

Zuschnittsermittlung beim Tiefziehen von kreiszylindrischen Blechteilen im Anschlag

Citation for published version (APA):

Kals, J. A. G., Veenstra, P. C., & Leeuw, de, M. (1969). Zuschnittsermittlung beim Tiefziehen von kreiszylindrischen Blechteilen im Anschlag. *C.I.R.P.*, 17(2), 181-185.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1969

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Zuschnittsermittlung beim Tiefziehen von kreiszylindrischen Blechteilen im Anschlag

J. A. G. KALS, P. C. VEENSTRA und M. DE LEEUW

Technische Hogeschool, Eindhoven, Niederlande

ZUSAMMENFASSUNG. Eine für die Praxis wichtige Gleichung ist beim Tiefziehen die Beziehung zwischen der Gesamthöhe eines fertigen Ziehteiles und dem erforderlichen Zuschnittsdurchmesser, bzw. dem Ziehverhältnis. Die allgemein übliche Methode zur Abschätzung der Zuschnittsgröße beruht auf der Annahme einer gleichbleibenden Blechoberfläche und der Tatsache, daß sich das Werkstoffvolumen während der Umformung nur vernachlässigbar ändert. Bekanntlich kann die Blechstärke aber örtlich bis zu 40% zunehmen. In diesem Beitrag wird, unter Berücksichtigung der Änderung der Blechdicke, eine Beziehung entwickelt, welche die tatsächlichen Verhältnisse bei der Umformung besser erfaßt.

SUMMARY. The dependence of the height or depth of a deep drawn cup on the drawing ratio is a problem of major practical importance. The method usually applied in determining the dimensions of the blank is based on the assumptions of constancy of materials, surface area and invariancy of volume. However, local increases in sheet thickness up to 40% have been observed. In the present study account has been made for this phenomenon and the results obtained are compared with experimental data.

RESUME. La relation entre la hauteur ou la profondeur d'une coupe emboutie à la presse et le rapport d'emboutissage est un problème d'une grande importance pratique. La méthode usuelle avec laquelle on fixe les dimensions du produit avant l'emboutissage est basée sur les conditions d'une surface constante et d'un volume invariable. Cependant on a constaté localement une augmentation d'épaisseur de la tôle jusqu'à 40%. Ce rapport est un compte rendu d'une étude concernant ce phénomène, et les résultats obtenus sont comparés aux données expérimentales.

1. EINLEITUNG

BEIM Tiefziehen kreiszylindrischer Teile sind die Ergebnisse der üblichen rechnerischen Zuschnittsermittlung i.allg. zahlenmässig zufriedenstellend. Ausser der Unveränderlichkeit des beteiligten Werkstoffvolumens wird dazu eine gleichbleibende Blechoberfläche vorausgesetzt. Die zahlenmässige Richtigkeit dieser Methode bedeutet also, dass die mittlere Blechstärke während des Tiefziehvorgangs annähernd konstant ist.

Es lässt sich aber u.U. eine starke Zunahme bzw. Abnahme der örtlichen Blechdicke feststellen.

In der vorliegenden Arbeit wird auf theoretischem Weg versucht die wahren Formänderungsverhältnisse zu berücksichtigen. Dazu wird isotropes Blech vorausgesetzt.

2. DIE FORMÄNDERUNGSVERTEILUNG IM BLECHFLANSCH

Im Vergleich zu den eigentlichen, tangentialen und radialen Umformspannungen hat der Niederhalterdruck nur sehr wenig Bedeutung für die Formänderungsverhältnisse im Blechflansch. Zahlenmässig wird er den Wert 5 N/mm^2 nur in wenigen

extremen Fällen überschreiten und im Durchschnitt sogar erheblich niedriger sein. Am Flanschumfang herrscht dann also in guter Annäherung ein einachsiger tangentialer Spannungszustand. In dem Fall sind die Differentiale der Formänderungen in der radialen und der normalen Richtung einander gleich.

$$(d\delta_\phi)_{r=r_a} = (d\delta_n)_{r=r_a} \quad (1)$$

Es ist

$$(d\delta_t)_{r=r_a} = \frac{dr_a}{r_a} \quad (2)$$

worin r_a der momentane Halbmesser des Flansches ist.

Aus der Substitution dieser Gleichungen in die Inkompressibilitätsbedingung

$$d\delta_t + d\delta_\phi + d\delta_n = 0 \quad (3)$$

ergibt sich

$$(d\delta_n)_{r=r_a} = -\frac{dr_a}{2r_a} \quad (4)$$

Aus wiederholten Messungen stellte sich heraus,

daß die momentane Blechstärke in jedem Punkt des Flansches nahezu gleich ist.

Örtliche Abweichungen belaufen sich auf etwa 0,01 mm. Bei einer anfänglichen Blechstärke $s_0 = 2$ mm ist dies also bedeutend weniger als 1%. Unter der Voraussetzung, dass das Blech sich immer so verhält, geht Gleichung (4) jetzt über in

$$d\delta_n = -\frac{dr_a}{2r_a} \quad (5)$$

Es ist

$$d\delta_n = \frac{ds}{s} \quad (6)$$

und damit

$$\frac{ds}{s} = -\frac{dr_a}{2r_a} \quad (7)$$

Wenn der Halbmesser r_a des Flansches während des Tiefziehvorganges um einen Betrag dr_a abnimmt, verschiebt sich ein Volumenelement auf einem beliebigen Radius r über einen Weg dr . Dabei nimmt die Flanschstärke zu von s bis $s+ds$. Wegen der Inkompressibilität des Werkstoffes gilt jetzt

$$\pi(r_a^2 - r^2)s = \pi\{(r_a + dr_a)^2 - (r + dr)^2\} (s + ds).$$

Unter Vernachlässigung der Glieder 2. Ordnung folgt hieraus

$$\frac{ds}{s} = -2 \frac{r_a dr_a - r dr}{r_a^2 - r^2} \quad (8)$$

Substitution der Gleichung (7) in Gleichung (8) führt jetzt zur Beziehung zwischen einer Versetzung dr_a der Blechkante und der entsprechenden Versetzung dr eines beliebigen Volumenelementes.

$$dr = \frac{r^2 + 3r_a^2}{4r r_a} dr_a \quad (9)$$

3. DIE FLANSCHUMFORMUNG

In diesem Abschnitt soll zunächst der Flanschanteil h_f an der Ziehtiefe ermittelt werden. Es wird der Einfachheit halber vorausgesetzt, dass die Ziehkante scharf ist. Gleichung (9) geht dann über in die Beziehung:

$$dh_f = -(dr)_{r=r_s} = -\frac{r_s^2 + 3r_a^2}{4r_s r_a} dr_a \quad (10)$$

Hierin ist dh die Zunahme der Ziehtiefe die einer Verschiebung dr_a der Flanschante entspricht und r_s der mittlere Radius des Ziehspaltes. Integration

dieser Differentialgleichung liefert den Flanschanteil h_f an der gesamten Napfhöhe.

$$h_f = -\int_{r_{a0}}^{r_s} \left(\frac{r_s}{4r_a} + \frac{3r_a}{4r_s} \right) dr_a$$

bzw.

$$h_f = \frac{r_s}{4} \ln \frac{r_{a0}}{r_s} + \frac{3}{8r_s} (r_{a0}^2 - r_s^2). \quad (11)$$

Hierin ist r_{a0} der Halbmesser des Zuschnittes.

Mit dem Ziehverhältnis $\alpha_0 = r_{a0}/r_s$ geht Gleichung (11) über in

$$h_f = \frac{r_s}{8} (\ln \alpha_0^2 + 3\alpha_0^2 - 3). \quad (12)$$

4. DIE UMFORMUNG DES BODENS

Die endgültige Höhe eines Ziehteiles wird in geringerem Masse auch von der Umformung des Napfbodens beeinflusst. Der Radius ρ_s der Stempelkante spielt dabei eine wichtige Rolle. In der Anfangsphase des Tiefziehvorganges wird das bereits im Ziehspalt vorhandene Blech beim Anwachsen der Ziehkraft weiter verfestigt. Dabei wird auch der Napfboden nachfließen, und zwar mehr oder

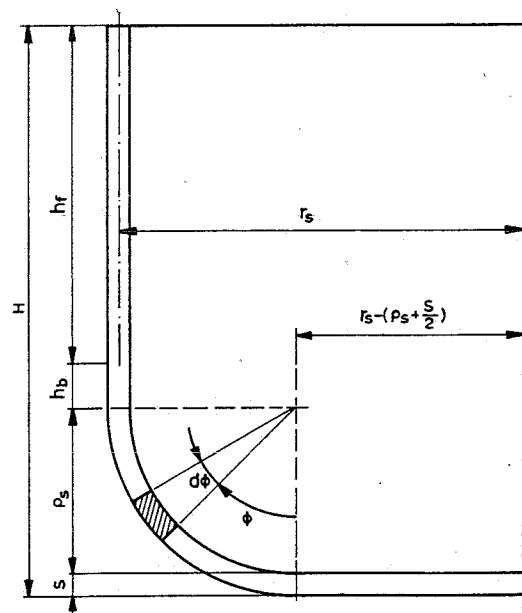


Bild 1. Werkstoffvolumen des Napfbodens.

weniger je nachdem die Reibung auf der Stempelkante gering oder stark ist. Versuchsmässig und theoretisch wurde festgestellt, dass der ebene Teil des Bodens momentan in jedem Punkt gleich dick ist. Im Folgenden wird vorausgesetzt, dass die Blechstärke im Bereich der Stempelkante und im angrenzenden Teil des Zylinders momentan der Bodendicke gleich ist. Damit errechnet sich das

Werkstoffvolum des Bodens, einschliesslich der Bodenabrundung, zu (Bild 1):

$$V = V_a + V_b = 2\pi s \left(\rho_s + \frac{s}{2} \right) \int_0^{\pi/2} \left\{ r_s + \left(\rho_s + \frac{s}{2} \right) (\sin \phi - 1) \right\} d\phi + \pi s \left\{ r_s - \left(\rho_s + \frac{s}{2} \right) \right\}^2$$

Integration liefert die Beziehung

$$V = \pi s \left\{ \left(\rho_s + \frac{s}{2} \right) (\pi - 2) r_s + \left(\rho_s + \frac{s}{2} \right)^2 (3 - \pi) + r_s^2 \right\} \quad (13)$$

Meistens ist V grösser als das Werkstoffvolum, dass im Zuschnitt vom Radius r_s begrenzt wird. In dem Fall ist die Differenz

$$\Delta V = \pi r_s^2 s_0 - V \quad (14)$$

negativ.

Nur dann, wenn ρ_s klein ist bei grossem Ziehverhältnis (und damit grosser Tiefziehkraft) kann die Streckung des Bodens so gross werden dass ΔV und der entsprechende Wert von h_b (Bild 1) positiv wird. Es ist weiter

$$\Delta V = 2\pi r_s s h_b \quad (15)$$

Aus der Substitution der Gleichungen (13) und (15) in Gleichung (14) ergibt sich nach rechnerischer Ausarbeitung

$$h_b = \frac{r_s}{2} \left(\frac{s_0}{s} - 1 \right) + \frac{\pi - 3}{2r_s} \left(\rho_s + \frac{s}{2} \right)^2 - \frac{\pi - 2}{2} \left(\rho_s + \frac{s}{2} \right) \quad (16)$$

Der Gesamtbetrag H der Ziehteilhöhe kann jetzt ermittelt werden.

5. DIE BEZIEHUNG ZWISCHEN NAPFHÖHE UND ZIEHVERHÄLTNIS

Die gesamte Napfhöhe H ergibt sich aus der Addition (Bild 1)

$$H = h_f + h_b + \rho_s + s \quad (17)$$

Darin werden jetzt Gleichungen (12) und (16) substituiert. Rechnerische Ausarbeitung liefert die Beziehung

$$H = \frac{r_s}{8} \left(\ln \alpha_0^2 + 3\alpha_0^2 + 4 \frac{s_0}{s} - 7 \right) + \frac{\pi - 3}{8r_s} (2\rho_s + s)^2 + \frac{4 - \pi}{2} \rho_s + \frac{6 - \pi}{4} s \quad (18)$$

In dieser Form ist die Beziehung für die Praxis unbrauchbar, da ja s unbekannt ist. Bekanntlich ist s in einer sehr komplizierten Weise von α_0 , dem Verfestigungsverhalten, der Stempelreibung und schliesslich von den Abrundungsradien abhängig. Das Ziehverhältnis ist dabei weitaus die wichtigste Grösse. Der Quotient s_0/s ist vermutlich eine komplizierte Exponentialfunktion von α_0 .

In erster Annäherung kann $s = s_0$ geschrieben werden. Damit geht Gl. 18 über in

$$H \approx \frac{r_s}{8} \left\{ \ln \alpha_0^2 + 3\alpha_0^2 - 3 + 0,14 \left(2 \frac{\rho_s + s_0}{r_s} \right)^2 + 3,44 \frac{\rho_s}{r_s} + 5,72 \frac{s_0}{r_s} \right\} \quad (19)$$

Zum Vergleich wurde eine Reihe von Versuchen durchgeführt für mehrere Ziehverhältnisse und 23 Werkstoffe. Die sonstigen Grössen wurden konstant gehalten. Für jedes Ziehteil wurde die Gesamthöhe als Mittelwert bestimmt. Darauf wurde der Mittelwert für alle Ziehteile bei gleichem Ziehverhältnis ermittelt. Die Zahl der zur Verfügung stehenden Ziehteile ist (durch Bodenrisse) für grössere

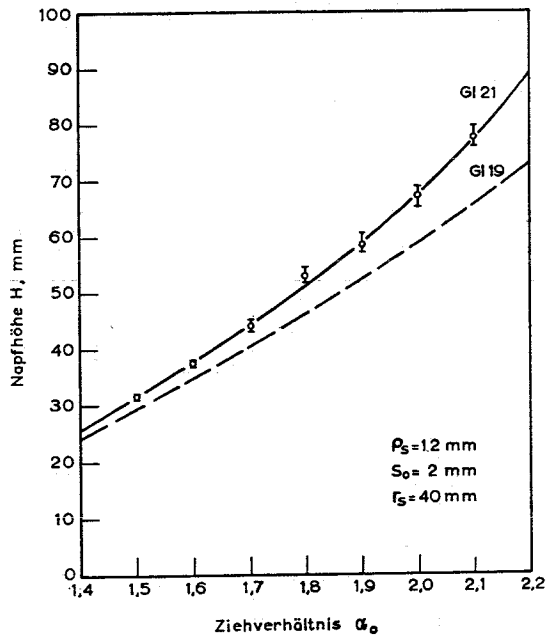


Bild 2. Abhängigkeit der Napfhöhe vom Ziehverhältnis.

Ziehverhältnisse selbstverständlich geringer. Für z.B. $\alpha_0 = 2,0$ noch 13 und für $\alpha_0 = 2,1$ noch 3. Die Messwerte sind mit der nach Gleichung (19) berechneten Kurve in Bild 2 dargestellt. Für niedrige Ziehverhältnisse ergibt sich eine befriedigende Übereinstimmung. Mit zunehmendem α_0 -Wert wächst die Differenz an.

Es wurde, der früheren Bemerkung entsprechend,

versucht, die Differenz annähernd zu beschreiben mit dem Ausdruck

$$\Delta H = \frac{r_s}{8} u e^{v\alpha_0} \quad (20)$$

Mit den empirisch ermittelten Werten $u = 2,75 \cdot 10^{-3}$ und $v = 3,23$ geht Gleichung (19) jetzt über in

$$H \simeq \frac{r_s}{8} \left\{ \ln \alpha_0^2 + 3\alpha_0^2 + 2,75 \cdot 10^{-3} e^{3,23\alpha_0} - 3 + 0,14 \left(2 \frac{\rho_s}{r_s} + \frac{s_0}{r_s} \right)^2 + 3,44 \frac{\rho_s}{r_s} + 5,72 \frac{s_0}{r_s} \right\} \quad (21)$$

Der Kurvenverlauf entsprechend dieser Beziehung ist ebenfalls eingetragen in Bild 2.

6. SCHLUSSFOLGERUNG

Selbstverständlich kann die Beziehung in dieser Form nicht exakt sein. Es wurde ja der Einfluss der Stempelreibung, der Ziehringreibung, der Niederhalterreibung, des Ziehringradius und schliesslich auch der Werkstoffeigenschaften nicht berücksichtigt. Es ist besonders zu vermuten, dass ΔH vom Werkstoff abhängig ist. Die geringe Streuung der Messwerte (Bild 2) gibt aber Veranlassung zur Vermutung, dass diese Abhängigkeit für die Praxis uninteressant ist.

Es ist nicht zu vermuten, dass ΔH unmittelbar von $\frac{\rho_s}{r_s}$ und $\frac{s_0}{r_s}$ abhängig ist. Das wurde in befriedigender Weise experimentell bestätigt. Es wurde dazu als Stichprobe Ms 72 (Tiefziehgüte) verwendet bei einem Ziehverhältnis $\alpha_0 = 2$. Die einzige von den übrigen abweichende (Bild 2) Versuchsgrösse war dabei der mittlere Radius des Ziehspaltes $r_s = 60$ mm. Der Versuch wurde zehnmal wiederholt. Es ergab sich eine mittlere Napfhöhe $H = 100$ mm. Der Streubereich war $H = 99$ bis 102 mm. Mit Gleichung (21) errechnet sich die Napfhöhe zu $H = 98,0$ mm. Daraus geht die gesuchte Bestätigung in befriedigender Weise hervor, zumal bei den vorhergehenden Versuchen für den gleichen Werkstoff und $\alpha_0 = 2$ der gemessene Wert $H = 69,2$ mm und der berechnete 67,7 mm war (für alle Bleche war die mittlere Napfhöhe $H = 67,6$ mm). Vielmehr müsste man hieraus auf einen systematischen Einfluss des Werkstoffverhaltens schliessen, z.B. der Verfestigung und der Anisotropie.

Obwohl die übliche Abschätzung der erforderlichen Zuschnittsgrösse i. allg. gute Ergebnisse

liefert und ausserdem einfacher und handlicher ist, kann damit nur wenig Einblick in die wirklichen Umformverhältnisse gewonnen werden. Dieser Nachteil hat die in dieser Arbeit entwickelte Methode in geringerem Masse. Die erhaltene Beziehung eignet sich in erster Näherung als Ausgangspunkt zur weiteren Analyse des Tiefziehvorgangs, z.B. in Bezug auf den Einfluss des Ziehspaltes.

BEZEICHNUNGEN

- α_0 Ziehverhältnis r_{a0}/r_s
- δ logarithmische (natürliche) Formänderung
- h_f Ziehtiefe infolge der Flanschumformung, mm
- h_b Korrektionsglied [Def. nach Gleichung (16)], mm
- H Gesamthöhe des Ziehteiles, mm
- ρ_s Radius der Stempelkante, mm
- r Entfernung von der Ziehteilachse, mm
- r_{a0} Halbmesser des Zuschnittes, mm
- r_a Halbmesser des Flansches in einer Zwischenphase, mm
- r_s mittlerer Radius des Ziehspaltes, mm
- s Blechstärke, mm
- s_0 anfängliche Blechstärke, mm
- V Werkstoffvolumen, mm^3 .

DISCUSSION

MR. DUNCAN:

As most deep drawing quality steels exhibit an R -value greater than unity, could you indicate the effect that this normal anisotropy has on the cup heights, i.e. for two blanks of equal initial diameter, one having $R > 1$ and the other $R = 1$. Which would give the greater cup height?

Author's reply:

As the anisotropy factor R is related to the strains in a uniaxial stress system, as a rule it is difficult to account for the effects of this parameter in technical processes. Moreover in most cases the R -value is dependent on the direction.

As however in deep drawing in the edge of the flange approximately a uni-axial stress prevails, a prediction of the influence of anisotropy on the cup height can be made if it is assumed that an average R -value can be introduced. By this the R -value becomes independent of planar anisotropy and gets a measure for normal anisotropy only. From the definition

$$R = \frac{\ln(w_f/w_0)}{\ln(s_f/s_0)}$$

where w and s are width and thickness of the specimen, respectively, and the suffixes refer to an initial state and a final state, the deformations in the edge of the flange can be written

$$R = \left(\frac{d\delta_\phi}{d\delta_n} \right)_{r=r_s} \quad (1a)$$

By this equation (9) transforms into

$$dr = \frac{r^2 + (2R+1)r_a^2}{2(R+1)r r_a} dr_a \quad (9a)$$

from which is derived

$$h_f = \frac{r_s}{4} \left\{ \frac{\ln \alpha_0^2}{R+1} + \frac{2R+1}{R+1} (\alpha_0^2 - 1) \right\} \quad (12a)$$

formulating the contribution of the flange to the height of the cup drawn. The final height now can be obtained.

$$H \approx \frac{r_s}{8} \left\{ \frac{2 \ln \alpha_0^2}{R+1} + 2 \frac{2R+1}{R+1} (\alpha_0^2 - 1) + 2.75 \cdot 10^{-3} e^{3.23\alpha_0} \right. \\ \left. + 0.14 \left(2 \frac{\rho_s}{r_s} + \frac{s_0}{r_s} \right)^2 + 3.44 \frac{\rho_s}{r_s} + 5.72 \frac{s_0}{r_s} \right\} \quad (21a)$$

Figure 3 shows this relation between H and R , from which is evident that the cup height slightly increases when the anisotropy factor increases.

In practice, however, the directional distribution of the R -value gives rise to earing of the product which often reduces greatly the useful height of the drawn cup.

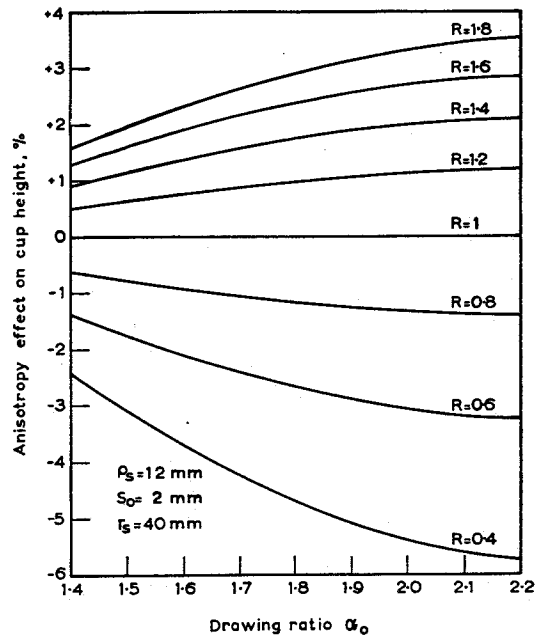


Fig. 3. Proportional effect of the R -value on the cup height.