

Rubenkova, L.A., Kazakov, Ju.P.

SPANNUNGSZUSTAND IM ROHLINGFLANSCH BEIM TIEFZIEHEN EINES
KOMPLIZIERTEN WERKSTÜCKS

Deutsche Übersetzung aus:

Mašinovedenie. Moskva, 1968, Nr 5, S. 114 - 117.

Russ.: НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВО ФЛАНЦЕ ЗАГОТОВКИ
ПРИ ВЫТЯЖКЕ ДЕТАЛИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Naprjažennoe sostojanie vo flance zagotovki pri
vytjažke detali sloznoj formy

A two-dimensional stress state occurs during stamping in the flange of a blank, a characteristic feature of which is that one of the main stresses is compression, the other tension. Under such conditions the equations which determine the stress state of an ideally plastic metal coincide with the equations relating to a two-dimensional deformed state. A system of equations of the hyperbolic type is obtained, which has two families of real characteristics, both of which coincide with the trajectories of the maximum tangential stresses and have the property of orthogonality (Ref. 3).

Using the method of characteristics, it is possible to construct the optimal contour of the blank which will ensure that there is no displacement along a contour of the die, (Ref. 9). The described method of determining the stress state in the flange of the blank during extrusion can also be used in cases when the shape of the clamping surface is not two-dimensional. (Ref. 8) and the contour of the inside of the die has an arbitrary configuration (Refs. 2, 6). If the clamping surface is a complicated one, the surface must be developed onto a plane in order to construct the trajectories of the maximum tangential stresses. 5 figs., 1 table.

Submitted: 24.XI.1967.

Zur Bewertung des Spannungszustandes im Flansch beim Tiefziehen aus Blech kann die Charakteristikenmethode verwendet werden [7].

Wir untersuchen ein Charakteristikengitter, das im Flansch zu Beginn des Tiefziehens eines komplizierten Werkstücks - in Abb. 1 dargestellt - konstruiert wurde.

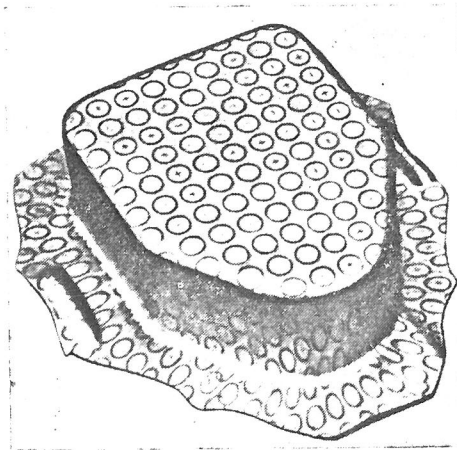


Abb. 1. Das komplizierte Werkstück.

Während des Ziehens kommt es im Flansch zu einem ebenen Spannungszustand; dieser zeichnet sich dadurch aus, daß die eine Hauptspannung eine Druckspannung ist und die andere eine Zugspannung. Unter diesen Bedingungen sind die Gleichungen, die den Spannungszustand eines ideal plastischen Metalls bestimmen, identisch mit den Gleichungen für den ebenen Verformungszustand und haben die Gestalt

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma}{\partial x} + 2k \left(\cos 2\alpha \frac{\partial \alpha}{\partial x} + \sin 2\alpha \frac{\partial \alpha}{\partial y} \right) &= 0, \\ \frac{\partial \sigma}{\partial y} - 2k \left(\cos 2\alpha \frac{\partial \alpha}{\partial y} - \sin 2\alpha \frac{\partial \alpha}{\partial x} \right) &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

mit σ mittlere Normalspannung $\sigma = (\sigma_x + \sigma_y) / 2$; α Neigungswinkel der Trajektorie der größten Schubspannung zur Achse x ; k Schubfließgrenze.

Das Gleichungssystem (1) hyperbolischer Art hat zwei Scharen tatsächlicher Charakteristiken, nämlich

$$\left(\frac{dy}{dx} \right)_1 = \operatorname{tg} \alpha, \quad \left(\frac{dy}{dx} \right)_2 = -\operatorname{ctg} \alpha.$$

Beide Kurvenscharen sind mit den Trajektorien der größten Schubspannungen identisch und orthogonal [3].

Wenn man die Charakteristikenmethode verwendet, kann man den optimalen Zuschnittsverlauf konstruieren, ohne daß Verschiebungen längs des Verlaufes der Innenkontur vorkommen können [9].

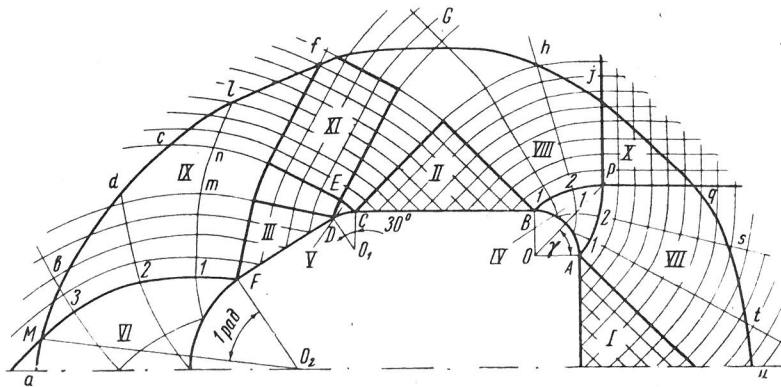


Abb. 2. Trajektorienfeld der größten Schubspannungen im Rohlingflansch zu Beginn des Tiefziehens.

Für den Tiefziehbeginn konstruieren wir das Trajektoriengitter der größten Schubspannungen in der Flanschebene um die Innenkontur (Abb. 2). Beim Konstruieren beginnen wir am Verlauf der Innenkontur (innerer Verlauf). Im unbegrenzten Trajektorienfeld der größten Schubspannungen konstruieren wir dann den Verlauf der optimalen Außenkontur. An der Innengrenze des Flansches sind die Schubspannungen $\tau = 0$, da das Metall nicht längs der Kontur verdrängt wird. Folglich ist eine der Hauptspannungsrichtungen die Richtung der Normalen auf der Innenkontur, und die Trajektorien der größten Schubspannungen stehen zur Kontur in einem Winkel von 45° . In den geradlinigen Abschnitten der Innenkontur sind die Zonen I, II, III das Trajektoriengitter der größten Schubspannungen; es ist durch Geraden dargestellt, die den Verlauf unter 45° schneiden. In den runden Abschnitten des Verlaufs (Zonen IV, V, VI) mit konstanter Krümmung wurde das Trajektorienfeld der größten Schubspannungen durch logarithmische Spiralen gebildet. Die Gleichung der Spiralen hat im polaren Koordinatensystem r, φ die Form

$$\varphi \pm \ln(r/r_1) = \text{const.}$$

Bei $\sigma_1 \sigma_2 \leq 0$ ist eine Lösung innerhalb einer bestimmten, durch den Radiuskreis R begrenzten Zone sinnvoll.

In Abb. 2 haben z.B. $\varphi=0$ und die Gleichungen der Linien AP und BP im Punkt P die Form

$$\varphi - \ln(r/r_1) = -\ln(R/r_1), \quad \varphi + \ln(r/r_1) = \ln(R/r_1),$$

mit $R = OP$; r laufender Radius; $OA = r_1$.

Im Punkt A ist $\varphi = \gamma$ und folglich $\ln(R/r) = \gamma$ und hieraus der Maximalwert des Drehwinkels $\gamma_{\max} = 1$ rad, was $R_{\max} = 2,72 r_1$ entspricht.

Über R_{\max} hinaus sind die Charakteristiken radiale Geraden. Die Zonen VII, VIII, IX sind Übergangsbereiche mit einfachem Spannungszustand. Die eine Linienschar besteht aus Geraden, die eine Verlängerung der logarithmischen Spiralen sind; die andere aus Linien, die zur logarithmischen Spirale äquidistant sind. In der Zone IX gehen die Geraden zwischen den Linien cC und dD in die logarithmischen Spiralen mn über und danach wieder in die Geraden nl.

Da die Spannungswerte nicht vom gewählten Koordinatensystem abhängen, verwendet man beim Berechnen in den geradlinigen Abschnitten des Verlaufs besser ein geradliniges Koordinatensystem und in den runden ein polares.

Die Abmessungen des Flansches an der runden Verlaufsgrenze kann man errechnen, wenn man die Gleichung zur Berechnung des Rohlingsradius beim Tiefziehen eines zylindrischen Gefäßes verwendet [4], wobei davon ausgegangen wird, daß die Oberflächen des Werkstücks und des Rohlings gleich sind. Nachdem auf diese Weise die Lage von Punkt M bestimmt wurde, kann man mit der Berechnung der Spannungen in den Schnittpunkten der Trajektorien der größten Schubspannungen beginnen.

Die Praxis zeigt, daß beim Tiefziehen eines zylindrischen Napfes im Flansch ein ziemlich großer Druck entsteht. Deshalb kann man annehmen, daß zu Beginn des Tiefziehens an der Außenkontur, im Punkt M, der

dem kreisbogenförmigen Innenkonturelement gegenüberliegt, die mittlere Spannung $\sigma_M = -k$ ist, und die Spannungskomponenten $\sigma_\varphi = -2k, \sigma_r = 0$.

Wir benutzen das Hencky-Integral und ermitteln σ_F , die mittlere Spannung im Punkt F :

$$\sigma_F - \sigma_M = 2k\varphi.$$

In diesem Fall ist $\varphi = 1 \text{ rad}$ und folglich $\sigma_F = k$ und die Spannungskomponenten sind $\sigma_r = 2k, \sigma_\varphi = 0$.

Die mittleren Spannungen σ_1, σ_2 und σ_3 in den Punkten 1, 2 und 3 ermitteln wir ebenfalls mit dem Hencky-Integral:

$$\begin{aligned} \sigma_F - \sigma_1 &= 0,524k; & \sigma_1 &= 0,476k; \\ \sigma_F - \sigma_2 &= 1,048k; & \sigma_2 &= 0,048k; \\ \sigma_F - \sigma_3 &= 1,570k; & \sigma_3 &= -0,570k. \end{aligned}$$

Über den Moireschen Kreis ermitteln wir die Spannungskomponenten in den genannten Punkten. Die Ergebnisse der errechneten Spannungen in diesen Punkten sind in Tab. 1 angegeben.

T a b e l l e 1

	Punkte				
	M	A, B, C, D	1, E	2	3, P
$\varphi, \text{ rad}$	0	1	0,262	0,524	0,785
$\sigma, \text{ mittlere}$	$-k$	k	$0,476k$	$-0,048k$	$-0,570k$
σ_r	0	$2k$	$1,476k$	$0,952k$	$0,430k$
σ_φ	$-2k$	0	$-0,524k$	$-1,048k$	$-1,570k$

In den Zonen I, II, III sind $\sigma_x = 0; \sigma_\mu = 2k$.

In Zone XI sind die Spannungen so groß wie in Punkt E.

Über die gesamte innere Kontur sind die mittleren Spannungen gleich k :

$$\sigma_A = \sigma_B = \sigma_C = \sigma_D = \sigma_F = k.$$

Die Indizes bezeichnen die Punkte, in denen die mittleren Spannungen bestimmt wurden.

Nach dem ermittelten Trajektoriengitter der größten Schubspannungen konstruieren wir den optimalen Außenkonturverlauf. Nachdem wir die Größe des Flansches in Zone VI nach der Gleichung für das Tiefziehen eines zylindrischen Napfes bestimmt haben, zeichnen wir die Außenkontur, indem wir die Gleitlinien unter 45° schneiden.

In Tab. 1 sind die Spannungen angegeben, die durch die Zugkraft im äußeren Verlauf erzeugt werden und gewährleisten, daß im inneren Verlauf keine Schubspannungen vorkommen.

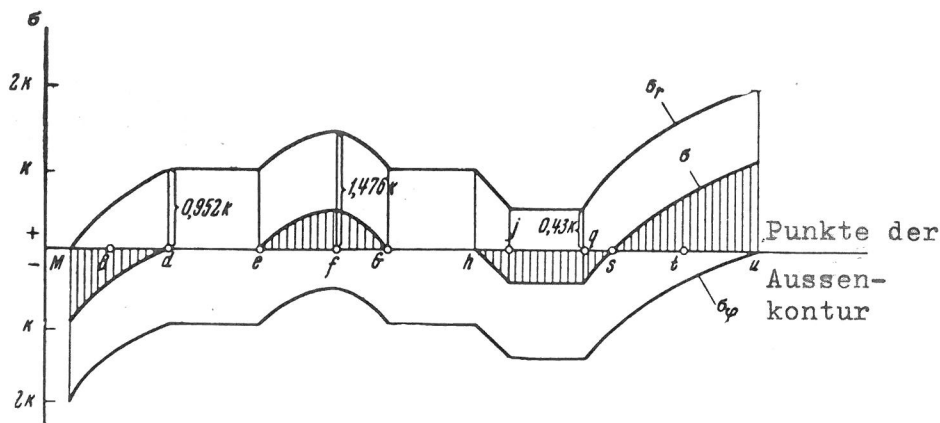


Abb. 3. Verteilung der Spannungen an der Außenkontur.

Der Anschaulichkeit wegen stellen wir nach den Angaben in Tab. 1 die Verteilung der Spannungen im äußeren Rohlingsverlauf graphisch dar (Abb. 3); diese Darstellung entspricht den oben genannten Randwertbedingungen. Aus Abb. 3 geht hervor, daß zwischen den Punkten $d - h$ und $s - u$ die größten Zugspannungen erreicht werden müssen, und daß man folglich an diesen Stellen Ziehstäbe anbringen muß [5].

Nach dem bekannten Trajektorienfeld der größten Schubspannungen (siehe Abb. 2) kann man die Geschwindigkeitskurve konstruieren (Abb. 4).

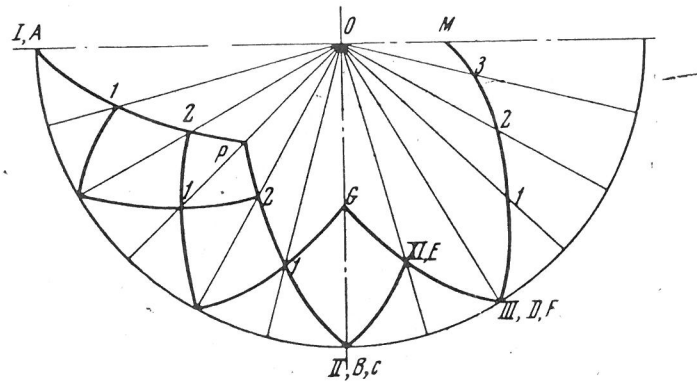


Abb. 4. Geschwindigkeitskurve.

Die Gleichungen für die Geschwindigkeiten längs der Trajektorien mit den größten Schubspannungen haben die Gestalt:

$$du - v d\alpha = 0, \quad dv + u d\alpha = 0,$$

wobei u und v die Komponenten der Fließgeschwindigkeit längs der Trajektorien mit den größten Schubspannungen bezeichnen. Diese Gleichungen zeigen, daß die Geschwindigkeit der relativen Verlängerungen längs der Gitterlinien gleich Null ist. Die Geschwindigkeit längs der Trajektorien mit den größten Schubspannungen ändert sich aufgrund der zu dieser Linie normalen Geschwindigkeitskomponente; deshalb sind die entsprechenden Elemente des Trajektorienfelds der größten Schubspannungen und der Geschwindigkeitskurve orthogonal. Aufgrund dieser Eigenschaft kann man die Geschwindigkeitskurve für das jeweilige Trajektorienfeld der maximalen Schubspannungen konstruieren, wenn die Randwertbedingungen für die Geschwindigkeiten bekannt sind.

Die Bereiche I, II, III, X und XI (siehe Abb. 2) werden in der Geschwindigkeitskurve mit Punkten derselben Bezeichnung dargestellt. Die Bereiche IV, V und VI, die aus logarithmischen Spiralen bestehen, werden ebenfalls mit logarithmischen Spiralen wiedergegeben. Die

von den Punkten 1, 2 und 3 ausgehenden Strahlen werden in der Geschwindigkeitskurve mit den Punkten 1, 2 und 3 wiedergegeben. Aus Abb. 4 geht hervor, daß die Geschwindigkeitskurve aus Abschnitten logarithmischer Spiralen besteht.

Wir benutzen die Geschwindigkeitskurve [7] nach der Poinçonschen Geschwindigkeit ω und errechnen die Größe der Geschwindigkeit in radialer Richtung für einen beliebigen Punkt der logarithmischen Spirale (siehe Abb. 2) nach der Formel

$$v_p = \frac{\omega r}{\rho}$$

mit r Matrixkreisradius; ρ laufender Radius.

Längs der Geraden ist das Geschwindigkeitsgitter konstant. Anhand der graphischen Darstellung der Verteilung der Fließgeschwindigkeiten kann man die Lage des Flansches nach einer gewissen Zeit bestimmen.

Als Beweis für die Richtigkeit der Lösung muß das Vorzeichen der plastischen Verformungsleistung bestimmt werden. Zu diesem Zweck [10] muß man die Richtung der größten Schubspannungen und der Fließgeschwindigkeiten vergleichen, die direkt aus dem Trajektorienfeld der größten Schubspannungen und der Geschwindigkeitskurve bestimmt werden.

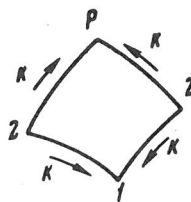


Abb. 5. Element des Rohlingflansches.

Für den Vergleich wählen wir ein beliebiges Element des Flansches P 212 aus Bereich IV und stellen ihn einzeln in Abb. 5 dar. An der Gitterlinie sind die Schubspannungen maximal. Die Krafrichtung der Schubspannungen erhalten wir aus den Bedingungen für den Werkstofffluß zur Innenkontur. In Abb. 5 sind die Fließgeschwindigkeiten des Elements P 212 (siehe Abb. 2) mit denselben Bezeichnungen wiedergegeben. Die Geschwindigkeiten der Punkte P und I werden dementsprechend durch die Vektoren OP und OI dargestellt. Dabei ist $OP < OI$, d.h. der Punkt I wird schneller als Punkt P auf die Innenkontur hin verschoben. Folglich muß der Abstand zwischen den Punkten P und I zunehmen, was der Richtung der Schubspannungen entspricht. Hieraus kann man den Schluß ziehen, daß die plastische Verformungsleistung im gesamten plastischen Bereich positiv ist.

Das dargelegte Verfahren zur Bestimmung des Spannungszustandes im Rohlingflansch beim Tiefziehen kann nicht nur bei einem flachen Flansch verwendet werden, sondern auch, wenn die Form der Spannfläche abrollbar [8] und der Verlauf der Innenkontur beliebig ist [2, 6]. Bei einer komplizierten Spannflächenform entwickelt man zum Konstruieren der Trajektorien mit den größten Schubspannungen die Fläche in der Ebene [1].

Redaktionseingang

24.11.1967

L i t e r a t u r

1. Казаков Ю. П. Построение прижимной поверхности штампов для вытяжки деталей сложной формы. Кузнечно-штамповочное производство, 1967, № 5.
Kazakov, Ju.P.: Postroenie prižimnoj poverchnosti štampov dlja vytjažki detalej složnoj formy.
In: Kuznečno-štamпово́чное производство. Moskva, 1967, Nr 5, S. 23 - 25.
[Design of the Clamping Surface of Stamps for Drawing Complicated Parts; russ.]

2. Катков В. Ф. Применение метода характеристик в теории вытяжки изделий сложной формы. Основы теории обработки металлов давлением. Машгиз, 1959.
Katkov, V.F.
Primenenie metoda charakteristik v teorii vytjažki izdelij složnoj formy. Osnovy teorii obrabotki metallov davleniem.
Moskva: Mašgiz, 1959.
[Use of the Method of Characteristics in the Theory of Drawing Complicated Parts. Fundamentals of the Theory of Pressure Forming of Metals; russ.]

3. Качанов Л. М. Основы теории пластичности. Гостехиздат, 1956.
Kačanov, Lazar' Markovič
Osnovy teorii plastičnosti.
Moskva: Gostechizdat, 1956.
Engl.: Foundations of the Theory of Plasticity. Transl. by Multilingua Scientific Translations.
Amsterdam/London: North-Holland Publishing Company, 1971.

4. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. Изд-во «Машиностроение», 1965.
Romanovskij, Viktor Petrovič
Spravočnik po choolodil'noj šampovke.
Moskva: Verlag "Mašinoštroyenie", 1965.
Deutsch: Handbuch der Stanzereitechnik. Übers. aus dem Russ.: Eugen Lietz. Dt. Bearb.: Rudolf Beck.
Berlin: Verlag Technik, 1971, 5. Aufl.

5. Серепьев В. В. Опыт построения вытяжных переходов для облицовочных деталей автомобилей. Машгиз, 1958.
Serep'ev, V.V.
Opyt postroyeniya vytjažnykh perechodov dlja oblicovočnykh detalej avtomobilej.
Moskva: Mašgiz, 1958.
[Experience in Designing Transitions in Drawn Parts for Motor Car Facing Components (Body Parts); russ.]

6. Соколовский В. В. Теория пластичности. Гостехиздат, 1950.
Sokolovskij, V.V.
Teorija plastičnosti.
Moskva: Gostechizdat, 1950.
Deutsch: Theorie der Plastizität. Übers.: Oskar Friederici.
Berlin: Verlag Technik, 1955.

7. Томленов А. Д. Механика процессов обработки металлов давлением. Машгиз, 1963.
Tomlenov, A.D.
Mechanika processov obrabotki metallov davleniem.
Moskva: Mašgiz, 1963.
[Mechanics of the Pressure Forming of Metals; russ.]

8. Томленов А. Д. О прижимных поверхностях штампов для сложной вытяжки листового металла. Машиноведение, 1966, № 4.
Tomlenov, A.D.: O prižimnych poverchnostjach štampov dlja složnoj vytjažki listovogo metalla.
In: Mašinovedenie. Moskva, 1966, Nr 4, S. 124 - 126.
[On the Clamping Surfaces of Stamp Dies for Drawing Complicated Shapes from Sheet Metal; russ. - Kurzübersetzung in: Machine Science Abstracts. London, 1966, Nr 4, S. 84 - 85.]
9. Томленов А. Д. О напряженном состоянии в начале сложной вытяжки листового металла. Машиноведение, 1968, № 4.
Tomlenov, A.D.: O naprjažennom sostojanii v načale složnoj vytjažki listovogo metalla.
In: Mašinovedenie. Moskva, 1968, Nr 4, S. 120 - 122.
[On the Stress State at the Beginning of a Complete Drawing Operation of Sheet Metal; russ. - Kurzübersetzung in: Mechanical Sciences Abstracts. London, 1968, Nr 4, S. 121.]
10. Ford, Hugh, Alexander, J.M.
Advanced Mechanics of Materials. In 4 Parts.
London: Longmans, 1963.

Stuttgart, den 18. Juni 1980

übersetzt von

Ottmar Pertschi
(Ottmar Pertschi)
Dipl.-Übersetzer

Ulrike Frieß-Ehlers
(Ulrike Frieß-Ehlers)
Dipl.-Übersetzerin