

Wie bei allen Vorrichtungen der spanabhebenden Verarbeitung ist auf eine gute Reinigungsmöglichkeit der Werkstückaufnahme­fläche von Spänen zu achten.

Der Schnittwinkel α der Abschäl­schneid­stempel ist von der Härte des Materials abhängig. Für weiches Kupfer ist ein Winkel α von 35° , für Zink ein α von 45° zweckmäßig. Härtere Werkstoffe lassen sich nur schlecht auf diese Weise bearbeiten.

29. Der Spaltschnitt

Zur Ausrüstung elektrischer Apparate, insbesondere für Hebelschalter, werden häufig Kupferteile benötigt mit \perp -förmigem Querschnitt, wobei der untere \perp -Steg beiderseits angeschraubt wird. Im Hinblick auf elektrische Leiteigenschaften empfiehlt es sich, das \perp -Profil aus einem einzigen dicken Teil herzustellen und nicht aus mehreren Teilen zusammenzufügen, wie durch Schweißen, Löten, Nieten. Bei diesen Kupferteilen — meist rechteckigen Querschnittes mit einer Dicke von etwa $s = 6$ mm — stellt man den Flansch am einfachsten durch Spaltung her. Zunächst wird gemäß Abb. 229 das Werkstück in ein Futter, das im Pressenstößel befestigt ist, unter geringen Seitendrücken zwecks Festhaltens eingeschoben. Sobald der Pressenstößel mit Futter und dem eingeklemmten Werkstück sich senkt, trifft dessen untere Fläche unterhalb der beiden Backen b_1 und b_2 auf die scharfe Schneide des Messers a , wodurch die Spaltung eintritt. Die Spitze dieses Messers a schließt einen Winkel von 30° ein. Der scharfe Keilschnittstempel ist aus Werkzeugstahl eines 12%igen Chromgehaltes hergestellt. Rechts neben dem Werkzeug ist in Abb. 229 ein solches aufgespaltenes Werkstück dargestellt, das im nächsten Arbeitsgang nach weiterem Umlegen der Schenkel um 90° bereits die beiderseitigen Flanschstücke zeigt, die dann in einem Beschneideschnitt rund beschnitten und zu ihrer späteren Befestigung mit Schrauben gelocht werden. Je nach Größe beträgt die Stundenleistung für das Aufspalten derartiger Teile 120 bis 400. Für das Aufspalten solcher Kupferplatten eines Querschnittes von 30×6 mm bis zu einer Spalttiefe von 70 mm reichen Preßkräfte bis zu 20 Mp aus, das sind, bezogen auf die Schneidlänge, 0,7 Mp/mm.

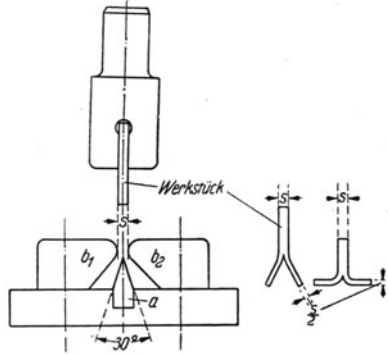


Abb. 229. Spaltschnitt

C. Konstruktionsrichtlinien für Stanzen

1. Die verschiedenen Werkzeugtypen

Es ist schwierig, das Gebiet der Stanzen gegenüber den Schnitten einerseits und den Ziehwerkzeugen andererseits klar abzugrenzen. Dasselbe gilt weiterhin hinsichtlich der Typisierung solcher Werkzeuge. So gehören bei-

spielsweise die Rollwerkzeuge zu Werkzeugblatt 39 bis 43 streng technologisch betrachtet zur Klasse der Biegewerkzeuge, die Rollwerkzeuge zu Werkzeugblatt 44 und 45 zu den Ziehwerkzeugen. Die Gruppierung in die folgenden 5 Klassen a bis e ist daher eine rein willkürliche und verfolgt weniger den Zweck einer klaren Begriffstrennung als den einer Umgrenzung des Gebietes der Stanzen nach den heute allgemein gebräuchlichen Bezeichnungen:

- a) Biegestanzen (Werkzeugblatt 29 bis 39).
- b) Rollstanzen (Werkzeugblatt 40 bis 45).
- c) Flachstanzen (Werkzeugblatt 46).
- d) Formstanzen (Werkzeugblatt 47).
- e) Prägestanzen (Werkzeugblatt 48, 49, 50).

Die über Grundplatten, Einspannzapfen der Stempelköpfe, Stempelhalteplatten, Säulengestelle und Normalien unter Abschnitt A gemachten Angaben dieses Buches behalten auch für die Stanzen ihre Gültigkeit.

Die Beanspruchung der Stanzwerkzeuge erfolgt nicht allein senkrecht zum Arbeitstisch in Richtung der Stempelbewegung, wie bei den Schnitten, sondern bedingt außerdem seitlich horizontal gerichtete Kräfte. Deshalb sind auch die für leichtere Arbeiten bestimmten Stanzgesenke auf der Grundplatte nicht nur mit Zylinderkopfschrauben befestigt, sondern darüber hinaus sowohl in der Grundplatte als auch im Oberteil in bis zu 10 mm tief eingehobelte Aussparungen eingelassen, wie dies die Werkzeugblätter 33 bis 36 und 38 zeigen. Ein schwalbenschwanzförmiges Einsetzen der Gesenke ist teuer und deshalb zu vermeiden.

2. Auswerfer

Bei Stanzarbeiten werden in noch stärkerem Maße als im Schnittbau Werkzeuge mit eingebauten Auswerfern verwendet, die unter Überwindung eines Federdruckes beim Niedergang des Stempels herabgedrückt werden und beim Heben des Stempels das gebogene Werkstück aus dem Biegewerkzeug herausstoßen.

Die Anwendung derartiger Auswerfer, insbesondere für Biegestanzen, bedingt verhältnismäßig hohe und deshalb teure Werkzeuge. Sind nur wenige Biegestanzen, also etwa weniger als 8, für längere Zeit zu betreiben, so werden in diesem Falle die Auswerfer in die Werkzeuge eingebaut und die hierdurch bedingten Kosten der Federn und des höheren Unterteiles mit in Kauf genommen, soweit dies die Abstände zwischen unterster Tischstellung und unterer Stößelstellung der vorhandenen Pressen gestatten. Finden dagegen auf einer Presse zahlreiche, verschiedene Biegestanzen innerhalb kurzer Zeiträume Aufstellung, so empfiehlt es sich, aus Ersparnisgründen nur solche Werkzeuge einzurichten, welche durch Federdruck eines auf dem Tische montierten Auswerferapparates nach oben gedrückte Auswerferbolzen aufweisen. Ein derartiger Apparat, wie er in Abb. 230 gezeigt wird, besteht aus einer Platte, die auf den Maschinentisch derart aufgesetzt wird, daß die Traversenbolzen nach unten durch den Maschinentisch vorstehen und unter Druck eines Federtellers gehalten werden. Das Unterteil

des Biegewerkzeuges wird auf die Oberplatte dieser Vorrichtung derart aufgeschraubt, daß die Auswerferbolzen des Werkzeuges an ihrer unteren Fläche auf derselben aufsitzen. Drückt der Biegestempel das Werkstück gegen die Auswerferbolzen herab, so werden diese wiederum die Druckplatte und mit ihr die Stifte samt Federteller nach unten bewegen unter Zusammendrückung der Druckfeder, deren Berechnung auf S. 529 dieses Buches zu Beispiel 56 näher erläutert ist. Bei großen Biegestanzen werden auch mehrere Auswerfer in weiteren Abständen und eine entsprechend größere Druckplatte verwendet. Dort empfiehlt es sich, die Auswerferplatte nicht durch eine einzige zentrische Feder, sondern durch mehrere Schraubenfedern, welche gleichmäßig über den Umfang verteilt sind, zu stützen. Für große Biegewerkzeuge werden mehrere Aussparungen und größere Gewindebohrungen im Maschinentisch zwecks Aufnahme eines derartigen Auswerferapparates vorgesehen und deshalb von vornherein nur eine bestimmte größere Maschine hierfür ausgewählt, während bei kleineren Maschinen kleine Aussparungen und Gewindebohrungen im Tisch mit Auswerfervorrichtung für kleinere Werkzeuge angebracht werden. Im allgemeinen werden in neuzzeitlichen Betrieben diese Federdruckauswerfer durch pneumatisch oder hydraulisch gesteuerte Kolbenauswerfer ersetzt, die Bestandteile der Maschine sind und daher hier nicht besprochen werden. Für den Einbau eines mit Preßluft betriebenen Auswerfers eignen sich auch für Stanzen die zu Abb. 127 und 128 erläuterten Vorrichtungen. Neuzzeitliche Pressen sind mit abnehmbaren pneumatischen Kissen unter dem Pressentisch ausgerüstet und an eine Preßluftanlage angeschlossen oder mit eigenem Kompressor ausgerüstet.

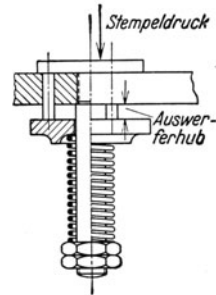


Abb. 230. Auswerfervorrichtung an Maschinentischen von Pressen in nach unten durchgedrückter Stellung

3. Biegeradius

Die beim Biegevorgang an der Außenfaser auftretende Dehnung wird unter der nicht genau zutreffenden Annahme, daß die spannungsfreie Faser in der Mitte verläuft, nach folgender Formel berechnet:

$$\varepsilon = \frac{(r_i + s) - \left(r_i + \frac{s}{2}\right)}{r_i + \frac{s}{2}} = \frac{\frac{s}{2}}{r_i + \frac{s}{2}} \quad (32)$$

Hierin bedeuten r_i den inneren Biegeradius und s die Blechdicke. Bei sehr großen Radien, also flachen Krümmungen, kann ε näherungsweise lauten unter Vernachlässigung von $\frac{s}{2}$ im Nenner

$$\varepsilon = \frac{s}{2r_i} \quad (33)$$

Bei diesen großen r_i/s -Verhältnissen besteht die Gefahr, daß die Biegung nur im elastischen Bereich verläuft, also nicht hält gemäß Abb. 244 oben. Daher

muß für eine haltbare Biegung die Bedingung erfüllt sein, daß die Fließgrenze überschritten ist, so daß mit σ_s als Streckgrenzspannung und E als Elastizitätskoeffizienten, beide in kp/mm^2 oder kp/cm^2 , gilt:

$$\varepsilon \geq \frac{\sigma_s}{E}. \quad (34)$$

Somit ergibt sich aus den Gl. (32) und (34) der höchstzulässige Biegehalbmesser, wenn die Biegung halten soll:

$$r_{i \max} = \frac{E \cdot s}{2 \cdot \sigma_s}. \quad (35)$$

Hingegen läßt sich für die Bestimmung des geringstzulässigen Biegehalbmessers das $\frac{s}{2}$ im Nenner nicht vernachlässigen. So ergibt sich in Fortsetzung zu Gl. (32) für ε_B als Bruchdehnung:

$$\varepsilon_B = \frac{1}{2 \frac{r_i}{s} + 1} \quad \text{oder} \quad r_{i \min} = \frac{s}{2} \left(\frac{1}{\varepsilon_B} - 1 \right). \quad (36)$$

Man müßte annehmen, daß bei Überschreiten der Zerreißdehnung an der äußeren Faser das Material aufreißt. Versuche haben bewiesen, daß eine weitere Überanstrengung des Materials möglich ist, ohne daß deshalb ein Reißen auftritt. Für den geringst zulässigen inneren Biegeradius r_{\min} gilt näherungsweise in weiten Grenzen folgende einfache Beziehung:

$$r_{\min} = c \cdot s. \quad (37)$$

Unter s ist die Materialdicke zu verstehen, unter c ein Koeffizient, welcher von der Werkstoffbeschaffenheit abhängig ist. Es gelten hierfür die c -Werte der Tabellen 41, 42 B 1 am Ende dieses Buches. Die dort angegebenen Mindestwerte können auch als kritische Mindestbiegefaktoren bezeichnet werden, da hierbei der Werkstoff schon derart überbeansprucht wird, daß er auch mäßigen mechanischen Beanspruchungen kaum standhält. Man wird solche Biegungen also nur dort vorsehen, wo auf eine scharfkantige Gestalt der Biegekante großer Wert gelegt wird und wo auch mit geringen mechanischen Beanspruchungen nicht gerechnet werden braucht. Je größer der Biegeradius gewählt wird, um so höher ist auch die Sicherheit gegenüber mechanischer Beanspruchung. So werden an anderer Stelle, beispielsweise unter DIN 9003, größere Mindestbiegeradien empfohlen, die aber bereits eine gewisse Sicherheit berücksichtigen, tatsächlich also keine reinen Mindestbiegewerte ergeben. Nach *Mäckel*¹ gilt bei Leichtmetallblechen für c die empirische Beziehung mit σ_B in kp/mm^2 und δ_{10} in %

$$c = \left(0,85 \frac{\sigma_B}{\delta_{10}} + 0,5 \right). \quad (38)$$

Hingegen wird zur Berechnung des kritischen Biegehalbmessers an Stelle von c ein Ausdruck $0,78 \sigma_B / \delta_{10}$ als Rechnungsbeiwert zur Blechdicke s angenommen.

¹ *Mäckel, H.*: Untersuchung der Abkantfähigkeit von Aluminiumblechen. Werkstattst. u. Maschb. 39 (1949), H. 1, S. 17.

Bei scharfen Biegungen bzw. geringen Biegungsrundungen treten am Rande der Biegung Verformungen ein, die zuweilen mit in Kauf genommen werden können, häufig aber unerwünscht sind. Dies gilt insbesondere von Scharnierrollen und solchen Biegeteilen, die nach dem Zusammenbau seitlich geführt werden und daher auch im Bereich der Biegung eine saubere, winkelrechte Randkante aufweisen müssen. Die Randverformung tritt eigentlich nur beim Biegen dicker Bleche bei kleinem Biegehalbmesser r störend auf. Der innen an der Biegekante liegende Werkstoff wird gestaucht und gepreßt. Hier versuchen die Gefügeteilchen seitlich nach dem Rande auszuweichen. Die Breite des gebogenen Bandes der Ursprungsbreite b erfährt daher an dieser Stelle eine bemerkenswerte Verbreiterung um das Maß $2t$ auf b_i . Im umgekehrten Sinne werden die äußeren Fasern des der Biegung unter-

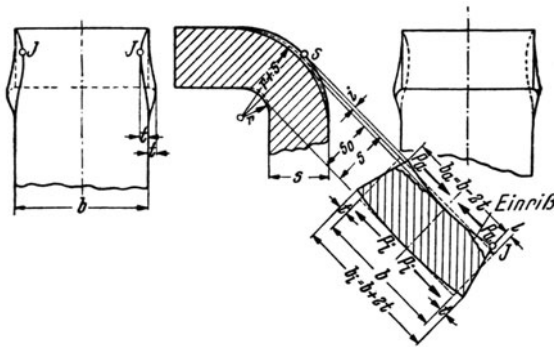


Abb. 231. Randverformung beim scharfkantigen Biegen dicker Teile

worfenen Querschnittes gedehnt. Diese Dehnung führt nicht nur gemäß Abb. 231 zu einer meist unerheblichen, auch bei scharfkantiger Verformung etwa bei 10% liegenden Blechschwächung der ursprünglichen Blechdicke, sondern außerdem zu einer Schrumpfung der Ursprungsbreite b auf b_a , da von außen der Werkstoff nach innen nachzufließen bestrebt ist. Der Querschnitt in der Biegung entspricht also nicht einem Rechteck der Seiten s und b , sondern eher einem Trapez der Höhe s_0 und der beiden Seiten b_i und b_a . Tatsächlich aber bewirken die auswärts gerichteten Stauchkräfte P_i an der inneren Biegekante in Verbindung mit den einwärts gerichteten Schrumpfkraften P_a an der Außenseite der Biegung, wie sie in ähnlicher Form bei der Querkontraktion des Zerreißstabes zu finden ist, ein seitliches Hochwölben am Rande. Dies zeigen der Biegequerschnitt rechts unten und die Seitenansichten in Abb. 231. Der Breitenunterschied beträgt zwischen äußerer und innerer Biegefläche insgesamt $4t$, also an jeder Seite $2t$. Versuche ergaben einen annähernden Wert für scharfkantiges Biegen

$$t = \frac{0,4s}{r} \quad (39)$$

Die hochgewölbten äußeren Kanten liegen in der Mitte der Biegung an den Punkten J um ein Maß i sogar oft über dem Halbmesser $r + s$. Die Punkte J bilden daher häufig den Ausgang von Brüchen, die zumeist bereits nach dem

Biegen wahrzunehmen sind, zuweilen aber sehr viel später eintreten können. Diese Rißbildung wird durch Gratbildung begünstigt. Dies beweisen die beiden 15,3 mm dicken U-Biegeteile aus St 52 nach Abb. 232, deren Innen-

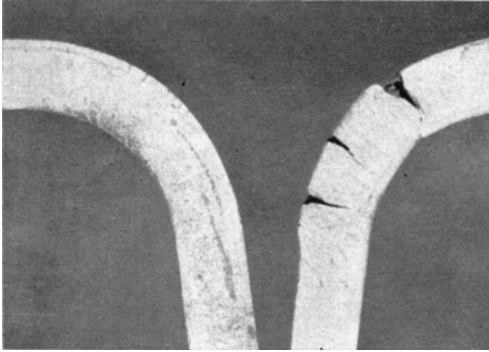


Abb. 232. Durch Außengrat (rechts) bedingte Rißbildung an gebogenen Stahlteilen

halbmesser an der Rundung etwa der doppelten Blechdicke entspricht. Am linken Teil liegt die Gratseite innen, am rechten außen. Das linke Teil blieb nach dem Biegen rißfrei, während die tief eindringenden und weit klaffenden Risse am rechten Teil sogar zum Einknicken der inneren Randfaser führen. Unterliegt das gebogene Teil wechselnder Zug- oder Druckbeanspruchung, dann ist mit einem Fortschreiten

der Rißkerbe bis zum vollständigen Bruch des gesamten Querschnittes an dieser Stelle unbedingt zu rechnen. Die Gefahr der Rißbildung kann etwas herabgesetzt werden durch Verbrechen oder noch besser durch eine reichliche Abrundung der Kante bei J vor dem Biegen, wobei dort die Oberfläche zu polieren, zumindest sehr sauber zu schlichten ist. Abb. 233 zeigt links zwei um $r = 3$ mm rechtwinklig gebogene, 5 mm dicke Stahlblechbänder, die am

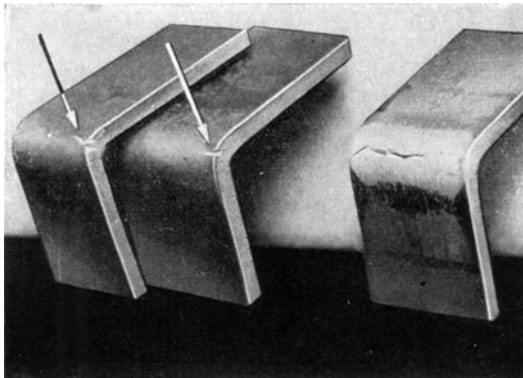


Abb. 233. Scharfkantig bis zum Bruch gebogenes Messingblech (rechts) und Stahlblech (links)

Rand die hier beschriebenen kerbenförmigen Einrisse zeigen. Dies spricht im allgemeinen für eine bessere Biegeeignung des Werkstoffes, als wenn der Bruch gleichmäßig über dem gesamten Querschnitt gleichzeitig eintritt und nicht erst von den Stellen J aus. Insoweit weist das in Abb. 233 rechts dargestellte Messingteil mit $s = 5$ mm und $r = 5$ mm ein für eine Biegebeanspruchung ungünstigeres Verhalten nach als die beiden dort links angebenen Stahlblechwinkel.

4. Abwicklungslänge

Die durch den Biegevorgang bedingten Verformungen bringen es mit sich, daß die Zuschnittslänge oder gestreckte Länge der zu biegenden Teile sich nicht absolut mit der Länge der mittleren Faser deckt. Unter „mittlerer Faser“ wird die Linie verstanden, welche inmitten des Querschnittes des gebogenen Teiles verläuft, also von beiden Seiten des Bleches gleich weit entfernt ist. Untersuchungen haben bewiesen, daß die mittlere Faser ihrem Verhalten nach nicht als „neutrale Faser“ betrachtet werden darf. Die neutrale Faser entspricht der spannungsfreien Schicht im Blech, die weder gedehnt noch gestaucht wird. Aus diesem Grunde erscheint es notwendig, hierfür Korrekturfaktoren¹ aufzustellen, welche von der Art der Krümmung abhängig sind. Bei sehr scharfer Krümmung liegt die tatsächlich neutrale Faser ziemlich weit an der Außenseite, während sie bei flacher Krümmung fast in der Mitte der Blechdicke liegt. Sind a_1 und b_1 die geraden Schenkel, der Winkel φ der Biegungswinkel, r der innere Krümmungsradius und s die Blechdicke, so gilt folgende Beziehung:

$$\text{Zuschnittslänge } L_z = a_1 + \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \left(r + \frac{s}{2} \cdot (\xi) \right) + b_1. \quad (40)$$

Der Faktor ξ wird gemäß des Grades der Krümmung nach der folgenden Tabelle 10 festgestellt:

Tabelle 10. Koeffizient ξ zur Ermittlung der Zuschnittslängen gebogener Werkstücke

Innerer Krümmungsradius r in Abhängigkeit von der Blechdicke s . Verhältnis: r/s	5,0	3,0	2,0	1,2	0,8	0,5
Korrekturfaktor ξ	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5

Ein Mangel sämtlicher derartiger Verfahren beruht darin, daß die Art des Werkstoffes hierbei nirgends Berücksichtigung findet. Aus diesem Grunde können alle diese Ermittlungsverfahren auch nur Annäherungsverfahren bedeuten. Bei sehr genauer Ausführung sind vorbereitende Versuche notwendig, wenn es sich nicht überhaupt als zweckmäßig erweist, die Werkstücke nach dem Biegevorgang auf ihre genaue Länge zu beschneiden bzw. zu lochen, da bekanntlich Blechliefereien sehr unterschiedlich ausfallen.

Beispiel 17: Für das in Abb. 234 angegebene U-förmig gebogene Stück Band-eisen von 6 mm Dicke ist die gestreckte Länge zu ermitteln. Der innere Abstand der beiden Schenkel gleicher Höhe, 50 mm von innen aus gemessen, beträgt 200 mm, die eine innere Abrundung 20 mm, die andere nur 2 mm. Der Biegewinkel φ entspricht 90°.

¹ An Stelle der hier in Tabelle 10 empfohlenen 6 Werte empfiehlt *Mäkelt* gemäß der in Bild 17 seines Aufsatzes: Rationelles Schneiden und Biegen in Nr. 42/43 der STZ, Bern 1953, S. 684, für rechtwinklige Biegeteile folgende: 0,94—0,92—0,90—0,85—0,80—0,75. Nach DIN 6935 werden empfohlen für $r:s > 0,65$, > 1 , $> 1,5$ $> 2,4$ $> 3,8$ die Korrekturfaktoren 0,6—0,7—0,8—0,9—1,0. Verwiesen sei außerdem auf *Hanke, H.*: Berechnung der Zuschnittslängen von Biegeteilen. Masch.-Bau 4 (1955), H. 9, S. 237—240 und H. 10, S. 273. — *Möllenbruck, W.*: Verfahren zur Bestimmung der gestreckten Längen. Blech 4 (1957), Nr. 1, S. 28—33.

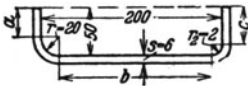


Abb. 234. Ermittlung der gestreckten Länge

An geraden Längen bedeuten a , b und c :

$$a = 50 - 20 = 30 \text{ mm,}$$

$$b = 200 - 22 = 178 \text{ mm,}$$

$$c = 50 - 2 = 48 \text{ mm.}$$

I. Die Ermittlung der mittleren Faser ergibt folgende Beziehungen:

$$L_z = a + \left(r_1 + \frac{s}{2}\right) \frac{\pi \cdot \varphi}{180} + b + \left(r_2 + \frac{s}{2}\right) \frac{\pi \cdot \varphi}{180} + c,$$

$$L_z = 30 + 36,2 + 178 + 7,9 + 48 = 300,1 \text{ mm.}$$

II. Gemäß Korrekturfaktor nach Tabelle 10 ergibt sich hiernach die Beziehung

$$L_z = a + \left(r_1 + \xi_1 \cdot \frac{s}{2}\right) \frac{\pi \cdot \varphi}{180} + b + \left(r_2 + \xi_2 \cdot \frac{s}{2}\right) \frac{\pi \cdot \varphi}{180} + c,$$

mit $\xi_1 = 0,9$, da $r_1/s = 3$ und mit $\xi_2 = 0,5$, da $r_2/s \leq 0,5$ ist, ergibt sich hiernach die gestreckte Länge:

$$L_z = 30 + 35,7 + 178 + 5,5 + 48 = 297,2 \text{ mm.}$$

Bei der Anordnung des Zuschnittes innerhalb des Bleches oder des Bandstahles ist zu beachten, daß die Biegung möglichst quer zur Walzrichtung erfolgt, damit das Gefüge in umfangreichem Maße an der Biegung beteiligt ist und sich somit die Biegebeanspruchungen weitestgehend verteilen. Andernfalls, also wenn die Biegeachse mit der Walzrichtung zusammenfällt, besteht viel leichter die Gefahr eines Werkstoffbruches an der äußeren Biegekante.

5. Berechnung der Biegekraft beim Biegen in Gesenken

a) Für rechtwinkeliges formschlüssiges Biegen¹ von Stahl der Breite b , der Blechdicke s und der Zugfestigkeit σ_B in winkelförmigen Gesenken (wie in Werkzeugblatt 30) der oberen Gesenkeweite w wird die Preßkraft P_b nach folgender Gleichung berechnet:

$$P_b = \frac{C \cdot \sigma_B \cdot b \cdot s^2}{w}. \quad (41)$$

Der Faktor C ist aus dem Verhältnis von w und s gemäß des Schaubildes zu Abb. 235 zu ermitteln, bzw. von der Kurve abzulesen. Die Zugfestigkeit kann aus der einfachen Beziehung $\sigma_B = 1,25 \tau_B$ berechnet werden. Die τ_B -Werte sind der Tabelle 3, S. 23, oder der Tabelle 41 am Ende dieses Buches zu entnehmen, wo auch die σ_B -Werte zu finden sind. Nach Versuchen des Verfassers² liegen die tatsächlich gemessenen Werte für C etwas höher. Die Kurve beginnt in Abb. 235 nicht in $5s$ mit $C = 1,43$, sondern mit $C = 1,8$ und gleicht sich etwa bei $20s$ den Calischen Werten an. Näherungsweise kann im Bereich bis $w = 20s$ gelten ein

$$C = 1 + \frac{4s}{w}. \quad (42)$$

¹ Cali, F. G.: Pressures for right angle bends. American Machinist 96 (1952), Nr. 24 K. 48.

² Oehler, G.: Berichtigung des Beiwertes nach Cali. Mitt. Forsch. Blechverarb. 1958, Nr. 24, S. 265–267.

Beispiel 18: Wie groß ist die Biegekraft für die rechtwinklige Biegung eines Stanzblechstreifens von 40 mm Breite (b) und 3 mm Dicke (s) unter Beachtung der richtigen Gesenkweite w ?

Da nach den späteren Ausführungen zu S. 239 für diese Werkstoffdicke $t = 6s$ und wiederum $w = 2t$ ist, so ergibt sich hiernach die Gesenkweite w zu $12s$ oder zu 36 mm. Gemäß Tabelle 41 werden für Stanzblech σ_B -Werte von etwa

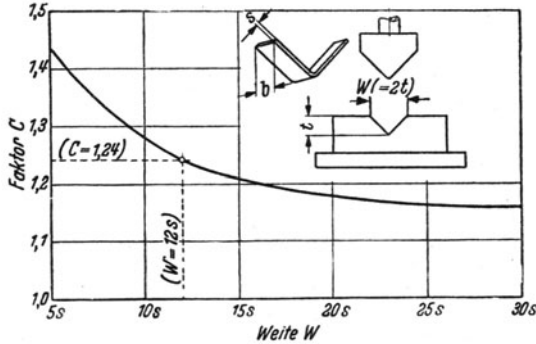


Abb. 235. Ermittlung des Faktors C für die Biegekraftberechnung

40 kp/mm^2 empfohlen. Aus dem Schaubild zu Abb. 235 wird für einen Wert $w = 12s$ ein Faktor C von 1,24 abgegriffen. Nun sind alle Werte für die Gl. (41) vorhanden:

$$P_b = \frac{C \cdot \sigma_B \cdot b \cdot s^2}{w} = \frac{1,24 \cdot 40 \cdot 40 \cdot 9}{36} = 496 \text{ kp.}$$

Hingegen würde sich nach Gl. (42) ein $C = 1,33$ und damit eine Biegekraft $P_b = 532 \text{ kp}$ errechnen.

An Stelle der Gl. (41) in Verbindung mit Abb. 235 gilt auch näherungsweise die Beziehung

$$P_b = \frac{1,2 \cdot \sigma_B \cdot b \cdot s^2}{w} \quad (43)$$

b) Beim U-förmigen Biegen kann näherungsweise für die Biegekraft P_b in kp folgende einfache Beziehung¹ mit den gleichen Bezeichnungen für die Blechdicke s in mm, die Breite b in mm und die Festigkeit $\sigma_B = 1,25 \tau_B$ in kp/mm^2 gelten:

$$P_b = 0,4 \cdot \sigma_B \cdot s \cdot b \quad \text{oder} \quad = 0,5 \cdot \tau_B \cdot s \cdot b \quad (44)$$

In den Gleichungen (40) bis (42) wird angenommen, daß der innere Biegehalbmesser etwa dem 0,15- bis 0,2fachen der Gesenkweite w entspricht. Bei größerem r_b/w -Verhältnis nimmt P_b ab, bei kleinerem zu.

Die Abhängigkeit der bisher allerdings nur für V-Biegegesenke untersuchten Biegekraft vom Rundungshalbmesser fand in verschiedenen Formeln von Geleji² und Duthaler³ ihren Ausdruck. Ein von der Firma Konrad

¹ Die hier genannte Gleichung entspricht etwa dem Schaubild auf S. 79 des *Schuler-Taschenbuches* (Göppingen 1937).

² Geleji, A.: Berechnung der Kräfte und des Kraftbedarfs bei der Formgebung im bildsamen Zustand der Metalle. (Budapest 1952), S. 2–4. — Bildsame Formung der Metalle in Rechnung und Versuch. (Berlin 1960), S. 684, Gl. (113,6).

³ Duthaler, O.: Berechnung des Preßdruckes von Abkantpressen. *technica* 1953, Nr. 6, S. 25.

Zschokke¹ empfohlenes Schaubild zu Abb. 236 trägt diesem Umstand gleichfalls Rechnung.

Beispiel 19: Es sind in einem V-Gesenk ($w = 100$ mm) 10 mm dicke Stahlblechstreifen eines $\sigma_B = 40$ kp/mm² mit einer Innenrundung $r_i = 10$ mm auf 3 m Länge (L_b) abzukanten. Die kleinen Schaubilder links unten zu Abb. 236 ergeben $w/s = 100/10 = 10$ und $r_i/s = 10/10 = 1$. Gemäß der Pfeile ergibt der Linienzug für $s = 10$ mm ... $w/s = 10$... $r_i/s = 1$... $\sigma_B = 40$ kp/mm² ... $L_b = 3000$ mm ... eine Abkantkraft $P_b = 250$ Mp.

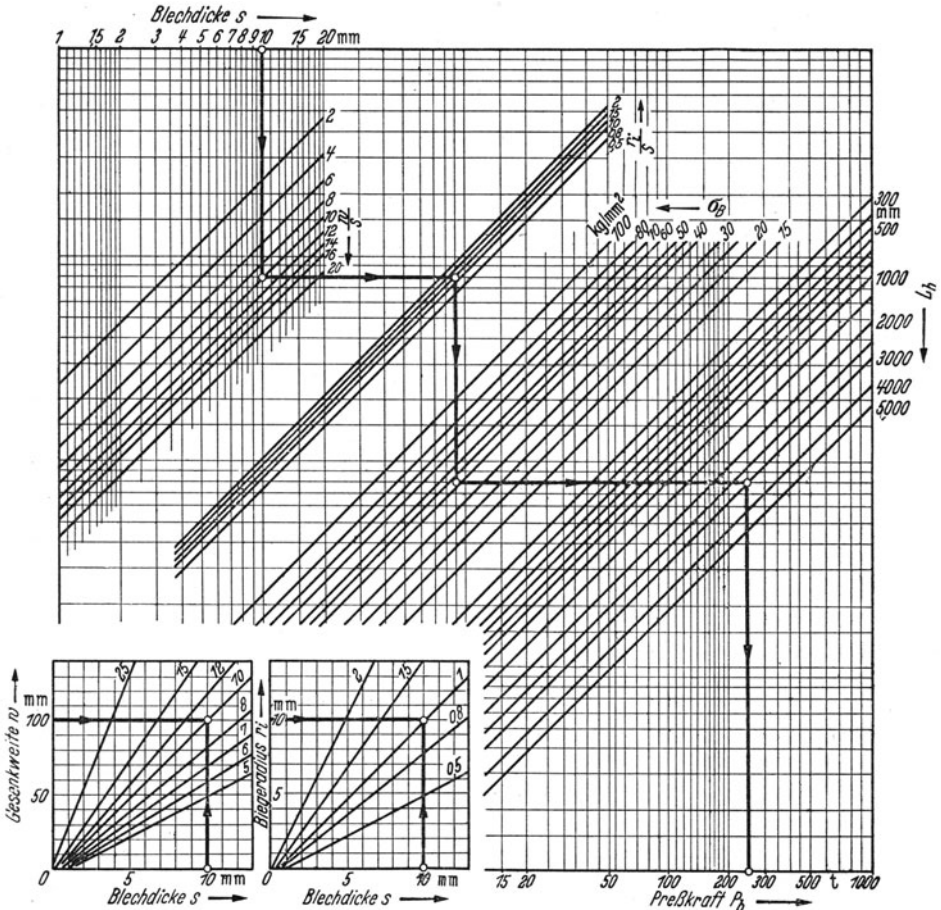


Abb. 236. Schaubild zur Ermittlung der Preßkraft P_b in V-Biegegesenken in Abhängigkeit von s , w , r_i , σ_B und L_b [kg = kp und t = Mp]

6. Berechnung der Biegekraft beim Freibiegen von V- und U-Formen

Für das freie Biegen sind geringere Kräfte als beim formschlüssigen Biegen in Gesenken erforderlich. Abb. 237 zeigt die dafür erforderliche graphische

¹ Oehler, G.: Berechnung der Abkantkraft. Ind. Anz. 78 (1956), Nr. 43, S. 607–609, u. Mitt. Forsch. Blechverarb. 1956, Nr. 19/20, S. 215–225. Hier werden außerdem die von Geleji und Duthaler angegebenen Gleichungen erläutert.

Auswertung für Feinbleche, also Blechdicken bis zu 3 mm, Abb. 238 für dickere Bleche. Beim freien Biegen¹ ist der Biegestempel schmaler gehalten und der Profilwinkel kleiner als der Gesenköffnungswinkel des Unterteils. Die Biegelinie, die das gebogene Teil zwischen den Gesenkauflagepunkten aufweist, ist dort kein Kreis, sondern ähnelt vielmehr einer kubischen Parabel und ist aus Krümmungsabschnitten zusammengesetzt, deren kleinster an der Berührungsstelle des Stempels mit dem Werkstoff liegt. Wenn genaue Form der Biegelinie nicht gefordert wird, sollte man wegen geringen Kraftbedarfs freies Biegen bevorzugen. Es wird dabei auch an Werkzeug gespart, da sich die Gesenkweite w durch Verschieben der Biegekantenschienen an zweiteiligen Gesenken ändern läßt. Auf Grund bisheriger Untersuchungen in Verbindung mit Versuchswerten der Praxis wurden beim freien Biegen folgende Biegekräfte ermittelt:

a) für Feinbleche und Bleche einer Dicke $s = \leq 3$ mm

$$P_b = \frac{2,2 \cdot \sigma_B \cdot b \cdot s^2}{w^{3/2}}, \quad (45)$$

b) für Grob- und Mittelbleche bzw. Bleche einer Dicke $s \geq 3$ mm

$$P_b = \frac{1,3 \cdot \sigma_B \cdot b \cdot s^{5/2}}{w^{3/2}}. \quad (46)$$

Es muß ausdrücklich gesagt werden, daß diese empirischen Zusatzglieder an Stelle der besser einleuchtenden Beziehung, wie sie sich aus den Ansätzen zu den Gleichungen (41) und (43) einfach mit $b \cdot s^2/w$ ergibt, nicht allenthalben befriedigen. Die Exponentenbeiwerte sind in Annäherung des tatsächlichen nach Ergebnissen der Praxis so gewählt, daß die obigen Gleichungen mittels Rechenschieber leicht lösbar sind. Es liegen auch jetzt noch insbesondere für den Grob- und Mittelblechbereich gemäß Gl. (46) zu wenig Messungen vor, als daß eine andere und ausführlichere Beziehung im gegenwärtigen Zeitpunkt gerechtfertigt wäre. Hier müßten weitere Forschungsarbeiten anschließen.

Benutzen wir die obigen Gleichungen zur Aufstellung von nach Normzahlen logarithmisch geteilten Schaubildern nach Abb. 236 und 237 zur P_b -Ermittlung, so werden über w die Parameter zu σ_B im rechten oberen Diagrammteil, im linken oberen die Parameter zu s bzw. s^2 für Feinbleche oder $s^{5/2}$ für Mittel- und Grobbleche und im linken unteren die Parameter zur Biegebreite b untergebracht. Zur Diagrammkonstruktion sei erwähnt, daß im Abszissenmaßstab in Abb. 236 für w nicht w , sondern der Ausdruck $2,2/w^{3/2}$ für den Feinblechbereich gemäß Gl. (45) und $1,3/w^{3/2}$ für den Grobblechbereich gemäß Gl. (46) in Abb. 237 berücksichtigt ist.

Beispiel 20: Es sei das Teil zu Beispiel 18 V-förmig frei zu biegen, wonach $\sigma_B = 40$ kp/mm², $s = 3$ mm, $b = 40$ mm und $w = 36$ mm gegeben wären. In den beiden Schaubildern zu Abb. 236 und 237 ergibt dies entsprechend dem Linienzug $A_1 - B_1 - C_1 - D_1 - E_1$ eine Biegekraft von etwa 150 kp, also erheblich weniger als beim Biegeprägen im Gesenk.

¹ Siehe *K. H. Wolter*: Freies Biegen von Blechen. VDI-Forschungsh. 435 (1952), S. 25, Abb. 33 Biegekraftdiagramm.

Will man an Hand der Schaubilder zu Abb. 237 und 238 die Prägekräfte beim Biegen in formschlüssigen Gesenken ermitteln, so muß man den gefundenen Wert verdoppeln bis verdreifachen. Außer den schrägen Parameterlinien für das V-Biegen sind in den linken oberen Diagrammteilen zu Abb. 237 und 238 gestrichelte Linien für das U-Biegen eingetragen. Es wäre falsch, beim U-Biegen mit einem w zu rechnen, das der vollen Gesenkeweite

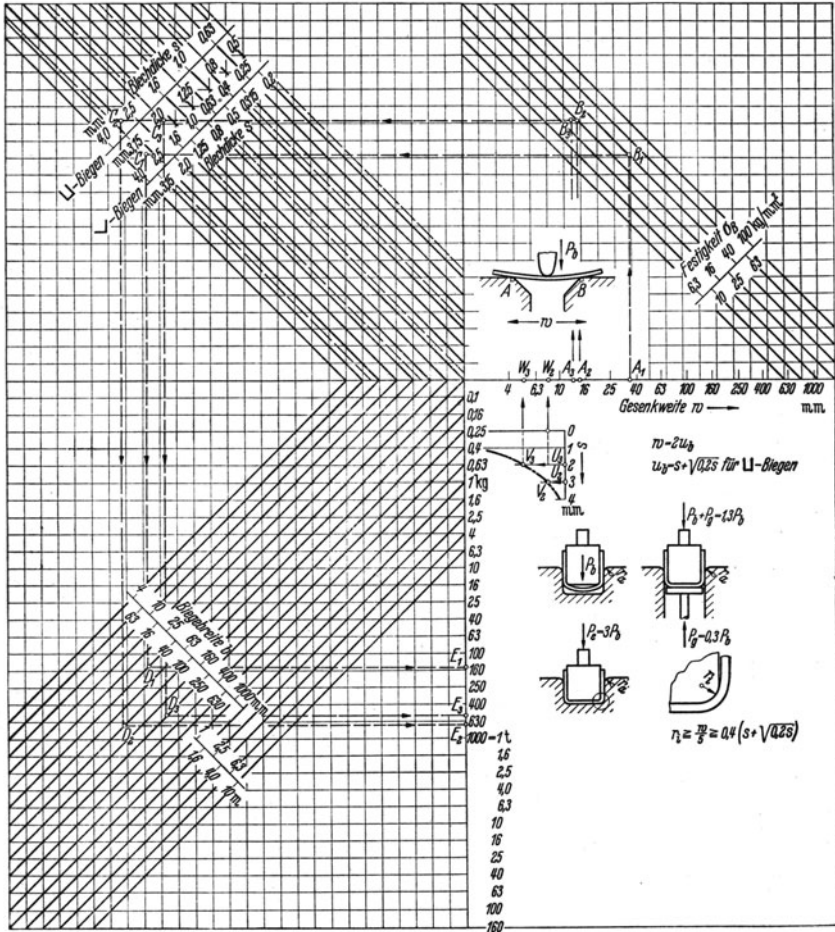


Abb. 237. Biegekräfte für das Freibiegen von V- und U-Profilen für Feinbleche [$t = Mp$]

entspricht. Vielmehr ist die Entfernung der Blechauflage von der nächstliegenden Stempelkante, also grob überschlagen der Biegespalt u_b , maßgebend. Wird $u_b = s + \sqrt{0,2s}$ als ein häufiger Durchschnittswert für den Biegespalt angenommen, so ergeben sich dafür die Gesenkeweiten $w = 2u_b = 2(s + \sqrt{0,2s})$ gemäß des kurzen Kurvenzuges unter den Gesenkeweiten in Abb. 237 und 238. Zu $2u_b$ ist noch die doppelte Differenz zwischen $r_{i\min}$ und

den tatsächlichen Halbmessern r_i an der Biegestempelkante gemäß Abb. 237 rechts unten hinzuzufügen.

Beispiel 21: Ein U-förmiges Teil aus 3 mm ($= s$) dickem Messingblech Ms 72 einer Festigkeit von 25 kp/mm^2 ($= \sigma_B$) sei in einer Breite von 100 mm ($= b$) um einen inneren Stempelradius $r_i = 5 \text{ mm}$ zu biegen. Nach Tabelle 41 ist für diesen Werkstoff ein $c = 0,45$ angegeben, so daß $2(r_i - r_{i \min}) = 2(5 - 1,35) = 7,3 \text{ mm}$ zum doppelten Biegespalt $2w_b$ hinzuzufügen sind. Dieser ergibt sich aus dem Linienzug $U_2 - V_2 - W_2$ im kleinen Schaubild zu Abb. 237 mit 8 mm, also $w = 8 + 7,3 = 15,3$. Der Linienzug $A_2 - B_2 - C_2 - D_2 - E_2$ in Abb. 237 und 238 weist dafür einen Kraftaufwand von $P_b = 650 \text{ kp}$ nach.

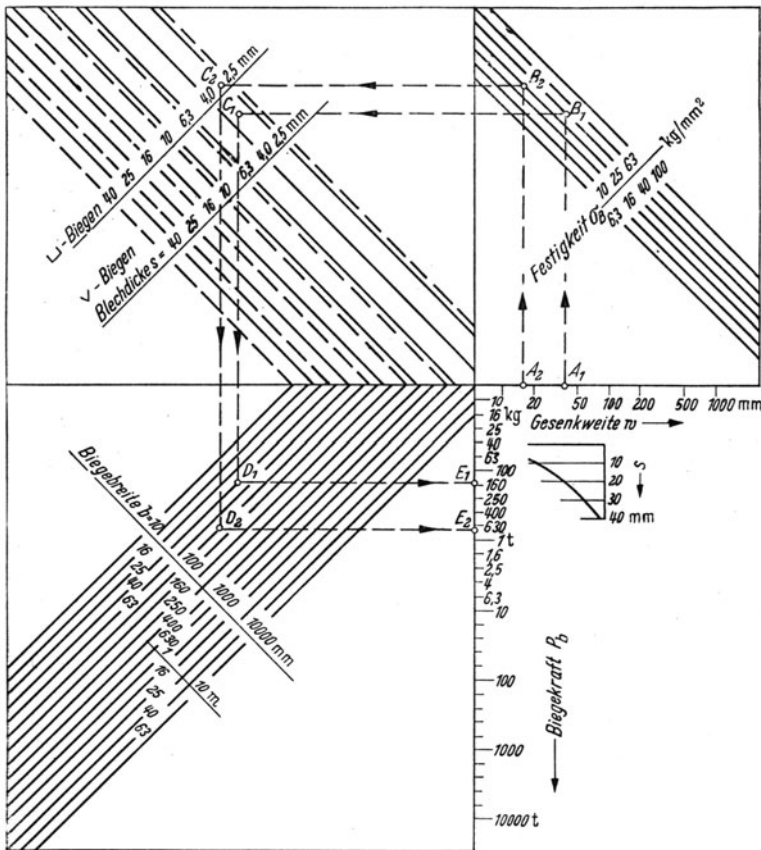


Abb. 238. Biegekraften für das Freibiegen von V- und U-Profilen für Mittel- und Grobbleche [t = Mp]

Beispiel 22: Für ein Rechteckziehteil (s. das spätere Beispiel 28, S. 311!) aus 2 mm ($= s$) dickem Kupferblech eines $\sigma_B = 22 \text{ kp/mm}^2$ beträgt der innere Bodenkantenhalbmesser $r_i = 5 \text{ mm}$, die Länge der geradlinig laufenden Bodenkanten insgesamt 500 mm, die halbe Länge als die für das U-Biegen in Betracht kommende Biegebreite $b = 250 \text{ mm}$. Wie groß ist der auf die Biegekraft entfallende Anteil? Nach Tabelle 41 ist in Verbindung mit Gl. (37) für Kupfer $c = 0,25$, so daß $2(r_i - r_{i \min}) = 2(5 - 0,5) = 9 \text{ mm}$ zum doppelten Biegespalt hinzuzufügen sind,

der gemäß Linienzug $U_3 - V_3 - W_3$ für $s = 2 \text{ mm}$ in Abb. 237 mit 5 mm abgelesen wird. Dies entspricht einer Gesenkweite $w = 9 + 5 = 14 \text{ mm}$ im Punkt A_3 . Gemäß des Linienzuges $A_3 - B_3 - C_3 - D_3 - E_3$ ergibt das einen Kraftanteil $P_b = 550 \text{ kp}$.

Dieses P_b bezieht sich aber einzig und allein auf das Hochstellen der Biegeschenkel. Infolge der sich frei einstellenden Biegelinie hängt der mittlere Steg nach unten durch. Um diesen waagrecht umzuformen, gibt es 2 Möglichkeiten. Entweder man arbeitet mit solchen U-Biegegesenken, die mit einem plattenförmigen Auswerfer versehen sind gemäß Abb. 237 rechts. Dann muß der Gegendruck P_g des Auswerfers etwa 30% der Biegekraft P_b betragen, und zur Überwindung dieses Gegendruckes müssen also von oben $P_b + P_g = 1,3 P_b$ wirken. Das Gesenk wird durch den Einbau einer solchen Gegenhaltervorrichtung teurer. Aber die Biegekraft ist dabei immer noch geringer, als wenn der Stempel einfach nach unten geht und im Gesenk den nach unten gewölbten Steg ausprägt. Dann ist eine Einprägkraft von $P_e = 3 P_b$ erforderlich, also sehr viel mehr. Zurückkommend auf das Beispiel 21 würde dies bedeuten, daß bei Biegen mit Gegendruckplatte der Pressenstößel nicht 650 kp , sondern das 1,3fache, also 850 kp , aufzuwenden hätte bei 200 kp Gegendruck der Auswerferplatte. Würde jedoch eine Ausprägung im Gesenkboden ohne Gegendruckplatte erfolgen, dann müßte mit einer sehr viel höheren Kraft von 2 Mp gerechnet werden¹. Die Biegekraft-Schaubilder zu Abb. 237 und 238 setzen dabei voraus, daß der Innenradius r_i am Biegestempel nicht gar zu klein ist und die Bedingung erfüllt

$$r_i \geq 0,4 (s + \sqrt{0,2s}). \quad (47)$$

Wird scharfkantiger gebogen, dann sind erheblich höhere Kräfte notwendig. Es wird insoweit auf Abb. 236 zu S. 216 und auf Werkzeugblatt 31, S. 241 bis 244 nebst dem zugehörigen Text verwiesen.

Bei der hier vorliegenden Biegekraftbesprechung wurde aus Gründen der Vorsicht angenommen, daß nach Abb. 239 I die Abrundungen an den Auflagestellen bei r_a verhältnismäßig klein sind. Es ist bekannt, daß, je größer diese Abrundung ist, um so größer der Hebelarm und um so kleiner die aufzuwendende Kraft wird, so daß das Kraft-Weg-Diagramm beim Biegen nicht im Anfang steil ansteigt, sondern erst allmählich verläuft. Immerhin ist zu bedenken, daß die Umformarbeit als solche betrachtet die gleiche bleibt. Es hat, wie auf S. 318 noch beschrieben wird, für die Einzugsform beim Tiefziehen sich die Tractrix-Kurve entsprechend der Kettenlinie bewährt. Auch hier liegen sehr ähnliche Verhältnisse vor, um während des Eindrückens in die U-Biegeform die Entfernung zwischen Auflagepunkten am Gesenk und denen am Stempel möglichst gleichgroß zu halten. Man kann diesen Verhältnissen dadurch nahekommen, indem gemäß Abb. 239 II der Einzugsverlauf an den Auflagebiegekanten einer stehenden Ellipse entspricht gemäß einer Konstruktion von Näherungskreisen mit r' und r'' als Halbmesser, wobei die größere stehende Ellipse halbaxial mit $8s$ ($s = \text{Blechdicke}$) und die

¹ Nach Geleji, A.: Bildsame Formung der Metalle in Rechnung und Versuch. (Berlin 1960), S. 686, Gl. (114,8) gilt $P_b = \frac{(1 + 7\mu) b \cdot s^2 \cdot \sigma_s}{r_m \cdot s}$, was unter Annahme eines $\mu = 0,1$ für das hier vorliegende Beispiel einer Biegekraft von $1,6 \text{ Mp}$ entspricht.

kürzere waagerechte mit $6s$ angenommen wird, während die Gesamttiefe des Gesenkes $20s$ beträgt. Dies setzt natürlich voraus, daß die Biegeschenkel nicht so kurz sind, daß es für eine so weit zurückstehende Auflage außer Betracht käme. Immerhin dürfte es zweckvoll sein, diese Form bei der Konstruktion von U-Biegegesenken anzuwenden.

Die in den Gl. (41) bis (46) errechneten Kräfte setzen eine einigermaßen gleichbleibende Beschaffenheit des Werkstoffes voraus. Leider ist dies in der Praxis nicht immer der Fall. So kann es vorkommen, daß an ein und demselben freiegebogenen Teil die Biegeradien an den einzelnen Stellen ganz ver-

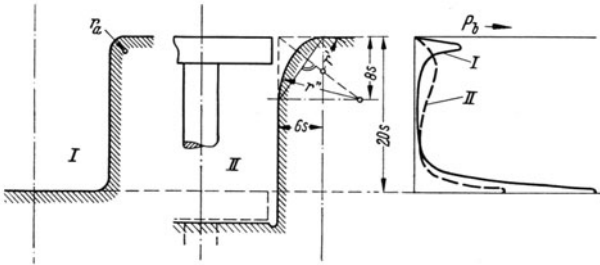


Abb. 239. Einzugsform an den Auflagekanten beim U-Biegen

schieden ausfallen, wobei der Unterschied derart augenfällig ist, daß es zweifelhaft wird, inwieweit der Biegevorgang noch unter zweidimensionaler Betrachtung stehender Gesetzmäßigkeit fällt, oder ob hier nicht dreidimensionale Umformverhältnisse auf eine größere Versteifung und einen erheblich höheren Kraftaufwand schließen lassen. Ferner verursachen bei Grobblechen eingewalzter Zunder und der mehrfache Einbruch der Außenfaser an der inneren Rundung dort sehr unerwünschte Versteifungen, so daß die aus Abb. 237 und 233 ermittelten Ergebnisse in der Praxis stark streuen und bis zum achtfachen Wert der durch obige Rechnung ermittelten Biegekraft ansteigen können. Dies darf nicht vergessen werden, wenn eine Abkantpresse oder -maschine bestellt werden soll oder eine vorhandene Biegemaschine auf ihre Leistung nachgeprüft wird.

7. Die Auflageweite beim V-Freibiegen

Es wurde bereits eingangs des vorausgehenden Abschnittes auf die Unabhängigkeit der Biegelinie von der Stempelrundung hingewiesen. In

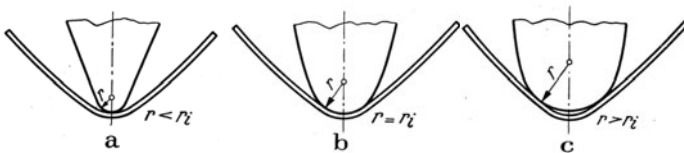


Abb. 240. Abweichung der Stempelrundung r vom sich einstellenden Halbmesser r_i des freiegebogenen Werkstückes

vielen Fällen mag zwar eine annähernde Übereinstimmung entsprechend Abb. 240 b zutreffen. Sehr oft aber ist gemäß Abb. 240 a bei kleinem

Rundungsverhältnis r/w das r_i größer als die Werkzeugrundung r und umgekehrt bei zu großem r/w -Verhältnis nach Abb. 240 c das r_i kleiner als r . Im Fall a können zu scharfkantige Kehllinien infolge Durchknickung auftreten; im Fall c zeigt die Biegelinie an den beiderseitigen Druckstellen des Stempels gegen das Werkstück dort zusätzliche betonte Krümmungen. Wenn unter und über der Biegeteilmitte bei a in Abb. 242 entsprechend dem Fall c

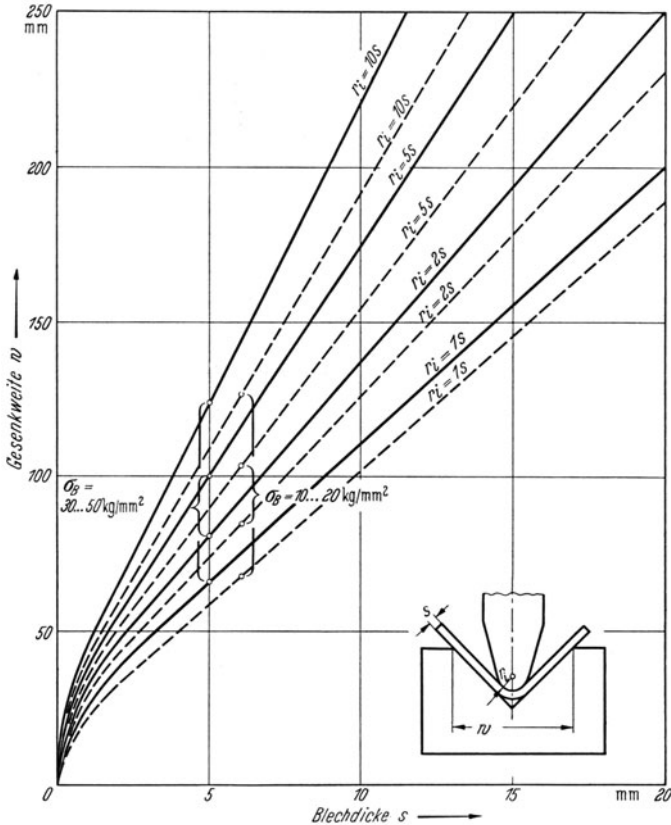


Abb. 241. Bemessung der Gesenkweite in Abhängigkeit von Biegehalbmesser und Festigkeit

zu Abb. 240 Luft, d. h. keine Werkzeugberührung vorhanden ist, so tritt durch Reibung eine in Abb. 242 unten durch Pfeile angedeutete Momentenwirkung ein, die nicht die übliche im kommenden Hauptabschnitt 8 beschriebene nach außen gerichtete Rückfederung, sondern eine umgekehrt nach innen gerichtete Federung beider Biegeschenkel bewirkt. Zur Verhinderung einer derartigen unerwünschten Erscheinung muß die Rundung $r \leq r_i$ gemäß Abb. 240 a und b verringert werden. Eine solche beiderseitige Luft kann zur unerwünschten Knickung führen, die nicht nur bei reinen Biegungen um gerade Kanten, sondern auch beim Biegen um krumme Kanten und Tiefzügen auftreten, bei denen eine biaxiale biegeähnliche Beanspruchung gegenüber einem triaxialen Spannungszustand überwiegt. Ein Beispiel dafür ist die

in Abb. 243 in 2 Stufen hergestellte Kannenausgußhälfte, wo im Vorzug links und noch stärker im Fertigzug rechts zwischen den Pfeilen eine scharf abgewinkelte Falte hervortritt. Abhilfe bringen entweder die Wahl eines etwas weicheren Bleches, oder ein in der Mitte satt aufliegender Stempel des Fertigschlagwerkzeuges oder eine Herstellung unter Gummi- bzw. elastischen Kissen entsprechend S. 496 bis 500. Es sei hierbei hervorgehoben, daß die Biegelinie keineswegs ein Kreisbogenausschnitt ist, so daß der kleinste Näherungskreis mit r_i als Halbmesser im mittleren Bereich der V-Biegung nach den Auflagestellen zu immer größer wird¹. Ein einigermaßen sattes Angleichen der Werkzeugrundung an die innere Biege-
 rundung nach Abb. 240 b wird erreicht, wenn der Werkzeughalbmesser r etwa dem Wert $0,15 w$ entspricht. Auch dieser Faktor $0,15$ ist abhängig von der Festigkeit des Werkstoffes; er ist bei weichen Werkstoffen größer, bei härteren kleiner. Im Hinblick auf Dicken- und Festigkeitsschwankungen werden häufig an ein und derselben Biegekante ganz verschiedene r_i -Werte gemessen². Immerhin wird zuweilen in Taschenbüchern und Firmen-
 Werbedrucksachen das Verhältnis $0,15$ für r/w empfohlen. In der Praxis läßt sich allerdings dieses Verhältnis nicht immer einhalten.

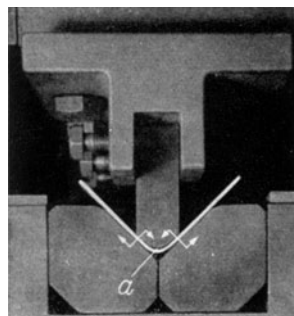
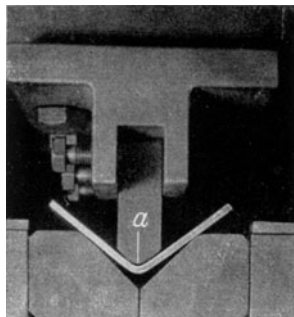


Abb. 242. Freibiegevorgang nach Abb. 240 c

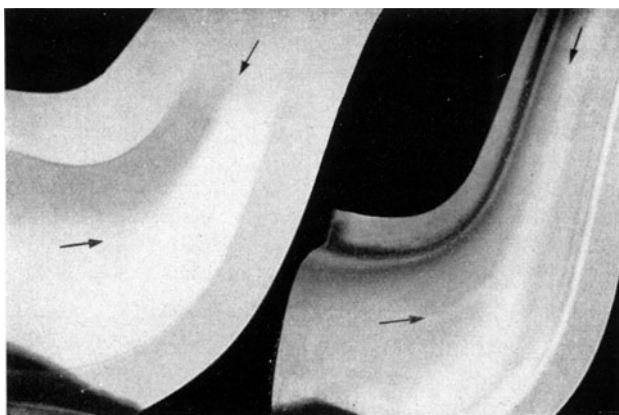


Abb. 243. Knickfalten in vorgezogenen (links) und fertiggezogenen (rechts) Kannenausgußhälften aus 0,5 mm dickem Stahlblech USt 1204

¹ Siehe Fußnote 1 S. 227.

² Oehler, G.: Randgefügeänderung beim Kaltbiegen. Mitt. Forsch. Blechverarb. 1956, Nr. 3, S. 31, Bild 4.

Abgesehen davon, daß meist nur wenige, oft nur ein einziges Biegestempel-schienenprofil zur Verfügung steht, ist für die Bestimmung der Gesenkweite in erster Linie die Blechdicke gemäß Abb. 241 maßgebend. Außerdem ist eine Abhängigkeit vom inneren Biegehalbmesser r_i des Werkstückes und von der Festigkeit des Bleches gegeben. Die gestrichelten Kurven in Abb. 241 beziehen sich auf einen geringen Festigkeitsbereich ($10 \dots 20 \text{ kp/mm}^2$), wie er für Leichtmetallbleche in Frage kommt. Die anderen Kurven gelten für Stahlbleche, wobei zunächst ein Festigkeitsbereich von $30 \dots 50 \text{ kp/mm}^2$ in Betracht gezogen werden soll. Inwieweit höhere Festigkeiten eine noch größere Gesenkweite rechtfertigen, wurde bisher durch den Versuch noch nicht bewiesen.

8. Rückfederung des Bleches

Die verschiedene Härte des zu verarbeitenden Werkstoffes bedingt ein unterschiedliches Verhalten während der Verarbeitung. Beim Stanzen und insbesondere beim rechtwinkligen Biegen zeigen Werkstücke härteren Werkstoffes das Bestreben, sich in ihre frühere Gestalt zurückzuverformen. Deshalb werden die Werkstücke um ein bestimmtes Maß über das gewollte herübergebogen, so daß sich nach der Rückfederung der endgültige und richtige Biegungswinkel von allein einstellt. Dieses Maß der Rückfederung hängt nicht nur von der Härte bzw. Festigkeit des Werkstoffes, sondern noch viel mehr von dem Verhältnis „Biegehalbmesser: Blechdicke“ ab. Gemäß Abb. 244 oben ist die Biegekrümmung nur gering, also das Verhältnis r_i/s sehr groß. Aus der vorausgegangenen Gl. (32) für die Dehnung ergibt sich der Einfluß dieses r_i/s -Verhältnisses. Rechts oben in Abb. 244 ist die Dehnung so gering, daß die Elastizitätsgrenze E noch nicht erreicht ist. Die elastischen Spannungen—an der Außenfaser eine Zug- (σ_z), an der Innenfaser eine Druckspannung (σ_d)—sinken nach Entlastung auf 0 ab. Es ist eben $r_{i\text{max}}$ nach Gl. (35) überschritten, und das gebogene Teil hält nicht, sondern federt in seine Ursprungslage zurück. Die links oben durch Schraffur hervorgehobene Momentenfläche fällt in sich, wie rechts durch den senkrechten Strich dargestellt, auf Null zusammen. Wie liegen die Verhältnisse bei zunehmender Krümmung! Hier wird nur noch der innere Bereich beiderseits der mittleren spannungsfreien Faser eine dreieckige Momentenfläche aufweisen. Anschließend laufen die den rechts gezeichneten Spannungs-Dehnungs-Diagrammen entnommenen Spannungswerte kurvenförmig abbiegend den Außenfasern zu. Entsprechend Gl. (35) beträgt die Dicke s_e der elastischen Schicht:

$$s_e = \frac{2 \cdot r_m \cdot \sigma_s}{E} \quad (48)$$

Bezeichnet man mit s die Blechdicke, mit r_m den mittleren Krümmungshalbmesser in Millimeter auf Grund der Werkzeugaßmessung, mit σ_s die Streckgrenzspannung und mit E den Elastizitätsmodul in kp/mm^2 , so errechnet sich nach Geleji¹ der infolge Rückfederung abweichende Krümmungshalbmesser r'_m :

$$r'_m = r_m \left[1 + \frac{2 s_e^3}{3 s \cdot (s^2 - s_e^2)} \right] \quad (49)$$

¹ Geleji, A.: Bildsame Formung der Metalle in Rechnung und Versuch. (Berlin 1960), Gl. (108,41), S. 658.

Der in Abb. 244 schraffierte Bereich umfaßt den Spannungsbereich, wie er sich aus den oberen Linien der rechten Schaubilder zu Abb. 244 ergibt, während die gestrichelten Linien einen weniger fließgrenzbetonten Werkstoff geringerer Spannung andeuten. Nach der Entlastung verbleiben Restspannungen, die nahe den Oberflächenfasern umgekehrt zur ursprünglichen Spannung gerichtet sind¹. So sind die äußeren Fasern, bisher auf Zug beansprucht, mit Druckspannungen überlagert, die inneren mit Zugspannungen, um den Gleichgewichtsbedingungen von Kräften und Momenten zu folgen. Dies geht aus Abb. 245 noch klarer hervor. Es wurde bereits eingangs des Abschnittes über den Biegehalbmesser hervorgehoben, daß der bisherige Begriff neutrale

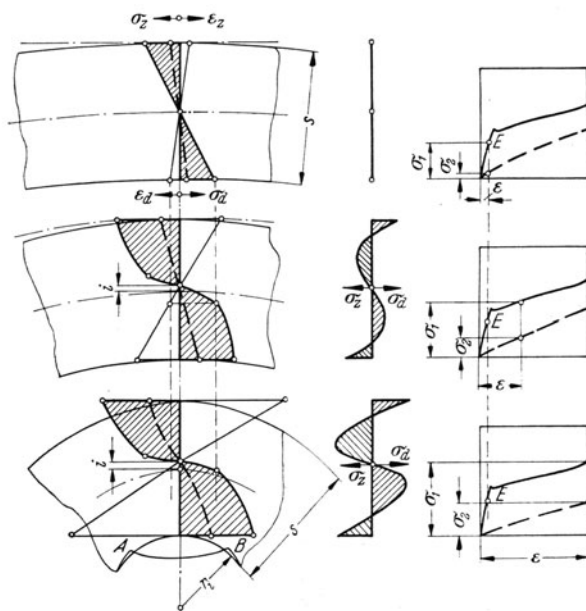


Abb. 244. Spannungs- und Dehnungsverhältnisse in Abhängigkeit vom Biegehalbmesser

Faser = Mittelfaser nicht mehr haltbar ist. In Wirklichkeit haben wir zwischen vier Fasern zu unterscheiden, und zwar erstens der bereits genannten ursprünglich in der Mitte liegenden Faser, zweitens der sich während des Biegevorganges neu einstellenden geometrischen Mittelfaser, drittens der spannungsfreien Faser und viertens der ungelängten Faser. Gewiß sind ihre Abweichungen voneinander, insbesondere bei großem r_i/s -Verhältnis, bezogen auf die Gesamtdicke unerheblich. Anders bei scharf gekrümmten Teilen, was durch Makrogefügeschliffe hinsichtlich der ursprünglichen mittleren Faser bewiesen werden kann. Diese liegt sehr weit außen, während das innere unter Druck stehende Gefüge an der Innenrundung zusammenbricht und somit

¹ Siehe auch E. Siebel u. W. Panknin: Biegefließkurven von Blechen. Ind. Anz. 78 (1956), Nr. 25, S. 343, Bild 2. Den röntgenographischen Nachweis brachte R. Böcklen: Beobachtungen an Stählen bei reiner, statischer Biegung. Z. Metallkunde 42 (1951), Nr. 6, S. 170–174.

an Stelle einer Rundung nach innen zwischen den Punkten A und B in Abb. 244 unten eine Ausbauchung eintritt. Die ungelängte Faser liegt ziemlich nahe der neuen sich beim Biegevorgang einstellenden geometrischen Mittelfaser, während die spannungsfreie Faser um das Maß i von dieser nach der Innengrenzfaser zu rückt. Die Ursache dafür liegt darin, daß die frühere Hypothese, wonach die Zugfließkurve mit der Druckfließkurve sich deckt, nicht zutrifft. Hier sind sogar recht erhebliche Abweichungen bei den einzelnen Werkstoffen vorhanden, was aus den Abb. 246, 247 und 248 hervorgeht. Werden vom Krümmungsmittelpunkt O die Krümmungshalbmesser r_i für die innere Faser, r_m für die mittlere Faser und r_o für die äußere Faser mit den zugehörigen Krümmungskreisen eingezeichnet, so ergibt sich bei Abb. 246 eine Verschiebung des ganzen Querschnittes nach einwärts, wobei die ur-

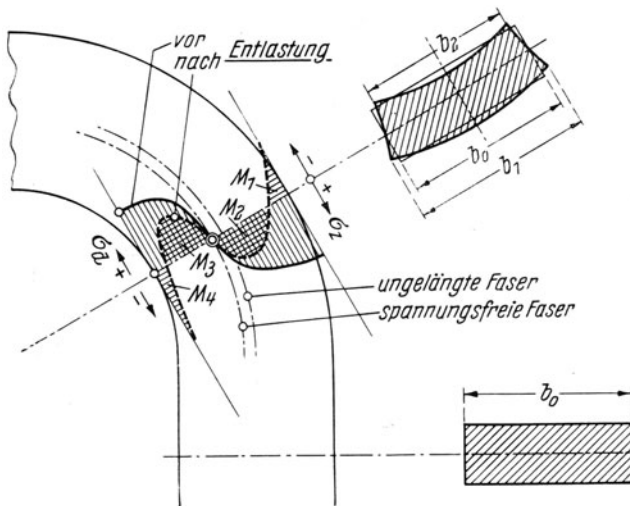


Abb. 245. Spannungen beim Biegen vor und nach der Entlastung

sprüngliche Blechdicke s_0 etwa der neuen Blechdicke s' in der Krümmungsmittelpunkt entspricht. A_1 und J_1 wandern nach dem Krümmungsmittelpunkt zu, entsprechend der Punkte A_2 und J_2 . Hingegen wird die ursprünglich mittlere Faser von M_1 nach M_2 nach außen verlegt, so daß der Abstand von der Außenfaser nicht mehr $0,5 s$, sondern $0,3 s$ beträgt. Bei diesem scharfen Krümmungsverhältnis $r_i/s_0 = 0,5$ ist die Abweichung von den Krümmungskreisen größer als bei den Aluminiumblechen. Dort ist gemäß Abb. 247 für Al 99 w bei einem $r_i/s_0 = 0,3$ und gemäß Abb. 248 für halbhartes Aluminiumblech bei einem $r_i/s_0 = 0,9$ eine Abweichung der Außenfaser vom Krümmungskreis im Punkte A überhaupt nicht zu beobachten und an der Innenfaser wandert der Punkt J_1 nach J_2 , also nach innen und nicht nach außen. Eine erhebliche Versetzung der ursprünglich mittleren Faser nach außen, also von M_1 nach M_2 , ist allerdings auch dort sichtbar. Die Ausbauchung zwischen den Punkten A und B in Abb. 244 ist bei den hier gezeigten Proben deutlich nur in Abb. 248 zu sehen. Ungelängte und spannungsfreie Fasern sind in Abb. 245 eingezeichnet. Auf der span-

nungsfreien Faser, die mehr nach der inneren Krümmung zu liegt, sind die Nullpunkte der Spannungslinien vor und nach der Entlastung zu suchen. Die letztere Linie ist gestrichelt eingetragen. Sie bildet einen Ausgleich der Momente derart, daß die Momentensumme = 0 wird, d.h., die abspannungsfreier Faser geltenden Schwerpunktsabstände der Flächen multipliziert mit diesen ergeben die Momente M_1, M_2, M_3, M_4 , wobei $M_1 = M_2, M_3 = M_4$ und $(M_1 + M_2) - (M_3 + M_4) = 0$. Es würde zu weit führen, auf die ziemlich verwickelten theoretischen und durch den Versuch bestätigten Forschungsergebnisse auf diesem Gebiet einzugehen, die von *Wolter*¹ bis zu einem gewissen Abschluß durchgeführt wurden. Jedenfalls ergibt die Tatsache nach Abb. 244, daß der elastische Anteil an der Umformung mit abnehmendem r/s -Verhältnis, also mit wachsender Krümmung, geringer wird, eine stärkere Rückfederung bei großen Biegeadien im Vergleich zu kleineren. Bezeichnet man gemäß Abb. 249 den inneren Biegehalbmesser beim Biegen im Gesenk mit r_1 und beim Herausnehmen nach der Rückfederung in der endgültigen Form mit r_2 , so gilt der Verhältniswert

$$K = \frac{r_1 + 0,5s}{r_2 + 0,5s} = \alpha_2/\alpha_1, \quad (50)$$

wobei analog unter α_1 der Biegewinkel beim Biegen im Gesenk und unter α_2 derjenige nach der Rückfederung verstanden wird. Dieser K -Wert ist in Abb. 249 durch Kurven über den Wert $r_2:s$ (Halbmesser: Blechdicke)

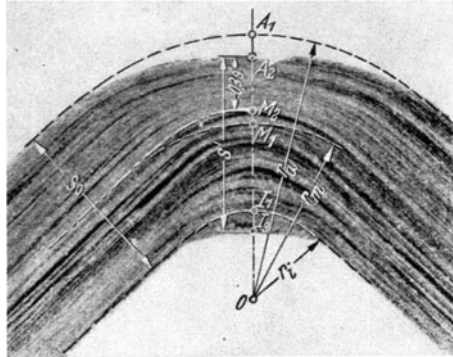


Abb. 246. Stahlblech, $s_0 = 2$ mm, $r_1/s_0 = 0,5$

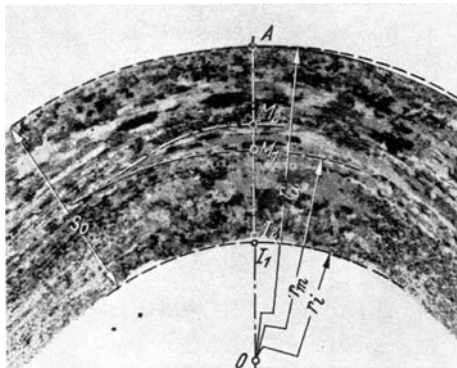


Abb. 247. Al99,5 w, $s_0 = 2$ mm, $r_1/s_0 = 1,3$

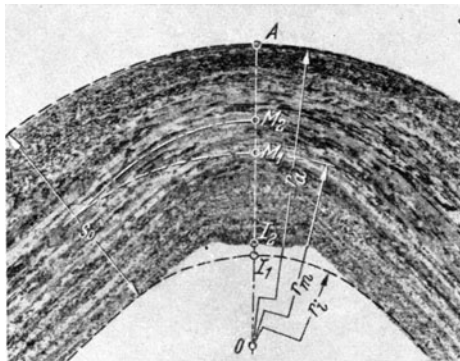


Abb. 248. Al99,5 1/2 h, $s_0 = 2$ mm, $r_1/s_0 = 0,9$

¹ *Wolter*: Freies Biegen von Blechen. VDI-Forschungsh. 435 (1952), S. 11–17.

festgelegt¹. Bei der bisherigen Ermittlung der K -Werte durch den Versuch ergab sich einerseits, daß die Abweichungen zwischen den verschiedenen Werkstoffen nicht allzu groß sind und die Streufeldbereiche sich weitestgehend überdecken. In der Tabelle 41 am Ende dieses Buches sind nur für die Werte $r_2/s = 1$ und $= 10$ die K -Werte angegeben, um somit in Abb. 241, soweit nicht bereits dort eingezeichnet, Interpolationskurven einzutragen

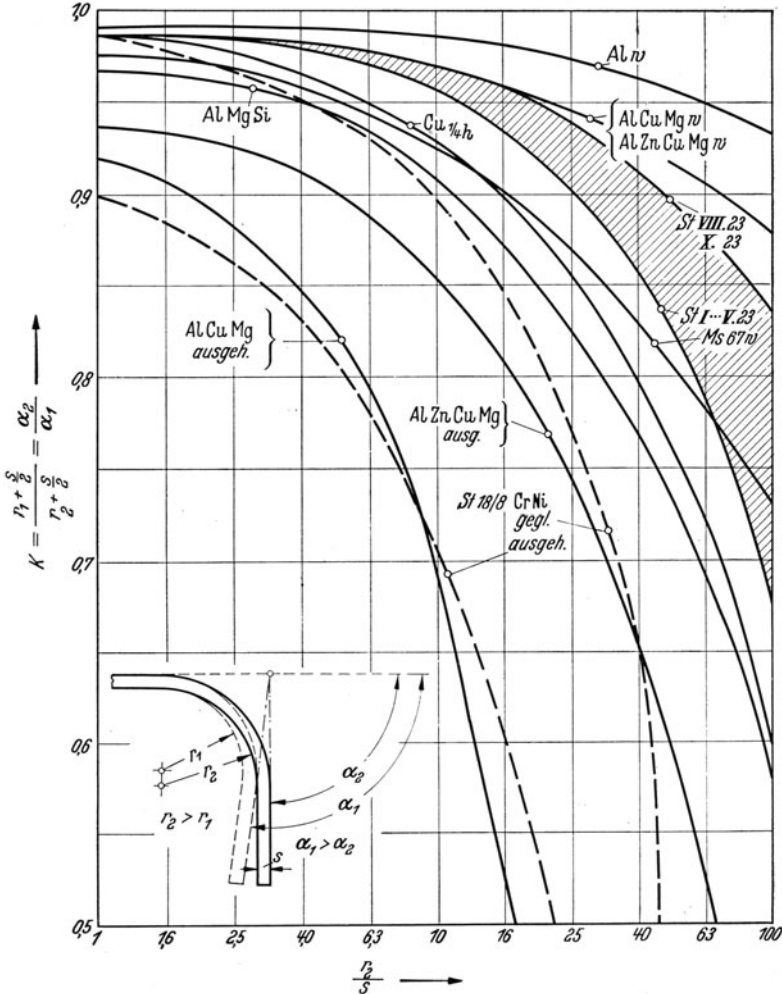


Abb. 249. Rückfederungsfaktor K in Abhängigkeit vom r_2/s -Verhältnis

Beispiel 23: Es sei genau rechtwinklig ein 2 mm dickes Blech aus einer ausgehärteten Al-Zn-Cu-Mg-Legierung im Gesenk zu biegen, um danach laut Teil-

¹ Sachs, G.: Principles and methods of sheet metal fabricating (New York 1951), S. 100. Auszug hierzu Mitt. Forsch. Blechverarb. Nr. 16 vom 15. August 1951, S. 199–201.

zeichnung einen inneren Biegehalbmesser von 10 mm aufzuweisen. Wie ist das Gesenk im Hinblick auf die Rückfederung auszubilden?

Nach Abb. 249 beträgt für $r_2/s = 10/2 = 5$ für jenen Werkstoff $K = 0,9$. Somit ist der Gesenkestempel abzurunden zu

$$r_1 = K \left(r_2 + \frac{s}{2} \right) - \frac{s}{2} = 0,9 (10 + 1) - 1 = 9,9 - 1 = 8,9 \text{ mm.}$$

Der Winkel des V-Gesenkes ergibt:

$$180 - \alpha_1 = 180 - \alpha_2/K = 180 - 90/0,9 = 80^\circ.$$

In Abb. 249 sind nicht alle Werkstoffe berücksichtigt. Soweit man nicht vorzieht, den K -Wert eines Werkstoffes ähnlicher physikalischer Eigenschaften anzunehmen oder sich auf die Biegefließkurve¹ zu beziehen, sei auf folgende Gl. (51) hingewiesen, für den Fall, daß die Spannungswerte für Streck- (σ_s) und Bruchgrenze (σ_B) bekannt sind.

$$K = 1 - \left(a \left(\frac{\sigma_s + \sigma_B}{2} \right) + b \left(\frac{\sigma_s + \sigma_B}{2} \right) \left(\frac{r_2}{s} \right)^2 \right). \quad (51)$$

Nach vorläufiger roher Schätzung können die Faktoren $a = 0,001$ und $b = 0,000015$ eingesetzt werden. Gegen die Zuverlässigkeit dieser Gleichung liegen berechnete Bedenken vor, da für die elastische Rückfederung weniger σ_s und σ_B , sondern die Spannung an der Elastizitätsgrenze σ_E maßgebend ist.

Eine andere Berechnung von K setzt die Ermittlung des Biegemomentes M aus einer vorliegenden Momentkurve² oder durch Rechnung der mindest möglichen Biegekraft nach Gl. (41) voraus gemäß folgender Gleichung:

$$K = 1 - \frac{12 M (r_2 + 0,5 s)}{E \cdot b \cdot s^3}. \quad (52)$$

Beispiel 24: Wie groß ist K bei einem $r_2/s = 5$ für ein Stahlblech der Güte USt 12 03? Gemäß Tafel 41, Spalte 2 wird dort für σ_B ein Mittelwert von 33 kp/mm² genannt. Bei Annahme eines $s = 1$ mm, $b = 40$ mm, $w = 40$ mm, $r_1 = 5$ mm ergibt Abb. 235 extrapoliert für $w = 40$ s ein $C = 1,1$ und somit nach Gl. (41) ein $P_b = 33$ kp. Dies multipliziert mit $w/4 = 10$ mm ergibt $M = 330$ mm/kp. $E = 21500$ kp/mm² für Stahl. Hiernach gilt in Übereinstimmung mit Abb. 249 für $r_2/s = 5$:

$$K = 1 - \frac{12 \cdot 330 (5 + 0,5)}{21500 \cdot 40 \cdot 1} = 0,987.$$

Infolge der Ungleichmäßigkeit der Blechwerkstoffe ist die Ermittlung von K -Werten durch den Versuch infolge der großen Streubreiten eine schwierige Aufgabe. Von der Belastungsdauer ist das Rückfederungsmaß unabhängig³.

Nach einem Vorschlag von *D. L. Mather*⁴ haben sich U-Biegegesenke zur Erzielung genauer rechtwinkliger Biegewinkel bewährt, bei denen in bekann-

¹ Siebel, E. u. W. Panknin: Biegefließkurven von Blechen. Ind. Anz. 78 (1956), Nr. 25, S. 343–345. Die dort für die Rückfederung angegebenen Beziehungen gelten allerdings nur für quadratische Biegequerschnitte.

² Oehler, G.: Einheitsmomentenkurven. Werkst. u. Betr. 93 (1960), H. 8, S. 497 bis 503.

³ Dissertation H. F. Schwark: Rückfederung an bildsam gebogenen Blechen. – Oehler, G.: Einfluß der Biegelastdauer auf Pressenstößelkraft und Rückfederung. Mitt. Forsch. Blechbearb. 1958, Nr. 22, S. 241–244.

⁴ Eine ähnliche Konstruktion empfiehlt *D. L. Mather* in der Z. „The Tool Engineer“ 28 (1952), Nr. 1, S. 60.

ter Weise der mittlere Steg auf einer Auswerferplatte aufliegt, um eine Wölbung des zu biegenden Teiles zwischen den Biegebacken zu vermeiden, worüber auf S. 220 zu Abb. 237 berichtet wird. Das Besondere an dem Vorschlag *Mathers* sind die beweglichen Biegebacken *a*, die gemäß Abb. 250 durch gefederte Bolzen *b* in ihrer oberen Lage gehalten werden. Die Vorspannkraft der Tellerfedern *c* für die Stützbolzen dieser Backen ist größer als die für das Umbiegen der Schenkel erforderliche Kraft, so daß gemäß Abb. 250 rechts die Biegebacken während des Hochstellens der Schenkel in ihrer oberen Ausgangslage verharren. Der Biegestempel verjüngt sich nach oben um einen Winkel α , wobei α häufig mit 2 bis 3° angenommen wird. Laut *Mathers* Vorschlag stößt die Stempelschulter nach Hochschlagen der Schenkel auf die Biege-

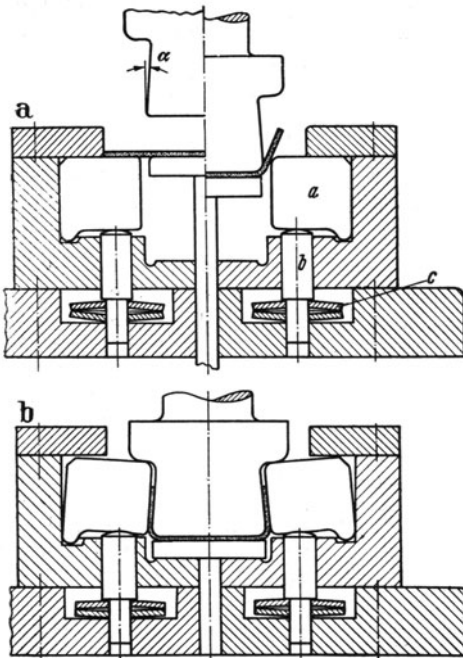


Abb. 250. U-Biegen mit Gegenhalter mit seitlich einkippenden Biegebacken

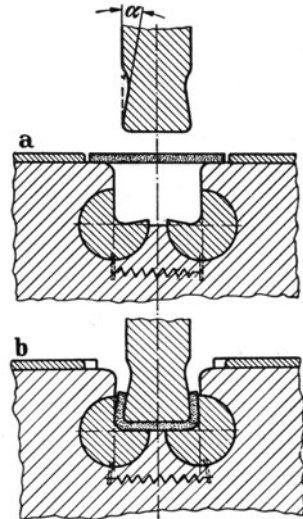


Abb. 251. U-Biegen ohne Gegenhalter mit seitlich einkippenden Biegebacken

backen auf, die gemäß Abb. 250 b nach einwärts kippen, wobei die Stützbolzen die Tellerfedern zusammendrücken. Nach Hochgang des Biegestempels gehen die Backen in ihre Ausgangsstellung Abb. 250 oben zurück, und das U-förmige Biegeteil fällt genau rechtwinklig an. Der Rückfederungswinkel ist bei den einzelnen Werkstoffen verschieden und kann durch den Faktor *K* in Abhängigkeit vom Verhältnis Biegehalbmesser/Blechdicke ermittelt werden. Für Werkzeuge, die, wie hier gezeigt, mit Gegenhalter ausgerüstet sind, die durch ein Luftkissen oder einen Federapparat emporgehalten werden, ist die hier vorgeschlagene Lösung brauchbar. Bei Werkzeugen ohne eine derartige Gegenhalterabstützung kann das Maß der Rückfederung weitestgehend durch den Biegespalt beeinflusst werden; auch ist es möglich, durch Einprägen der

Biegeecken die Rückfederung aufzuheben. Es ist sogar möglich, bei der Bodenausprägung an Stelle einer auswärts wirkenden Rückfederung eine einwärts wirkende zu erhalten, wobei in die Gesenkecken Gummipolster eingeklemmt werden. Dabei ist zu beachten, daß man gerade bei derartigen Einprägungen in den zu biegenden Werkstoff im Bereich der Biegeecke des Gesenkes in hohem Maße von der Gleichmäßigkeit des Werkstoffes, und zwar sowohl hinsichtlich seiner Festigkeit als auch hinsichtlich seiner Dicke, abhängig ist. Daher erscheint ein formschlüssiges Heranbiegen des ganzen Schenkels in seiner Gesamtlänge, wie hier in Abb. 250 angegeben, als eine brauchbare, wenn auch nicht gerade sehr billige Ausführung. Eine ähnliche Lösung zeigt Abb. 251, wobei gleichfalls das U-Gesenk mit einkippenden Biegebacken versehen ist. Nur sind die außen zylindrischen Biegebacken im Gesenk drehbar gelagert und werden durch Federkraft offen gehalten. Bei weichen Werkstoffen besteht allerdings hier die Gefahr, daß sich die unteren inneren Kanten der Biegebacken in das Biegeteil eingraben und dort unerwünschte Eindrücke hinterlassen.

Es gibt noch weitere konstruktive Lösungen, um die Rückfederung U-förmig gebogener Teile zu vermeiden. So werden nach der Biegung im Gesenk von beiden Seiten waagerechte Rollen gegen das vorgebogene Werkstück und den dahinter befindlichen nach oben zu konisch sich verjüngenden Biegestempel geschoben. Dies geschieht, ähnlich der späteren Abb. 253, durch am Oberteil befestigte Keilstempel, die gegen den abgeschrägten Rücken der waagrecht geführten Schieberschlitten stoßen, die ihrerseits in ihrer äußeren Lage durch Druckfedern ge-

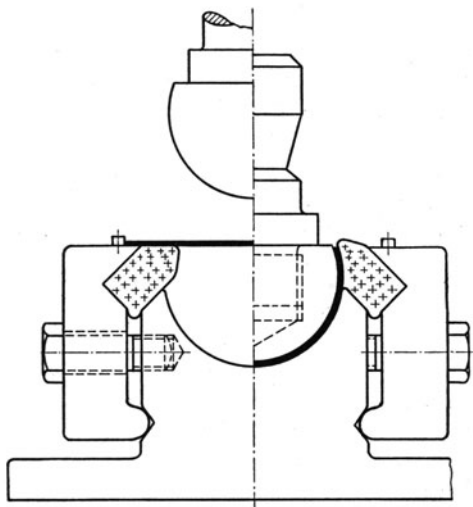


Abb. 252. Gummibestücktes Anbiegewerkzeug für halbrunde Schalen zum Ausgleich der Rückfederung

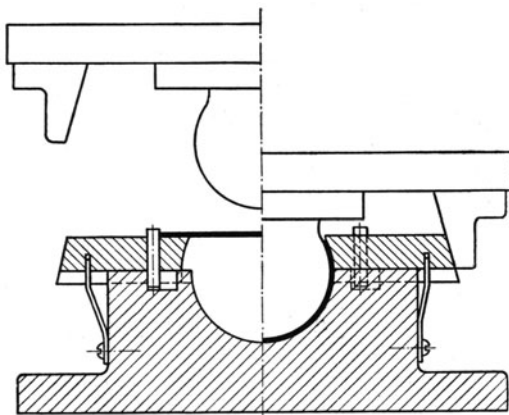


Abb. 253. Anbiegewerkzeug mit Seitenschiebern für halbrunde Schalen zum Ausgleich der Rückfederung

halten. Dies geschieht, ähnlich der späteren Abb. 253, durch am Oberteil befestigte Keilstempel, die gegen den abgeschrägten Rücken der waagrecht geführten Schieberschlitten stoßen, die ihrerseits in ihrer äußeren Lage durch Druckfedern ge-

halten werden und nach innen zur Werkstückseite zu Andrückrollen tragen¹.

Aber nicht nur an rechteckig gebogenen, sondern auch an runden schalenförmigen Ziehteilen ist die Rückfederung von Bedeutung. Häufig werden im gleichen Werkzeug die oberen und die unteren Schalen hergestellt und nach Aufeinanderlegen an den Stoßkanten miteinander zu Hohlkörpern verschweißt. Hier zeigen sich dann oft erhebliche Abweichungen. Meist tragen die aufeinanderliegenden Schalen nur an einigen Punkten. An anderen Stellen klaffen sie weit auseinander und müssen von Hand gerichtet werden, damit die zu verschweißenden Kanten einigermaßen aufeinander liegen. Daher muß auch hier die Rückfederung berechnet² werden, was zu unterschrittenen Biege- bzw. Ziehformen führt. Es empfiehlt sich hierbei die Bestückung der Biegewerkzeugkanten mit Gummi nach Abb. 252 oder die Anordnung von Seitenschiebern nach Abb. 253. Bei der Gummibestückung nach Abb. 252, wo über die Kante eines Gummieinsatzes einer Shorehärte zwischen 70 und 90 gezogen wird, ist die geringe Lebensdauer und die Empfindlichkeit gegenüber fetthaltigen Schmierstoffen zu beachten. Da deshalb ein gelegentlicher Austausch der Gummieinlagen und außerdem eine feste Einspannung erforderlich sind, empfiehlt sich die Befestigung dieser aus Platten zugeschnittenen Profile mittels Spannkraggen, die durch Sechskantschrauben nachgezogen werden können. Insofern ist die Bauart nach Abb. 253 günstiger, da hier über gehärtete Kanten das Teil gebogen bzw. gezogen wird. Die Herstellungskosten dieses Werkzeuges sind etwa um 50% höher als die Ausführung nach Abb. 252, die infolge des Gummiverschleißes ohnehin nur für Reihen unter 500 Stück wirtschaftlich ist. Die Bauweise nach Abb. 253 sieht die Zuschnittauflage auf Seitenschiebern vor. Die Zuschnittanlagestifte dienen gleichzeitig zum Begrenzen des Schlittenvorschubes. Durch außen am Untergesenk angeschraubte Bandfedern werden die Schlitten in ihrer äußeren Lage gehalten, wie dies links dargestellt ist. Die dort rechts gezeigte Schließ- und Arbeitsstellung zeigt den Mittelstempel beim Ausprägen der mittleren Rundung, während der äußere Teil dieser Rundung durch die nach innen vorgeschobenen Seitenschieber erzeugt wird, die gleichfalls an der Umformung im äußeren unterschrittenen Bereich teilnehmen. Diese Vorschubbewegung wird durch die am Werkzeugoberteil außen befestigten Keildruckstücke eingeleitet, die auf die entsprechend abgeschrägten Rückseiten der Schieber treffen.

9. Biegen von Rohren und hohlen Blechteilen

Beim Biegen von Hohlkörpern, z. B. Rohren, sind besondere Vorsichtsmaßnahmen gegen Zusammenknicken zu treffen, wie z. B. das Einlegen von Schraubenfedern für runde oder Blattfederbunde für rechteckige Rohrquerschnitte sowie das Füllen der Rohre mit Gummikugeln oder feinem Sand vor dem Biegearbeitsgang. Ein anderes Mittel zur Verhinderung des Knickens von

¹ *Hallyday, W. M.*: Biegewerkzeug mit Andrückrollen. *Machinery* 61 (1954), Nr. 2, S. 208.

² *Oehler, G.*: Herstellung schalenförmiger Ziehteile. *Mitt. Forsch. Blechverarb.* 1954, Nr. 20, S. 235–239.

Rohren beim Biegen ist ihr vorheriges Ausgießen mit einer niedrigschmelzenden Legierung, deren Schmelzpunkt unter 100° liegt. Werden die damit ausgegossenen Rohre nach dem Biegen in ein Sieb aus nicht rostendem Stahl draht eingelegt, das in einen beheizten kochenden Wasserbehälter eingehängt wird, so löst sich das eingegossene Metall, fließt von dort in den Unterteil des Behälters, wo es sich sammelt, und kann von dort nach Öffnen eines Hahnes zum Einfüllen in die nächsten noch zu biegenden Rohre entnommen werden. Für Rohre kleineren Durchmessers eignet sich sehr gut Wismut-Cadmium-Lot (50% Bi; 10% Cd; 26,7% Pb; 13,3% Sn) eines Schmelzpunktes von 70°C ¹. Rohre größeren Durchmessers, d. h. über 40 mm, werden zweckmäßigerweise mit einer Legierung bestehend aus 55,5% Bi und 44,5% Pb ausgegossen. Bei der zuletzt angegebenen Legierung ist besonders zu beachten, daß sie beim Schmelzen leicht oxydiert, weshalb, wie geschildert, ein Lösen im kochenden Wasserbad und nicht über freier Flamme dort besonders notwendig ist². Die Werkstücke sind langsam über einen der Biegung entsprechend gekrümmten Dorn herüberzuziehen. Nach Möglichkeit sind diese Arbeiten nicht auf einer Presse, sondern auf einer Rohrbiegemaschine zu vollziehen. Kurze dünne Rohrabschnitte des Durchmessers d können auch unter Pressen gebogen werden, soweit r bezogen auf die zu krümmende Mittellinie $R \geq 5d$ ist³. Das in Abb. 254 dargestellte Werkzeug besteht außer dem Stempel a aus einem zweiteiligen Untergesenk b und c . Der Stempel a ist abgesetzt und so bemessen, daß sein größerer Durchmesser nur um ein geringes kleiner als der Außendurchmesser der Werkstückes w bzw. Rohrabschnittes ist, während der Absatz dem Rohrdennendurchmesser angepaßt ist. Der obere Teil b des dreiteiligen Untergesenkes ist senkrecht durchbohrt und dient zur Aufnahme eines geraden Rohrabschnittes, der gebogen werden soll. Der untere Teil besteht aus 2 zusammengeschaubten Backen c_1 und c_2 , in die, dem gewünschten Biegehalbmesser r entsprechend, ein Viertelkreis des Rohrprofils so eingedreht ist, daß von den beiden Backen

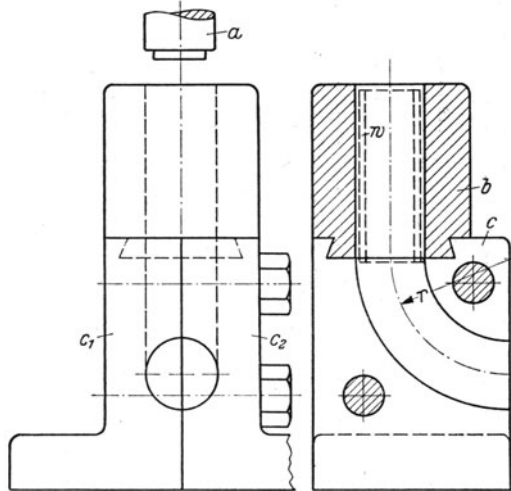


Abb. 254. Rohrbiegewerkzeug

¹ Die von USA dafür empfohlene Cerrobendlegierung (Nordd. Affinerie, Hamburg 36) ist dieser Legierung sehr ähnlich.

² Richter, F.: Niedrigschmelzende Legierungen und ihre technische Verwendung. Ind. Anz. 73 (1951), Nr. 27, S. 279 ff.

³ Riley, F. E.: Rohrbiegewerkzeug für Pressen. (Press Tool Bends Tubing.) The Machinist, London, 19. Nov. 1949, S. 1081.

Tabelle 11. Biegeprüfverfahren

Nr.	Prüfart und Verfahrensbezeichnung	Ausführung und Beurteilung des Verfahrens	Schrifttum und Gerätehersteller	Beschrieben unter DIN	in Oehler: Das Blech und seine Prüfung	Seite:
1	Hin- und Herbiegeprobe.	Biegezahl abhängig von Blechdicke und Oberflächenreibung. Geeignet für $s \leq 2$ mm.	<i>Hofmann W., u. Zinkler B.</i> : Einfluß der Streifenbreite und Temperatur auf die Biegezahl. Ind. Anz. 77 (1955), Nr. 13, S. 163 bis 165. — <i>Groß, H.</i> : Die Prüfung von Feinblech durch Hin- und Herbiegen. Fertigungstechnik 7 (1957), H. 9; S. 417–420. (<i>Amsler-Schaffhausen und Lohmann-Tarnogrocki-Wuppertal</i>).	1605/III		168
2	Abkantversuch nach <i>Eisenkolb</i> u. nach <i>Bollenrath</i> .	V-Gesenk mit Stempel 60° bei Veränderung des Rundungshalbmessers. Geeignet für Beurteilung der Alterssprödigkeit.	<i>Eisenkolb, F.</i> : Neuere Prüfverfahren in der Feinblechfertigung. Technik 3 (1948), H. 2, S. 62 bis 66. — <i>Ziegler, H.</i> : Gestaltfestigkeit und Werkstoffprüfung an alterungsempfindlichen Blechen. Technik 6 (1951).	9003		171, 218
3	Abkantversuch nach <i>Güth</i> .	V-Gesenk mit kegelförmiger Druckkante. Gefahr der Kerbwirkung bei Rißlänge.	<i>Güth, H.</i> : Ein neues Biegeprüfverfahren. Metallwirtsch. 18 (1939), H. 9, S. 188–190.	—		172
4	Faltversuch.	Umlegen unter Handspindelpresse für $s < 1$ mm ohne, für $s \geq 1$ mm mit gleichdicker Zwischenlage.	—	1623		174
5	Doppeltfaltversuch oder Taschentuchprobe.	Doppeltes Umschlagen ohne Zwischenlage.	—	1623		174

Tabelle 11 (Fortsetzung)

Nr.	Prüfart und Ver- fahrens- bezeichnung	Ausführung und Beurteilung des Verfahrens	Schrifttum und Gerätehersteller	Beschrieben unter DIN	in <i>Oakler</i> : Das Blech und seine Prüfung Seite: 168
6	Wangenprüfgerät nach <i>Arhelger</i> .	Im Gegensatz zu Nr. 1 nur einmaliges Umlegen. Geeignet für $s > 1$ mm.	(Mohr & Federhaff, Mannheim.)	—	—
7	Freibiegeprobe mit Zugüberlagerung.	Die Spannstellen der beiderseits einge- spannten Probe sind auf konzentrisch gelagerten Scheiben drehbar angeord- net zwecks Ermittlung des Winkels bis zum Bruch. Geeignet für die Dosen- fertigung und bis $s < 0,5$ mm.	<i>Buschmann, E.</i> : Das Biegezugver- fahren. <i>Z. Metallkde</i> 26 (1934), S. 274. — <i>Mohr, E.</i> : Der Biege- zugversuch, ein neues Prüfver- fahren. <i>Z. VDI</i> 84 (1940), Nr. 3, S. 49—52. — <i>Mähelk, H.</i> : Biege- prüfung von Feimblechen mit fester Einspannung der Proben- enden. <i>Werkst. Techn.</i> 39 (1949), H. 7, S. 197—202. Gerät <i>Nau- mann-Schopper</i> .	—	—
8	Steifigkeitsprüfer.	Probe wie 7, jedoch nur einseitige Ein- spannung. Das freie Ende legt sich ge- gen einen Bolzen.	<i>Olsen-Stiffness-Tester</i> .	—	177
9	Trapez-Freibiege- probe.	Ähnlichkeit der Probe wie zu 3, jedoch nicht im V-Gesenk, sondern durch Druck gegen die Kanten des trapez- förmigen Probestreifens umgeformt.	<i>Thompson</i> : <i>Sheet Met. Ind.</i> Bd. 27 (1950), Nr. 278, S. 503—507 und 512. <i>Auszug Mitt. Forsch. Blechver- arb.</i> Nr. 31 vom 20. 9. 1950, S. 7/8.	—	173
10	Querkraftfreie Biegeprobe nach <i>Wolter</i> .	Wangenprüfgerät. Die eine Einspann- stelle drehbar, die andere parallel ver- schieblich.	<i>Kienzle</i> : Untersuchungen über das Biegen. <i>Mitt. Forsch. Blechver- arb.</i> Nr. 6 vom 15. 3. 1952.	—	169
11	Flachbiegeversuch.	Dauerbiegeversuch für Leichtmetall- und für Bronzefederbleche.	Federbiegegerät Siemens & Halske.	50142	213

Tabelle 11 (Fortsetzung)

Nr.	Prüfart und Verfahrensbezeichnung	Ausführung und Beurteilung des Verfahrens	Schrifttum und Gerätehersteller	Beschrieben unter DIN	Seite: — 176 179 208 209
12	Schlagbiegeversuch.	Geeignet für Zink und Zinklegierungsbleche.	—	50116	Seite: —
13	Blecheckenbiegeversuch.	Biegekufe wird über die Ecke einer Blechtafel geschoben und mit der Hand um 60° gebogen. Gemessen werden die Biegekraft und die dabei sich ergebende Biegerundung.	Flex-Tester mit Spherometer. Steel City Testing Mach. Detroit.	—	176
14	Rückfederungsermittlung.	Ermittlung des <i>K</i> -Wertes für die Rückfederung durch Messen der Rundung nach Biegen kurzer Proben in der Zange. Außerdem lassen sich für die Beurteilung der Rückfederung auch die Geräte zu 6, 7, 8 und 10 dafür verwenden.	Biegeprägezange, entwickelt am Instit. f. Werkzeugmasch., T. H. Hannover.	—	179
15	Schweißnahtbiegeversuch (Kreuzschweißprobe).	Kreuzweise übereinandergelegte Bleche werden miteinander geschweißt. Anschließend werden die Lappen abgebogen.	—	—	208
16	Abspreizbiegeprobe (meist für Punktschweiß- und Klebeverbindungen).	T-förmig zusammengesetzte und in den Kehlen geschweißte Probe. Aufgeschweißter Steg wird über die hohe Kante abgebogen. Geeignet für Grobbleche $s \geq 5$ mm. Bei Punktschweißverbindungen ist die Abspreizprobe für aufeinandergepunktete Probestreifen auch bei dünnen Blechen anwendbar.	<i>Schmidt, H.</i> : Aus der Schweißpraxis des Stahlbaus. Schneiden und Schweißen. I (1949), H. 6, Abb. 14 u. 15, S. 92. <i>Göbner, O.</i> : Einfache Prüfverfahren für Punktschweißverbindungen. Ind. Anz. 75 (1953), Nr. 21. S. 257–260.	—	209

zusammen ein Kanal gebildet wird. Mittels des Stempels wird dann der Rohrschnitt w durch diesen gekrümmten Kanal hindurchgestoßen und dabei umgeformt, während das vorher gebogene Teil ausgestoßen wird. Konisch verjüngte Knierohre lassen sich in ähnlicher Weise herstellen¹. Bei Knierohren mit sehr kleinem Krümmungshalbmesser muß ein kugeliges Kern von der Ausstoßseite in das Rohrbiegewerkzeug eingeführt werden².

10. Biegeprüfverfahren

Es können unmöglich im Rahmen dieses Buches die Blechprüfverfahren³ mit behandelt werden. Es wird daher hier nur unter Hinweis auf das einschlägige Schrifttum eine Zusammenstellung der bekanntesten Biegeprüfungen in Tabelle 11 gebracht.

D. Ausführung einzelner Stanzwerkzeuge

1. Einfache Biegestanze

(Werkzeugblatt 29)

Beim Biegen sehr kleiner, gleichschenkliger Winkel bis zu etwa 25 mm Schenkellänge und 20 mm Breite wird der Winkelstempel als unteres Ende des Einspannzapfens ausgebildet. Der Stempel besteht dann aus einem einzigen Stück. Bei nur wenig größeren, gleichschenkligen Winkelstempeln bis zu etwa 60 mm Schenkellänge und 40 mm Breite wird der Stempelaufnahmezapfen aus dem Material herausgedreht, und erst bei noch größeren zu biegenden Winkeln wird das Biegeoberteil aus Einspannzapfen und Stempel mehrteilig ausgeführt. Das Unterteil des Werkzeuges, welches in der Regel auf einer größeren Grundplatte aufgeschraubt ist, ist mit Anschlägen zur Einlage des Werkstückes versehen. Diese Anschläge bestehen entweder aus eingeschlagenen Stiften oder aus entsprechend ausgeschnittenen Blechen, die auf das Unterteil aufgeschraubt werden. In den Fällen, wo ein Schnittwerkzeug für das zu biegende Teil bereits angefertigt ist, kann mit diesem Schnitt selbst die Einlegeschaablone hergestellt werden, was insbesondere für unregelmäßige Werkstücke eine beträchtliche Ersparnis bedeutet. Werden jedoch dünne Bleche bis zu 0,5 mm Stärke gebogen, so ist bei einer entsprechend schwach bemessenen Schnittplatte das Ausstanzen der Einlage nicht mehr möglich, denn dieselbe muß etwa 3 mm dick sein. Der Schnitt würde dabei zersprengt. Auch ist es zu empfehlen, daß unregelmäßige Werkstücke in der Einlage nicht an allen Stellen, sondern nur an verschiedenen Punkten gefaßt werden, alles übrige liegt frei.

¹ Die Vorrichtung zu USA-Patent 2750026 v. 12. 6. 56 ist in Werkst. u. Betr. 90 (1957), H. 11, S. 815 beschrieben.

² Dieses Werkzeug zu USA-Patent 2740455 v. 3. 4. 56 ist in Werkst. u. Betr. 90 (1957), H. 4, S. 257, zu DP 1036605 in Werkst. u. Betr. 92 (1959), H. 11, S. 843 beschrieben.

³ Siehe *G. Oehler*: Das Blech und seine Prüfung (Berlin/ Göttingen/ Heidelberg: Springer 1953), das als Ergänzungswerk zu diesem Buch gedacht ist. Darin werden die Biegeprüfverfahren auf S. 167–179 behandelt.