

Zuschnittsermittlung beim Tiefziehen von kreiszylindrischen Blechteilen im Anschlag

Citation for published version (APA):

Kals, J. A. G., Veenstra, P. C., & Leeuw, de, M. (1968). *Zuschnittsermittlung beim Tiefziehen von kreiszylindrischen Blechteilen im Anschlag*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Laboratorium voor mechanische technologie en werkplaatstechniek : WT rapporten; Vol. WT0199). Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1968

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.



technische hogeschool eindhoven
laboratorium voor mechanische technologie en werkplaatstechniek

blz. 0 van 12 blz.

rapport nr. 0199

oude versie

rapport van de sectie: Plastische Deformatie

codering:

P.6.b.

titel:

ZUSCHNITTSERMITTLUNG BEIM TIEFZIEHEN VON KREIS-
ZYLINDRISCHEN BLECHTEILEN IM ANSCHLAG.

trefwoord:

Dieptrekken

auteur(s):

J.A.G. Kals
P.C. Veenstra
M. de Leeuw

sectieleider: J.A.G. Kals

hoogleraar: P.C. Veenstra

samenvatting

Voor de praktijk van het dieptrekken is de berekening van de diameter van de benodigde blenk uit de gevraagde produkthoogte van grote betekenis. Het is gebruikelijk, hierbij een konstant plaatoppervlak aan te nemen. Voorts maakt men gebruik van de wetenschap dat het materiaalvolume tijdens plastische deformatie slechts verwaarloosbaar verandert. Uit ervaring is echter bekend, dat de plaatdikte plaatselijk tot 40% kan toenemen. In deze studie wordt een relatie ontwikkeld, die van een veranderlijke plaatdikte uitgaat en beter in overeenstemming is met het werkelijke materiaalgedrag. Het belangrijkste doel is een beter inzicht in het dieptrekproces.

datum:

mei 1968

aantal blz,

12

geschikt voor
publicatie in:

CIRP

prognose

ZUSCHNITTSERMITTLUNG BEIM TIEFZIEHEN
VON KREISZYLINDRISCHEN BLECHTEILEN
IM ANSCHLAG.

J.A.G. Kals
P.C. Veenstra
M. de Leeuw

TECHNISCHE HOGESCHOOL TE EINDHOVEN

18. Generalversammlung des C.I.R.P.

BIRMINGHAM 1968

1. ZUSAMMENFASSUNG.

Ein für die Praxis wichtiger Aspekt des Tiefziehvorgangs ist die Beziehung zwischen der Gesamthöhe eines fertigen Ziehteiltes und dem erforderlichen Zuschnittsdurchmesser bzw. dem Ziehverhältnis. Die allgemein übliche Methode zur Abschätzung der Zuschnittsabmessungen beruht auf der Voraussetzung gleichbleibender Blechoberfläche und der Tatsache, dass sich das Werkstoffvolum während der Umformung nur vernachlässigbar ändert. Bekanntlich kann die Blechstärke örtlich aber bis zu 40% zunehmen.

In dieser Arbeit wird, unter Berücksichtigung der Änderung der Blechdicke, eine Beziehung entwickelt, die sich den wahren Umformverhältnissen besser annähert. Die Verschaffung einer besseren Einsicht in den Tiefziehvorgang ist in erster Linie das Ziel dieser Analyse.

SUMMARY.

The dependance 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 as a matter of fact local increasing of sheet thickness up to 40% is observed. In the present study account has been given for this phenomenon and the results obtained are compared with experimental data.

SOMMAIRE.

La relation de la hauteur ou profondeur d'une coupe emboutie à la presse et le rapport d'emboutissage est un problème de grande importance pratique. La méthode usuelle avec laquelle on fixe les dimensions du produit gros est basée sur une condition d'une surface constante et un volume invariable. Néanmoins en fait on a constaté localement une augmentation d'épaisseur de la tôle jusqu'à 40%. Le rapport est un compte-rendu d'une étude concernant cette phénomène, en montrant les résultats obtenus en comparaison des données expérimentales.

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 (für isotrop. Blech).

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

Es ist

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

Aus der Substitution dieser Gleichungen in die Inkompessibilitätsbedingung

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

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

Aus wiederholten Messungen stellt sich heraus, das die momentane Blechstärke in jedem Punkt des Flansches nahezu gleich ist. Örtliche Abweichungen meistens kleiner als 0,01 mm. Bei einer anfänglichen Blechstärke $s_0 = 2 \text{ mm}$ ist dies also bedeutend weniger als 1%. Unter der Voraussetzung dass das Blech sich immer so verhält, geht Gl.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, während des Tiefziehvorgangs der Aussendurchmesser des Flansches

um einen Betrag dr_a abnimmt, verschiebt sich ein Volumelement auf dem 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 Gl.7 in Gl.8 führt jetzt zur Beziehung zwischen einer Versetzung dr_a der Blechkante und der entsprechenden Versetzung dr eines beliebigen Volumelements.

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

3. DIE FLANSCHUMFORMUNG

In diesem Abschnitt soll zunächst der Flanschanteil der Ziehtiefe ermittelt werden. Es wird der Einfachkeit halber vorausgesetzt, dass die Ziehkante scharf ist. Gl.9 geht dann über in die Beziehung:

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

Hierin ist dh die Zunahme der Ziehtiefe, die einer Verschiebung dr_a der Flanschkante entspricht. Integration dieser Differentialgleichung liefert den Flanschanteil an der gesamten Napfhöhe.

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

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

Mit dem Ziehverhältnis $\alpha_o = r_{ao}/r_s$ geht Gl.11 über in

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

4. DIE UMFORMUNG DES BODENS

Die endgültige Höhe eines Ziehteiles wird in geringerer Masse auch von der Umformung des Napfbodens beeinflusst. Der Radius ρ_s der Stempelkante spielt dabei eine wichtige Rolle.

In der Anfangsphase des Tiefziehvorgangs wird das, bereits im Ziehspalt vorhandene, Blech beim Anwachsen der Ziehkraft weiter verfestigt. Dabei wird auch der Napfboden nachfliessen, und zwar mehr oder 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 Werkstoffvolumen des Bodens, einschliesslich der Bodenabrundung, zu (S.Abb.1)

$$V = V_a + V_b$$

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

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 Werkstoffvolumen, dass im Zuschnitt vom Radius r_s begrenzt wird. In dem Fall ist die Differenz

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

negativ. Nur in den Fällen, dass ρ_s klein ist bei grossem Ziehverhältnis (und damit grosser Tiefziehkraft) kann die Streckung des Bodens so gross

werden dass ΔV und damit h_b positiv wird (S.Abb.1) Es ist weiter

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

Aus der Substitution der Gln. 13 und 15 in Gl. 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.

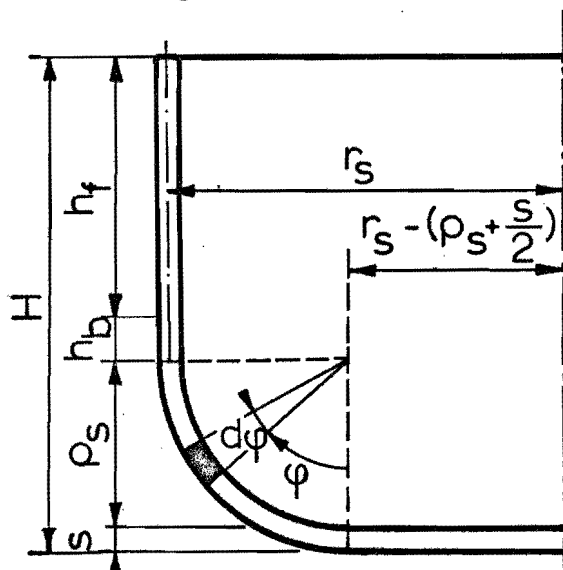


Abb.1. Das Werkstoffvolumen des Napfbodens.

4. DIE BEZIEHUNG ZWISCHEN NAPFHÖHE UND ZIEHVERHÄLTNIS

Die gesamte Napfhöhe H ergibt sich jetzt aus der Addition (S.Abb.1)

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

Darin werden jetzt Gl.12 und 16 substituiert. Rechnerische Ausarbeitung liefert die Beziehung

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

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

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

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

Zum Vergleich mit der Wirklichkeit wurde eine Reihe von Versuchen durchgeführt für verschiedene Ziehverhältnisse und Werkstoffe. Die sonstigen Grössen wurden konstant gehalten. Es wurde für $\alpha_0 = 1,5$ angefangen mit 23 verschiedenen Blechen (Al. rostfr. St., Kupfer, Ms, St., Nickel, Zinn). Für jedes Ziehteil wurde die Gesamthöhe als Mittelwert bestimmt. Darauf wurde der Mittelwert für alle Ziehteile beim gleichen Ziehverhältnis ermittelt.

Die Zahl der zur Verfügung stehenden Ziehteilen ist (durch Bodenrisse) bei grösseren Ziehverhältnissen selbstverständlich geringer. Bei z.B. $\alpha_0 = 2,0$ noch 13 und bei $\alpha_0 = 2,1$ noch 3. Die Messwerte sind mit der nach Gl.19 berechneten Kurve in Abb.2 dargestellt. Für niedrige Ziehverhältnisse ergibt sich eine befriedigende Übereinstimmung. Mit zunehmendem α_0 - Wert wächst die Differenz an.

Es wurde, entsprechend der früheren Bemerkung, 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 Gl. 19 jetzt über in

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

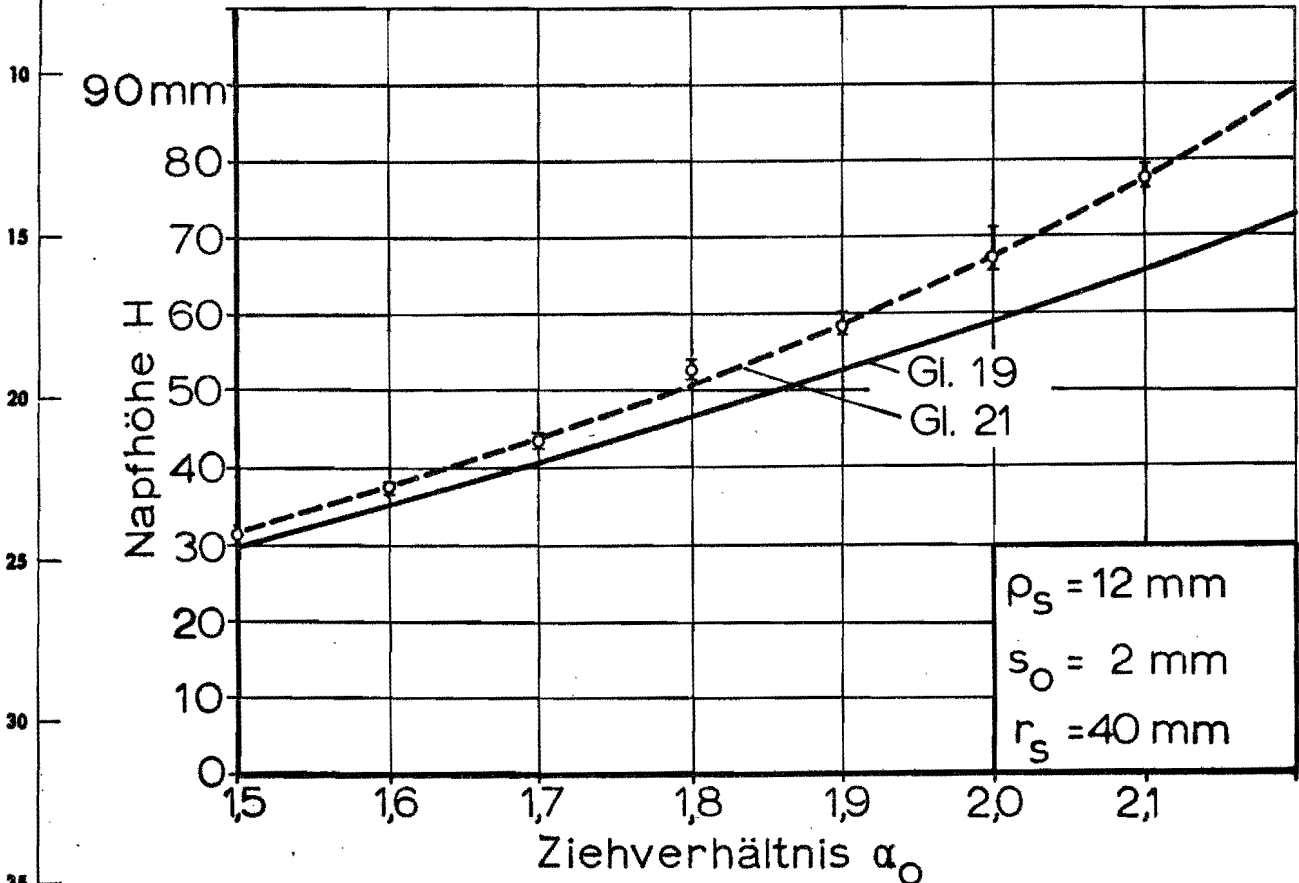


Abb.2. Der Zusammenhang zwischen Napfhöhe und Ziehverhältnis.

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

Selbstverständlich kann diese 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 annehmbar, dass ΔH vom Werkstoff abhängig ist. Die geringe Streuung der Messwerte (Abb.2) gibt aber Veranlassung zur Vermutung dass diese Ab-

hängigkeit für die Praxis uninteressant ist.

Es ist nicht annehmbar, dass ΔH unmittelbar von $\frac{\rho_s}{r_s}$ und $\frac{s_o}{r_s}$ abhängig ist. Das wurde in befriedigender Weise experimentell bestätigt. Es wurde dazu als Stichprobe Ms 72 (Tiefziehgüte) verwendet bei einem Ziehverhältnis $\alpha_o = 2$. Die einzige von den obigen abweichende (Abb.2) Versuchsgrösse war dabei der mittlere Radius des Ziehspaltes $r_s = 60$ mm. Der Versuch wurde zehnmal wiederholt. Es ergab sich eine mittlere Napfhöhe

$$H = 100 \text{ mm.}$$

Der Streubereich war $H = 99 - 102$ mm. Mit Gl. 21 errechnet sich die Napfhöhe zu

$$H = 98,0 \text{ mm}$$

Daraus geht die gesuchte Bestätigung in befriedigender Weise hervor, zumal da bei den vorhergehende Versuchen für den gleichen Werkstoff und $\alpha_o = 2$ der gemessene Wert $H = 69,2$ mm war und der berechnete 67,7 mm (für alle Bleche war die mittlere Napfhöhe $H = 67,6$ mm). Vielmehr müsste man hieraus schliessen auf einen systematischen Einfluss des Werkstoffverhaltens, etwa der Verfestigung.

5. SCHLUSSBETRACHTUNG

Gl. 21 lässt sich unmittelbar als Beziehung zwischen dimensionslosen Kenngrössen schreiben:

$$H^* = \frac{1}{8} \{ \ln \alpha_o^2 + 3 \alpha_o^2 + 2,75 \cdot 10^{-3} e^{3,23 \alpha_o} - 3 + \\ + 0,14 (2 \rho_s^* + s_o^*)^2 + 3,44 \rho_s^* + 5,72 s_o^* \} \quad (22)$$

$$\alpha_o = r_{ao} / r_s$$

Darin ist

$$H^* = \frac{H}{r_s}$$

$$\rho_s^* = \frac{\rho_s}{r_s}$$

$$s_o^* = \frac{s_o}{r_s}$$

(23)

Es stellt sich also heraus, dass der Tiefziehvorgang ausser vom Ziehverhältnis noch von mindestens zwei sonstigen Kernzahlen bestimmt wird. Mutmasslich gibt es aber mehrere, denn verschiedene Einflüsse wurden vernachlässigt, wie z.B. das Werkstoffverhalten und die Reibung. Ausserdem befasst die vorliegende Arbeit sich nur mit einer einzigen Facette des Tiefziehvorgangs.

Von den obigen Grössen werden verschiedene Grössen bestimmt, die sich in der Praxis und in Versuchen als wichtig erwiesen haben. Es ist z.B.

$$\frac{\rho_s^*}{s_o^*} = \frac{\rho_s}{s_o}$$

Zahlenmässig beläuft der Wert dieser Grösse sich auf 4 - 30. Bekanntlich wird das Grenzziehverhältnis von dieser Grösse beeinflusst, und zwar in dem Sinne dass bei zunehmendem Wert das Grenzziehverhältnis $\beta = \alpha_{\text{omax}}$ ebenfalls zunimmt. (Romanowski, W.P.: Handbuch der Stanzertechnik VEB Verlag Technik, Berlin 1959).

Weiter ist

$$\frac{\alpha_o}{s_o^*} = \frac{r_{ao}}{s_o}$$

Bei zunehmendem Wert dieser Grösse nimmt der Grenzwert des Ziehverhältnisses ab. (Romanowski).

Obwohl die übliche Abschätzung der erforderliche Zuschnittsgrösse i.A. gute Ergebnisse liefert und ausserdem einfacher und handlicher ist kann damit nur wenig Einsicht in die wirklichen Umformverhältnisse gewonnen werden. Dieser Nachteil hat die in dieser Arbeit entwickelten Methode in geringerem Masse.

6. BEZEICHNUNGEN

0	α_o	Ziehverhältnis r_{ao}/r_s	[-]
5	δ_t	natürl.(log.) Formänd. in tang. Richtung	[-]
	δ_n	natürl. (log.) Formänd. in einer Richtung senkrecht zur Blechoberfl.	[-]
10	δ_ϕ	natürl. (log.) Formänd. in rad. Richtung	[-]
	ϕ	Winkel in einer Ebene durch die Achse	[-]
15	h_b	Korrektionsglied (Def. nach Gl.16)	[mm]
	h_f	Ziehtiefe infolge Flanschumformung	[mm]
	H	Gesamthöhe des Ziehteiles	[mm]
20	H^*	bezogene Gesamthöhe H/r_s	[-]
	ρ_s	Radius der Stempelabrundung	[mm]
25	ρ_s^*	bezogener Abrundungsradius ρ_s/r_s	[-]
	r	Entfernung von der Ziehteilachse	[mm]
30	r_{ao}	halber Durchmesser des Zuschnitts	[mm]
	r_a	Aussenradius des Blechflansches in einem beliebigen Zwischenstadium	[mm]
35	r_s	mittlerer Radius des Ziehspaltes	[mm]
	s	momentane Blechstärke	[mm]
	s_o	anfängliche Blechstärke	[mm]
40	s_o^*	bezogene Blechstärke s_o/r_s	[-]
	V	Werkstoffvolum	[mm ³]