

DOŚWIADCZALNA WERYFIKACJA NIESTACJONARNYCH PROCESÓW PLASTYCZNEGO PŁYNIĘCIA

WOJCIECH SZCZEPIŃSKI (WARSZAWA)

1. Wstęp

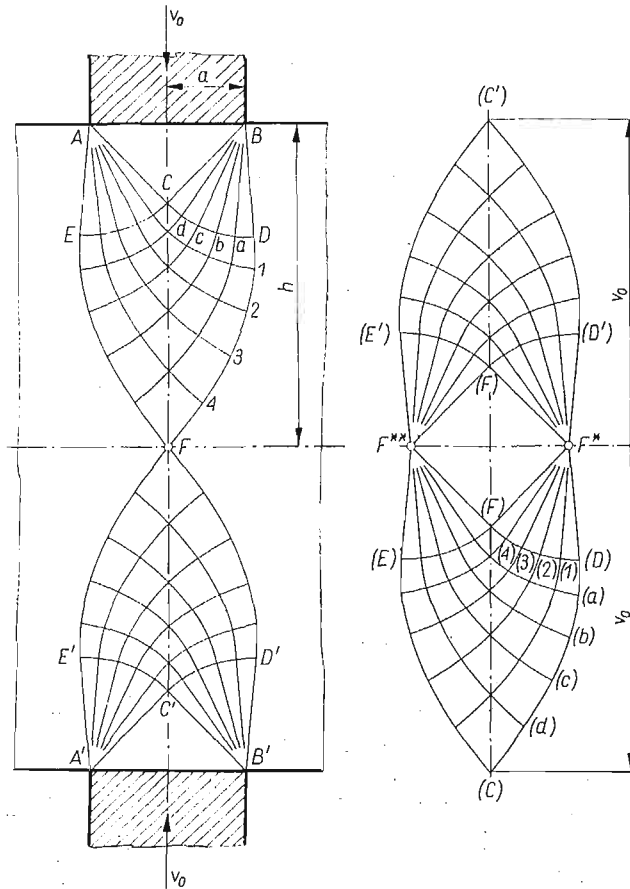
Teoria plastycznego płynięcia ośrodka sztywno-plastycznego bez wzmocnienia pozwala rozwiązywać wiele ważnych zagadnień dotyczących dużych odkształceń plastycznych zachodzących w warunkach płaskiego stanu odkształcenia. Szczególnie stosowanie wykreślnej metody budowy hodografu i siatki linii poślizgu tak znacznie skróciło czas rozwiązywania, że obecnie można już za ich pomocą przeprowadzać analizę przebiegu procesów spotykanych w praktyce. Jednakże własności rzeczywistych metali tak znacznie odbiegają od modelu ciała sztywno-plastycznego bez wzmocnienia, jaki przyjmuje się w teorii płaskiego stanu odkształcenia, że przenoszenie rozwiązań teoretycznych, uzyskanych dla takiego wyidealizowanego ośrodka, na rzeczywiste procesy musi budzić wątpliwości. Wątpliwości te mogą być wyjaśnione tylko na drodze doświadczalnej. Liczba prac eksperymentalnych jest jednak ciągle niedostateczna. Wiele doświadczeń przeprowadzono na plastelinie [1] w dążeniu do zbliżenia się do własności materiału idealnie plastycznego, założonego w teorii. Ponadto większość doświadczeń dotyczyła procesów stacjonarnych [2, 3], a jedynie nieliczne zajmowały się niektórymi procesami niestacjonarnymi jak wciskanie klina [1] czy ściskanie bloku między sztywnymi płytami [4].

W niniejszej pracy przedstawiono porównanie rzeczywistych obrazów deformacji, otrzymanych dla kilku procesów niestacjonarnych w sposób doświadczalny, z teoretycznymi rozwiązaniami uzyskanymi na gruncie teorii płaskiego stanu odkształcenia ośrodka sztywno-plastycznego bez wzmocnienia. Oprócz wyznaczenia kompletnego teoretycznego obrazu deformacji przeprowadzono również dyskusję rozwiązań.

2. Przecinanie plastycznego bloku dwoma płaskimi stemplami

Rozwiązanie zagadnienia przecinania plastycznego bloku dwoma płaskimi, wąskimi stemplami zostało podane przez L. PRANDTLA [5] i W. W. SOKOŁOWSKIEGO [7]. Wielkość siły naciskającej oraz rozkład prędkości płynięcia można otrzymać odpowiednio z pola linii poślizgu (rys. 1a) i hodografu (rys. 1b). Rozwiązanie to w ogólnym przypadku może być uważane jedynie za kinematycznie dopuszczalne, ponieważ nie badano dotychczas możliwości statycznie dopuszczalnego przedłużenia pola naprężeń w obszary sztywne na zewnątrz skrajnych linii poślizgu BDF i AEF . Dla granicznego przypadku $h/a = 8,74$ takie przedłużenie zostało zaproponowane przez J. F. W. BISHOPA [6]. Poniżej przedyskutowano możliwość zbudowania przedłużeń pola naprężeń dla innych stosunków h/a .

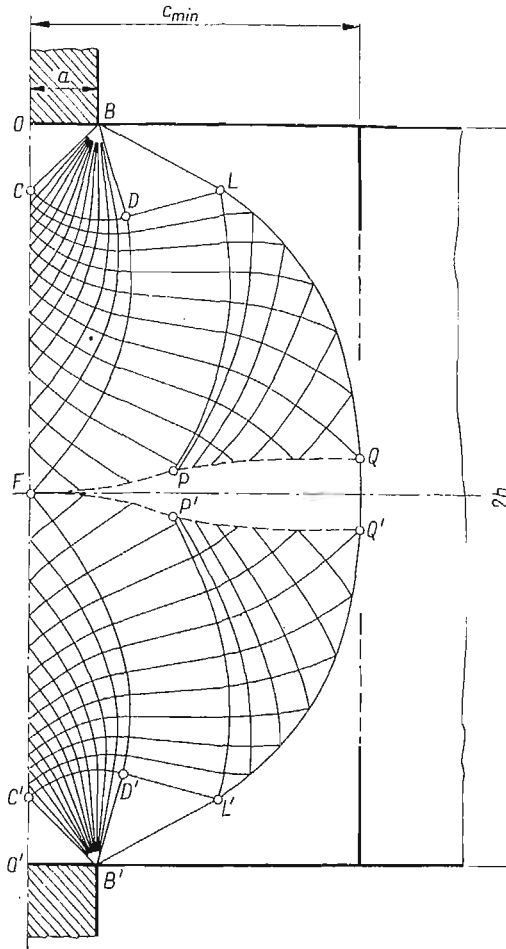
Zbadano ponadto deformację materiału w czasie przecinania i porównano z rzeczywistą deformacją aluminiowego bloku przecinanego dwoma stalowymi stemplami.



Rys. 1

Rysunek 2 przedstawia przedłużenie pola linii poślizgu dla stosunku $h/a = 5,40$. Wychodząc z linii poślizgu BDF rozwiązano zagadnienie odwrotne do brzegowego zagadnienia Cauchy'ego, otrzymując w rezultacie kształt hipotetycznej swobodnej krawędzi BLQ . Materiał na zewnątrz linii BLQ jest wolny od naprężeń. W polu $OBLQPF$ materiał znajduje się w stanie plastycznym. Linia nieciągłości naprężeń QPF , wychodząca z punktu Q , w którym styczna do swobodnej krawędzi jest równoległa do pionowej osi symetrii, oraz analogiczna linia $Q'P'F$ dla dolnej części, schodzą się w środkowym punkcie F . Materiał w polu $QPFQ'$ jest jednoosiowo ściskany naprężeniami równoległymi do osi pionowej. Analiza numeryczna wykazuje, że w każdym punkcie tego pola naprężenia są mniejsze od granicy plastyczności z wyjątkiem punktu Q , gdzie równają się one tej granicy. A zatem rozwiązanie Prandtl'a jest dla $h/a = 5,40$ kompletne spełniając warunki statyczne i kinematyczne zagadnienia. Przedłużenia takie można również zbudować dla dowolnego stosunku $h/a > 5,40$. W przedłużeniach tych kąt wachlarza CBD będzie większy niż w polu linii poślizgu Prandtl'a. Wielkość tego kąta wynika z warunku, że linia nieciągłości QPF musi

przechodzić przez środkowy punkt F . Dla $h/a = 8,74$ odcinek BL przyjmuje położenie poziome i możliwe są jednocześnie dwa kinematycznie dopuszczalne schematy odkształcenia, mianowicie rozsuwanie obu części bloku oraz lokalne wyptywanie materiału po obu stronach stempla. A zatem stosunek $h/a = 8,74$ jest stosunkiem granicznym [6, 8]. Z drugiej

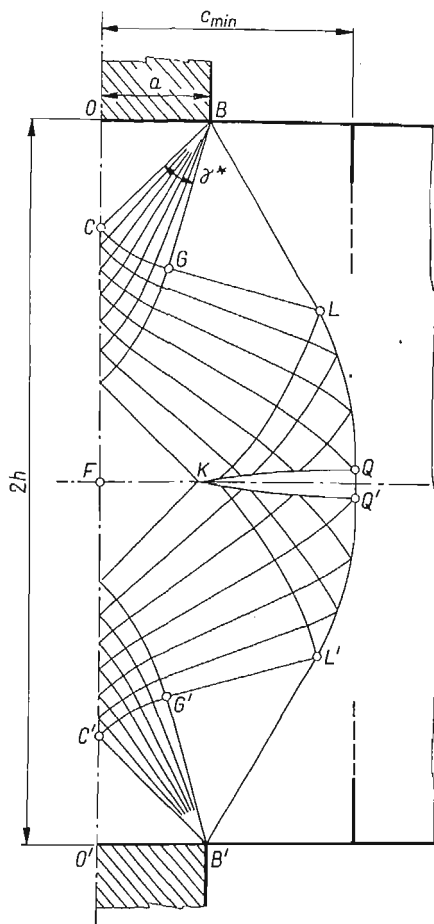


Rys. 2

strony stosunek $h/a = 5,40$ jest również graniczny, ponieważ dla $h/a < 5,40$ nie udaje się zbudować przedłużenia pola linii poślizgu w obszary sztywne. Tak więc dla $5,40 \leq h/a \leq 8,74$ rozwiązanie Prandtla jest kompletne, a dla $h/a < 5,40$ jest tylko kinematycznie dopuszczalne i daje, zgodnie z ekstremalnymi twierdzeniami teorii plastyczności, górną ocenę nieznaney koniecznej siły naciskającej.

Jednakże w zakresie $h/a < 5,40$ można otrzymać bardzo dobrą dolną ocenę siły naciskającej budując odpowiednie statycznie dopuszczalne pole naprężeń. Na rysunku 3 pokazano takie pole dla $h/a = 3,24$. Kąt wachlarza linii poślizgu w punkcie B zmniejszono w stosunku do rozwiązania Prandtla do takiej wartości γ^* , aby linia nieciągłości naprężeń QK przebiegała jak na rysunku. Jak poprzednio styczna do hipotetycznej swobodnej kra-

wędzi BLQ w punkcie Q jest równoległa do pionowej osi OF . Na prawo od BLQ materiał jest wolny od naprężeń, a w polu QKQ' jest ściskany jednoosiowo równoległe do osi pionowej naprężeniami nie przekraczającymi granicy plastyczności. Dla tego pola nie można znaleźć stowarzyszonego pola prędkości, a zatem jest ono jedynie statycznie dopuszczalne

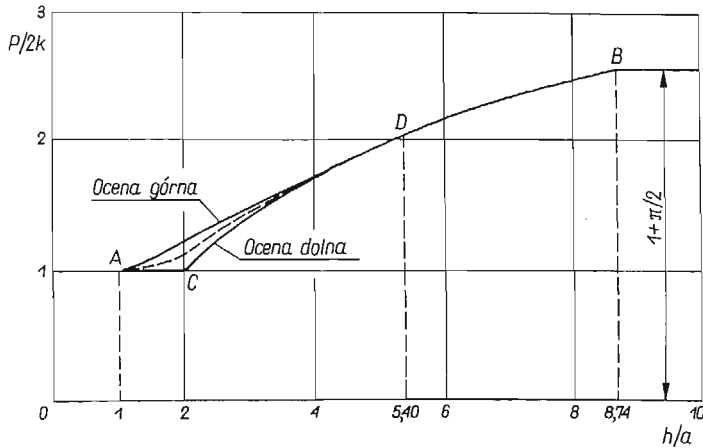


Rys. 3

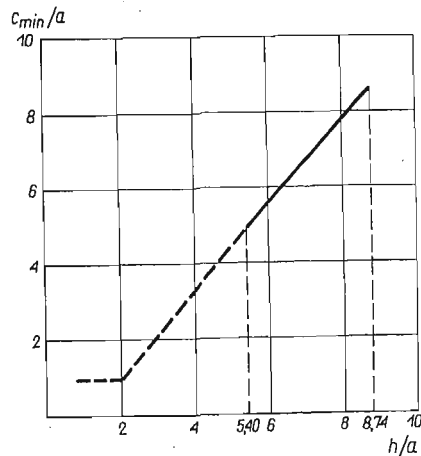
i daje dolną ocenę nieznanego ścisłego rozwiązania. Otrzymana stąd dolna ocena wielkości jednostkowego nacisku stempla na linii styku z materiałem jest określona wzorem $p_d = 2k(1 + \gamma^*)$. Po wyznaczeniu wartości kątów γ^* dla różnych stosunków h/a można obliczyć dolną ocenę nacisku stempla p w całym zakresie $2 \leq h/a < 5,40$. W pozostałym zakresie $1 \leq h/a < 2$ dolną ocenę otrzymujemy zakładając, że w prostokącie utworzonym przez proste łączące naroża obu stempli istnieje jednoosiowe ściskanie, a materiał na zewnątrz tego prostokąta jest wolny od naprężeń.

Obliczone w taki sposób dolne oceny nacisku p pokazano na rys. 4. Jak już wspomniano, górne oceny odpowiadają rozwiązaniu Prandtla. Różnica między górną i dolną oceną jest niewielka z wyjątkiem bezpośredniego otoczenia stosunku $h/a = 2$, gdzie osiąga ona maksymalną wielkość 21%.

Budując przedłużenia pól linii poślizgu dla $h/a \geq 5,40$ oraz statycznie dopuszczalne pola naprężeń dla $h/a < 5,40$ zakładaliśmy, że materiał na zewnątrz tych pól jest wolny od naprężeń. A zatem linia BLQ przedstawiająca hipotetyczną swobodną granicę, daje ważną informację, jaka musi być szerokość przecinanego bloku, aby mógł się realizować



Rys. 4

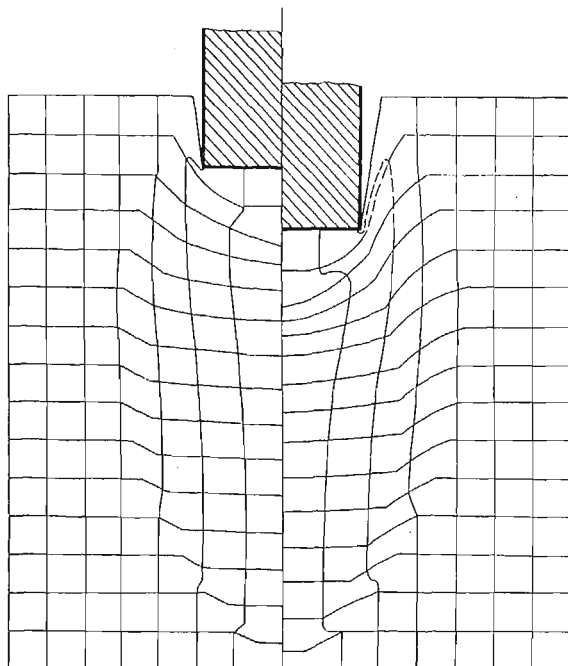


Rys. 5

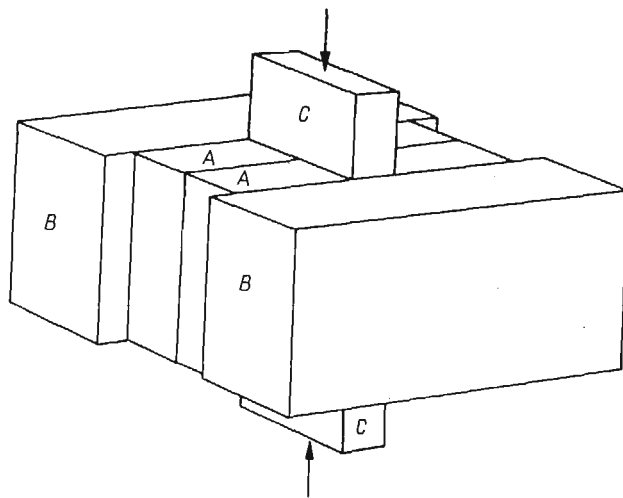
opisany schemat deformacji. Pole naprężeń musi leżeć całkowicie wewnątrz rzeczywistego konturu bloku. Jeśli blok ma kształt prostokątny, to jego minimalna szerokość c_{min} musi być równa odległości punktu Q od pionowej osi OF . Rysunek 5 przedstawia wartość szerokości c_{min} dla różnych h/a . Dla $h/a < 5,40$ zależność tę przedstawiono linią przerywaną, ponieważ wartości c_{min} w tym zakresie otrzymano z pól naprężeń, które są jedynie statycznie dopuszczalne. Dokładne wartości c_{min} będą w tym zakresie prawdopodobnie nieco większe.

Rozpatrzmy teraz deformację przecinanego materiału. Całą drogę stempla s podzielimy na pewną liczbę małych przyrostów Δs . Jeżeli te przyrosty są dostatecznie małe, to można przyjąć, że w czasie każdego odcinka czasu $\Delta t = \Delta s/v_0$, przy czym v_0 jest prędkością ruchu

stempla, prędkości płynięcia materiału nie zmieniają się. Wygodnie jest założyć, że prędkości te równają się średnim wartościom wyznaczonym dla końca i początku każdego



Rys. 6



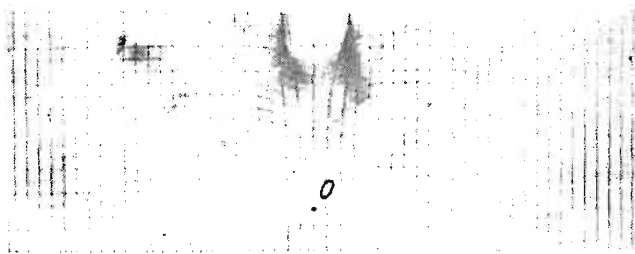
Rys. 7

odcinka czasu Δt . Mnożąc te średnie prędkości przez przyrosty czasu Δt można otrzymać przemieszczenia poszczególnych punktów przecinanego materiału.

W celu wyznaczenia prędkości dla każdego z kolejnych położenia stempla musimy budować kolejne siatki linii poślizgu i hodografu. Siatki te dla każdego z położenia będą podobne

do początkowych siatek pokazanych na rys. 1. Im bardziej zaawansowany jest proces, tym mniejszy będzie kąt wachlarza linii poślizgu w punktach A i B i kąt wachlarza siatki hodografu w punktach F^* i F^{**} . Wyznaczone w taki sposób obrazy deformacji kwadratowej siatki dla dwóch kolejnych położań stempla pokazano na rys. 6 po obu stronach pionowej osi.

Schemat wykonanego doświadczenia pokazuje rys. 7. Blok aluminiowy A złożony z dwóch części umieszczono pomiędzy dwoma stalowymi unieruchomionymi klockami B . Blok A przecinany jest dwoma stalowymi stemplami C . Na jednym z bloków A naniesiono kwadratową siatkę od strony styku z drugim blokiem A . Urządzenie to nie zapewnia warunków płaskiego stanu odkształcenia w całym przecinanym materiale, ponieważ w otoczeniu poziomej osi symetrii występują naprężenia rozciągające, powodujące lokalne zmniejszenie grubości, któremu oczywiście nie mogą zapobiec stalowe klocki B . Jednak dla dostatecznie małego zagłębienia przecinających stempli można przyjąć, że warunki są zbliżone do płaskiego stanu odkształcenia, tym bardziej że deformacja zachodzi głównie w pobliżu obu stempli, gdzie warunki płaskiego stanu odkształcenia są ściśle zachowane.

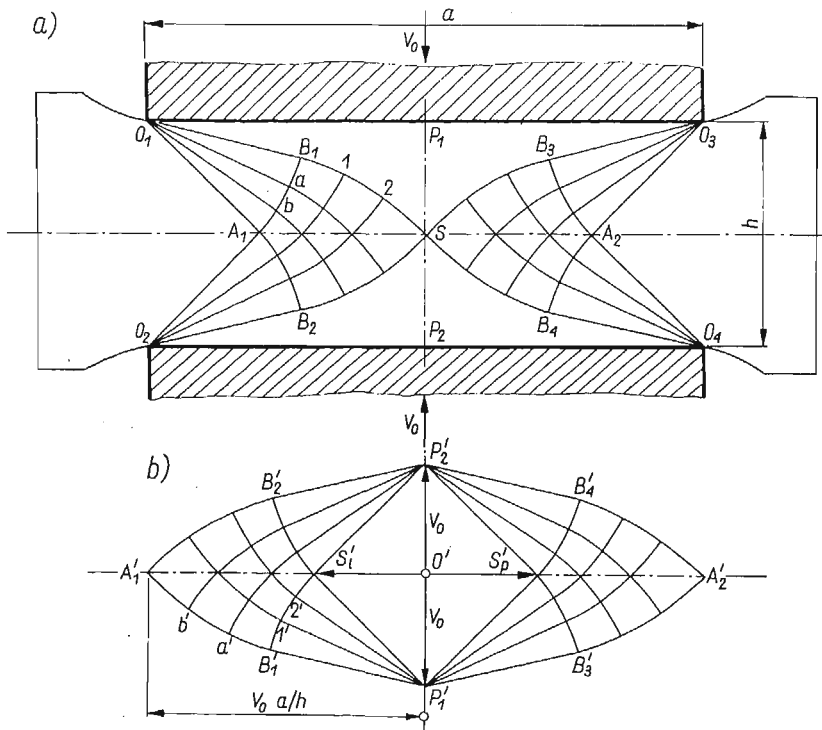


Rys. 8

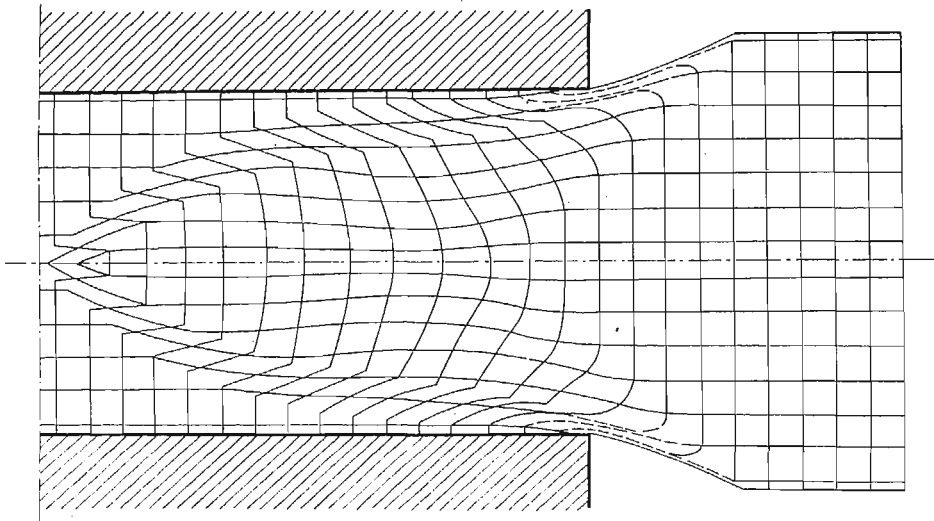
Rysunek 8 pokazuje odształconą siatkę. Przez O oznaczono położenie centralnego punktu przecinanego bloku. Wyraźnie widać obszar sztywny pod stemplem. Ogólny obraz deformacji jest bardzo zbliżony do rozwiązania teoretycznego, chociaż nie obserwuje się ostrych załamań linii, jakie występowały w tym rozwiązaniu.

3. Prasowanie bloku między sztywnymi płytami

Na rysunku 9 przedstawiono zaawansowane stadium procesu prasowania. Pokazana w górnej części rysunku siatka linii poślizgu została podana przez L. Prandtla [5]. Dolna część rysunku przedstawia odpowiadający jej hodograf. Obszary $OBSP$ przylegające do płyt są sztywne i poruszają się wraz z nimi. Liniami nieciągłości prędkości są linie poślizgu OBS . Przedłużenie pola linii poślizgu w obszary sztywne można wykonać rozwiązując zagadnienie charakterystyczne, wychodząc ze znanych wartości naprężeń wzdłuż linii poślizgu OBS [7]. Z takiego przedłużenia wynika obecność znacznych sił tarcia na linii styku płyt z prasowanym materiałem. Jeżeli współczynnik tarcia na linii kontaktu jest dostatecznie duży, to takie przedłużenie jest statycznie dopuszczalne. W takim przypadku rozwiązanie jest kompletne. Jeżeli jednak współczynnik tarcia jest zbyt mały, to nie ma możliwości przeniesienia sił tarcia wynikających z przedłużenia pola naprężeń i rozwiązanie



Rys. 9

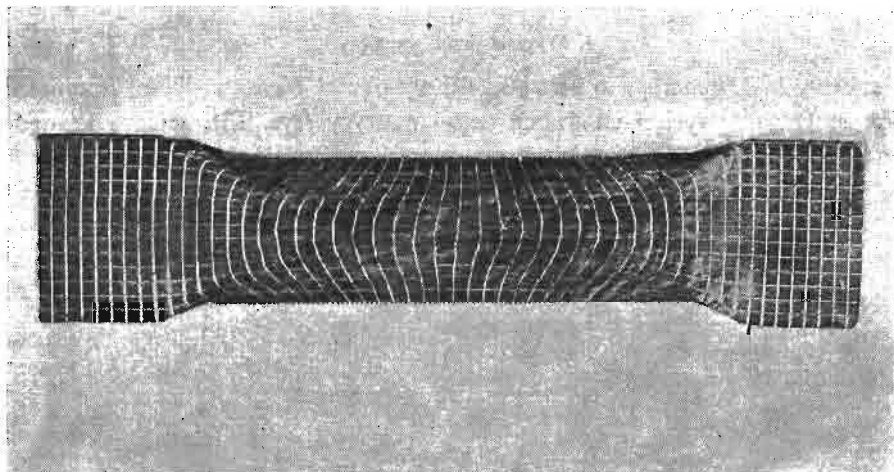


Rys. 10

stanowi tylko górną ocenę siły odpowiadającej nieznanemu ścisłemu rozwiązaniu. Jest ono bowiem wtedy tylko kinematycznie dopuszczalne.

Sytuacja przedstawiona na rys. 9 odpowiada pewnej dowolnie wybranej chwili procesu prasowania. Tak samo można zbudować siatkę linii poślizgu i hodograf dla każdej innej chwili, której będzie odpowiadała inna odległość h między płytami. Dzielic całą drogę przebytą przez zbliżające się ku sobie płyty na szereg małych odcinków Δh i następnie wyznaczając prędkości dla początkowej chwili każdego z tych kolejnych etapów, możemy prześledzić cały proces odkształcania. Przyjmujemy, że w ciągu każdego z etapów prędkości poszczególnych punktów są stałe. Postępując podobnie jak poprzednio wyznaczono odkształcenie kwadratowej siatki dla dwóch kolejnych etapów prasowania bloku o początkowym stosunku wymiarów $a/h_0 = 2,5$. Droga przebyta przez każdą z płyt naciskających w czasie jednego etapu równa się $\Delta h = 0,125 h_0$. Na rysunku 10 przedstawiono obraz odkształconej siatki po drugim etapie.

W celu eksperymentalnej weryfikacji schematu odkształcenia wykonano doświadczenie ściskając przecięty na dwie części blok ołowiany z naniesioną na jednej z nich na płaszczyźnie styku siatką kwadratową. Schemat ustawienia był zbliżony do przedstawionego na rys. 7. Doświadczenie wykonano w dwóch wariantach. W pierwszym obie naciskające

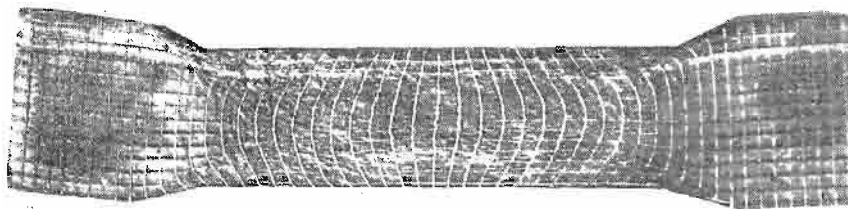


Rys. 11

płyty miały specjalnie wykonaną przez nacięcie drobnych ząbków powierzchnię styku z prasowanym materiałem dla zapewnienia możliwości przeniesienia dowolnie dużych naprężeń stycznych. Na rysunku 11 pokazano fotografię odkształconego w taki sposób bloku. Początkowy stosunek wymiarów $a/h_0 = 2,5$ był taki sam, jaki przyjęto przy teoretycznym wyznaczaniu schematu odkształcenia. Blok ściśnięto do stadium odpowiadającego rys. 10. Analizując otrzymany rzeczywisty obraz deformacji widzimy występowanie «sztywnych» obszarów na końcach bloku oraz w sąsiedztwie linii kontaktu, chociaż w tych ostatnich występują wyraźne odkształcenia plastyczne. Nie obserwuje się ostrych załamania pionowych linii, które w rozwiązaniu teoretycznym były rezultatem występowania w nim linii nieciągłości prędkości. W rzeczywistym metalu zjawisko wzmocnienia powoduje rozszerzenie się linii nieciągłości w dość szerokie pasma przejściowe, a jednocześnie po-

większa zasięg obszaru odkształceń plastycznych. Jednak widoczne jest, że ogólny charakter deformacji przewidziany przez teorię jest zachowany.

W drugim wariancie płyty naciskające nie miały ząbków, ale ich powierzchnia była dość chropowata po zgrubnej obróbce na strugarce. Przy prasowaniu takimi płytami

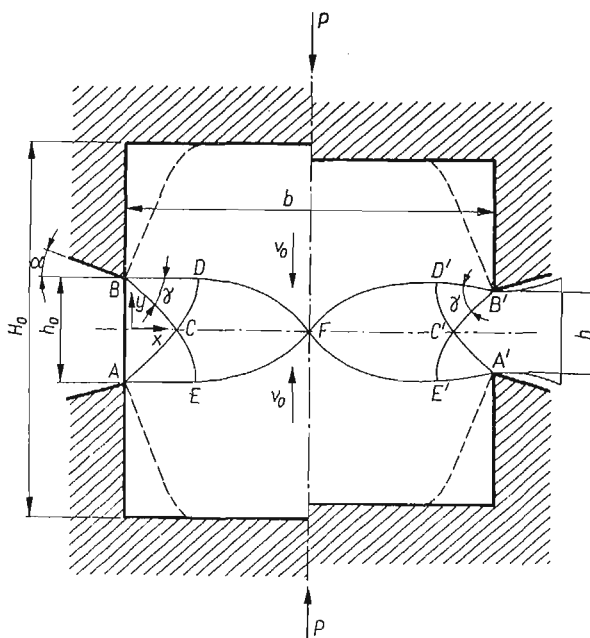


Rys. 12

otrzymano deformację pokazaną na rys. 12. Ogólny obraz deformacji jest taki sam jak na rys. 11, ale widoczne są większe jeszcze niż poprzednio różnice w stosunku do rozwiązania teoretycznego.

4. Wpływ przez szczeliny

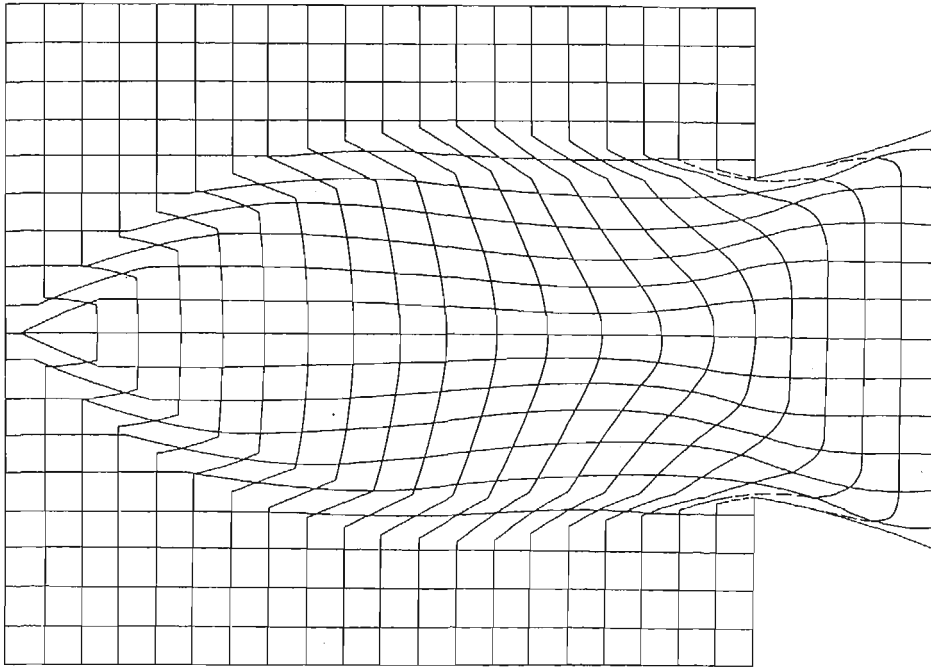
Prostokątny blok materiału o początkowej wysokości H_0 i szerokości b umieszczony jest w prostokątnych wycięciach dwóch części matrycy (rys. 13). Między krawędziami dolnej i górnej części matrycy istnieje luz o początkowej wielkości h_0 . Obydwie połówki



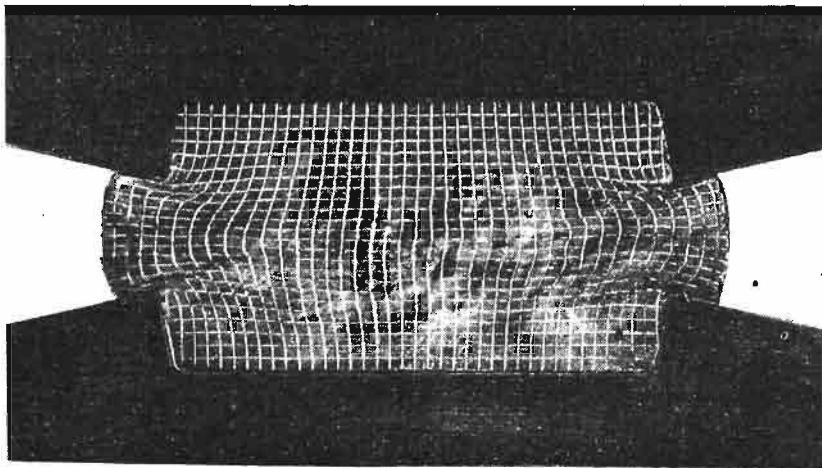
Rys. 13

matrycy zbliżają się do siebie z prędkościami v_0 powodując plastyczne odkształcanie materiału i jego obustronny wpływ przez szczeliny między obu częściami matrycy. Załóżmy,

że swobodne powierzchnie matrycy, tworzące szczelinę, są nachylone do poziomu pod kątem α tak dobranym, aby wypływający materiał mieścił się w szczelinie nie dotykając matrycy.



Rys. 14



Rys. 15

Siatkę linii poślizgu dla początkowej chwili plastycznego płynięcia przedstawiono po lewej stronie rysunku. Obszar plastyczny ograniczony jest skrajnymi liniami BDF i AEF . Po prawej stronie rysunku pokazano siatkę linii poślizgu dla zaawansowanego stadium procesu, gdy odległość między krawędziami obu połówek matrycy zmalała do wielkości h ,

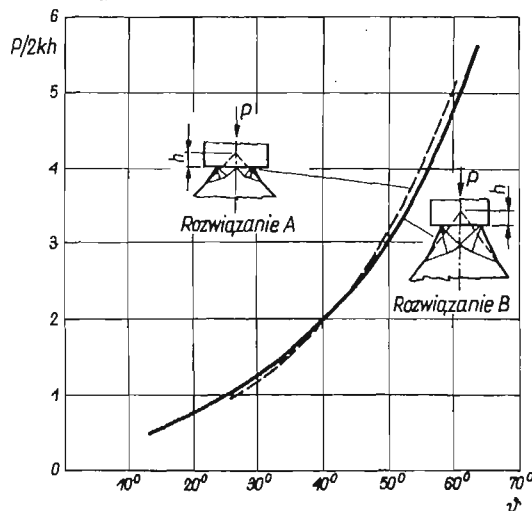
a część materiału została wyciśnięta na zewnątrz. Podobnie można zbudować siatkę linii poślizgu dla dowolnego stadium procesu. Siatki te różnią się tylko kątem γ wycinków biegunowych. Nie podajemy tu siatki hodografu, ponieważ jest ona zbliżona do siatki przedstawionej w poprzednim punkcie.

Stosując tę samą metodę jak w powyższych przykładach wyznaczono deformację kwadratowej siatki dla przypadku $b/h_0 = 3,56$, po zmniejszeniu się szerokości szczeliny do wielkości $h = 0,765 h_0$. Drogę przebytą przez każdą z połówek matrycy podzielono na dwa etapy. Na rysunku 14 przedstawiono obraz połowy zdeformowanej kwadratowej siatki.

Na rysunku 15 pokazano fotografię siatki otrzymanej doświadczalnie przez ściskanie bloku ołowianego. Zarówno początkowy stosunek wymiarów b/h_0 , jak i stosunek końcowej i początkowej szerokości szczeliny h/h_0 były takie same jak w rozwiązaniu teoretycznym. Schemat doświadczenia był analogiczny jak w obu poprzednich przypadkach. Rysunek 15 potwierdza zjawisko ograniczonego zasięgu obszaru odkształcenia plastycznego. Jednakże i teraz nie ma ostrych załamań linii, jakie cechują rozwiązanie teoretyczne. Zwraca uwagę dobra zgodność przebiegu linii siatki w sąsiedztwie przekrojów wyjściowych.

5. Ściskanie plastycznego klina płaskim stemplem

Rozwiązanie zagadnienia ściskania klina płaskim stemplem zostało podane przez R. HILLA [8], przy czym zbadał on dwa możliwe warianty tego rozwiązania przedstawione schematycznie na rys. 16. Rozwiązanie *A* o mniejszym zasięgu obszaru plastycznego uważane jest za bardziej prawidłowe od rozwiązania *B*, jeżeli na linii styku stempla i ściskanego

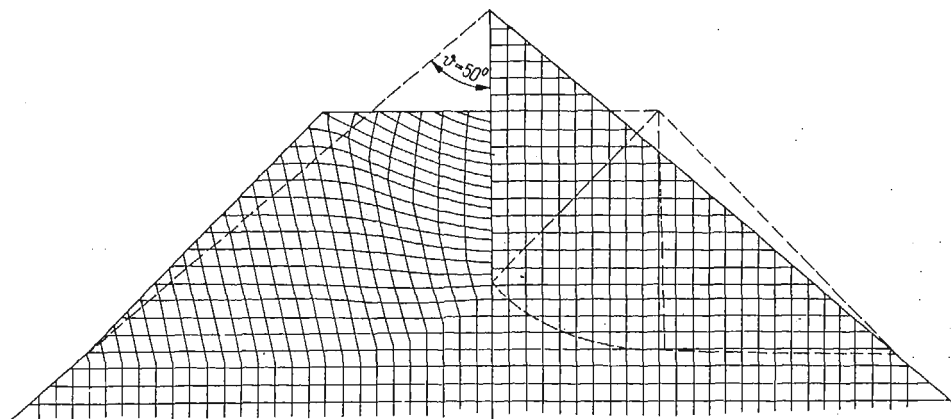


Rys. 16

materiału nie ma tarcia. Rozwiązanie *B* obowiązuje zarówno dla stempla idealnie gładkiego, jak również dla stempla chropowatego. Jednak, jak łatwo się przekonać, niezbędna wielkość siły naciskającej na stempel, odpowiadająca określonej drodze stempla h , jest dla mających praktyczne znaczenie wielkości kąta wierzchołkowego klina ϑ mniejsza w roz-

wiązaniu B niż w rozwiązaniu A . A zatem nawet przy idealnie gładkim stemple dla większych wartości ϑ poprawniejsze jest rozwiązanie B .

Hill [8] zaproponował sposób wyznaczania drogi poszczególnych cząstek odkształcanej części materiału klina za pomocą odwzorowania ich trajektorii na tak zwanej płaszczyźnie jednostkowej. Stosując tę metodę wyznaczono teoretyczne odkształcenie kwadratowej siatki dla klina o kącie wierzchołkowym $\vartheta = 50^\circ$ (rys. 17).



Rys. 17



Rys. 18

Na rysunku 18 pokazano fotografię rzeczywistego odkształcenia siatki w klinie wykonanym z aluminium i ściszanym stalowym stemplem. Powierzchnia styku nie była smarowana. Widać dobrą zgodność rozwiązania teoretycznego z wynikami doświadczenia, chociaż zasięg obszaru plastycznego jest w rzeczywistym metalu większy, niż to przewiduje teoria.

6. Wnioski

Przedstawione porównanie teoretycznych obrazów deformacji, wynikających z rozwiązań płaskiego stanu odkształcenia ośrodka sztywno-plastycznego bez wzmocnienia z wynikami doświadczenia wskazuje, że rozwiązania teoretyczne mogą mieć praktyczne znaczenie przy analizie rzeczywistych procesów odkształcania. Jeżeli występujące w roz-

wiązaniu teoretycznym skoki prędkości na liniach nieciągłości nie są zbyt duże, to otrzymuje się bardzo dobrą zgodność rzeczywistego i teoretycznego obrazu deformacji, jak to było w przypadku przecinania bloku dwoma stemplami oraz ściskania klina. Jeżeli jednak skoki te są duże, to zgodność jest tylko jakościowa. Jednakże nawet i w takim przypadku rozwiązanie teoretyczne może mieć duże znaczenie praktyczne przy analizie szeregu procesów.

Literatura cytowana w tekście

1. A. P. GREEN, *The use of plasticine models to simulate the plastic flow of metals*, Phil. Mag., Ser. 7, 42 (1951), 365–373.
2. N. W. PURCHASE and S. J. TUPPER, *Experiments with a laboratory extrusion apparatus under conditions of plane strain*, J. Mech. Phys. Solids, 1 (1953), 277–283.
3. B. B. HUNDY, *Plane plasticity*, Metallurgia, March 1954, 109–118.
4. J. F. NYE, *Experiments on the plastic compression of a block between rough plates*, J. Appl. Mech., 19 (1952), 337–346.
5. L. PRANDTL, *Anwendungsbeispiele zu einem Henckyschen Satz über das plastische Gleichgewicht*, Zeitsch. Ang. Math. Mech., 1923, Bd. 3, 401–406.
6. J. F. W. BISHOP, *On the complete solution to the problems of deformation of a plastic-rigid material*, J. Mech. Phys. Solids, 2 (1953), 43–53.
7. В. В. СОКОЛОВСКИЙ, *Теория пластичности*, Москва 1946.
8. R. HILL, *The mathematical theory of plasticity*, Clarendon Press, 1950.

Резюме

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ БОЛЬШИХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ МЕТАЛЛОВ

Представлены теоретические решения задач о деформировании квадратных сеток для четырех различных процессов деформирования металлов. Эти решения сравнены с действительными деформациями таких сеток, найденными в опытах со свинцом и алюминием.

В задаче о перекусывании полосы двумя плоскими узкими штампами приводятся решения содержащие также статические продолжения в жесткую область. Экспериментальные результаты хорошо совпадают с теоретической картиной деформации.

В задаче о сжатии клина опыты показали, что в действительности в металлах осуществляется так называемый большой механизм деформирования, а не малый механизм, который считается более приемлемым с точки зрения математической теории пластичности. Решающую роль играет здесь упрочнение, которым пренебрегают в теоретическом решении.

В случае сжатия блока плоскими штампами упрочнение весьма сильно исказит действительную картину деформации по сравнению с теоретической. Однако в качественном отношении различие этих картин не столь велико. Экспериментально показано влияние краевого условия в виде трения.

Последним из рассмотренных процессов является выдавливание из составной матрицы. Отмечено неплохое совпадение экспериментальных и теоретических результатов.

Общим выводом является ценность жестко-пластических решений без учета упрочнения для анализа нестационарных процессов деформирования металлов. Кроме того показано, что эти решения нуждаются в экспериментальной проверке, так как в отдельных случаях упрочнение может весьма существенно влиять на способ деформирования.

S u m m a r y

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF SOME THEORETICAL SOLUTIONS
OF LARGE PLASTIC DEFORMATIONS OF METALS

Presented are the theoretical solutions of a square grid deformations for four various deformation processes of metals and their comparison with analogous grid deformations obtained experimentally on lead and aluminium specimens.

In the case of comparession of a plastic block by two opposite flat narrow punches solutions are presented with extension of the stress field into rigid region. Experimental results show good agreement with theoretical deformation pattern.

In the case of compression of a plastic wedge experiments show that the theoretical solutions with the so-called "large mechanism" is very close to the actual deformation, while the "small mechanism" solution, considered as theoretically more correct, gives unrealistic deformation pattern.

The strain-hardening effect considerably deforms the actual final shape of a square grid for a block compressed between two plates, as compared with deformation predicted by theory. However, qualitatively the coincidence of the general mode of deformation for the rigid-plastic model and real metal is satisfactory. Experiments show the influence of friction conditions along the contact surface on the deformation mode.

For a foregoing process in a closed die, the agreement between theoretical and experimental results is also qualitatively good.

The presented experimental results show that the rigid-plastic solutions can be applied to the real metal working processes. Moreover, it is evident that such solutions require experimental verification, since in some cases the influence of the strain-hardening effect on the deformation mode is very strong.

ZAKŁAD MECHANIKI OŚRODKÓW CIĄGLYCH
INSTYTUTU PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI PAN

Praca została złożona w Redakcji dnia 28 października 1966 r.