

METODA GÓRNEJ OCENY W ZASTOSOWANIU DO DWUOTWOROWEGO WYCISKANIA METALI

ROMANA ŚLIWA
JÓZEF ZASADZIŃSKI (KRAKÓW)

AGH

Wprowadzenie

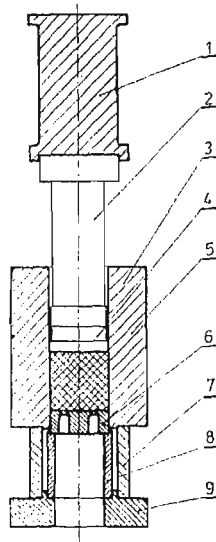
Zastosowanie w wyciskaniu matryc wielootworowych ma duże praktyczne znaczenie. Znajomość charakteru płynięcia metalu w takim procesie w powiązaniu z rozmieszczeniem otworów na powierzchni czynnej matrycy stwarza możliwość określenia właściwych parametrów wyciskania i daje podstawę do poprawnego konstruowania matryc. Zagadnienie nabiera tym większej wagi, że w dotychczasowej praktyce konstruowania matryc wielootworowych głównym kryterium decydującym o rozstawie otworów jest kryterium wytrzymałościowe projektowanej matrycy.

Tyle uwagi poświęca się poszukiwaniu optymalnego położenia otworów w matrycy, ponieważ oprócz tarcia i własności materiału oddziaływanie parametrów geometrycznych na charakter płynięcia metalu jest pierwszorzędne.

Szczególnym przypadkiem matrycy wielootworowej jest matryca dwuotworowa. Wpływ geometrii matrycy na płynięcie metalu w przedstawionej pracy jest śledzony na podstawie analizy płynięcia podczas wyciskania przy możliwych zmiennych parametrach geometrycznych takiej matrycy, tj. rozstawu otworów i ich wielkości. Próba analitycznej weryfikacji modelu płynięcia, uzyskanego na podstawie szczegółowych informacji o rozkładzie prędkości cząstek w strefie odkształcenia (metodą wizjoplastyczności), może być dokonana drogą graficznego rozwiązania bloków poślizgowych i zastosowania w oparciu o nie metody górnej oceny.

Badania modelowe płynięcia metalu podczas wyciskania przez matryce dwuotworowe

Badania przeprowadzono na specjalnie zbudowanym stanowisku badawczym (rys. 1). Współbieżnie wyciskano ołów w gat. Pb1 z zastosowaniem kompletu matryc odpowiednio zróżnicowanych pod względem wielkości otworów i ich rozstawu (rys. 2). Dla uzyskania dokładnych informacji o charakterze płynięcia metalu badano płynięcie w trzech płasz-



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 — głowica do pomiaru siły całkowitej wyciskania, 2 — stempel, 3 — pojemnik, 4 — przetłocznka, 5 — matryca, 6 — wlewk, 7 — głowica pierścieniowa do pomiaru siły pochodzącej od tarcia wlewka o pojemnik, 8 — podkładka I pod matrycę, 9 — podkładka II

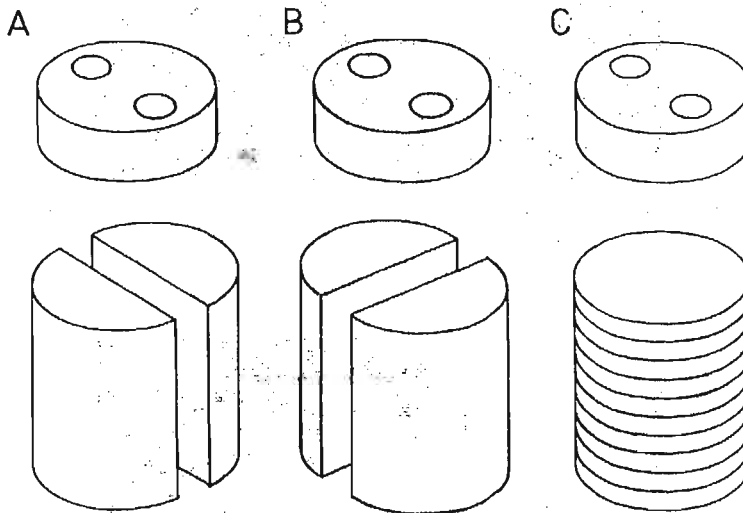
		Średnica otworów w matrycy (mm)			
		d=2 ($\lambda=450$)	d=5,45 ($\lambda=60,5$)	d=12 ($\lambda=12,5$)	d=23 ($\lambda=3,75$)
Rozmiar otworów w matrycy	najmniejszy możliwy	M3 L=8 	M6 L=11,5 	M8 L=18 	
	pośredni	M2 L=30 	M5 L=30 		M9 L=28
	największy możliwy	M1 L=50 	M4 L=46,5 	M7 L=40 	

Rys. 2. Komplet matryc dwuotworowych wykorzystanych w badaniach modelowych

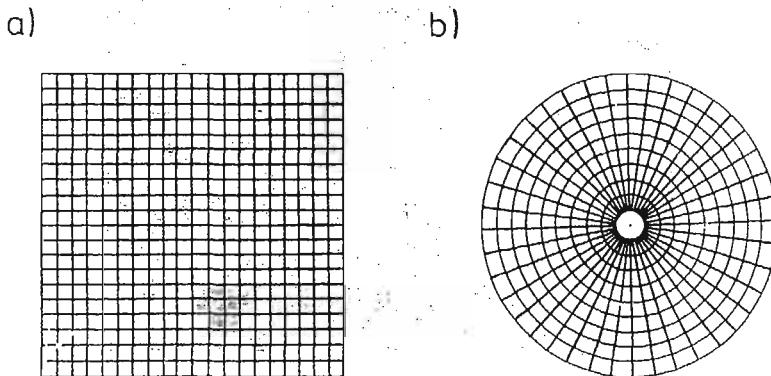
czynach podziału wlewka (rys. 3) — schemat pokazuje sposób usytuowania płaszczyzny podziału wlewka względem otworów w matrycy. Na płaszczyznę podziału naniesiono siatki: prostokątne dla płaszczyzn *A* i *B* i promieniowo-kołowe dla typu *C* (rys. 4). Skokowo wyciskano wlewek z rejestrowaniem kolejno odkształconej siatki i wytrawionej makrostruktury na płaszczyźnie podziału wlewka. Przykładowe obrazy odkształconej siatki w płaszczyźnie *A*, *B* oraz *C* pokazują rys. 5, 6, 7 ($\lambda = 12,5$ — maksymalny rozstaw otworów).

Zastosowana metoda wizjoplastyczności umożliwiła wyznaczenie względnych prędkości cząstek drogą pomiaru ich przemieszczeń i uzyskanie rozkładów prędkości cząstek w płaszczyznach podziału wlewka. Wyniki przedstawiono w postaci wykresów zależności

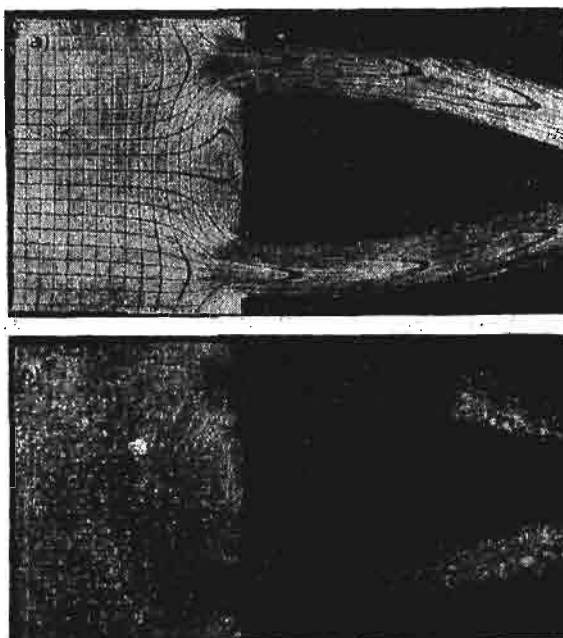
$$\frac{\text{prędkość cząstki}}{\text{prędkość stempla}} = \frac{V}{V_0} = f(z, r_n)$$



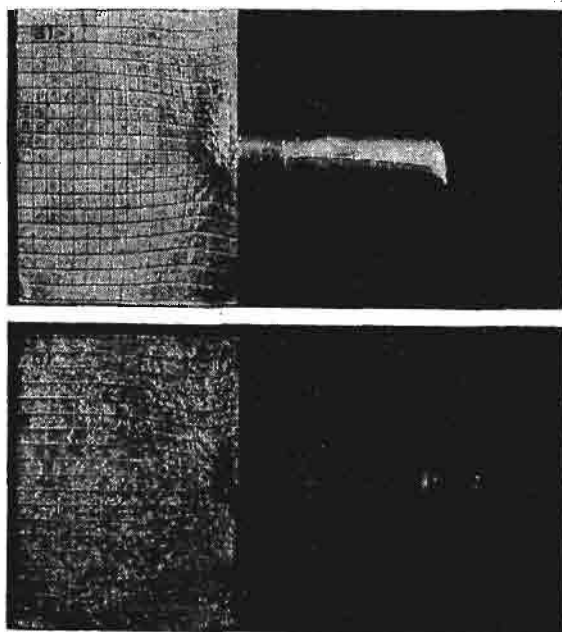
Rys. 3. Schemat usytuowania płaszczyzn *A*, *B*, *C* podziału wlewka



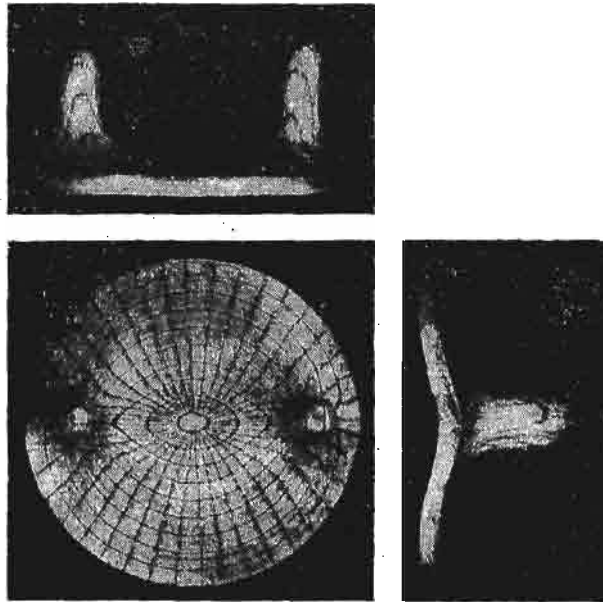
Rys. 4. Siatki nanoszone na powierzchnię podziału wlewka; a) dla płaszczyzn *A*, *B*, b) dla płaszczyzny *C*



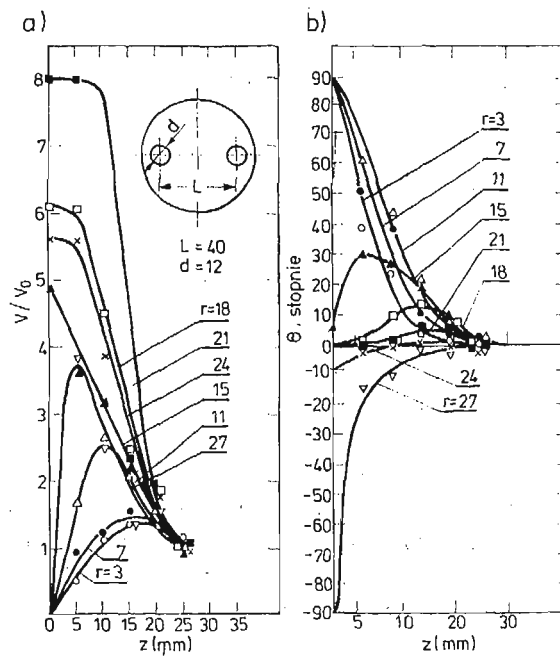
Rys. 5. Obraz odkształconej siatki i makrostruktury w płaszczyźnie A ($\lambda = 12,5$; rozstaw otworów maksymalny); a) siatka, b) makrostruktura



Rys. 6. Obraz odkształconej siatki i makrostruktura w płaszczyźnie B ($\lambda = 12,5$; rozstaw otworów maksymalny); a) siatka, b) makrostruktura



Rys. 7. Obraz odkształconej siatki w płaszczyźnie C (jeden z krążków składowych wlewka w 3 widokach; $\lambda = 12,5$; rozstaw maksymalny)



Rys. 8. Zależność: a) $\frac{v}{v_0} = f(z, r)$; dla $\lambda = 12,5$; rozstaw otworów maksymalny, b) $\theta = f(z, r_n)$

i kąta nachylenia kierunku prędkości V do osi z (osi wyciskania)

$$\theta = f(z, r_n).$$

Przykładowo zależności te pokazano dla jednego przypadku (rys. 8). W analizie i ocenie płynięcia podczas wyciskania przez matryce dwuotworowe o różnych rozstawach otworów i różnych współczynnikach wydłużenia λ wzięto pod uwagę: stopień jednorodności pola prędkości, maksymalne prędkości wypływu prasówki oraz strefę martwą.

Górna ocena

Rozwiązanie graficzne bloków poślizgowych może posłużyć do oceny kierunku i wartości prędkości względnych. Górna ocena wynika z tego rozwiązania i służy do oszacowania parametrów siłowych. W metodzie górnej oceny przyjmuje się, że

$$\dot{E} < k \left[\int_V \dot{\gamma} dv + \int_S \dot{s} ds \right], \quad (1)$$

gdzie k — naprężenie uplastyczniające na ścinanie, $\dot{\gamma}$ — maksymalna prędkość odkształcenia plastycznego w elementarnej objętości dv , \dot{s} — prędkość poślizgu na powierzchni nieciągłości prędkości, \dot{E} — średnia wielkość mocy.

Dla bloków poślizgowych sztywno-plastycznego materiału przyjmuje się, że $\dot{\gamma} = 0$. Stąd na powierzchni o długości H z jednostkową szerokością i przy jednostkowej prędkości stempla, przy założeniu procesu beztarcowego, energia według górnej oceny może być wyrażona przez:

$$pH = k \left[\sum_1^n s\dot{s} \right], \quad (2)$$

gdzie p — średni nacisk stempla, n — liczba powierzchni nieciągłości prędkości (krawędzi bloków poślizgowych), s — długość powierzchni nieciągłości prędkości (z jednostkową szerokością).

Jeżeli uwzględni się współczynnik tarcia f na powierzchniach bloków, to równanie jest postaci (wg Kudo [2]):

$$pH = k \left[\sum_1^n fs\dot{s} \right]. \quad (3)$$

Górna ocena w rozwiązaniach teoretycznych stosowana jest do zagadnień płaskiego odkształcenia przy założeniu, że:

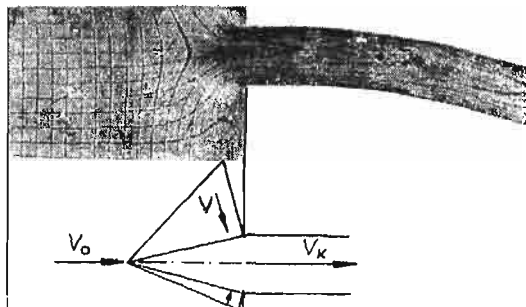
- 1) materiał jest idealnie sztywno-plastyczny, nie ma więc odkształceniowego umocnienia,
- 2) nie uwzględnia się wpływu prędkości odkształcenia.

Teorię górnej oceny można zastosować wg Yanga [3] do trójwymiarowych zagadnień przy tych samych założeniach. Równania (1) i (2) mogą być zastosowane do cylindrycznego problemu, jeśli wielkość H zastąpi się średnicą stempla D , naprężenie uplastyczniające na ścianie k przez naprężenie uplastyczniające $2k$, wyznaczone przy rozciąganiu bądź ściskaniu. Stąd

$$pD = 2k \left[\sum_1^n s\dot{s} \right]. \quad (4)$$

Na bazie rozwiązania graficznego Johnsona [1] oprócz znalezienia wartości stosunku $\frac{P}{2k}$ można wyznaczyć przybliżone kierunki wypływu prasówki z matrycy i oszacować wartość prędkości względnej $\frac{v}{v_0}$.

Przyjmowanie bloków poślizgowych może odbywać się na podstawie obrazu odkształconej siatki [4]. Dla matrycy dwuotworowej sposób przyjmowania bloków poślizgowych



Rys. 9. Model płynięcia podczas wyciskania współbieżnego z użyciem matrycy dwuotworowej; $\lambda = 12,5$

przedstawiono na rys. 9. Przyjęcie mechanizmu płynięcia w postaci sztywnych bloków poślizgowych jest w przedstawianym przypadku oczywiście dużym uproszczeniem (zwłaszcza wobec braku osiowej symetrii). Jednakże wyniki tej metody służą właściwie do szacunkowej oceny (tu: kierunku i wartości prędkości względnych), mają dobrą zgodność z rzeczywistością, wobec czego metoda ze swą prostotą i małą pracochłonnością może być bardzo przydatna przy wstępnych opracowaniach procesu technologicznego.

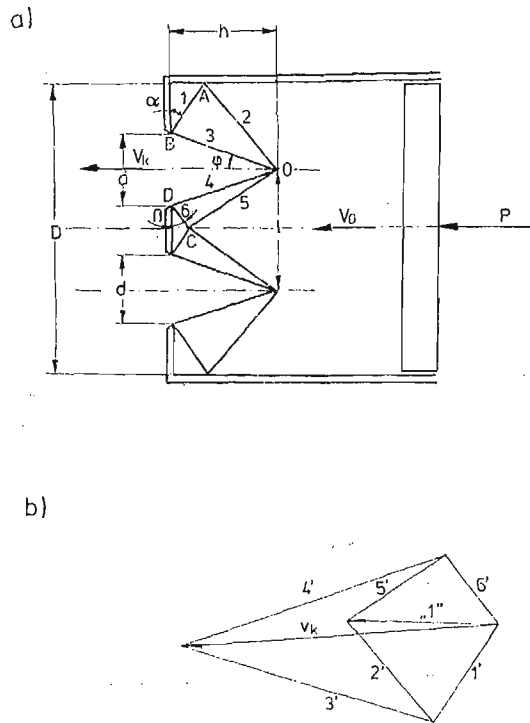
Rozwiązanie graficzne bloków poślizgowych dla matrycy dwuotworowej

Dane: kąty strefy martwej α i β ; rozstaw otworów l , średnica otworów d , średnica pojemnika D , przyjęta prędkość stempla „1” (rys. 10).

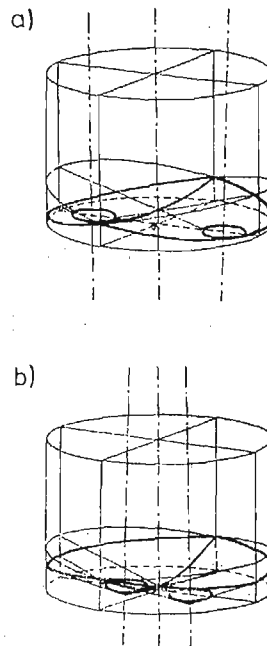
Wielkość kątów α i β zależnych od rozstawu otworów l i ich średnic d oraz wielkości strefy odkształcenia głównego h wpływa na kształt bloków poślizgowych. Wynikający z tych danych kąt φ charakteryzuje płynięcie materiału. Im większy jest ten kąt, tym kierunek prędkości końcowej (prędkości wychodzącej prasówki z matrycy) bardziej odstaje od kierunku stempla v_0 .

Oczywiście z punktu widzenia dobrej jakości wyrobu rzeczą korzystną jest, by w miarę możliwości kierunki v_0 i v_k pokrywały się. Związane to jest z problemem pęknięcia wychodzącej prasówki w wyniku różnic prędkości cząstek na przekroju poprzecznym wyrobu, a szczególnie na obwodzie. Różnice prędkości powodują pojawienie się naprężeń rozciągających, a w konsekwencji pęknięć.

Wynika to również z różnej konfiguracji powierzchni strefy martwej, zależnie od rozstawu otworów i współczynnika wydłużenia λ (rys. 11). Obszar, wielkość i rodzaj pęknięć powierzchniowych zależne są od rozstawu otworów, co stwierdzono doświadczalnie [6]



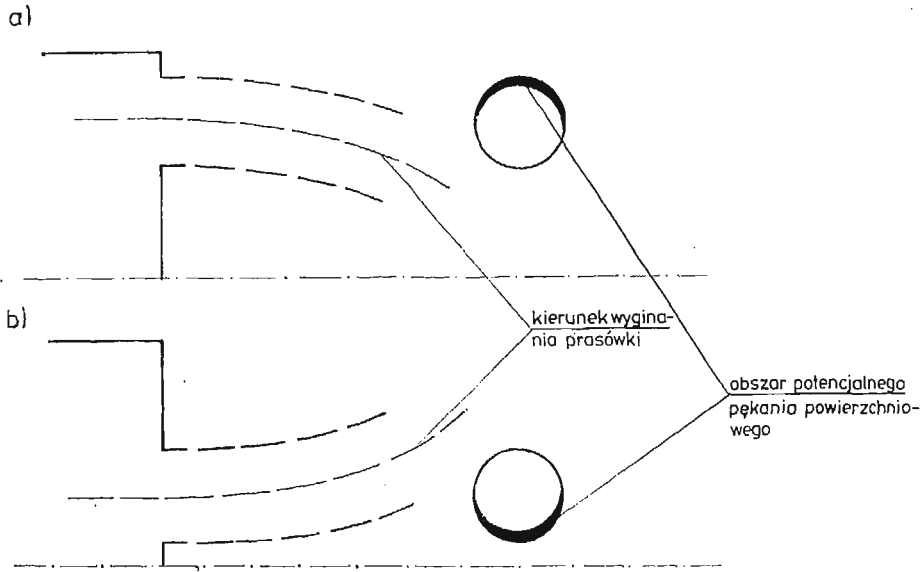
Rys. 10. Schemat wyciskania dwóch prętów z liniami nieciągłości prędkości; a) bloki poślizgowe, b) odpowiadający założonym blokom poślizgowym hodograf prędkości



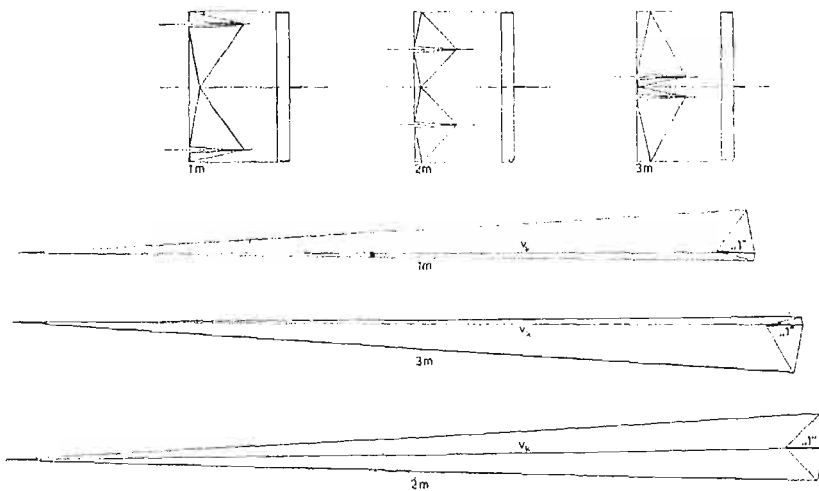
Rys. 11. Konfiguracja powierzchni strefy martwej podczas wyciskania dwuotworowego $\lambda = 12,5$; a) rozstaw maksymalny [6], b) rozstaw minimalny

(rys. 12). Pozwala to przewidzieć rozstaw otworów, przy którym można uzyskać maksymalną prędkość wypływu prasówki bez pęknięć powierzchniowych.

Metoda górnej oceny dla problemu trójwymiarowego oparta na przedstawionym graficznie rozwiązaniu prowadzi do oceny wpływu wielkości otworów i ich położenia na powierzchni matrycy na wielkość stosunku $\frac{P}{2k}$. Minimalne wartości $\frac{P}{2k} = f(l)$ dla danego λ określi najkorzystniejszy rozstaw otworów. Zależność ta dla różnych λ pozwoli na oszacowanie wpływu λ na parametry siłowe procesu.



Rys. 12. Obszar potencjalnego pęknięcia prasówki przy różnych rozstawach otworów: a) rozstaw duży [7]
b) rozstaw mały

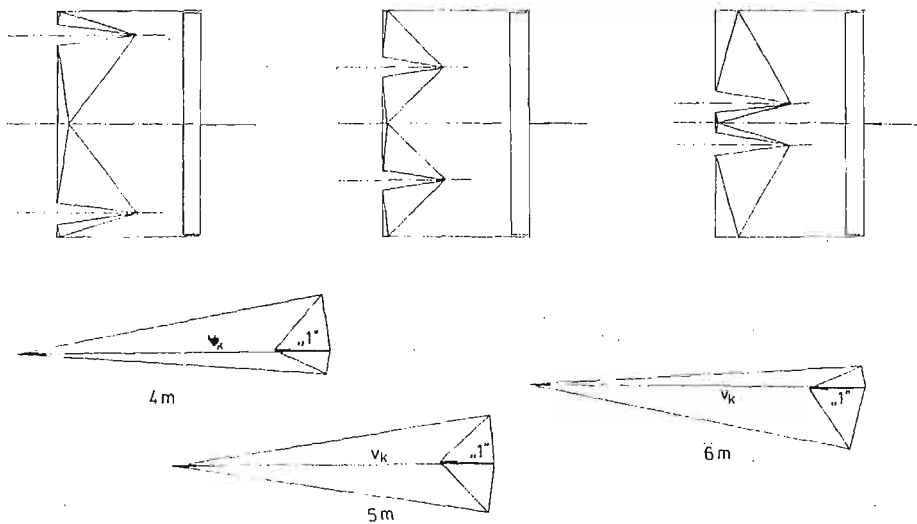


Rys. 13. Bloki poślizgowe i odpowiadające im hodografy prędkości dla matryc M1, M2, M3

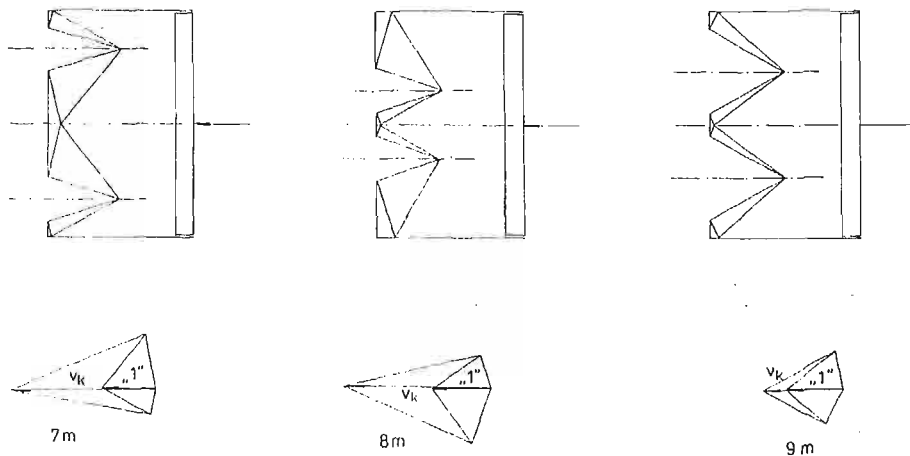
Dla przedstawionych przypadków wyciskania dwuotworowego zastosowano tę metodę rozwiązania. Graficzne rozwiązanie bloków poślizgowych przedstawiają hodografy prędkości dla wszystkich przypadków (rys. 13, 14, 15). Wyznaczony kierunek prędkości końcowej v_k ma odpowiednik w wynikach eksperymentu (rys. 16).

Wykorzystując pomiary bloków poślizgowych zastosowano metodę górnej oceny. Wyniki przedstawia wykres zależności $\frac{P}{2k} = f(l)$ dla różnych λ (rys. 17). Wyznaczona stąd wielkość siły wyciskania dla poszczególnych przypadków ujęta jest w wykresie $P_c = f(l)$ z rys. 18. Minimum siły wyciskania wyznacza optymalny rozstaw otworów.

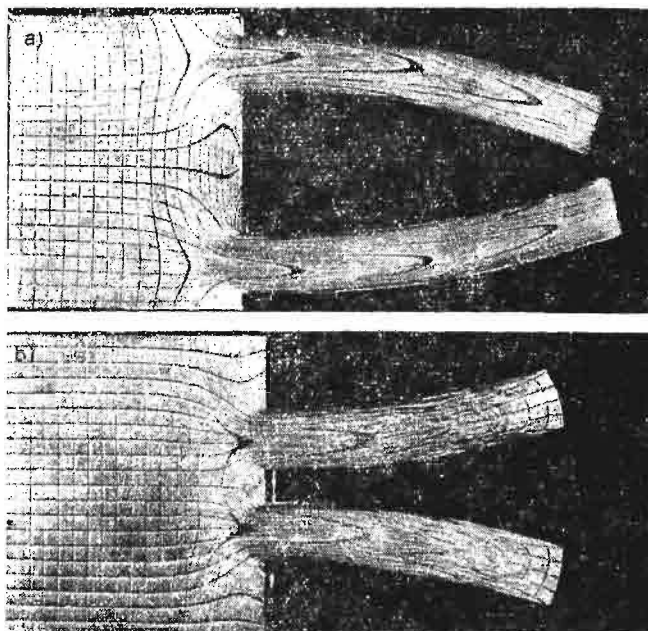
Dokonany w doświadczeniu pomiar wielkości siły wyciskania podczas serii odpowiednich badań przedstawiono graficznie na rys. 19a, b, c.



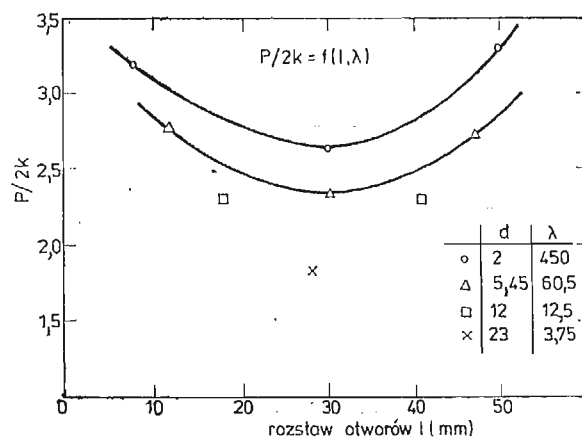
Rys. 14. Bloki poślizgowe i odpowiadające im hodografy prędkości dla matryc M4, M5, M6



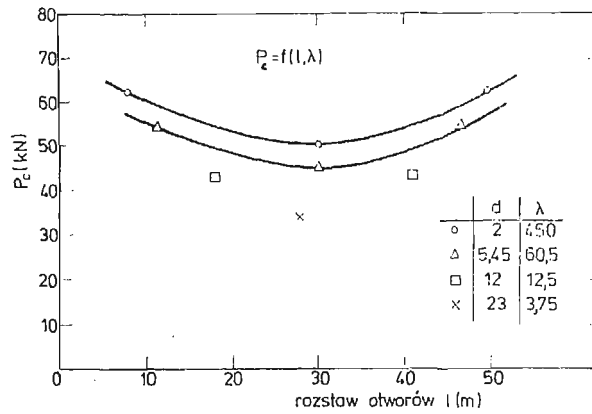
Rys. 15. Bloki poślizgowe i odpowiadające im hodografy prędkości dla matryc M7, M8, M9



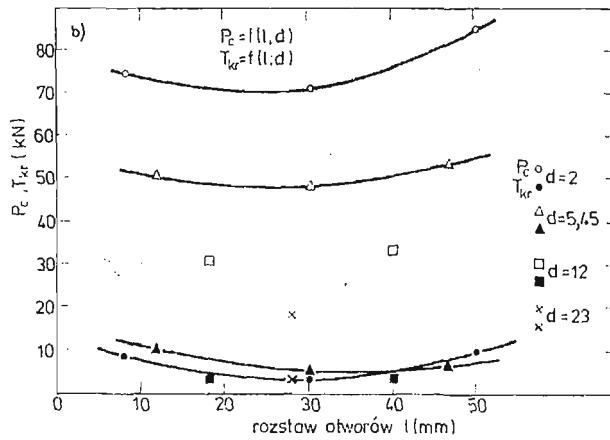
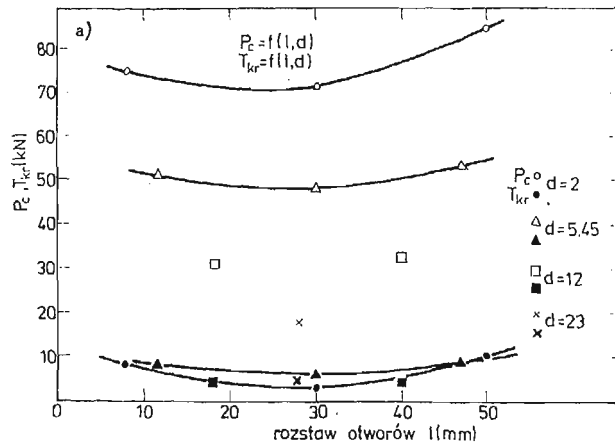
Rys. 16. Zakrzywienie prasówki w zależności od rozstawu otworów $\lambda = 12,5$; a) rozstaw duży, b) rozstaw mały



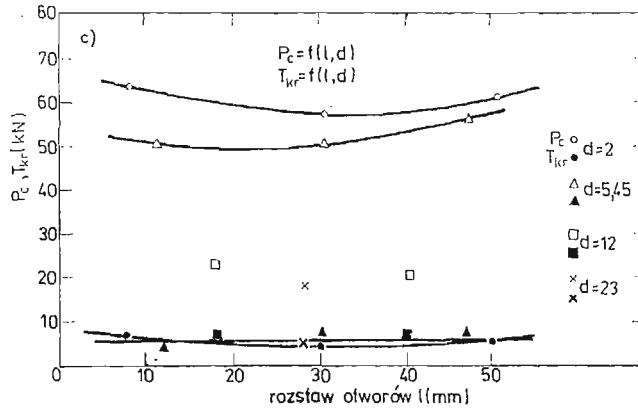
Rys. 17. Zależność $\frac{P}{2k} = f(l)$



Rys. 18. Zależność $P_c = f(l)$



Rys. 19. a, b



Rys. 19. Zależność sił P_c i T_{kr} od rozstawu otworów i współczynnika wydłużenia λ ; a) wleki dzielone w płaszczyźnie A, b) wleki dzielone w płaszczyźnie B, c) wleki dzielone w płaszczyźnie C

Analiza i wnioski

Dążenie do jednorodności własności na przekroju prasówki poprzez ujednorodnianie pola prędkości, to między innymi dążenie do prostoliniowości wyrobu, czyli pokrycia kierunku prędkości końcowej v_k (prędkości wypływu prasówki) z kierunkiem prędkości stempla w rozstawie optymalnym.

Wyznaczone z hodografów prędkości, kierunki prędkości wychodzącej prasówki wykazują dobrą zgodność z wynikami doświadczenia. (v_k na rys. 13, 14, 15 i kierunek zakrzywienia na zdjęciach z rys. 16. Kierunek odchylenia v_k na hodografie prędkości odpowiada kierunkowi zakrzywienia prasówki w eksperymencie).

Otrzymane na bazie tego rozwiązania warunki siłowe procesu metodą górnej oceny są stosunkowo dobre, zgodne z rezultatami eksperymentu. Charakter zmienności tych parametrów odpowiada stanowi rzeczywistości. Mimo bardzo uproszczonych przyjętych bloków poślizgowych i przy założeniu procesu beztarcowego, metoda daje dobre wyniki.

W podsumowaniu należy podkreślić, że wobec zasadniczego oddziaływania parametrów geometrycznych na charakter płynięcia metalu (oprócz tarcia i własności) celową rzeczą jest poszukiwanie optymalnego położenia otworu na powierzchni matrycy.

Przedstawiona metoda graficznego rozwiązania bloków poślizgowych koresponduje z wynikami eksperymentu, co pozwala wpłynąć na uzyskanie najkorzystniejszego płynięcia metalu (z punktu widzenia dobrej jakości wyrobu i maksymalnej wydajności procesu). Oparta na niej metoda górnej oceny parametrów siłowych dobrze oddaje charakter ich zmienności w zależności od rozstawu otworów i współczynnika wydłużenia.

Fakty te mogą stanowić podstawę do racjonalnego projektowania rozstawu otworów na powierzchni matrycy.

Literatura

1. W. JOHNSON, P. B. MELLOR, *Plasticity for Mechanical Engineers*, D. Van Nostrand Company Ltd, 1962.
2. H. KUDO, *Int. J. Mech. Sci.*, vol. I, s. 57, 1960.

3. C. T. YANG, J. Eng. Ind. Trans. ASME, Nov, s. 397, 1962.
4. H. KUDO, Int. J. Mech. Sci., vol. I, s. 366, 1960.
5. R. ŚLIWA, Praca doktorska, AGH Kraków 1981.
6. R. ŚLIWA, J. ZASADZIŃSKI, Arch. Hutn., Tom 28, z. 2, s. 231, 1983.
7. R. ŚLIWA, J. ZASADZIŃSKI, (w przygotowaniu do druku).

Резюме

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЕРХНЕЙ ОЦЕНКИ ДЛЯ ДВУХОТВЕРСТВЕННОГО ПРЕССОВАНИЯ

Решение методом верхней оценки для условий плоской деформации можно модифицировать и применять к „трёх-мерному” прессованию. На основе графического решения Джонсона представлено решение двухотверственного прессования металлов.

В результате выполненных расчётов определено величину необходимой силы во время прессования через двухотверственные матрицы. Определены теоретические силовые параметры прессования и сравнено с результатами эксперимента прессования свинца через соответствующие матрицы с разной расстановкой и величиной отверстия. Сравнение теоретических расчётов с результатами экспериментов указывает их хорошее согласие.

Анализируемый метод верхней оценки даёт возможность определить оптимальное положение отверстия на поверхности матрицы.

Предположена концепция может быть использована для проектирования многоотверственных матриц для прессования.

Summary

AN UPPER — BOUND APPROACH TO THE EXTRUSION OF METALS THROUGH TWO-HOLE-DIE

The upper — bound solution for plane-strain conditions can be modified and used in the „three-dimension” extrusion. Basing on Johnson's graphical solution, problem of the extrusion through two-hole-die was solved in this work.

The value of the necessary force for extrusion through two-hole-die was defined on the basis of calculation. Theoretical force parameters were compared with results obtained during extrusion of lead through two-hole-dies with various holes' distance.

A good convergence was found between calculated and measured parameters. Proposed methods of solution give possibilities to define optimum holes' distance in the die.

Concept mentioned above can be used for design multi-hole-dies for extrusion of metals.

Praca została złożona w Redakcji dnia 2 maja 1984 roku