - φ = Umformgrad
 - φ_{max} = Maximaler Umformgrad
 - F = Kraft
 - S = Tatsächlicher Querschnitt
- [EN 10002]

Für räumliche (dreiachsige) Formänderungen (z.B. in Länge, Breite, Höhe) gilt:

$$\varphi_l + \varphi_b + \varphi_h = 0 \quad (1)$$

Es besagt, dass die Änderung einer Werkstückabmessung durch Umformen immer mit anderen Abmessungsänderungen verbunden ist. Dies muss bei der Auslegung eines Umformprozesses sorgfältig beachtet werden. Es gilt die Volumenkonstanz. Der Werkstoff kann nicht verdichtet werden.

3.1.2 Spannungen

Spannungen im Zugversuch

Spannungen sind auf eine Flächeneinheit wirkende Kräfte. Im Zugversuch nach EN 10002 werden die Spannungen auf den Anfangsquerschnitt bezogen:

$$\sigma = F / S_0 \quad (2)$$

Daraus ergibt sich der charakteristische Abfall des Spannungsverlaufs nach Erreichen des Spannungswerts R_m (Zugfestigkeit), da der tatsächliche Querschnitt, der die Zugkraft zu übertragen hat, bis zum Bruch abnimmt.

Umformtechnik und wirkende Spannungen

In der Umformtechnik werden die Spannungen auf den momentanen Querschnitt, im Zugversuch nach EN 10002 auf S, sonst allgemein auf A, bezogen; der sich ergebende Spannungswert heißt Fließspannung: $k_f = F / S$ bzw.

$$k_f = F / A \tag{3}$$

Ausgezeichnete Werte gemäß **Bild 3.3** sind:

- k_{f0} = Anfangswert von k_f ; entspricht etwa R_e, R_p
- k_{f1} = Fließspannung bei einem gegebenen Umformgrad
- k_{fm} = mittlere Fließspannung über einer gegebenen Umformung
- k_{fm} = $\frac{1}{\varphi} \cdot \int_{\varphi = \varphi_0}^{\varphi = \varphi_1} k_f \cdot d\varphi$ oder näherungsweise
- k_{fm} = $\frac{1}{2} \cdot (k_{f0} + k_{f1})$

3.1.3 Fließkurve

Die Fließkurve (**Bild 3.3**) beschreibt den Zusammenhang zwischen Fließspannung k_f und Umformgrad φ . Sie ist werkstoff-, temperatur- und umformgeschwindigkeitsabhängig. Die Ausgangsfließspannung k_{f0} wird durch die Fließbedingung $\sigma_v = k_f$ bestimmt. σ_v ist die auf einen einachsigen Spannungswert zurückgerechnete Vergleichsspannung aus einer mehrachsigen, räumlichen Beanspruchung ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_m$). Erreicht sie den aus Versuchen ermittelten Wert von k_f , so tritt plastisches Fließen ein. Nähere Hinweise zur mathematischen Formulierung der Fließspannung und zu Einflüssen auf die Fließkurve bzw. Fließspannung enthält Abschnitt 2.1.3.

3.1.4 Fließbedingungen

Eine plastische Formänderung bewirkt gemäß **Bild 3.3** eine Verfestigung, die durch den Anstieg von k_{f0} auf k_{f1} in Abhängigkeit vom Umformgrad φ_1 beschrieben wird. Sie wird durch Gleitung, Zwillingsbildung und Versetzungsbewegung im Kristallgitter der Metalle bewirkt; siehe hierzu auch Abschnitt 2.1.2. Die Verfestigung lässt sich durch Glühen (Rekristallisationsglühen, Weichglühen, Normalglühen) rückgängig machen.

3.1.5 Reibung

Nach DIN 50323 ist die Reibung eine Wechselwirkung zwischen sich berührenden Stoffbereichen von Körpern. Sie wirkt einer Relativbewegung entgegen.

Die Reibung ist eine Systemeigenschaft, da sie von einer Vielzahl von Einflussgrößen (Oberflächengeometrie und -beschaffenheit, Flächenpressung, Relativgeschwindigkeit, Temperatur, Werkstoffpaarung, Luftfeuchtigkeit und Schmierstoff) abhängt. Die Reibung beeinflusst bei Umformprozessen nicht nur die Geschehnisse im Kontaktbereich, sondern auch den Spannungs- und Formänderungszustand in der gesamten Umformzone und somit auch den Kraft- und Arbeitsbedarf.

Die Differenzierung kann in Abhängigkeit der Bewegungszustände (Gleitreibung, Rollreibung, Stoßreibung) oder in Abhängigkeit des Aggregatzustands erfolgen (Festkörperreibung, Flüssigkeitsreibung, Mischreibung). In der Umformtechnik kommt es bei Verwendung flüssiger Schmierstoffe meist zu Mischreibungszuständen.

Die Bestimmung der Reibungszahl μ setzt eine genaueste Kenntnis des Kontaktzustandes voraus und gestaltet sich in den meisten Fällen als äußerst schwierig. Anwendung finden als Rechenverfahren das Coulombische Reibungsgesetz (1) und das so genannte Reibungsfaktormodell (2):

- (1) $|F_R| = \mu |F_N|$ mit F_R als Reibungskraft und F_N als Normalkraft
- (2) $|\tau_R| = m \cdot k$ mit m als Reibungsfaktor ($0 < m < 1$), τ_R als Reibungsschubspannung und k als Schubfließspannung ($k_f/2$)

Beide Reibungsgesetze geben die physikalischen und chemischen Vorgänge in der Reibungszone nur sehr grob wieder. Folgende Richtwerte haben sich für die aufgeführten Kalt- und Warmumformprozesse bewährt (**Tabelle 3.0**):

| Umformverfahren | Formänderung | Reibungszahl (Stahlwerkstoff) |
|------------------|--------------|----------------------------------|
| Kaltwalzen | gering | 0,07 |
| | groß | 0,03 |
| Kaltfließpressen | gering | 0,1 |
| | groß | 0,05 |
| Drahtziehen | gering | 0,1 |
| | groß | 0,05 |
| Tiefziehen | gering | 0,05 |
| | groß | 0,05 - 0,1 |
| Warmwalzen | | 0,2 |
| Strangpressen | | 0,02 - 0,2 |
| Schmieden | | 0,2 |

Tabelle 3.1

Richtwerte für Reibungszahlen bei ausgewählten Umformprozessen.

3.1.6 Formänderungsvermögen/Grenzformänderung

Das Formänderungsvermögen ist ein Maß für die für einen gegebenen Werkstoff erzielbare maximale Formänderung. Das Formänderungsvermögen ist keine konstante Größe und auch keine Werkstoffeigenschaft. Werkstoffabhängige Größen für erzielbare Formänderungen sind R_m , A und R_p sowie das Streckgrenzenverhältnis R_p/R_m , das für gut umformbare Stähle zwischen 0,5 und 0,7 liegt. Bei mehrachsigen Beanspruchungen mit mittleren Normalspannungen im Druckbereich gilt

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \tag{4}$$

Dabei wird $\phi_{max} \gg A$. Durch Druckspannungsüberlagerung, z.B. beim Stauchen, Durchdrücken, Feinschneiden, lassen sich wesentlich größere Umformungen als im Zugversuch bzw. plastische Formänderungen erzielen (siehe Abschnitt 5.2).

Mit entsprechend weichgeglühten Kohlenstoffstählen, legierten Stählen höherer Festigkeit und Feinkornstählen lassen sich ähnliche Umformungen erzielen wie mit weicheren unlegierten Kohlenstoffstählen. Allerdings sind die erforderlichen Umformkräfte dabei, den jeweiligen Werten der Fließspannung k_f und des Umformgrads φ entsprechend, höher.

Die folgende Grafik zeigt den prinzipiellen Verlauf des Formänderungsvermögens (**Bild 3.4**) niedrig legierter Stähle als Funktion der Temperatur.

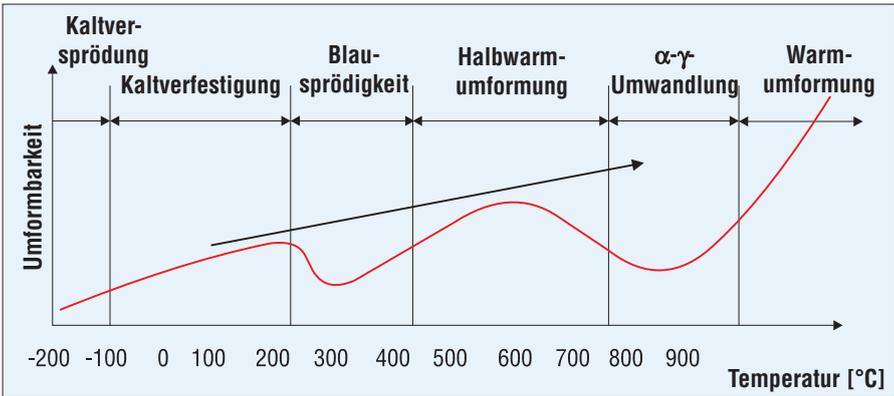


Bild 3.4
Umformbarkeit als Funktion der Temperatur.

Die elastische Rückfederung – wichtig vor allem beim Biegen und Tiefziehen – hängt von der absoluten Höhe von R_p bzw. von k_{f0} bei praktisch gleichem E-Modul für Stähle verschiedener Festigkeit bei Raumtemperatur ab, d.h., sie wird mit zunehmender Streckgrenze größer.

Im Grenzformänderungsdiagramm (**Bild 3.5**) stellen die Grenzformänderungskurven die Versagensgrenzen bzgl. Einschnüren bzw. Reißen/Bersten des Materials dar. Alle Formänderungskombinationen innerhalb der Oberfläche des Bleches, die sich unterhalb der Kurven befinden, führen nicht zu einem Versagen des Werkstücks während der Umformung. Liegen die Formänderungskombinationen oberhalb der dargestellten Kurven, ist eine Einschnürung bzw. ein Bruch des Werkstoffs zu erwarten.

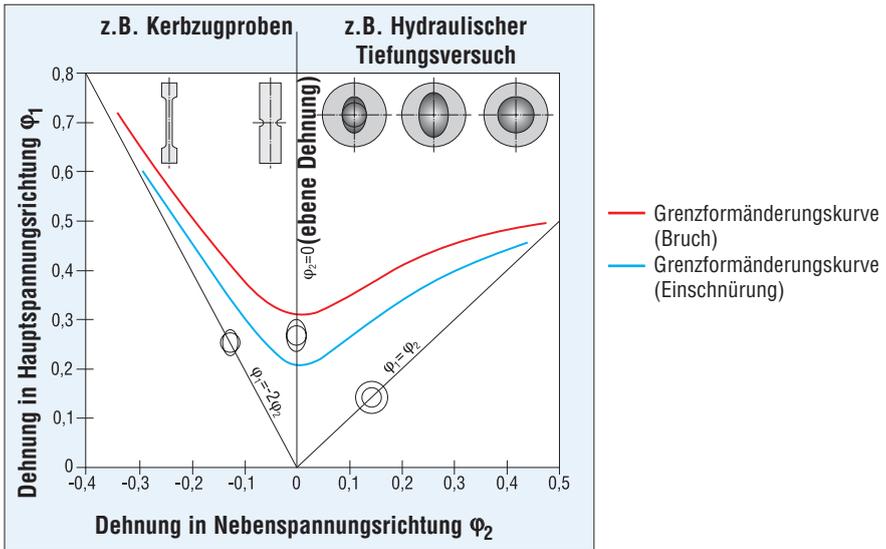


Bild 3.5
Grenzformänderungsdiagramm.

Literatur zu Abschnitt 3.1

- [1] EN 10002:
Zugversuch, Teil 1, April 1991
- [2] Lange, K.:
Umformtechnik-Handbuch für Industrie und Wissen-schaft,
2. Auflage Band 1, Grundlagen. Berlin usw.:
Springer 1984 und Band 4, Sonderverfahren, Prozesssimu-
lation, Werkzeugtechnik, Produktion. Berlin Springer 1993.
- [3] Spur, L. (Hrsg.), Stöferle, Th.:
Handbuch der Fertigungstechnik, Bd. 2/1, Umformen.
München, Wien: Hanser 1983.
- [4] Verein Deutscher Werkstoffkunde Stahl.
Band 1 und 2. Springer-Verlag Eisenhüttenleute: (1984)
- [5] Kopp, R.; Wiegels, H.:
Einführung in die Umformtechnik, Verlag der Augustinus
Buchhandlung, Aachen, 1998