

K O M U N I K A T Y

GEOMETRIA OBSZARU UPLASTYCZNIENIA W PROCESIE WYCISKANIA

JAN PIWNIK (BIAŁYSTOK)

Praca zawiera doświadczalną weryfikację uproszczeń geometrii strefy deformacyjnej, wprowadzanych w metodach obliczeniowych procesu wyciskania pręta cylindrycznego przez matryce stożkowe. Granice obszaru uplastycznienia wyznaczono na podstawie obrazów zdeformowanej uprzednio kwadratowej siatki nanoszonej w przekrojach wzdłużnych podziału próbek. Dodatkowo do tego celu wykorzystano pola twardości. Stwierdzono znaczne różnice pomiędzy doświadczalnym i teoretycznym kształtem i zasięgiem strefy deformacji plastycznej. Lepszą jakościowo zgodność rozwiązań teoretycznych z doświadczeniem uzyskano dla dużych stopni redukcji. Zwrócono szczególną uwagę na konfrontację z eksperymentem założeń geometrii strefy deformacyjnej przyjmowanych w energetycznych metodach obliczeń obróbki plastycznej.

1. WPROWADZENIE

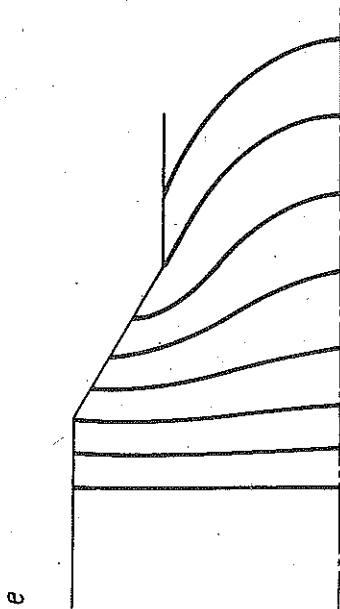
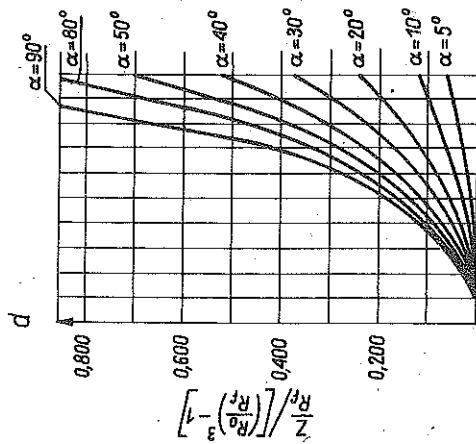
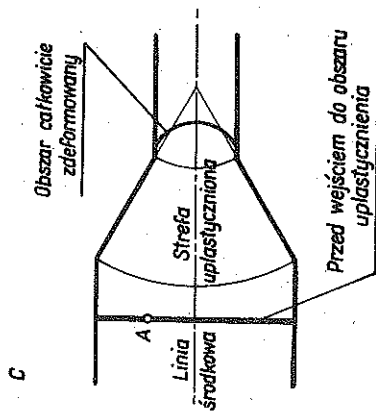
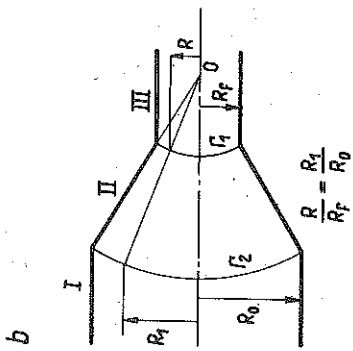
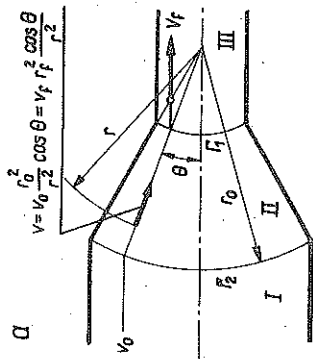
Strefa deformacji plastycznej w materiale poddanym procesowi obróbki plastycznej ma związek z siłami i geometrią deformacji. Badania geometrii strefy deformacyjnej przyspieszają rozwój metod obliczeniowych procesów obróbki plastycznej. Matematyczna teoria plastycznego płynięcia, stanowiąca podstawę racjonalnej analizy procesów obróbki plastycznej, ma dość ograniczony zakres zastosowań. Wynika to z trudności otrzymania rozwiązań zagadnień dotyczących wartości brzegowych dla podstawowego układu równań plastyczności [1 i 2]. Z tego powodu powszechne zastosowanie znajdują różne przybliżone metody obliczeniowe, w których wprowadza się silne założenia upraszczające geometrię odkształcenia.

W rozpatrywanym dalej procesie wyciskania pręta cylindrycznego przez matryce stożkowe zakłada się na przykład prostoliniowe trajektorie cząstek, a obszar uplastycznienia jest ograniczony dwoma powierzchniami kulistymi. Założenia takie oparto na podstawie intuicji i wyrzykowych obserwacji doświadczalnych. Odczuwa się jednak brak ogólniejszej oceny zasadności wprowadzania tego rodzaju uproszczeń.

Celem pracy jest doświadczalna weryfikacja uproszczeń geometrii strefy deformacyjnej przyjmowanych w przybliżonych metodach obliczeniowych procesu wyciskania.

2. ZAŁOŻENIA UPRASZCZAJĄCE GEOMETRIĘ STREFY DEFORMACJI

Otrzymanie rozwiązań zagadnień brzegowych w przypadkach osiowej symetrii z kinematycznymi warunkami brzegowymi metodą charakterystyk



Rys. 1

lub elementów skończonych jest trudne [2 i 3]. Można jednak otrzymać górne i dolne oszacowania sił, posługując się ekstremalnymi zasadami teorii plastyczności [1]. Górną ocenę rzeczywistych sił powierzchniowych wywołujących plastyczne płynięcie otrzymamy, przyjmując dowolny kinematycznie dopuszczalny schemat odkształcenia ciała [1]. Kinematycznie dopuszczalne pole płynięcia plastycznego w ustalonej fazie wyciskania osiowo-symetrycznego przedstawia rys. 1a [4 i 5]. Obszar uplastycznienia ograniczony jest powierzchniami kulistymi Γ_1 i Γ_2 o wspólnym środku w punkcie 0. Płynięcie plastyczne cząstek odbywa się po prostoliniowej trajektorii w kierunku promieniowym od Γ_2 do Γ_1 . Stożkową powierzchnię styku materiału z matrycą rozpatruje się jako powierzchnię nieciągłości prędkości. Deformowany obszar jest podzielony na trzy strefy, w których pole prędkości jest ciągłe. W obszarze I i III rozkład prędkości jest jednorodny i ma tylko jedną niezerową składową w kierunku osiowym, tj. V_0 i V_f . W strefie II prędkość jest skierowana w kierunku wierzchołka 0. Składowe prędkości w kulistym układzie współrzędnych γ , θ , φ mają postać

$$V_\gamma = V_f \frac{\gamma_f^2}{\gamma^2} \cos \theta = V_0 \frac{\gamma_0^2}{\gamma^2} \cos \theta, \quad V_\theta = V_\varphi = 0.$$

Na granicach obszaru plastycznego Γ_1 i Γ_2 składowe normalne do powierzchni kulistych są ciągłe, składowe styczne zmieniają się skokowo odpowiednio o $V_0 \sin \theta$ i $V_f \sin \theta$. Schemat biegunowego płynięcia plastycznego umożliwił zbudowanie przybliżonego obrazu zdeformowanej siatki [5]. Położenie linii poprzecznych ustala się na drodze całkowania znanych z założenia prędkości odkształceń wzdłuż również założonych linii prądu. Zależności geometryczne pokazano na rys. 1b. Rysunek 1c obrazuje nam położenie linii poprzecznej przed i po wyjściu z obszaru uplastycznienia. W pracy B. AVITZURA [5] wykonano obliczenia współrzędnych linii poprzecznych siarki dla różnych parametrów geometrii linii prądu. Wyniki obliczeń naniesiono na wykresach bezwymiarowych (rys. 1d) dla różnych półkąątów rozwarcia stożka matrycy α . Na podstawie tych wykresów uplastycznienia próbki wyciskanej przez matrycę o nachyleniu tworzącej stożka $\alpha = 30^\circ$ i redukcji $R = 1 - [d/D^2] = 0,35$.

3. BADANIA DOŚWIADCZALNE

Proces wyciskania zrealizowano na przyrządzie konstrukcji autora [2] z dwuczęściową składaną komorą, w której umieszczono próbki złożone z dwóch połówek. Osiowo-symetryczne próbki walcowe o średnicy wyjściowej $D = 50$ mm i 70 mm wykonano ze stopu PA2. Na płaszczyznę podziału, którą stanowiła płaszczyzna południkowa jednej z połówek, naniesiono siatkę kwadratową złożoną z linii oddalonych o $2 \pm 0,1$ mm. Wyciskanie prowadzono bez smarowania, ale z wysoką gładkością powierzchni próbek i matryc. Przed wyciskaniem próbki poddano wyżarzaniu ujednorodniającemu.

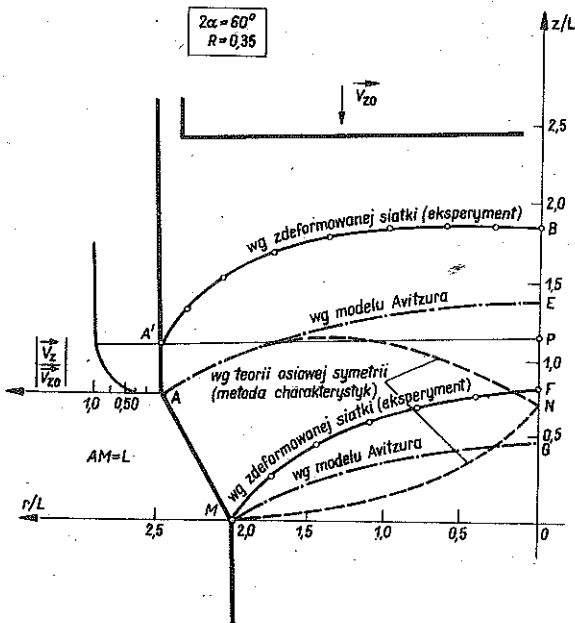
Po wyciśnięciu na płaszczyźnie podziału próbek wykonano pomiary twardości [2]. Wyznaczenie brzegów obszaru plastycznego wykonano na pięciu próbkach.

Parametry próbek były następujące:

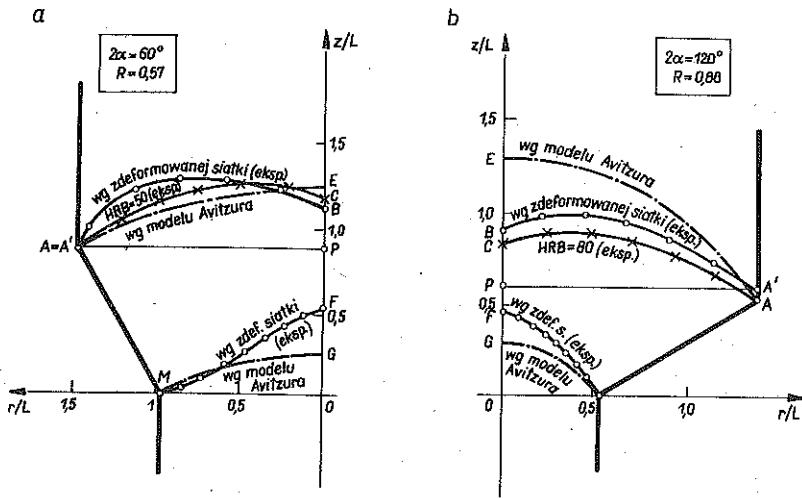
- a) $R = 0,35$, $2\alpha = 60^\circ$, $D = 70$ mm,
- b) $R = 0,57$, $2\alpha = 60^\circ$, $D = 50$ mm,
- c) $R = 0,88$, $2\alpha = 90^\circ$, $D = 50$ mm,
- d) $R = 0,88$, $2\alpha = 120^\circ$, $D = 50$ mm,

przy czym R oznacza stopień redukcji, α kąt nachylenia tworzącej otworu matrycy oraz D średnicę wyjściową.

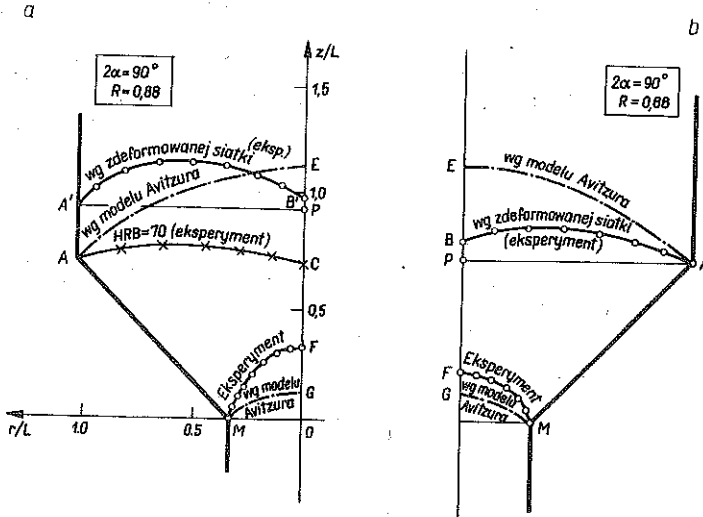
Za punkty leżące na granicy obszaru płynięcia plastycznego przyjęto miejsca zakrzywienia linii prądu na wejściu do pola niejednorodnych odkształceń plastycznych i wyjściu z niego. Wyniki zestawiono na rys. 2, 3 i 4. Niezależnie w trzech próbkach (rys. 3a, 3b i 4a) obszar uplastycznienia wyznaczono na podstawie zmian twardości [2]. Granice strefy plastycznej na wejściu do matrycy utożsamiono z liniami równych twardości (izoskalary). Wartości twardości na izoskalarach były w przybliżeniu równe twardościom niezdeformowanych próbek. Podstawą do wyznaczenia granic uplastycznienia były obrazy zdeformowanych, uprzednio kwadratowych siatek naniesionych na przekroju wzdłużnym podziału próbki [2]. Jeden z takich obrazów wykorzystano do weryfikacji doświadczalnej rozwiązania przybliżonego z rys. 1c. Obrazuje to rys. 5.



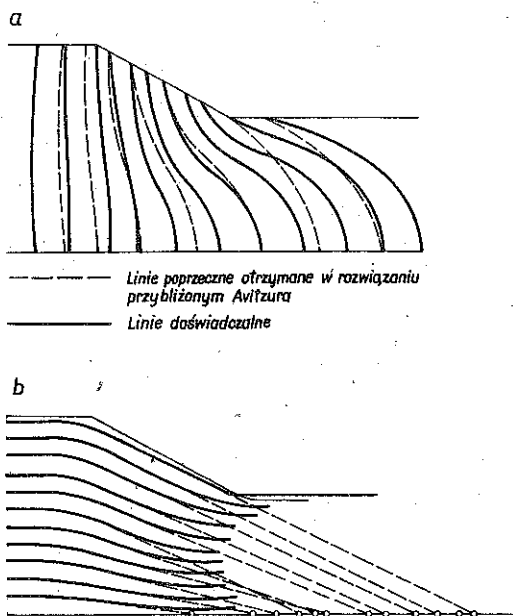
Rys. 2



Rys. 3



Rys. 4



Rys. 5

4. PORÓWNANIE WYNIKÓW DOŚWIADCZEŃ I TEORII

Na rysunkach 2, 3 i 4 pokazano liniami ciągłymi położenie górnych i dolnych granic obszaru płynięcia plastycznego w przekrojach wyciskanych dwuczęściowych modeli. Położenie linii doświadczalnych skonfrontowano z obliczeniowymi na gruncie teorii plastycznego płynięcia dla osiowej symetrii reprezentowanej metodą charakterystyk [3]. Główną uwagę zwrócono na różnice w położeniu doświadczalnych i założonych linii ograniczających obszar uplastycznienia, które wprowadzono w biegunowym modelu płynięcia AVITZURA [4 i 5].

Zestawienie porównawcze dla próbki o kącie rozwarcia stożka $2\alpha = 60^\circ$ i średnicy wyjściowej 70 mm przy stopniu redukcji $R = 0,35$ pokazano na rys. 2.

Wpływ tarcia uwidacznia się przesunięciem początku obszaru uplastycznionego na powierzchni bocznej od naroża A w kierunku A' . W punkcie A' zapoczątkował się na powierzchni bocznej proces niejednorodności prędkości. Stosunek prędkości na powierzchni bocznej w kierunku równoległym od osi do prędkości na tłoku (V_z/V_0) zmieniał się od 1 do 0,4. Najwyżej położony punkt B górnej granicy znajduje się w odległości PB nad płaszczyzną $A'P$, która przechodzi przez początek obszaru uplastycznionego. Linie doświadczalne AB i MF są skierowane wypukłością w kierunku

przeciwnym do kierunku wyciskania metalu. Obszar odkształceń plastycznych jest lokalizowany w otoczeniu stożka matrycy.

Doświadczalny zasięg obszaru uplastycznionego jest większy od teoretycznego zarówno w rozwiązaniu otrzymanym metodą charakterystyk ANM [3] jak też w przybliżonym modelu płynięcia biegunowego [4 i 5] (obszar zawarty pomiędzy kulistymi powierzchniami AE i MG).

Rysunki 3 i 4 obrazują wzajemne usytuowanie doświadczalnych i teoretycznych obszarów uplastycznionych w czterech próbkach o średnicach wyjściowych 50 mm i kątach rozwarcia odpowiednio 60, 90 i 120°.

Na rys. 3a pokazano dobrą zgodność przebiegów górnej granicy obszaru uplastycznienia AB' otrzymanej z obrazu zdeformowanej siatki z analogiczną linią otrzymaną z pola twardości. Istnieje też dobra zgodność kształtów i zasięgów obszaru uplastycznionego pomiędzy doświadczeniem ($MFBA'$ lub CA') i teoria dla modelu AVITZURA (łuki MG , EA').

Na rys. 3b widać dobrą zgodność wykresów górnych granic BA' i CA otrzymanych metodą zdeformowanych siatek i pól twardości. Rzeczywisty zasięg obszaru uplastycznionego (CA lub $BA'FM$) jest znacznie mniejszy od analogicznego zasięgu obszaru odpowiadającego biegunowemu modelowi ($EAMG$).

Próbki z rys. 4 wyciskano z różnymi warunkami tarcia na powierzchniach bocznych. Uzyskano większy zasięg doświadczalnego obszaru uplastycznionego otrzymanego z obrazu zdeformowanych siatek w próbce z większym tarcieniem (rys. 4a). Górna powierzchnia uplastycznienia, którą obrazuje linia $A'B$ znajduje się nad płaszczyzną $A'P$. Obszar doświadczalny $BAFM$ w próbce z mniejszym tarcieniem (rys. 4b) jest mniejszy od obszaru plastycznego $EAGM$, który odpowiada uproszczonemu modelowi AVITZURA [4,5].

Teoretyczny i doświadczalny obraz zdeformowanej siatki w płaszczyźnie podziału próbki wyciskanej ze stopniem redukcji $R = 0,57$ i kącie stożka matrycy $2 = 60^\circ$ pokazano na rys. 5. Niezgodność położenia poprzecznych linii siatki dla teorii wg AVITZURA [5] i doświadczenia rośnie w kierunku wyciskania (rys. 5a). W przypadku linii prądu niezgodność eksperymentu i teorii określono odległością punktów przecięcia stycznych do rzeczywistych linii prądu z osią symetrii od punktu 0 (rys. 5b), który jest punktem zbieżności prostoliniowych linii prądu w modelu AVITZURA [4 i 5].

5. WNIOSKI

1. Porównanie teoretycznych obrazów kształtów i zasięgów obszarów uplastycznionych wynikających z przybliżonych rozwiązań osiowo-symetrycznych ośrodka sztywno-plastycznego bez wzmocnienia z wynikami doświadczenia w procesie wyciskania osiowo-symetrycznego PA2 wskazuje na znaczne różnice.

2. Rozwiązania teoretyczne otrzymane metodą charakterystyk [3] mają lepszą jakościowo zgodność z doświadczalnymi dla dużych stopni redukcji.

W przypadku małych stopni redukcji różnice jakościowe dotyczą braku ostrych załamań linii w doświadczeniu, a jakie cechują rozwiązania teoretyczne.

3. We wszystkich przypadkach górna i dolna granica obszaru uplastycznionego była skierowana wypukłością w kierunku przeciwnym do kierunku wciskania metalu. Zasięg obszaru uplastycznionego wzrasta ze wzrostem sił tarcia. Wzrost pola uplastycznionego występuje ze wzrostem kąta rozwarcia przy zbliżonych warunkach tarcia i równym stopniu redukcji.

4. Lepsza zgodność przebiegów doświadczalnych i teoretycznych linii brzegu obszaru uplastycznionego ma miejsce w sąsiedztwie przekrojów wyjściowych. Zwraca uwagę stosunkowo najlepsza zgodność wyników doświadczenia i teorii dla biegunowego modelu płynięcia plastycznego [4 i 5].

5. Przedstawione rezultaty porównań wymagają dalszych, obszernych badań z uwzględnieniem nowych, doświadczalnych metod wyznaczania obszarów uplastycznienia.

LITERATURA CYTOWANA W TEKŚCIE

1. W. SZCZEPIŃSKI, *Introduction to the mechanics of plastic forming of metals*, PWN, Warszawa 1979.
2. J. PIWNIK, *Metody obliczeń złożonych procesów obróbki plastycznej w świetle badań doświadczalnych*, Prace IPPT PAN, 14, 1979.
3. Р. И. НЕПЕРШИН, *Осесимметричное прессование с малыми и большими обжатиями*, Сб. Расчеты процессов пластического течения металлов, Наука Москва 1973.
4. B. AVITZUR, *Flow characteristics through conical converging dies*, Ir. of Eng. for Ind., Trans. ASME, Series B, 88, 1966.
5. *Metal forming interrelation between theory and practice*, Plenum Press, London-New York 1971.

UNIwersytet warszawski
 Filia w Białymstoku
 Wydział Matematyczno-Przyrodniczy. Białystok.

Praca została złożona w Redakcji dnia 12 stycznia 1981 r.