

DOŚWIADCZALNA ANALIZA KINEMATYKI PROCESU WYCISKANIA

JAN PIWNIK (BIAŁYSTOK)

Uniwersytet Warszawski Białystok

1. Wprowadzenie

Celem pracy jest eksperymentalna analiza kinematyki procesu wyciskania osiowo-symetrycznego i dyskusja wyników otrzymanych z rozwiązania teoretycznego tegoż problemu. Proces ten, bardzo ważny w technologii bezwórowej, jest typowym przykładem, w którym z braku danych nie możemy sformułować mieszanych warunków brzegowych dla podstawowego układu równań różniczkowych plastyczności. Układ ten z warunkiem plastyczności Hubera-Misesa i stowarzyszonym z nim prawem płynięcia jest typu eliptycznego [1, 2]. Dotychczas nie uzyskano efektywnych jego rozwiązań. Celem rozprężenia rozwiązań dla naprężeń i prędkości stosowano warunek plastyczności Treski i postulat Haara-Kármána. Przy tych uproszczeniach podstawowy układ równań jest typu hiperbolicznego i rozwiązuje się go metodą charakterystyk [1, 2, 7, 11, 12].

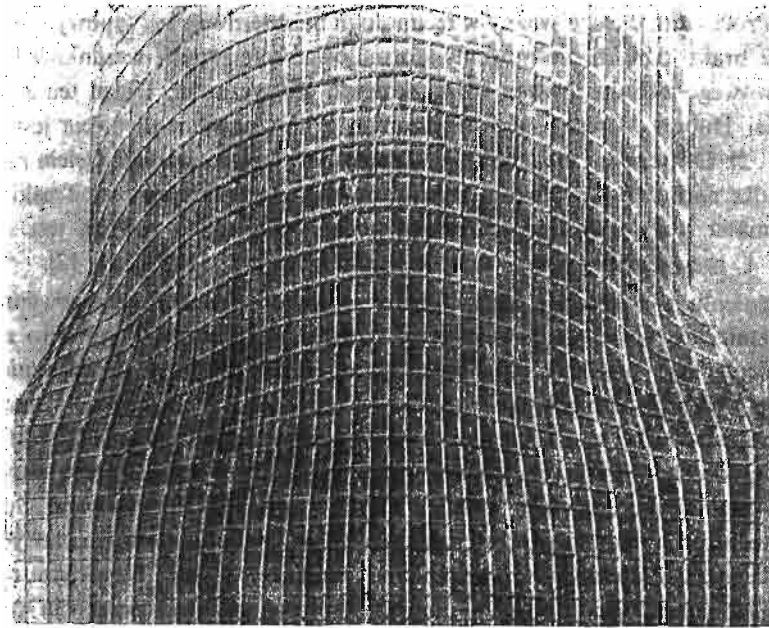
W odróżnieniu od rozwiązań zagadnień z mieszanymi warunkami brzegowymi płaskiego stanu odkształcenia, rozwiązania w osiowej symetrii są nieliczne. Wynika to z trudności usunięcia nieciągłości prędkości na liniach ograniczających obszar uplastycznienia. Linie te nie mogą być liniami nieciągłości prędkości, gdyż przecinają one oś symetrii [6, 11]. Przykładem ilustrującym wszystkie kłopoty z tym związane jest praca [11], w której wykorzystując metodę charakterystyk, podano rozwiązanie kinematyki procesu współbieżnego wyciskania pręta cylindrycznego przez matrycę stożkową. Zastosowano tam metodę kolejnych iteracji. Zakładano rozkład naprężeń normalnych na konturze matrycy i sprawdzano każdorazowo zgodność z warunkami kinematycznymi. Uzyskano rozwiązania przy braku sił tarcia, przy małych i dużych stopniach redukcji przekroju wyjściowego pręta.

Porównano teoretyczne przebiegi linii prądu, prędkości i zasięgi stref deformacyjnych zaczerpnięte z pracy [11] z doświadczalnymi otrzymanymi metodą wizjoplastyczności [4]. W literaturze odczuwa się brak takich porównań, pomimo pewnej, skromnej zresztą, liczby prac poświęconych doświadczalnej analizie procesów wyciskania [3, 4, 5, 8, 9, 10]. Przyczynami są: duża pracochłonność eksperymentu i trudności z obróbką matematyczną materiału doświadczalnego.

Rozwiązania teorii procesów obróbki plastycznej są z konieczności przybliżone. Weryfikacja doświadczalna tych rozwiązań jest podstawą rozwoju matematycznej teorii plastycznego płynięcia, która umożliwia racjonalną analizę takich procesów.

2. Badania doświadczalne

Badania wykonano na przyrządzie konstrukcji autora [4] z dwuczęściową składaną komorą, w której umieszczono próbki złożone z dwóch połówek. Osiowo-symetryczne próbki walcowe ϕ 70 mm wykonano ze stopu aluminium PA2. Na płaszczyźnie podziału, którą stanowiła płaszczyzna południkowa jednej z połówek, naniesiono metodą mechanicznego nacinania siatkę kwadratową złożoną z linii oddalonych o $2^{\pm 0.1}$ mm. Dwie połówki próbki składano w matrycy i obciążano przyrostowo, powodując wypływ materiału z prędkością około 1 mm/min. Po każdym kroku odpowiadającym przemieszczeniu stempla o wartość w granicach od 1 do 2 mm demontowano matrycę i wykonywano na specjalnym stanowisku zdjęcie zdeformowanej siatki. Na podstawie kilku kolejnych zdjęć, łącząc ze sobą punkty odpowiadające położeniom węzłów siatki, określono linie prądu w zdeformowanym materiale. Porównanie kolejnych zdjęć pozwala na określenie prędkości i zakresu, w którym zachowane są warunki ustalonego płynięcia. Rys. 1 przedsta-

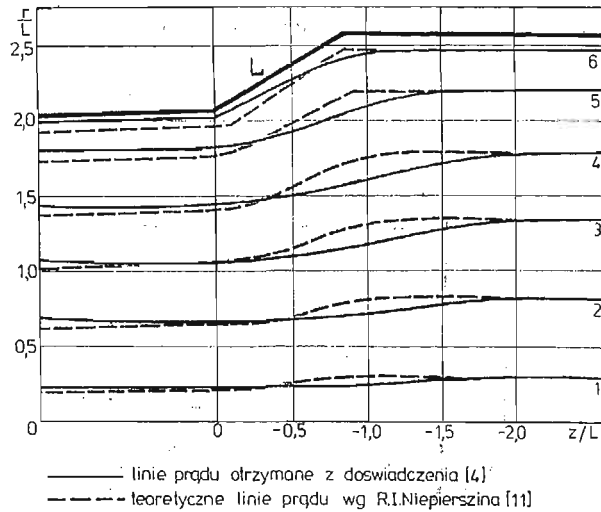


Rys. 1.

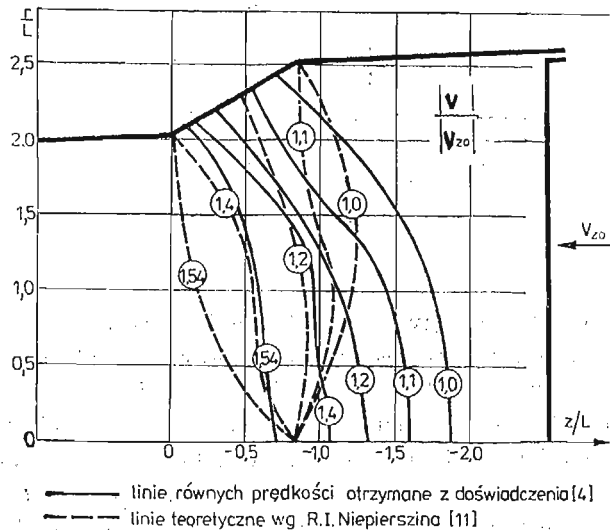
wia obraz zdeformowanej siatki w ustalonej fazie deformacji próbki, której średnicę początkową zredukowano z 70 na 58 mm. Kąt nachylenia tworzącej otworu matrycy wynosił $\alpha = 30^\circ$. Proces wyciskania prowadzono bez smarowania, ale z wysoką gładkością powierzchni styku narzędzia z materiałem. Przed wyciskaniem próbkę poddano wyżarzaniu ujednoradniającemu.

3. Porównanie wyników doświadczeń i teorii

Rysunek 2 zawiera porównania teoretycznych [11] (linie przerywane) i doświadczalnych (linie ciągłe) przebiegów sześciu linii prądu z obszaru uplastycznienia próbki. Wyniki naniesiono we współrzędnych bezwymiarowych $r/L - z/L$, gdzie L jest długością tworzącej otworu matrycy. Doświadczalne linie prądu w porównaniu z obliczeniowymi [11] doznają bardziej łagodnych przebiegów u wejścia do obszaru uplastycznionego i u wyjścia z niego. Położenie doświadczalnych linii 3, 4, 5 i 6 wykazuje mniejsze odchylenie od teoretycznych w porównaniu z liniami 1, 2. Odstępstwa te są powodowane nie uwzględnionym w obli-



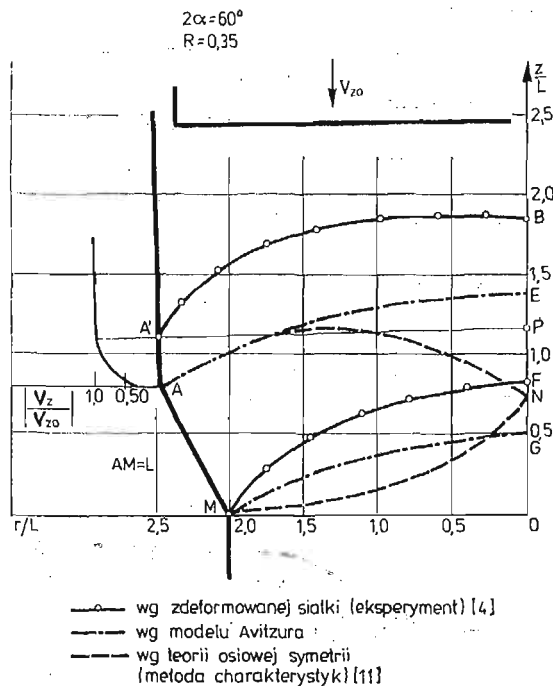
Rys. 2.



Rys. 3.

zeniach wzmocnieniem materiału; które hamuje rozwijanie się odkształceń plastycznych, szczególnie w obszarach z rosnącymi gradientami prędkości. Ilustruje to rys. 3, na którym pokazano doświadczalne (linie ciągłe) i obliczeniowe [11] (linie przerywane) przebiegi równych stosunków modułów prędkości na liniach prądu do prędkości stempla $|V|/|V_{z0}|$. Największe gradienty prędkości doświadczalnych występują w otoczeniu linii prądu [3, 4 i 6]. W przeciwieństwie do teorii w doświadczeniu nie występuje przecinanie się linii z różnymi prędkościami w narożach matrycy i osi symetrii. Wydaje się, że decydującym czynnikiem limitującym te różnice jest udział sił tarcia, którego nie uwzględniono w pracy [11].

Na rys. 4 pokazano liniami ciągłymi położenie górnych i dolnych granic obszaru płynięcia plastycznego wyznaczonych doświadczalnie w punktach zakrzywienia linii prądu.



Rys. 4.

Granice te skonfrontowano z teoretycznymi [11] i dodatkowo na ich tle pokazano zasięg obszaru uplastycznionego uproszczonego, biegunowego modelu płynięcia przyjmowanego często do górnych oszacowań sił [3]. Wpływ tarcia uwidacznia się przesunięciem początku uplastycznienia od naroża A w kierunku A' . Stosunek bezwymiarowej prędkości $|V_z|/|V_{z0}|$ zmienił się na powierzchni przylegania od 1 do 0,4. Linie doświadczalne $A'B$ i MF są skierowane wypukłością w kierunku przeciwnym do kierunku wyciskania. Doświadczalny zasięg strefy deformacyjnej jest większy zarówno od obliczeniowego [11], jak i uproszczonego [3].

4. Wnioski

1. Stwierdzono dobrą jakościową zgodność doświadczenia i teorii [11] w przebiegach linii prądu z obszaru uplastycznienia. Teoria daje więc możliwość przewidywania układu włókien w zdeformowanym materiale.

2. Znaczne różnice w prędkościach występujące pomiędzy teorią [11] i doświadczeniem lokalizują się w otoczeniu naroży matrycy i osi symetrii.

3. Rozbieżności między rozwiązaniem teoretycznym [11] i eksperymentem można głównie przypisać udziałowi wzmocnienia i tarcia. Szczególnie istotny jest wpływ tarcia na kinematykę procesu. Czynniki tych nie uwzględniono w obliczeniach.

4. Przedstawione porównania wskazują, że rozwiązania zagadnień osiowo-symetrycznych dla ośrodka sztywno-plastycznego bez wzmocnienia i bez tarcia możemy traktować jako dość zgrubne przybliżenie.

Uzyskanie rozwiązań mieszanych zagadnień brzegowych dla podstawowego układu równań jest bardzo trudne i w ogóle możliwe tylko przy bardzo silnych uproszczeniach.

Literatura

1. R. HILL, *The mathematical theory of plasticity*, Oxford 1950.
2. L. M. KACHANOV, *Fundamentals of theory of plasticity*, Mir, 1974.
3. *Metal forming, interrelation between theory and practice*, Plenum Pres. London-New York 1971.
4. J. PIWNIK, *Metody obliczeń złożonych procesów obróbki plastycznej w świetle badań doświadczalnych*, Praca doktorska, IPPT PAN Warszawa 1979.
5. A. H. SHABAİK, S. KOBAYSHI, *Computer application to the viscoplasticity method*, Trans. ASME I. Eng. Ind. 89, ser. B, 2, 1967.
6. R. T. SHIELD, *On the plastic flow metals under conditions of axial symmetry*, Proc. Roy. Soc. 233A 1193, 1955.
7. W. SZCZEPIŃSKI, *Wstęp do analizy procesów obróbki*, PWN, Warszawa 1967.
8. E. G. THOMSEN, C. T. YANG, J. B. BIERBOWER, *An experimental investigation of the mechanics deformation of metals*, Univ. of California Publications in Engineering, 5, 4, 1954.
9. Ю. А. Аллошин, и інші, *Стандартные программы расчета процессов пластической деформации на Е. В. М.*, Кузн. Штам. Произ., 6, 1971.
10. Г. Д. Дель, *Определение напряжений в пластической области по распределению твердости*, Москва: Машиностроение, 1971.
11. Р. И. Непершин, *Осесимметричное прессование с малыми и большими обжатиями*, сб. „Расчеты процессов пластического течения металлов”, Наука, 1973.
12. В. В. Соколовский, *Теория пластичности*, Москва: В. Ш. 1969.

Резюме

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КИНЕМАТИКИ ПРИ ОСЕСИМЕТРИЧНОМ ПРЕССОВАНИИ

В этой работе приводится сравнение теоретического и экспериментального решения для скорости и линий тока при осесимметричном прессовании через коническую матрицу с обжатием $R=0,35$. Теоретическое решение выполнено в работе II на основе осесимметричного жесткопластичного тела при условии пластичности треска. Экспериментальное поле скоростей определялось методом визиопластичности. Образцы изготовляли из сплава на основе системы. Распределение

теоретических и экспериментальных полей скорости и линий тока приводит к разнице в окрестностях оси симметрии и угловой точки профиля матрицы.

Считается, что погрешности теории связаны с влиянием трения и упрочнения, которых то факторов невозможно точно учитывать в решении [11].

Summary

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE KINEMATICS OF EXTRUSION PROCESS

The paper is devoted to the experimental verification of the solution of axially symmetric problem with mixed boundary conditions which was obtained in the framework of the plastic flow theory by using the method of characteristics [11]. Theoretical and experimental course of the stream lines, velocities and range of the plastic regions has been compared for axially symmetric extrusion of divided billets made of aluminium alloy PA2.

It was shown that there is good qualitative agreement of the stream lines and essential differences of velocities in the corners of die and near the axis of symmetry. Divergences of shapes of plastic regions were also shown.

The differences between results of theory and experiments were caused by the effects of workhardening of the material and friction which were not been taken into account in the paper [11].

Praca została złożona w Redakcji dnia 7 lutego 1984 roku