

## Sposób wyznaczania własności plastycznych

Przedmiotem wynalazku jest sposób wyznaczania własności plastycznych, zwłaszcza metali i ich stopów metodą walcowania poprzecznego narzędziami płaskimi.

Dotychczas znanych jest szereg sposobów wyznaczania własności plastycznych materiałów. Bazują one na jednej z trzech podstawowych metod badawczych: rozciąganiu, ściskaniu i skręcaniu. Różnice między poszczególnymi sposobami wynikają głównie z kształtu próbek wykorzystywanych w badaniach, z których najczęściej stosowane opisano w artykule: H. Li, M.W. Fu, J. Lu, H. Yang „Pękanie ciągliwe: eksperymenty i obliczenia”, *International Journal of Plasticity*, vol. 27, 2011 r., s. 147-180. Próba rozciągania polega na jednoosiowym rozciąganiu próbki o walcowej lub płaskiej części pomiarowej. Zasadniczą zaletą tej próby jest prostota jej wykonania. Dużym ograniczeniem stosowania próby rozciągania jest szybka utrata stateczności próbki. Próba ściskania polega na jednoosiowym ściskaniu próbki płaskiej lub cylindrycznej między płaskimi kowadłami. Występowanie tarcia na powierzchni kontaktu materiał-narzędzie jest przyczyną niejednorodności w rozkładzie naprężeń i odkształceń w próbce, co powoduje, że wyniki z próby ściskania obarczone są pewnym błędem trudnym do oszacowania. Próba skręcania pozwala na określenie własności plastycznych materiału w zakresie bardzo dużych odkształceń. Brak bezpośredniego kontaktu pomiędzy narzędziem a częścią pomiarową próbki eliminuje negatywny wpływ tarcia. Do wad tej metody oceny własności plastycznych materiału zalicza się: niejednorodność rozkładu odkształcenia i prędkości odkształcenia, brak standaryzacji warunków prowadzenia oraz interpretacji wyników próby skręcania, duży koszt wykonania próbek. Bardziej szczegółowy opis metod wyznaczania własności plastycznych materiału, w szczególności w

- zakresie kształtów i wymiarów stosowanych próbek, wzorów przeliczeniowych służących do określenia odkształceń i naprężeń oraz maszyn wykorzystywanych w badaniach opisana jest w opracowaniach: Z. Pater, A. Gontarz, W. Weroński „Obróbka Plastyczna. 5 Obliczenia sił kształtowania”, Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2002 r. lub H. Dyja, A. Gałkin, M. Knapieński „Reologia metali odkształcanych plastycznie”, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2010 r.

Znany jest sposób obciskania obrotowego, który realizowany jest w procesach walcowania poprzecznego na płaskich beczkach walców.

10 Szczegółowo istotę procesu obciskania obrotowego opisano w literaturze autorstwa Z. Pater pt. „Walcowanie poprzeczno-klinowe”, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2009, str. 39 – 82. Jak podaje autor proces obciskania obrotowego można zrealizować za pomocą dwóch narzędzi takich jak: walce, szczęki płaskie i wklęsłe lub

15 trzy walce. Przedstawiona w książce analiza stanu naprężeń w trakcie obciskania obrotowego pokazuje, że naprężenia rozłożone są nierównomiernie w przekroju poprzecznym półwyrobu. Mianowicie naprężenia ściskające lokalizują się w obszarze kontaktu narzędzi w strefach przypowierzchniowych i zwiększają się w miarę zbliżania się

20 do osi wzdłużnej odkuwki. Natomiast naprężenia działające w kierunku równoległym do powierzchni styku materiał – narzędzie w osi półwyrobu mają charakter rozciągający. W większości przypadków kształtowania warstwy materiału w strefie centralnej odkuwki w kierunku normalnym do powierzchni narzędzi podlegają ściskaniu,

25 natomiast w kierunku prostopadłym do kierunku normalnego – rozciąganiu. Po wykonaniu przez półfabrykat 1/4 obrotu warstwy rozciągane podlegają ściskaniu, a ściskane rozciąganiu. Występowanie w strefie osiowej cyklicznie zmieniającego się stanu naprężenia może doprowadzić do powstawania pęknięć zmęczeniowych, co może być

wykorzystane do wyznaczania własności plastycznych metali i ich stopów.

Z opisu patentowego nr PL 220786 znany jest sposób wyznaczania własności plastycznych materiałów metodą obciskania 5 obrotowymi narzędziami płaskimi. Metoda polega na obciskaniu próbki w kształcie krążka płaskimi powierzchniami przemieszczających się narzędzi. Miarą własności plastycznych jest liczba cykli zmian obciążeń, która powoduje pękanie materiału. Opisana w patencie metoda jest stosunkowo prosta do realizacji, jednak z uwagi na 10 niewielką wysokość próbki w stosunku do jej średnicy nie może być stosowana do wyznaczania własności plastycznych materiałów podczas typowych procesów walcowania poprzecznego, gdzie najczęściej długość walcowanego elementu stanowi wielokrotność jego średnicy.

15 Dotychczas znane i stosowane metody wyznaczania własności plastycznych metali i ich stopów odnoszą się do prostych schematów odkształcenia. Dlatego też celem wynalazku jest opracowanie metody wyznaczania własności plastycznych metali i ich stopów przy złożonej kinematyce płynięcia materiału.

20 Istotą sposobu wyznaczania własności plastycznych, zwłaszcza metali i ich stopów metodą walcowania poprzecznego narzędziami płaskimi według wynalazku jest to, że próbkę nagrzewa się do temperatury powyżej temperatury rekrytalizacji, przy czym próbka ma kształt stopniowanego wałka o cylindrycznym stopniu wewnętrznym, 25 którego długość jest większa od średnicy cylindrycznego stopnia wewnętrznego oraz dwóch stożkowych stopni skrajnych, których tworzące pochylone są pod jednakowymi kątami w kierunku powierzchni czołowych próbki, tworząc dwa ścięte stożki, których średnica dwóch zewnętrznych powierzchni czołowych jest mniejsza od 30 średnicy cylindrycznego stopnia wewnętrznego, następnie nagrzaną

próbki umieszcza się w strefie wejściowej dolnego narzędzia płaskiego i górnego narzędzia płaskiego, zaś położenie próbki ustala się przy pomocy cylindrycznego gniazda znajdującego się na początku dolnego narzędzia płaskiego, następnie wprawia się dolne narzędzie płaskie i 5 górne narzędzie płaskie w przeciwbieżne ruchy postępowe z jednakowymi prędkościami i przemieszcza się dolne narzędzie płaskie i górne narzędzie płaskie nad próbką, po czym oddziałuje się na cylindryczny stopień wewnętrzny próbki pochyłymi powierzchniami, znajdującymi się na dolnym narzędziu płaskim i górnym narzędziu 10 płaskim i wprawia się próbkę w ruch obrotowy, następnie obciska się obrotowo płaskimi powierzchniami dolnego narzędzia płaskiego i górnego narzędzia płaskiego cylindryczny stopień wewnętrzny próbki i jednocześnie redukuje się średnicę cylindrycznego stopnia wewnętrznego próbki oraz dwóch skrajnych stopni stożkowych do 15 średnicy dwóch zewnętrznych powierzchni czołowych skrajnych stopni stożkowych próbki i uzyskuje się cylindryczny pręt, przy czym w trakcie obciskania obrotowego próbki wywołuje się w cylindrycznym stopniu wewnętrznym próbki oraz dwóch skrajnych stopniach stożkowych próbki w ich strefie osiowej naprzemienne ściskanie i rozciąganie i 20 doprowadza się do wewnętrznego pęknięcia materiału wzdłuż osi ukształtowanego pręta cylindrycznego, następnie określa się odległości początków pęknięcia od dwóch powierzchni czołowych cylindrycznego pręta, przy czym miarą własności plastycznych materiału jest minimalna wartość gniotu, którą określa się na podstawie średnicy na 25 dwóch skrajnych stopniach stożkowych próbki, przy której rozpoczyna się pęknięcie przy minimalnej długości od powierzchni czołowych. Górne narzędzie płaskie wprawia się w ruch postępowy ze stałą prędkością i przemieszcza się górne narzędzie płaskie nad dolnym narzędziem płaskim, zaś dolne narzędzie płaskie pozostaje 30 nieruchome. Dolne narzędzie płaskie wprawia się w ruch postępowy ze

stałą prędkością i przemieszcza się dolne narzędzie płaskie pod górnym narzędziem płaskim, zaś górne narzędzie płaskie pozostaje nieruchome. Ukształtowany cylindryczny pręt prześwietla się promieniami rentgenowskimi i określa się położenie pęknięcia wewnętrznego na dwóch skrajnych stopniach stożkowych. Ukształtowany cylindryczny pręt frezuje się do połowy średnicy wzdłuż osi pręta, a następnie określa się położenie pęknięcia wewnętrznego na stopniach stożkowych.

Korzystnym skutkiem wynalazku jest to, że pozwala na wyznaczenie własności plastycznych materiału dla dużo większych zakresów odkształcenia niż w dotychczas stosowanych metodach bazujących na jednoosiowym rozciąganiu lub ściskaniu. Przy tym koszt wykonania próbek jest dużo mniejszy niż w przypadku próbek stosowanych w plastometrycznych próbach skręcania. Sposób według wynalazku nie wymaga stosowania specjalnych maszyn pomiarowych, można go zrealizować w oparciu o maszyny uniwersalne, w których narzędzia wykonują ruch posuwisto-zwrotny np.: na prasach, na walcarkach poprzecznych, strugarkach i szlifierkach. Kolejnym korzystnym skutkiem wynalazku jest to, że sposób realizacji testu jest zbliżony do warunków rzeczywistych występujących podczas walcowania poprzecznego wyrobów, co pozwala na dokładne określenie własności materiałów w takich procesach. Wynalazek jest uniwersalny i może być stosowany do wszystkich metali i stopów przeznaczonych do obróbki plastycznej.

Wynalazek, został przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia widok z boku narzędzi i próbki w początkowym etapie testu, fig. 2 widok narzędzi i próbki z góry w początkowym etapie testu, fig. 3 widok izometryczny narzędzi i próbki w początkowym etapie testu, fig. 4 widok z boku narzędzi i próbki w końcowym etapie testu, fig. 5 widok izometryczny narzędzi i próbki w

końcowym etapie testu, fig. 6a widok próbki przed testem, zaś fig. 6b widok próbki po przeprowadzonym teście.

Sposób wyznaczania własności plastycznych, zwłaszcza metali i ich stopów metodą walcowania poprzecznego narzędziami płaskimi polegał na tym, że stalową próbkę 8 nagrzewano do temperatury powyżej temperatury rekrytalizacji, wynoszącej 1000 °C. Próbka 8 miała kształt stopniowanego wałka o cylindrycznym stopniu wewnętrznym 8a, którego długość  $L_1$  wynosiła 90 mm i była większa od średnicy  $d = 40$  mm cylindrycznego stopnia wewnętrznego 8a, oraz dwóch stożkowych stopni skrajnych 8b. Tworzące dwóch stożkowych stopni skrajnych 8b pochylone były pod jednakowymi kątami  $\alpha = 10^\circ$  w kierunku powierzchni czołowych próbki 8, tworząc dwa ścięte stożki. Średnica  $d = 30$  mm dwóch zewnętrznych powierzchni czołowych była mniejsza od średnicy do cylindrycznego stopnia wewnętrznego 8a. Natomiast całkowita długość początkowa  $L_0$  próbki 8 wynosiła 240 mm. Następnie nagrzaną próbkę 8 umieszczano w strefie wejściowej dolnego narzędzia płaskiego 1 i górnego narzędzia płaskiego 2, zaś położenie próbki 8 ustalano przy pomocy cylindrycznego gniazda 7 znajdującego się na początku dolnego narzędzia płaskiego 1. Następnie wprawiano dolne narzędzie płaskie 1 i górne narzędzie płaskie 2 w przeciwbieżne ruchy postępowe z jednakowymi prędkościami  $V$ , wynoszącymi 250 mm/s i przemieszczano dolne narzędzie płaskie 1 i górne narzędzie płaskie 2 nad próbką 8. W wyniku czego oddziaływano na cylindryczny stopień wewnętrzny 8a próbki 8 pochyłymi powierzchniami 3 i 5, znajdującymi się na dolnym narzędziu płaskim 1 i górnym narzędziu płaskim 2, wprawiając próbkę 8 w ruch obrotowy. Przy czym kąt wzniosu  $\gamma$  pochyłych powierzchni 3 i 5, znajdujących się na dolnym narzędziu płaskim 1 i górnym narzędziu płaskim 2 był jednakowy i wynosił  $2^\circ$ . Następnie obciskano obrotowo

5 płaskimi powierzchniami 4 i 6 dolnego narzędzia płaskiego 1 i górnego narzędzia płaskiego 2 cylindryczny stopień wewnętrzny 8a próbki 8 i jednocześnie zredukowano średnicę do cylindrycznego stopnia wewnętrznego 8a próbki 8 oraz dwóch skrajnych stopni stożkowych 8b do średnicy  $d = 30$  mm dwóch zewnętrznych powierzchni czołowych skrajnych stopni stożkowych 8b próbki 8. W rezultacie uzyskiwano cylindryczny pręt 9 o długości  $L = 280$  mm. W trakcie obciskania obrotowego próbki 8 wywoływano w cylindrycznym stopniu wewnętrznym 8a próbki 8 oraz dwóch skrajnych stopniach stożkowych 10 8b próbki 8 w ich strefie osiowej naprzemienne ściskanie i rozciąganie, w wyniku czego doprowadzano do wewnętrznego pęknięcia materiału wzdłuż osi ukształtowanego pręta cylindrycznego 9. Następnie prześwietlano promieniami rentgenowskimi ukształtowany pręt cylindryczny 9 i określano odległości  $L_p$  początków pęknięcia od dwóch 15 powierzchni czołowych cylindrycznego pręta 9. Miarą własności plastycznych materiału jest minimalna wartość gniotu, którą określano na podstawie średnicy  $d_p$  na dwóch skrajnych stopniach stożkowych 8b próbki 8, przy której rozpoczyna się pęknięcie, odpowiadające minimalnej długości od powierzchni czołowych  $L_p$ . Na tej podstawie 20 określono, że badany materiał może być odkształcany w procesie walcowania poprzecznego dwoma narzędziami płaskimi bez niebezpieczeństwa powstania pęknięć wewnętrznych z gniotem nie większym niż 1,2.

POLITECHNIKA LUBELSKA  
Biuro Rzecznika Patentowego  
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin  
tel. 51 533 41 30, fax 51 533 41 70

RZECZNIK PATENTOWY

*mgr inż. Tomasz Milczek*  
Nr ew. 2796