

MODELOWANIE PROCESÓW WYCISKANIA MATERIAŁÓW NIEJEDNORODNYCH

JAN PIWNIK (BIAŁYSTOK)

W pracy przedstawiono i omówiono obrazy płynięcia plastycznego materiału z określoną sztuczną niejednorodnością, poddanego procesowi wyciskania współbieżnego. Wyciskanie realizowano na próbkach z matrycą (osnową) plastelinową. Stosowano trzy warianty niejednorodności wyjściowej. W pierwszym w matrycy wykonano regularne otwory, które następnie zapełniano substancją sypką. W drugim wariacie nanoszono kanały o prostokątnym przekroju równoległe do głównej osi próbki. Kanały te wypełniono tworzywem sypkim (miałem kredowym). Wariant trzeci polegał na wypełnianiu różnie zorientowanych kanałów w matrycy wkładkami z kruchego, sztywnego materiału, którym było mydło szare. W trakcie badań okazało się, że postać początkowo obranej niejednorodności w materiale zmienia jakościowo formę po wyjściu z obszaru uplastycznienia.

1. UWAGI WSTĘPNE

Modelowanie procesów obróbki plastycznej należy do najbardziej złożonych problemów doświadczalnej mechaniki ciała stałego. Znane aktualnie, niepełne zresztą, teorie podobieństwa dotyczą tylko materiałów jednorodnych i izotropowych [1, 2 i 3]. Brak jest natomiast zupełnie wskazówek teoretycznych do zbudowania jasnych kryteriów pozwalających na przenoszenie pól kinematycznych z niejednorodnego modelu na niejednorodny, rzeczywisty materiał. Wynika to z nieznamości warunków brzegowych i równań konstytutywnych dla materiałów niejednorodnych.

Z drugiej strony wyniki wielu doświadczeń omówionych w pracach [2, 3, 4, 5 i 6] wskazują, że pola odkształceń plastycznych są podobne w różnych materiałach jednorodnych poddawanych wyciskaniu w zbliżonych warunkach.

Wydaje się, że również przy projektowaniu obranej niejednorodności własności mechanicznych w materiałach poddawanych obróbce plastycznej-można skutecznie wykorzystać doświadczenia modelowe. Dotyczy to w szczególności złożonych procesów wyciskania.

W pracy pokazano i omówiono obrazy płynięcia plastycznego materiału modelowego z ustaloną sztuczną niejednorodnością, poddanego wyciskaniu współbieżnemu. Obrazy te posłużyły do przewidywania sposobu odkształcania się materiału niejednorodnego w procesie wyciskania.

Zadania takie mogą być obecnie efektywnie rozwiązywane tylko na drodze doświadczalnej. Mają one związek z projektowaniem nowych materiałów o zaprogramowanych z góry własnościami mechanicznymi [7].

2. METODYKA BADAŃ

Do badań wykorzystano próbki płaskie wyciskane w odpowiednim metalowym pojemniku. Próbki wykonano ze specjalnie spreparowanej plasteliny. Pięć części objętości plasteliny handlowej wymieszano z jedną częścią oleju rzepakowego. Próbki miały następujące wymiary: wysokość 150 mm, szerokość 100 mm, grubość 20 mm. Na powierzchni czołowej próbek nanoszono kwadratową siatkę z kontrastowej plasteliny o wymiarze oczka 5×5 mm. Jednocześnie wzdłuż całej grubości próbek wykonywano otwory lub prostokątne kanały, które zapelniano materiałem sypkim (miałem kredowym) lub sztywnym (wkładki z mydła szarego). Powstała w ten sposób dobrana, wyjściowa niejednorodność (którą będziemy nazywali sztuczną niejednorodnością) materiału próbek ulegała zmianie podczas procesu wyciskania. Wyciskanie realizowano z prędkością stempla 0,5 cm/min i dwukrotną redukcją przekroju początkowego. W trakcie wyciskania próbki znajdowały się w płaskim stanie odkształcenia.

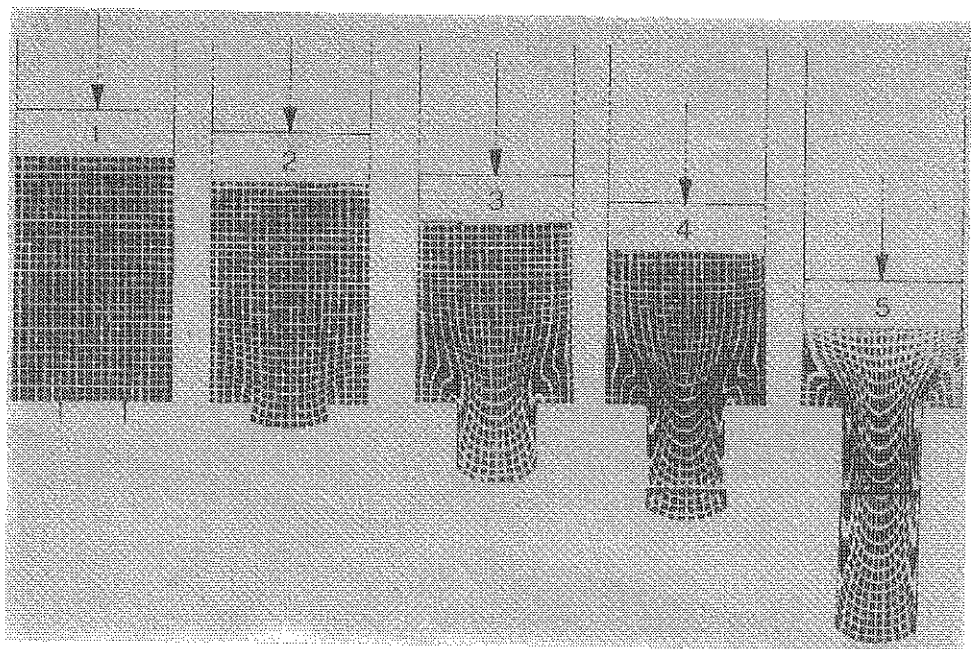
Stan naprężeń w znacznej części obszaru uplastycznienia cechował się trójosiowym nierównomiernym ściskaniem. Na wyjściu z oczka matrycy, obok dwóch składowych naprężeń ściskających, występuje jedna składowa naprężenia rozciągającego. Przed wyciskaniem próbki wewnętrzne ściany pojemnika również smarowano olejem rzepakowym.

Deformacje uprzednio kwadratowych siatek rejestrowano fotograficznie przez przezroczystą szybkę stanowiącą boczną ścianę pojemnika. Pozwala to śledzić proces deformacji cząstek znajdujących się w węzłach siatek. Wyniki badań przedstawiono w wizualnej formie jako ciąg fotografii dla tej samej próbki dającej pełny obraz deformacji niejednorodnego materiału.

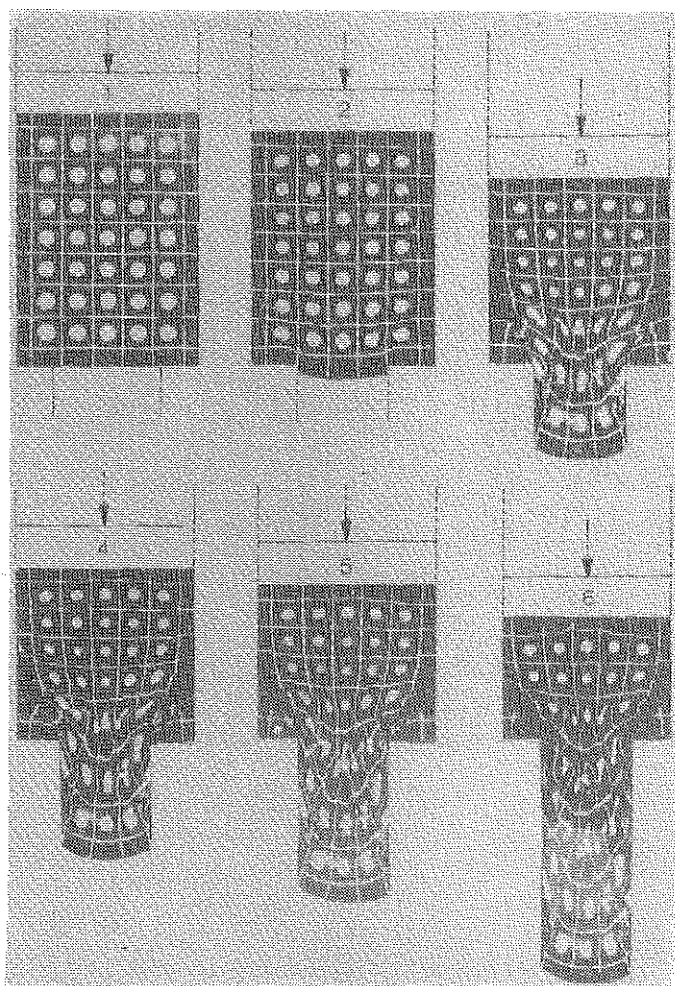
Pokazano kilka wariantów niejednorodnego rozkładu własności mechanicznych w wyjściowej próbce. Dobraną w podany sposób sztuczną niejednorodność materiału w produkcie porównano z obrazami deformacji powstałymi podczas wyciskania próbki jednorodnej.

3. WYNIKI BADAŃ

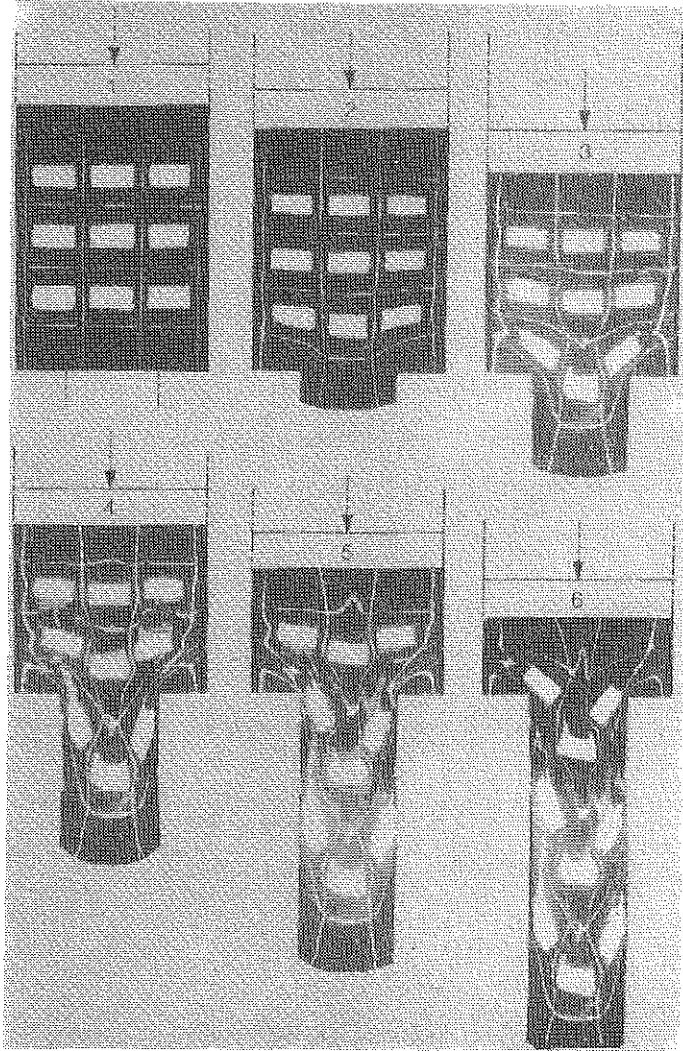
Na rys. 1 pokazano pięć faz procesu wyciskania próbki jednorodnej. Cechą charakterystyczną jest powstawanie strefy martwej w narożach matrycy. Wpływa ona ujemnie na jakość produktu. Linie poprzeczne siatki wyginają się



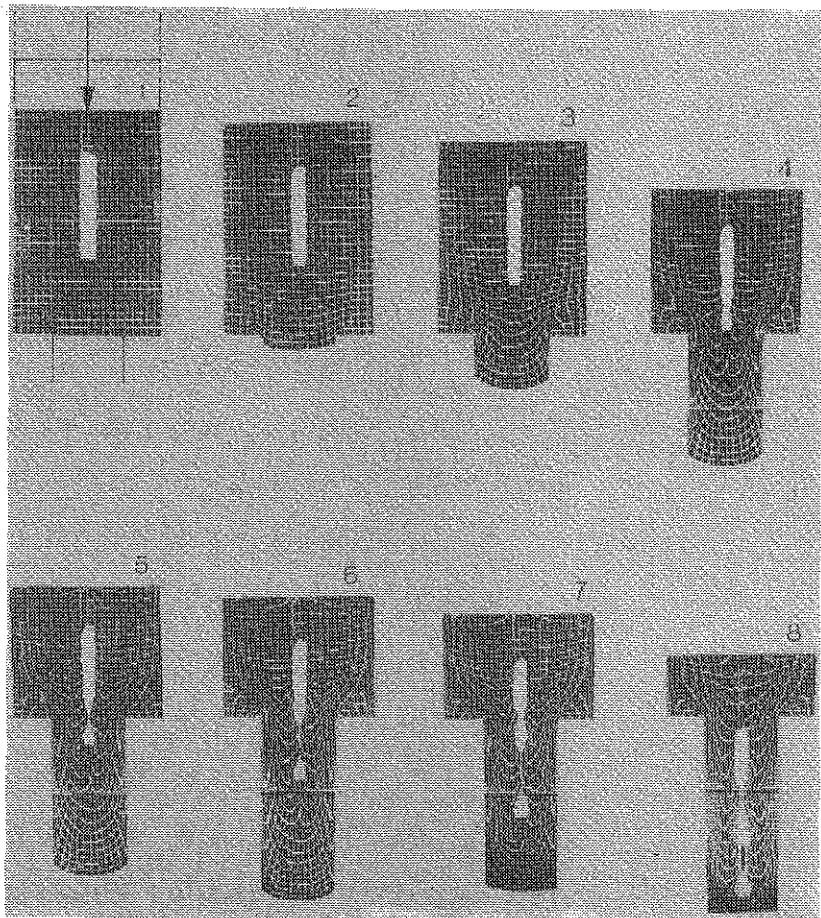
Rys. 1



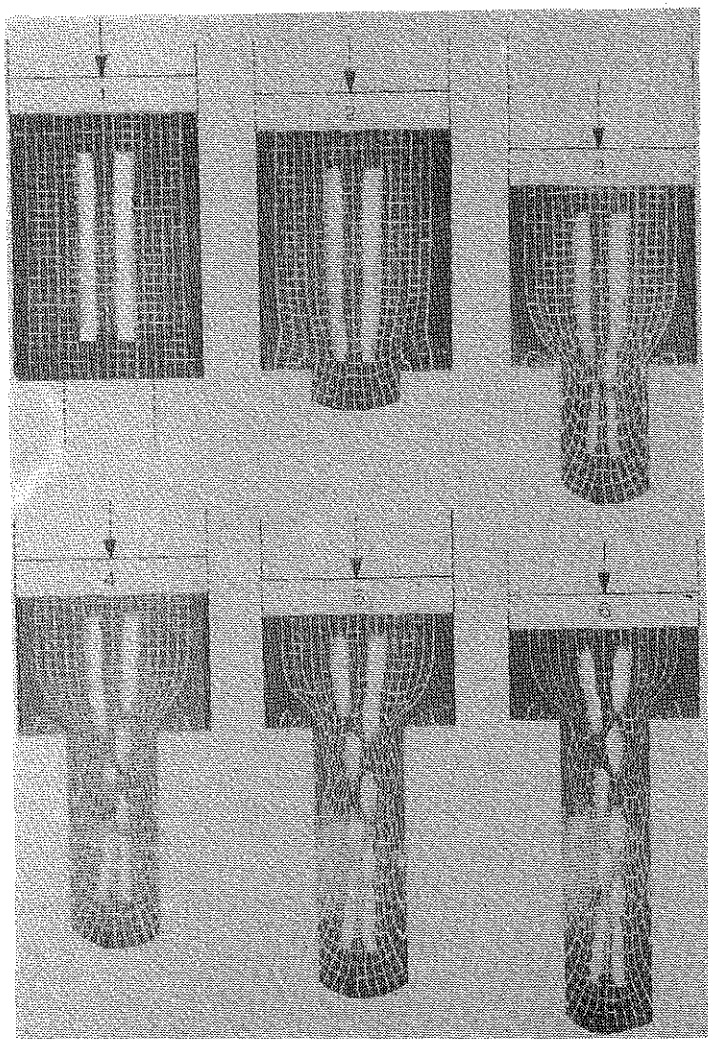
Rys. 2



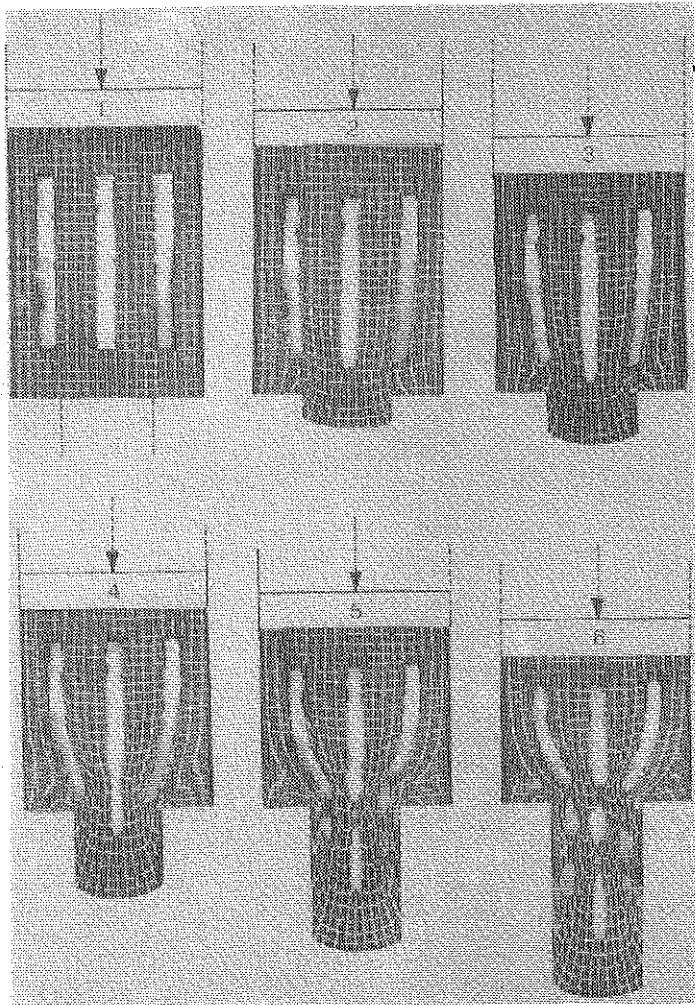
Rys. 3



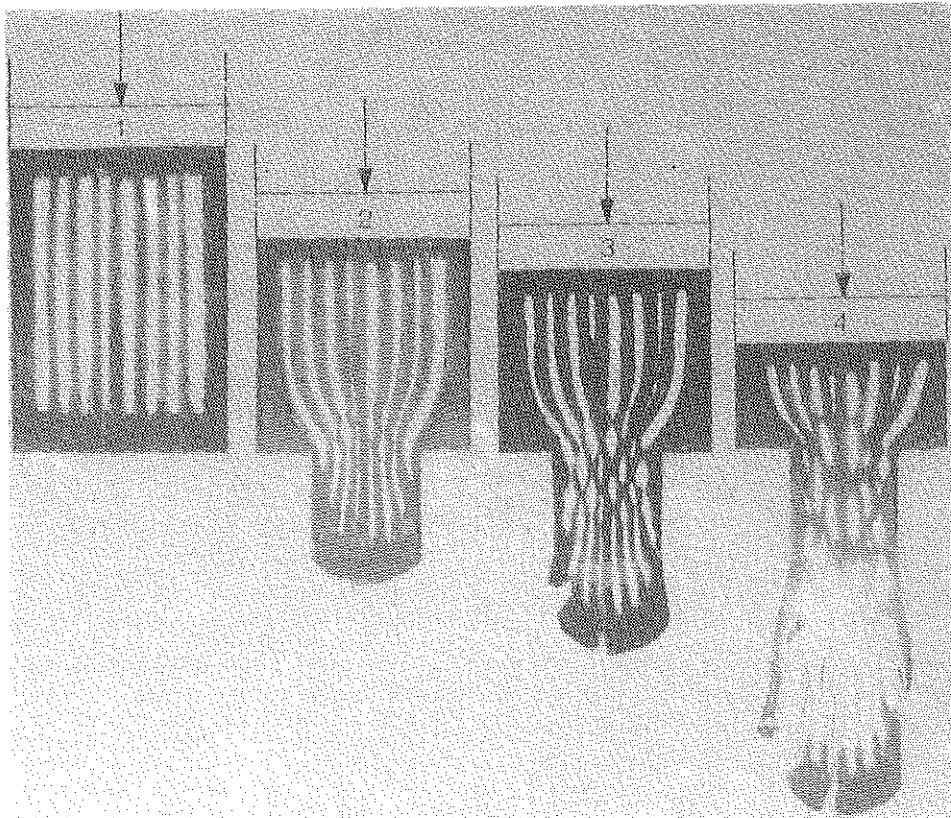
Rys. 4



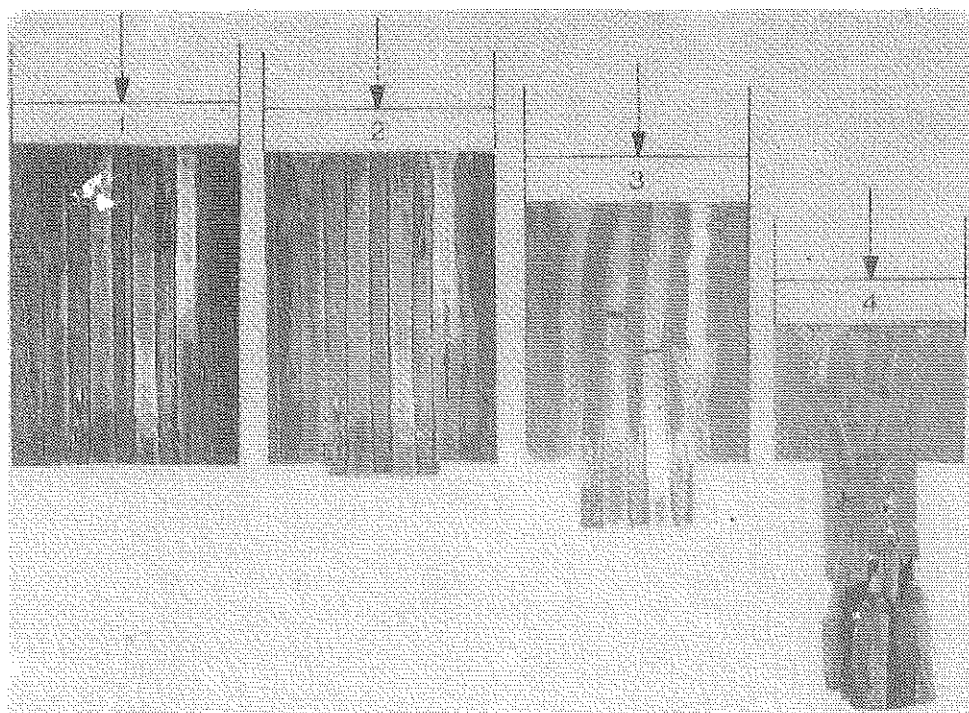
Rys. 5



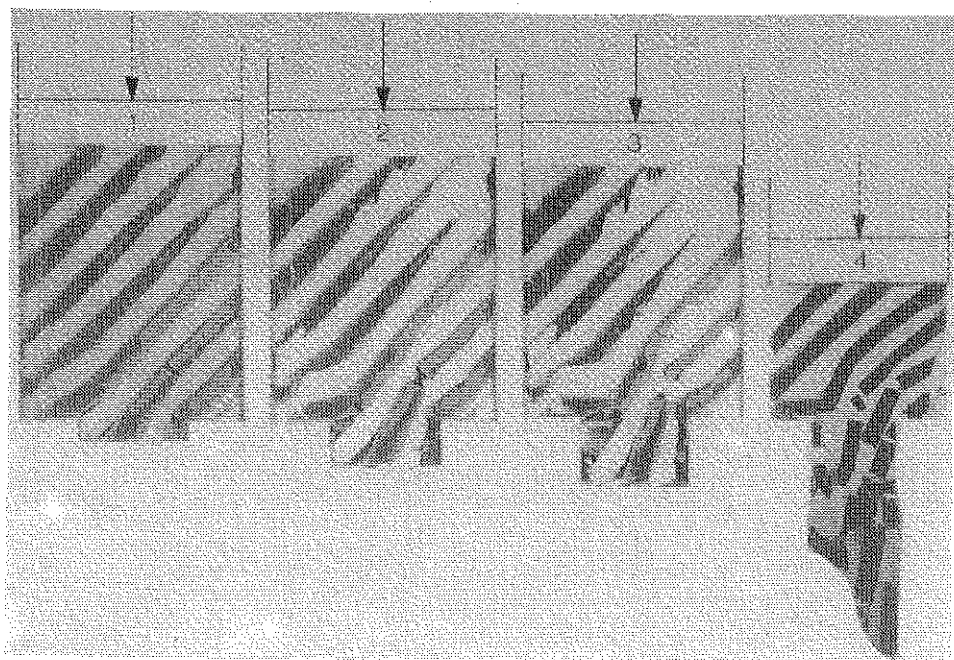
Rys. 6



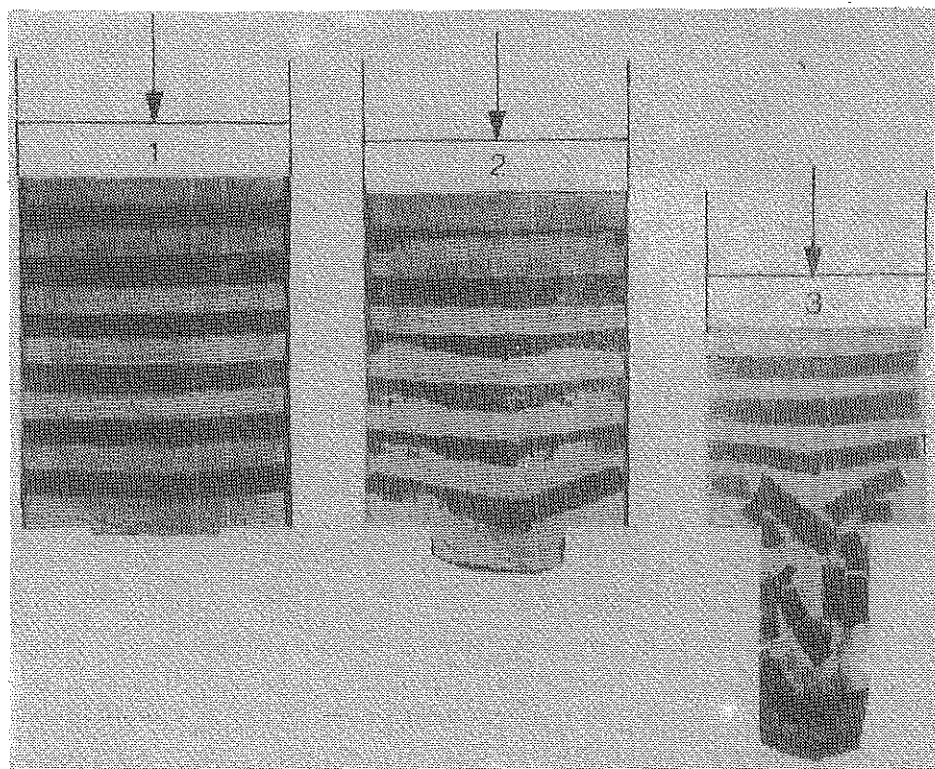
Rys. 7



Rys. 8



Rys. 9



Rys. 10

w kierunku ruchu stempla. Strzałki ugięcia tych linii rosną wzdłuż osi symetrii w kierunku oczka matrycy. Świadczy to o wzroście składowej osiowej prędkości przemieszczeń w tym kierunku. Warstwy materiału przelegające do ścian pojemnika są hamowane w porównaniu do warstw znajdujących się w otoczeniu osi symetrii. Zewnętrznym objawem silnej niejednorodności odkształceń trwałych pozostających w wyrobie są znaczne strzałki ugięcia linii poprzecznych siatki po wyjściu z oczka matrycy.

Na rys. 2 zilustrowano przebieg wyciskania próbki, w której przed deformacją nawiercono układ otworów okrągłych o średnicy 5 mm. Następnie wypełniono je miałem kredowym. Widzimy tu także rozwój i obecność strefy martwej. Linie poprzeczne siatki mają kształt podobny do analogicznych linii w próbce jednorodnej z rys. 1. Można także z dobrym przybliżeniem określić położenie otworów w wyrobie na podstawie obrazu deformacji próbki pełnej.

Na rys. 3 pokazano próbkę, w której wstępną niejednorodność wywołano układem dużych otworów o przekroju prostokątnym, wypełnionym miałem kredowym. Ułożono je na liniach poprzecznych siatki, co obrazuje fotografia pierwsza. W trakcie wyciskania obserwujemy powstawanie strefy martwej w narożach. Linie ułożenia otworów wyginają się w kierunku ruchu stempla wzdłuż osi symetrii. W otoczeniu materiału sypkiego wypełniającego otwory widzimy dużą niejednorodność odkształceń matrycy i plasteliny. Świadczą o tym kształty linii uprzednio kwadratowej siatki. W końcowych etapach na fotografiach piątej i szóstej widzimy duże zniekształcenia otworów w warstwach materiału przelegających do bocznych ścianek pojemnika. Fotografia szósta świadczy o możliwości przewidywania przybliżonej lokalizacji linii poprzecznej zdeformowanych otworów w produkcie na podstawie kształtu takich linii zdeformowanej siatki w próbce jednorodnej z rys. 1.

Zupełnie inny charakter odkształceń obserwujemy w przypadku wstępnej niejednorodności wzdłuż linii równoległych do większej osi symetrii próbki.

Na rys. 4 zestawiono osiem etapów deformacji próbki, w które przed wyciskaniem wykonano na osi symetrii kanał o przekroju prostokątnym i wypełniono go miałem kredowym. Widać to na fotografii pierwszej. Poczynając od fotografii trzeciej widzimy zaginanie się linii poprzecznych siatki pod kanałem w kierunku przeciwnym do ruchu stempla. Przy wejściu w obszar oczka matrycy obserwujemy lokalne zwięzanie się kanału z miałem kredowym. Proces ten ma charakter cykliczny. Potwierdza to fotografia od piątej do ósmej. Przewężanie się kanału z miałem kredowym jest związane z występowaniem nierównomiernego trójosiowego ściskania lub z obecnością jednej składowej rozciągającej tensora naprężenia w kierunku osi kanału. Fotografia ósma przedstawia kształt kanału i zdeformowane linie siatki w produkcie. Kształt ten po wyjściu jest jakościowo inny w porównaniu do kanału wyjściowego. Kształt linii poprzecznych i podłużnych zdeformo-

wanej siatki w sąsiedztwie kanału świadczy o bardzo dużej niejednorodności odkształceń w tym rejonie.

Na rys. 5 przedstawiono sposób deformowania się próbki z dwoma kanałami podłużnymi wypełnionymi miałem kredowym. Już na fotografii trzeciej obserwujemy zjawisko przecinania się lewej strugi materiału w kanale. Strugi te ulegają na przemian cyklicznym przewężeniom aż do całkowitego rozdzielania się. W produkcie, który przedstawia fotografia szósta jako efekt końcowy widzimy porożcinane strugi materiału sypkiego z kanału i bardzo silną niejednorodność odkształceń w otoczeniu pociętych części.

Analogiczne efekty obserwujemy przy wyciskaniu próbek z trzema i ośmioma kanałami wzdłużnymi wypełnionymi miałem kredowym. Ilustrują to rys. 6 i 7.

Podobnie jak w próbce z jednym kanałem, również w obecności wielu kanałów przewężenia strug materiału sypkiego są związane z większymi naprężeniami ściskającymi w kierunku poprzecznym do osi strugi w porównaniu do naprężenia ściskającego działającego wzdłuż jej osi. Na wyjściu z oczka matrycy mogą występować przy tym składowe naprężenie rozciągające wzdłuż osi strugi.

W całości zjawisko przewężenia strug materiału sypkiego aż do ich rozdzielania ma charakter cykliczny i zależy od cech reologicznych matrycy i materiałów wypełniających kanały, a również sił tarcia na kontakcie próbki ze ścianami pojemnika.

Inny typ niejednorodności wyjściowej zademonstrowano na rys. 8, 9 i 10.

Na rys. 8 pokazano próbkę z matrycą plastelinową, w której cztery kanały podłużne wypełniono sztywnymi, kruchymi wkładkami z mydła szarego. Usytuowano je równoległe do osi symetrii próbki. Na fotografii trzeciej obserwujemy pierwsze pęknięcie wkładek. Sposób ułożenia się popękanych fragmentów wkładek w wyrobie i w obszarze uplastycznienia przedstawia fotografia czwarta.

Rys. 9 zawiera cztery fotografie deformacji próbki z matrycą plastelinową, w której kanały były pochylone do osi symetrii pod kątem 45° . Wypełniono je wkładkami kruchymi z mydła szarego. Pęknięcia lokalizują się głównie w otoczeniu oczka matrycy.

Rys. 10 przedstawia trzy etapy deformacji próbki, w której plastelinowa osnowa zawiera kanały poprzeczne do osi symetrii. Wypełniono je również kruchymi wkładkami z mydła szarego. Lokalizacje popękanych fragmentów kruchych wkładek w wyrobie ilustruje fotografia trzecia.

Z rys. 8, 9 i 10 wynika, że ilość fragmentów powstałych w procesie pęknięcia kruchych wkładek podczas wyciskania zależy od orientacji wkładek w próbce wyjściowej. W tym wypadku największą ilość pęknięć kruchych wkładek obserwujemy na fotografii trzeciej z rys. 10, gdzie wkładki usytuowano prostopadle do osi symetrii próbki.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawione przykłady modelowania procesów wyciskania materiałów z określoną sztuczną niejednorodnością materiału wskazują na efektywność tej metody badań.

Wyniki badań mają połową formę. Wnioski z nich wyciągnięte pozwalają przewidywać rozkłady odkształceń i lokalizację wtrąceń w punkcie.

W procesie wyciskania materiału z regularnymi wtrąceniami z tworzywa sypkiego można przewidzieć kształt linii poprzecznej zdeformowanej siatki na podstawie obrazu deformacji próbki jednorodnej.

Okazało się, że postać danej niejednorodności w materiale wyjściowym zmienia formę po wyjściu z obszaru uplastycznienia. Dotyczy to szczególnie wyciskania materiału, w którym wtrącenia miały formę równoległych do osi symetrii próbek ciągłych strug z substancji sypkiej. Po deformacji strugi te uległy rozdzieleniu i przewężeniu.

Najtrudniejszym problemem w tego rodzaju doświadczeniach jest interpretacja wyników badań i sposób ich przenoszenia na materiały rzeczywiste. W danym przypadku można przyjąć, że wnioski wyciągnięte z omawianych badań mają naturę jakościową i można je odnieść do takich rzeczywistych materiałów niejednorodnych, w których matryca ma cechy modelu sztywno-plastycznego.

Wydaje się, że przedstawiony typ doświadczeń modelowych można z powodzeniem stosować do projektowania własności mechanicznych nowych, nieznanych materiałów o różnej przewidywanej niejednorodności.

LITERATURA CYTOWANA W TEKŚCIE

1. Ю. С. САФАРОВ, *О моделировании пластических деформаций*, Кузн. Штамп. Произ., 8, 1974.
2. E. G. THOMSEN, C. T. YANG, S. KOBAYASHI, *Mechanics of plastic deformation in metal processing*, Mac Millan, New York, 1965.
3. T. Z. BLAZYNSKI, *Metal forming: tool profiles and flow*. The Mac Millan Press, London 1976.
4. И. Л. ПЕРЛИН, Л. Х. РАЙМТБАРГ, *Теория прессования металлов*, Металлургия, Москва 1975.
5. *Пластическая деформация нерядовых металлических материалов*, Изд. Наука, 1976.
6. Л. Н. МОГУЧИЙ, *Обработка давлением труднодеформируемых материалов*, Изд. Машиностроение, 1976.
7. I. NYLA, *Wybrane zagadnienia z inżynierii materiałów kompozytowych*, PWN, Warszawa 1978.

РЕЗЮМЕ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫДАВЛИВАНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В работе представлены и обсуждены изображения течения пластического материала с определенной искусственным образом неоднородностью, подвергнутого процессу прямого выдавливания. Выдавливание реализовалось на образцах с пластилиновой матрицей (основой). Применены три варианта исходной неоднородности. В первом, в матрице изготовлены регулярные отверстия, которые затем заполнялись сыпучей субстанцией. Во втором варианте наносились каналы с прямоугольным сечением параллельно главной оси образца. Эти каналы выполнялись сыпучим материалом (меловой мелочью). Третий вариант заключался в заполнении резным образом ориентированных каналов в матрице вкладышами из хрупкого, жесткого материала, которым являлось зеленое мыло. В процессе исследований оказалось, что вид, начально подобранной неоднородности в материале, качественно изменяет форму после выхода из пластической области.

SUMMARY

MODELLING OF EXTRUSION PROCESS OF NONHOMOGENEOUS MATERIALS

The paper deals with the form of plastic flow of materials with prescribed (artificial) nonhomogeneity subject to the forward extrusion process. Three variants of initial nonhomogeneity are discussed. In the first case, regular powder-filled holes are made in the die. Next, rectangular channels parallel to the principal axis of the specimen are drilled; the channels are then filled with fine chalk powder. In the third variant, differently orientned channels are filled with brittle green soap inserts. It is shown that the initial form of nonhomogeneity of the material is qualitatively changed in the process of yielding.

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA
INSTYTUT MECHANIKI, BIAŁYSTOK

Praca została złożona w Redakcji dnia 8 maja 1986 r.