

MODELOWANIE PROCESÓW ROZCIĄGANIA ELEMENTÓW PŁASKICH Z ROŻNYMI KARBAMI

JAN PIWNIK (BIAŁYSTOK)

Wykorzystano plastelinę do modelowania procesów rozciągania elementów płaskich osłabionych wycięciem kątowym, otworem pustym, inkluzją sztywną i odkształcalną. Śledząc odkształcenia uprzednio kwadratowej siatki naniesionej na powierzchnie czołowe próbek, obserwowano trajektornie ruchu cząstek materiału. Wyznaczono rozkłady prędkości przemieszczeń w rejonie karbu dla kilku faz rozciągania próbek.

1. WPROWADZENIE

Przy rozciągających obciążeniach quasi-statycznych określenie teoretycznej nośności granicznej i sposobu deformowania się elementów płaskich z karbami jest możliwe w płaskim stanie odkształcenia lub płaskim stanie naprężenia [1 i 2]. Karby mają przy tym kształt wycięć lub otworów.

W przypadku gdy karb ma formę sztywnej lub deformowalnej inkluzji analiza teoretyczna na gruncie modelu idealnie plastycznego, staje się bardzo trudna lub wręcz niemożliwa. Stąd wydaje się celowym wykorzystanie plasteliny w doświadczeniach modelowych. Pozwalają one na jakościową analizę odkształceń w obszarach uplastycznienia rozciąganych płaskich elementów z nietradycyjnymi karbami.

Celem niniejszej pracy było zastosowanie modelowania do analizy płynięcia plastycznego w obszarze uplastycznienia próbek płaskich z wycięciem, otworem i inkluzjami, poddanych rozciąganiu. Materiałem modelującym próbki była odpowiednio spreparowana plastelina. Śledząc odkształcenia uprzednio kwadratowej siatki naniesionej na powierzchnie czołowe próbek, obserwowano trajektorie ruchu cząstek materiału. Wyznaczono rozkłady prędkości przemieszczeń w otoczeniu karbu dla kilku etapów rozciągania. Zbadano cztery przypadki rozciągania próbek płaskich, które osłabiono różnymi, zewnętrznymi i wewnętrznymi karbami. Wymiary przekroju próbek dobrano tak, aby proces rozciągania przebiegał z dobrym przybliżeniem w warunkach płaskiego stanu odkształcenia.

2. BADANIA DOŚWIADCZALNE

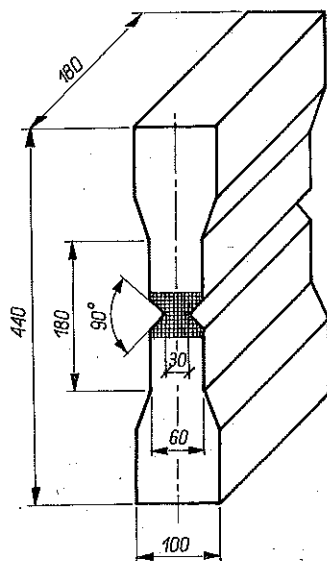
2.1. Metoda badań

Metoda badań polegała na obserwacji odkształceń kwadratowych oczek siatki naniesionej na powierzchnię czołową plasteliny próbki z karbem. Rozciągano cztery próbki z różnymi karbami. Były to następujące próbki: a) Próbka płaska z karbem ostrym dwustronnym; kształt tej próbki i wymiary pokazano na rys. 1. b) Próbka płaska osłabiona na jej osi symetrii pustym otworem okrągłym; jej wymiary i kształt zobrazowano na rys. 2. c) Próbka płaska z otworem centralnym wypełnionym tworzywem sypkim (miał kredowy); jej wymiary i kształt są takie same jak na rys. 2; d) Próbka płaska z otworem centralnym o średnicy $\phi = 15$ mm wypełnionym materiałem sztywnym (tulejka metalowa); próbkę tę przedstawiono również na rys. 2.

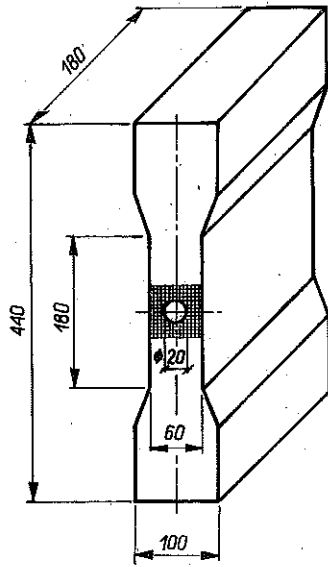
Stosunek największych wymiarów próbek w rejonie karbu do ich szerokości równej 180 mm jest na tyle mały, że można przyjąć, iż panuje tam w przybliżeniu płaski stan odkształcenia [2, 3, 4 i 5].

Wszystkie próbki wykonano z mieszaniny plasteliny i oleju rzepakowego w proporcjach jedna część oleju na pięć części plasteliny objętościowo. Jednorodną mieszaninę otrzymano przez stopienie i dokładne jej wymieszanie.

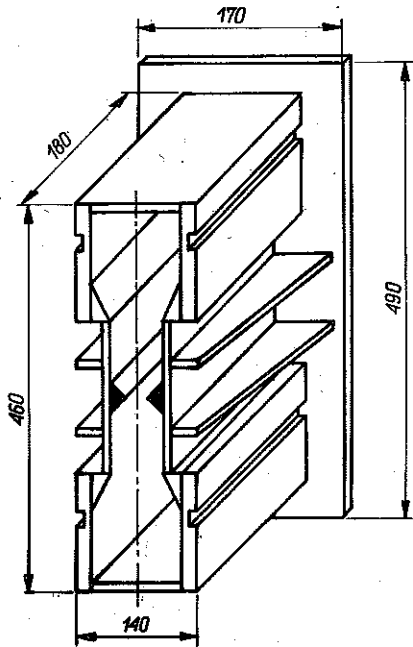
Stosowano dwa warianty formowania próbki. W pierwszym wariacie próbkę odlewano, w drugim plastelinę przerabiano plastycznie i ubijano w matrycy, której kształt pokazano na rys. 3. Okazało się, że odlewana



Rys. 1



Rys. 2

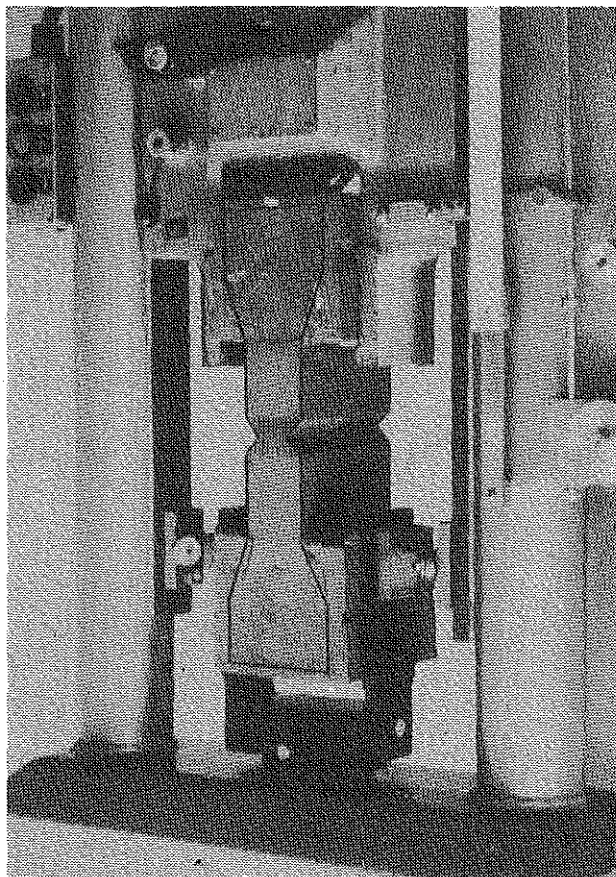


Rys. 3

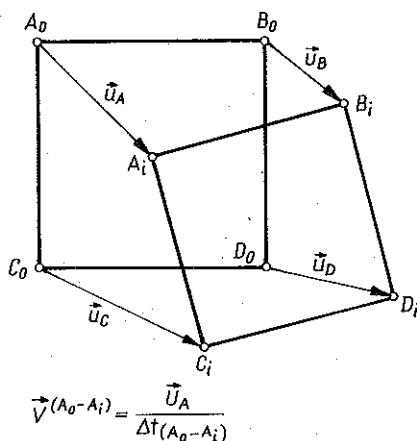
plastelina jest zbyt krucha, aby mogła być stosowana do modelowania procesów płynięcia plastycznego. Natomiast plastelina przerobiona plastycznie jest bardzo podatna na odkształcenia.

Na powierzchniach czołowych próbek wokół karbów rysowano flamastrem kwadratowe siatki o wymiarach oczek rzędu 3 mm. Każdą z próbek mocowano w uchwytach maszyny wytrzymałościowej. Sposób mocowania przedstawia rys. 4.

Istotnym czynnikiem była prędkość odkształcenia próbki. Okazało się, że plastelina wykazuje lepszą podatność na odkształcenia przy większych prędkościach. W tym przypadku modelowanie procesu rozciągania miało ujawnić ogólne cechy procesu rozciągania metalowych elementów płaskich z karbem w warunkach odkształcenia plastycznego. Stąd niezbędnym było wybranie takich zakresów prędkości odkształceń, które sprzyjałyby maksymalnej podatności na odkształcenia trwale plasteliny. Próby prowadzono z prędkością trawersy $V_0 = 15$ mm na minutę.



Rys. 4



Rys. 5

W trakcie rozciągania wykonano co 10 sekund fotografie deformującej się siatki. Ze zmian położenia węzłów siatki określano prędkości przemieszczeń w uplastycznionym polu. Sposób obliczeń uśrednionych wartości wektorów prędkości przemieszczeń w punkcie ilustruje rys. 5.

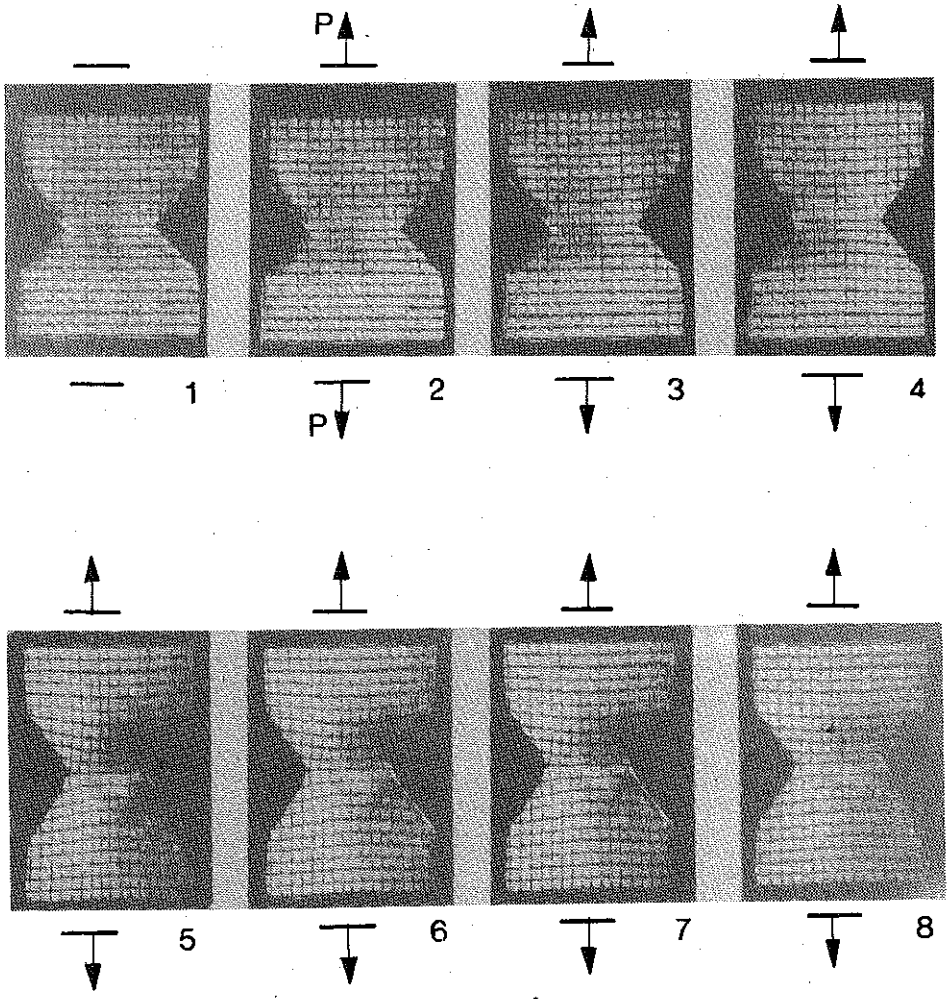
Podobną metodę określania pól prędkości przemieszczeń stosowano przy modelowaniu złożonych procesów wyciskania w pracach [6 i 7].

2.2. Fotografie zdeformowanych siatek

Na rys. 6 zestawiono fotografie dla ośmiu etapów rozciągania próbki płaskiej osłabionej karbem ostrym. Etapy, dla których wykonano hodograpy prędkości, przedstawiono na powiększonych fotografiach. Lokalizacja odkształceń plastycznych następuje wokół naroży i na osi symetrii próbki. Intensywność odkształcenia narasta gwałtownie już w pierwszych etapach deformacji.

Na rys. 7 pokazano zestawienie „teoretycznych” i doświadczalnych zdeformowanych siatek. Siatki teoretyczne w płaskim stanie odkształcenia zaczerpnięto z pracy [2]. Siatki te otrzymano dla modelu sztywno idealnie-plastycznego metodą charakterystyk. Kształt karbu w rozwiązaniu teoretycznym jest taki sam jak w doświadczeniu. Porównanie obydwu rysunków wskazuje na dobrą jakościową zgodność teorii z doświadczeniem. Potwierdza to celowość doświadczeń modelowych.

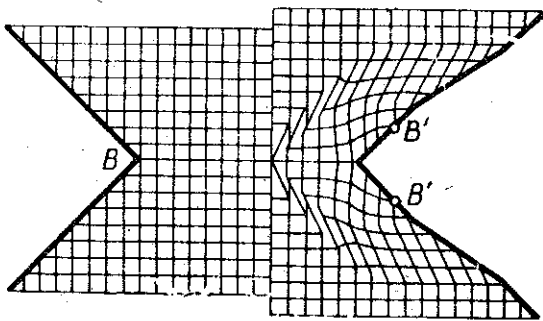
Rysunek 8 zawiera zestawienie fotografii deformowanych siatek dla ośmiu etapów rozciągania próbki płaskiej z otworem centralnym pustym. Obrazy zdeformowanych siatek wskazują, że największa koncentracja odkształceń ma miejsce na powierzchni wewnętrznej otworu. Również na powierzchni otworu lokalizują się miejsca utraty spójności próbki.



Rys. 6

Przed deformacją,

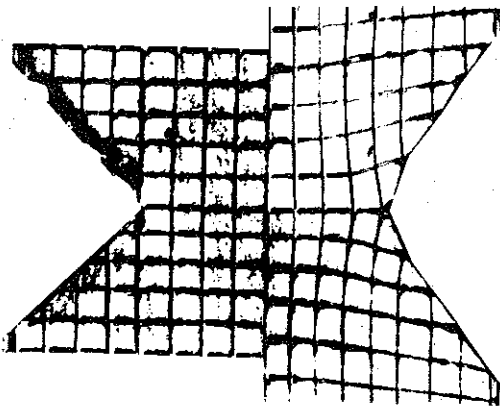
Po odkształceniu



Teoria (materiał sztywno idealnie plastyczny) [2]

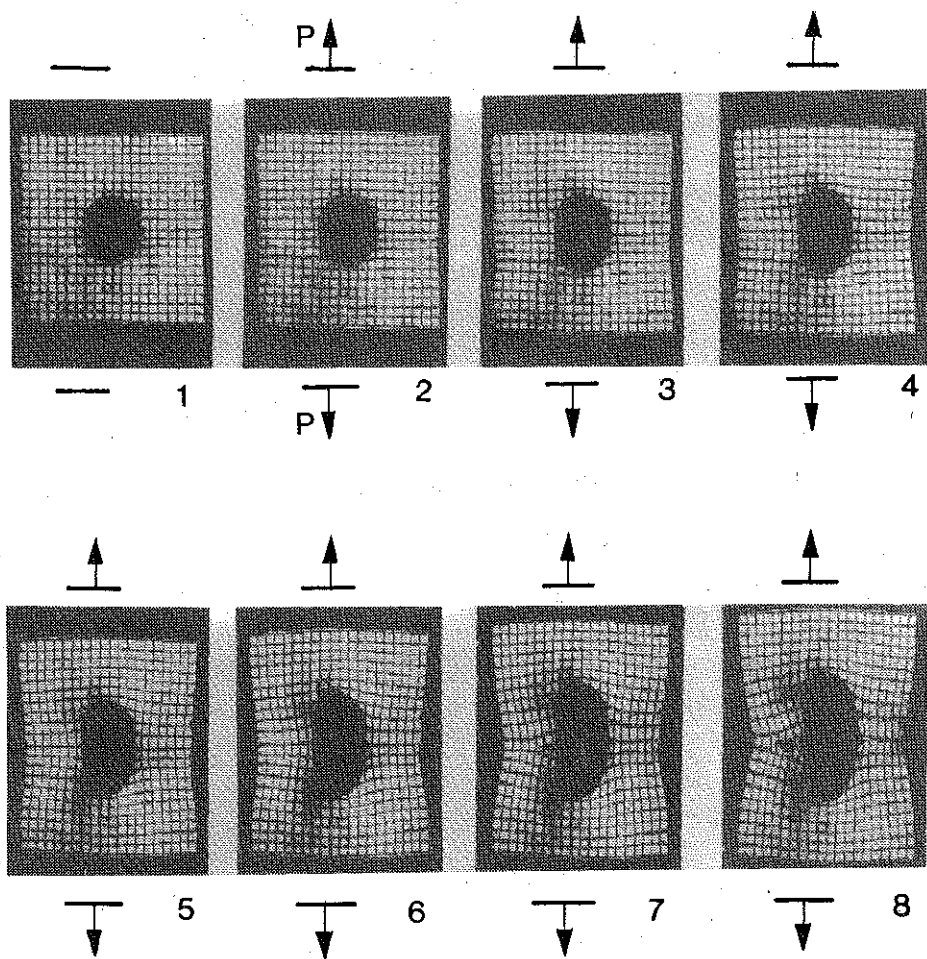
Przed deformacją,

Po odkształceniu

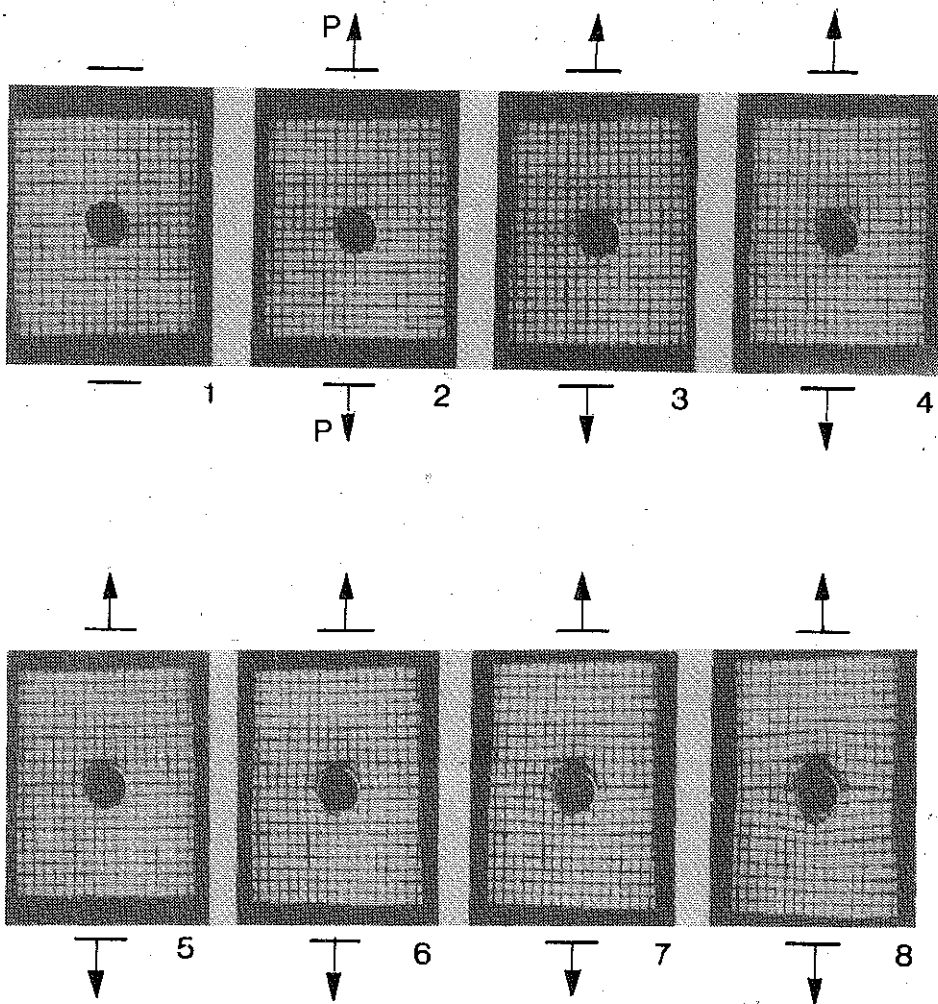


Doświadczenie (plastelina)

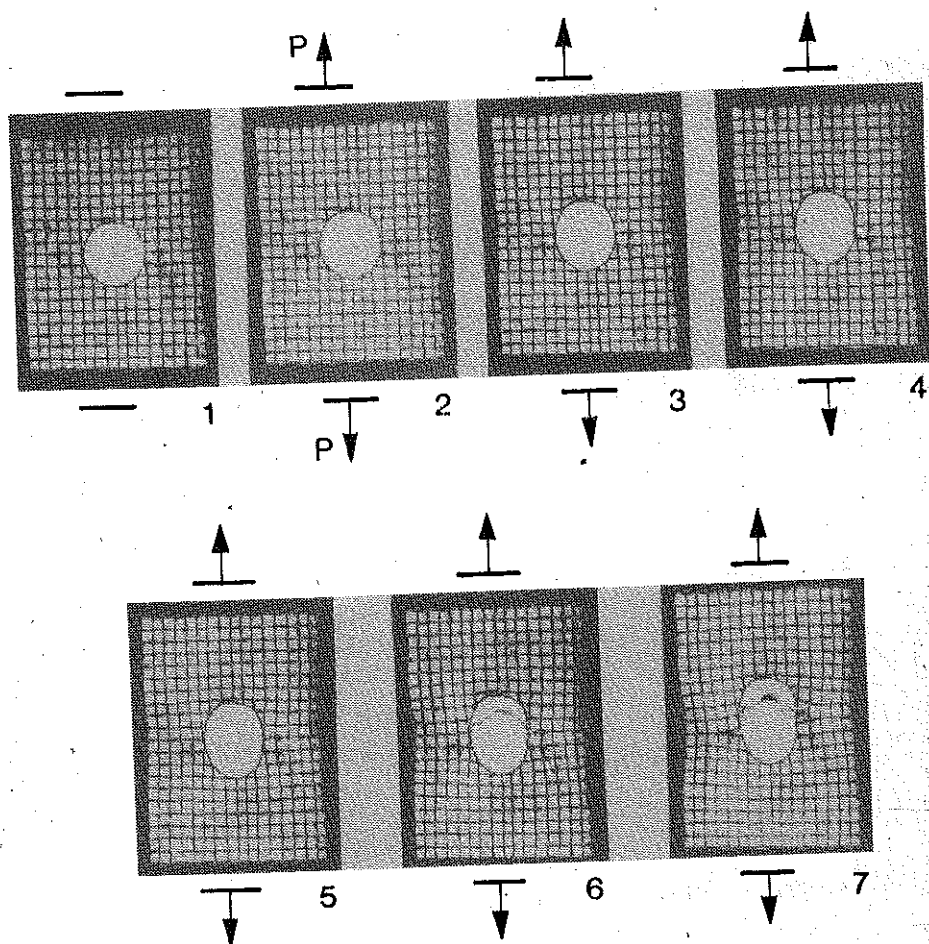
Rys. 7



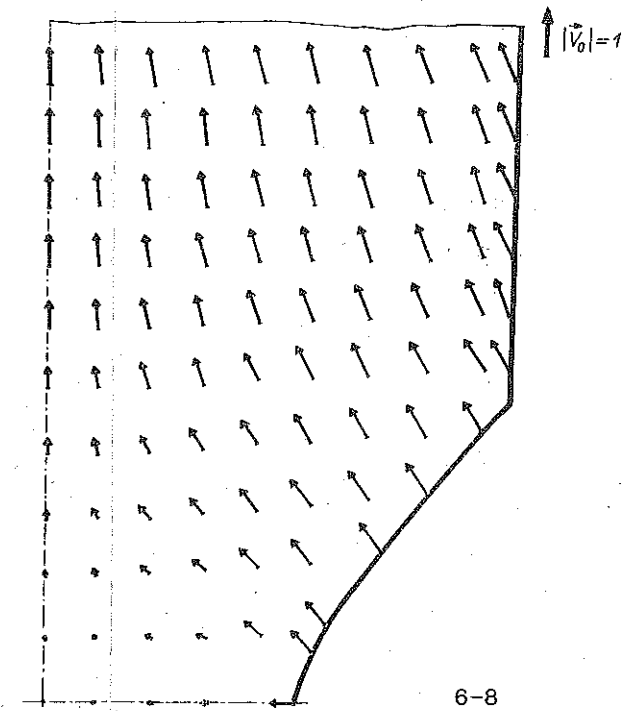
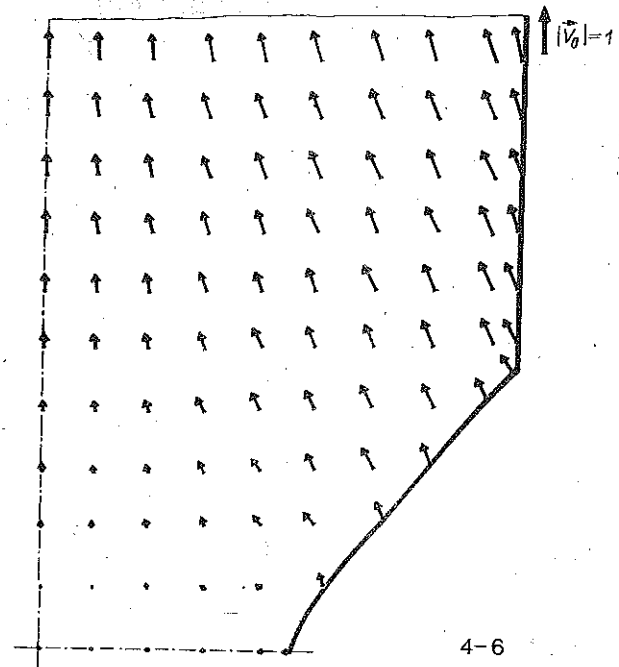
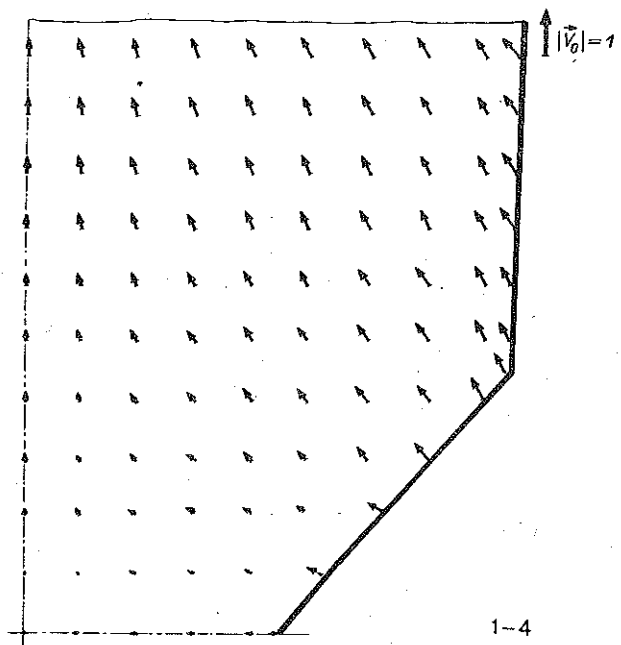
Rys. 8



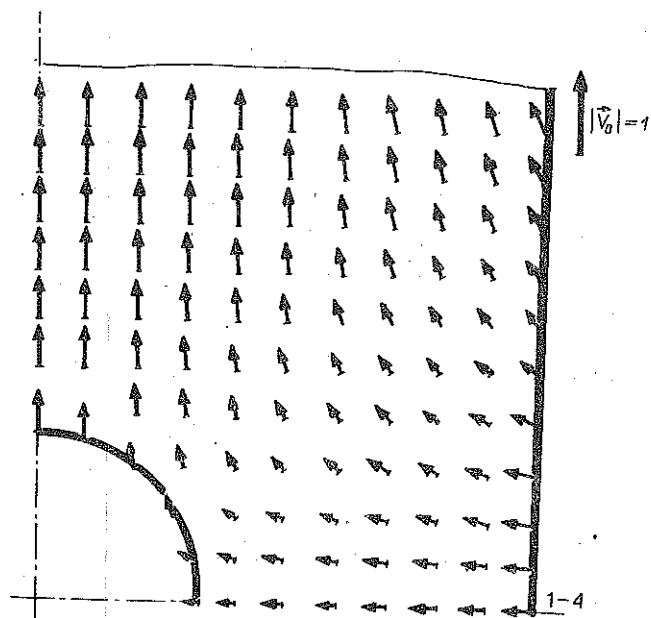
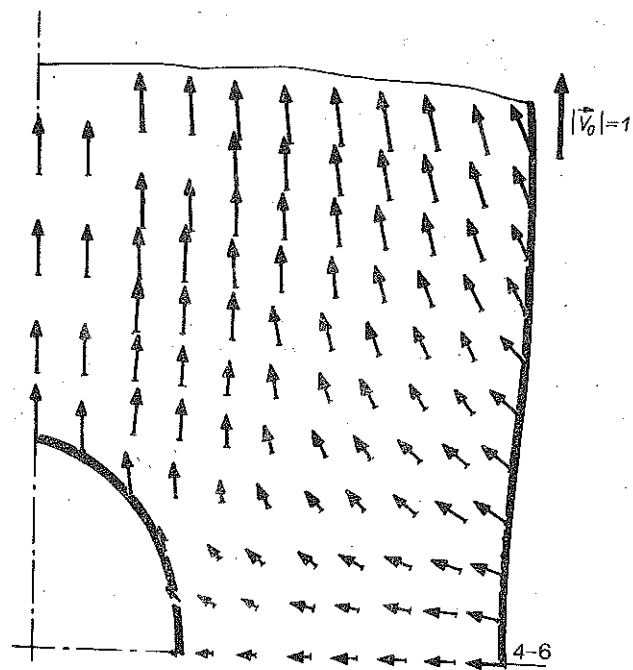
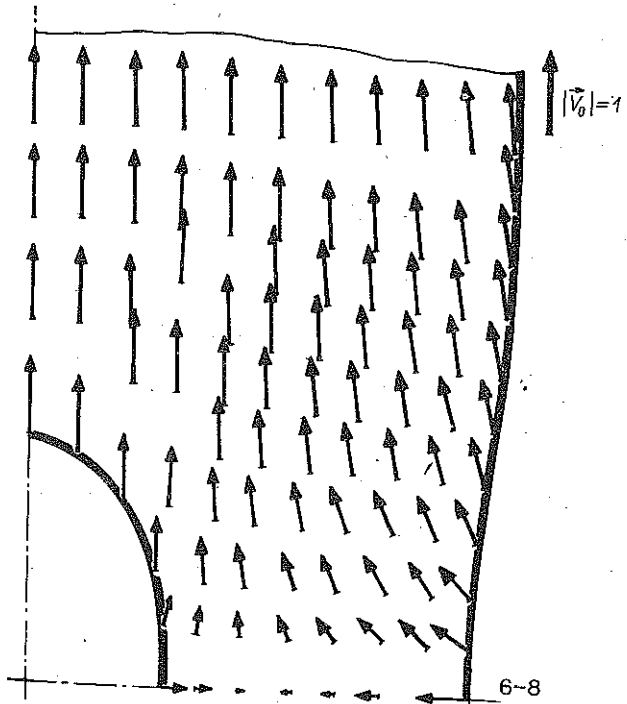
Rys. 9



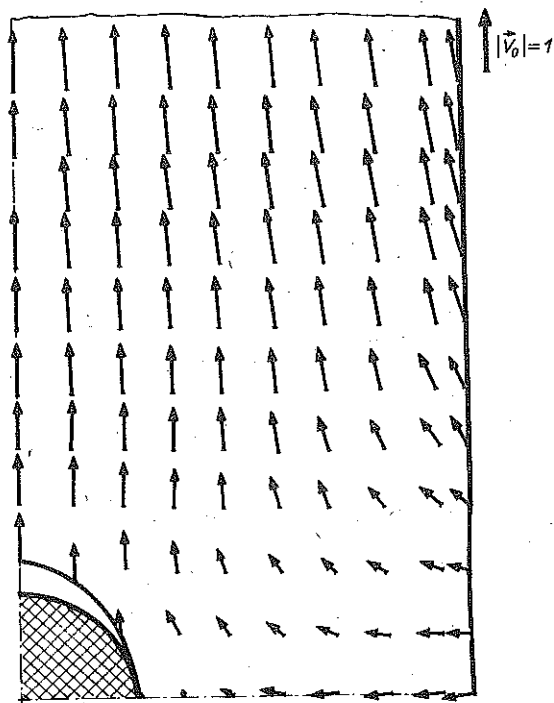
Rys. 10



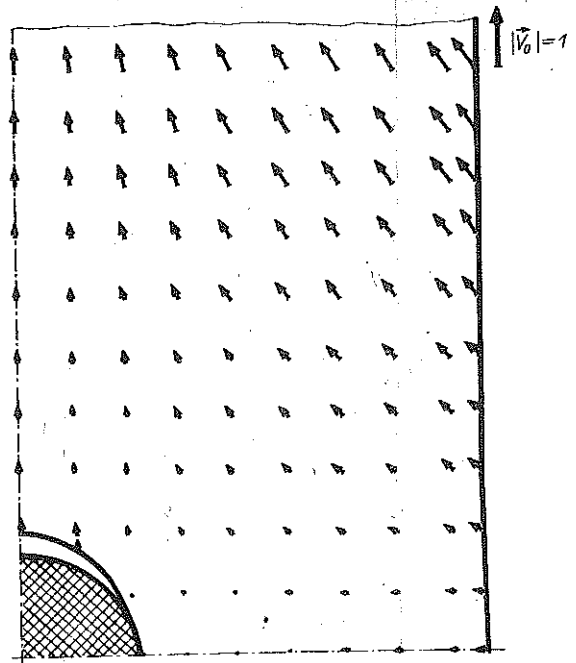
Rys. 11



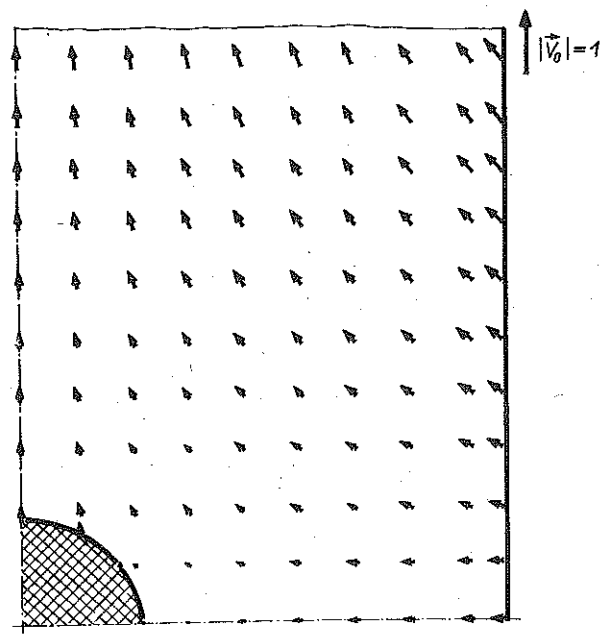
Rys. 12



6-8

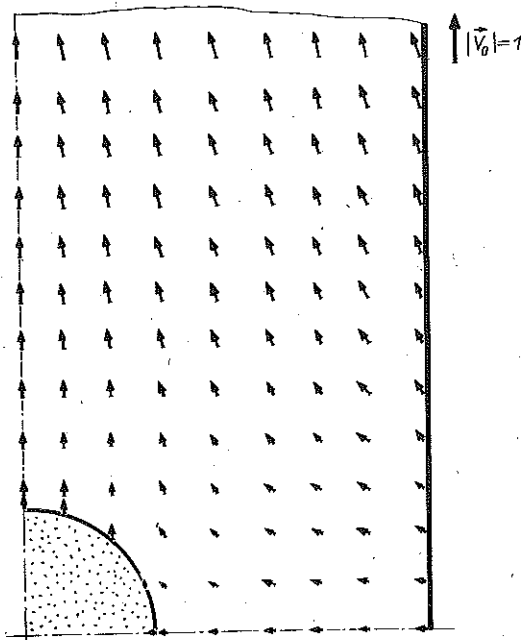


4-6

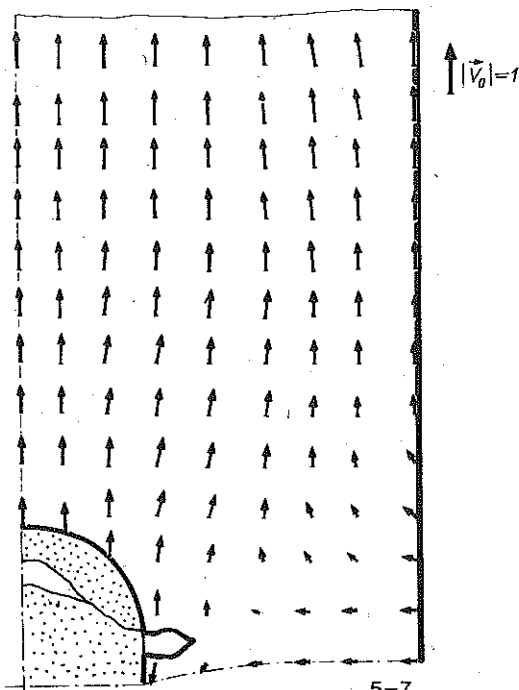


1-4

Rys. 13



1-5



5-7

Rys. 14

Rysunek 9 obrazuje fotografie zdeformowanych siatek dla ośmiu etapów rozciągania próbki płaskiej z otworem centralnym wypełnionym materiałem sztywnym (tulejką metalową).

Powiększone fotografie zdeformowanych, uprzednio kwadratowych, siatek dla czterech etapów deformacji użyto do budowy hodografów prędkości.

Kolejno na rys. 10 przedstawiono zestawienie fotografii zdeformowanych siatek dla siedmiu etapów rozciągania próbki płaskiej z otworem centralnym wypełnionym materiałem sypkim. Kolejno powiększono fotografie zdeformowanych siatek trzech etapów rozciągania tej próbki, z których otrzymano hodografy prędkości.

Z załączonych zdjęć dla trzech przypadków próbek płaskich osłabionych otworem centralnym pustym, wypełnionym materiałem sztywnym i materiałem sypkim, widzimy różny sposób deformowania się warstw materiału przylegających bezpośrednio do otworu. W przypadku próbki z otworem wypełnionym ośrodkiem sztywnym materiał pęka na osi symetrii próbki w warstwach bezpośrednio przylegających do wypełnienia. W pozostałych dwóch przypadkach pęknięcia rozpoczynają się na powierzchni otworu w płaszczyźnie prostopadłej do osi rozciągania.

2.3. Rozkłady prędkości przemieszczeń płynięcia plastycznego

Kolejnym etapem analizy płynięcia plastycznego było wykonanie rozkładów prędkości przemieszczeń węzłów siatek naniesionych na powierzchniach czołowych próbek. Do wyznaczenia pól wektorów prędkości brano pod uwagę trzy etapy, które przedstawiono na powiększonych fotografiach. Na rys. 11a, b, c pokazano rozkłady wektorów prędkości dla próbki osłabionej karbem kątowym. Z przebiegu pól prędkości widzimy, że największa ich niejednorodność lokalizuje się w rejonie osi symetrii oraz na powierzchni karbu. Kierunek wektorów prędkości jest nachylony w stronę osi symetrii. Obserwujemy dość znaczny obszar uplastycznienia.

Rysunki 12a, b, c ilustrują rozkłady wektorów prędkości na powierzchni próbki płaskiej osłabionej otworem centralnym pustym. Na podstawie tych rysunków widzimy, że obszar intensywnych odkształceń plastycznych lokalizuje się wokół poprzecznej próbki. Szczególnie silna niejednorodność płynięcia występuje wokół osi poprzecznej w rejonach przylegających do otworu i powierzchni zewnętrznej. Prawa część próbki zachowuje się jak pojedyncza sztywna.

Rysunki 13a, b, c obrazują pola wektorów prędkości dla próbki z otworem wypełnionym materiałem sztywnym. Widzimy, że największa niejednorodność płynięcia lokalizuje się w obszarach przylegających do powierzchni wypełnienia na osi rozciągania.

Rysunki 14a, b przedstawiają pola prędkości dla próbki z otworem wypełnionym materiałem sypkim. Największa niejednorodność płynięcia występuje przy powierzchni wypełnienia wokół osi poprzecznej próbki.

W całości pokazane rozkłady prędkości przemieszczeń w polu płynięcia plastycznego w rejonach karbu świadczą o dużym wpływie na te pola kształtu i rodzaju karbu.

3. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania dotyczące modelowania procesu rozciągania elementów płaskich osłabionych różnymi korbami wskazują na efektywność użycia plasteliny do badania płynięcia plastycznego w przedstawionych elementach. Przedstawione rozkłady prędkości przemieszczeń mogą posłużyć do konstruowania dokładnych, kinematycznych dopuszczalnych schematów płynięcia plastycznego w takich elementach. Schematy te mogą posłużyć do dokładnej oceny nośności granicznej z oceny górnej [1 i 2].

Pokazane wyniki doświadczeń odnośnie zdeformowanych siatek w próbkach z karbem kątowym wskazują, że ich porównanie z teorią daje jakościową zgodność rezultatów dla modelu idealnie plastycznego. Wydaje się zatem, że zademonstrowane doświadczenia mogą służyć do weryfikacji rozwiązań teoretycznych zagadnień brzegowych sformułowanych dla procesów rozciągania elementów z różnymi korbami. Mogą też być pomocne przy analizie przewężeniowych mechanizmów rozdzielania materiałów plastycznych. Podstawowym problemem jest tu interpretacja doświadczeń. Informacje odnośnie do pól prędkości są zebrane z zewnętrznych powierzchni czołowych próbek. Aproksymacja tych rozkładów na obszary wewnątrz próbki jest zgrubnym przybliżeniem. Sprawa ta wymaga dalszych badań.

LITERATURA CYTOWANA W TEKŚCIE

1. W. SZCZEPIŃSKI, *Wstęp do analizy procesów obróbki plastycznej*, PWN, Warszawa 1967.
2. L. DIETRICH, J. MIASTKOWSKI, W. SZCZEPIŃSKI, *Nośność graniczna elementów konstrukcji*, PWN, Warszawa 1970.
3. W. SZCZEPIŃSKI, J. MIASTKOWSKI, *Doświadczalna analiza nośności granicznej rozciąganych płaskich prętów z karbem*, *Rozpr. Inżyn.*, 13, 3, 637-652, 1965.
4. J. MIASTKOWSKI, *Nośność graniczna rozciąganych prętów z karbem kątowym o dowolnych wymiarach części nad korbami*, *Mech. Teoret. Stosow.*, 7, 1, 81-98, 1969.
5. J. MIASTKOWSKI, *Analiza nośności granicznej płaskich elementów o dowolnej grubości osłabionych okrągłymi korbami o różnej ostrości*, *Rozpr. Inżyn.*, 32, 2, 1984.
6. J. PIWNIK, *Wykorzystanie doświadczeń modelowych do analizy odkształceń w złożonych procesach obróbki plastycznej*, *Materiały X Sympozjum Doświadczalnych Badań w Mechanice Ciała Stałego*, Warszawa, 3-4 grudnia 1982.
7. J. PIWNIK, *Modelowanie procesów wyciskania promieniowego*, *Materiały XI Sympozjum Doświadczalnych Badań w Mechanice Ciała Stałego*, Warszawa, 6-8 września 1984.

РЕЗЮМЕ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСТЯЖЕНИЯ ПЛОСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
С РАЗНЫМИ НАДРЕЗАМИ

Использован пластилин для моделирования процессов растяжения плоских элементов, ослабленных угловым вырезом, пустым отверстием, жестким и деформируемым включениями. Следя деформации раньше квадратной сетки нанесенной на торцовые поверхности образцов, наблюдались траектории движения частиц материала. Определены распределения скорости перемещений в области надреза для нескольких фаз растяжения образцов.

SUMMARY

MODELLING OF TENSILE PROCESSES OF 2D ELEMENTS WITH
VARIOUS NOTCHES

Plasticine has been used in modelling the tensile processes of 2D elements weakened with the V-notch, hole, rigid inclusion and deformable inclusion. By watching the deformations of the previously square grid traced on the specimens faces, the trajectories of the particles have been observed. The deformation velocity distributions in the region near to the notch have been found for several phases of extension of the specimens.

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA
INSTYTUT MECHANIKI

Praca została złożona w Redakcji w dniu 28 maja 1986 r.
