

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **239637**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **429889**

(22) Data zgłoszenia: **10.05.2019**

(51) Int.Cl.

G01N 3/32 (2006.01)

G01N 3/54 (2006.01)

G01N 3/42 (2006.01)

(54)

Sposób wyznaczania własności plastycznych

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

16.11.2020 BUP 24/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

20.12.2021 WUP 38/21

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA LUBELSKA, Lublin, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:

ZBIGNIEW PATER, Lublin, PL

JANUSZ TOMCZAK, Kalinówka, PL

(74) Pełnomocnik:

rzec. pat. Tomasz Milczek

PL 239637 B1

Opis wynalazku

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

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. 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. 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 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 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, 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 obrotowego 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 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.

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.

Istotą sposobu wyznaczania własności plastycznych, zwłaszcza metali i ich stopów metodą walcowania poprzecznego narzędziami obrotowymi według wynalazku jest to, że próbkę nagrzewa się do

temperatury powyżej temperatury rekrytalizacji, przy czym próbka ma kształt stopniowanego wałka o cylindrycznym stopniu wewnętrznym, 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 średnicy cylindrycznego stopnia wewnętrznego, następnie nagrzaną próbkę umieszcza się w strefie wejściowej walca górnego i walca dolnego, zaś położenie próbki ustala się przy pomocy dwóch prowadnic, które znajdują się po obu stronach próbki między walcem górnym i walcem dolnym, następnie wprawia się walec górny i walec dolny w ruch obrotowy z jednakowymi prędkościami w tym samym kierunku, po czym oddziałuje się na cylindryczny stopień wewnętrzny próbki spiralną powierzchnią, która znajduje się w strefie wejściowej walca górnego, oraz spiralną powierzchnią, która znajduje się w strefie wejściowej walca dolnego i wprawia się próbkę w ruch obrotowy, następnie obciska się obrotowo walcowymi powierzchniami walca górnego i walca dolnego cylindryczny stopień wewnętrzny próbki i jednocześnie redukuje się średnicę cylindrycznego stopnia wewnętrznego próbki oraz dwóch skrajnych stopni stożkowych do 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 doprowadza się do wewnętrznego pęknięcia materiału wzdłuż osi ukształtowanego pręta cylindrycznego, po czym usuwa się ukształtowany pręt cylindryczny w gnieździe, znajdującym się w walcu dolnym, 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 dwóch skrajnych stopniach stożkowych próbki, przy której rozpoczyna się pęknięcie przy minimalnej długości od powierzchni czołowych. 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 ścisaniu. 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 narzędzi i próbki z góry w końcowym etapie testu, fig. 6 – widok izometryczny narzędzi i próbki w końcowym etapie testu, fig. 7a – widok próbki przed testem, zaś fig. 7b – widok próbki po przeprowadzonym teście.

Sposób wyznaczania własności plastycznych, zwłaszcza metali i ich stopów metodą walcowania poprzecznego narzędziami obrotowymi polegał na tym, że stalową próbkę 7 nagrzewano do temperatury powyżej temperatury rekrytalizacji, wynoszącej 1000°C. Próbka 7 miała kształt stopniowanego wałka o cylindrycznym stopniu wewnętrznym 7a, którego długość L_1 wynosiła 90 mm i była większa od średnicy $d = 40$ mm cylindrycznego stopnia wewnętrznego 7a, oraz dwóch stożkowych stopni skrajnych 7b. Tworzące dwóch stożkowych stopni skrajnych 7b pochylone były pod jednakowymi kątami $\alpha = 10^\circ$ w kierunku powierzchni czołowych próbki 7, tworząc dwa ścięte stożki. Średnica $d = 30$ mm dwóch zewnętrznych powierzchni czołowych była mniejsza od średnicy do cylindrycznego stopnia wewnętrznego 7a. Natomiast całkowita długość początkowa L_0 próbki 7 wynosiła 240 mm. Następnie nagrzaną próbkę 7 umieszczano w strefie wejściowej walca górnego 1 i walca dolnego 2. Przy czym powierzchnie robocze walca górnego 1 i walca dolnego 2 składały się ze spiralnych powierzchni 5a i 6a, znajdujących się na początku walca górnego 1 i walca dolnego 2, które zwiększały swoją wysokość od

średnicy $D_0 = 270$ mm do średnicy $D = 280$ mm na długości obwodu strefy wejściowej, który opisany był kątem opasania $\gamma = 100^\circ$. Za spiralnymi powierzchniami 5a i 6a znajdowały się walcowe powierzchnie 5b i 6b o średnicy $D = 270$ mm. W strefie końcowej walców za walcowymi powierzchniami 5b i 6b znajdowały się gniazda 5c i 6c, do usuwania ukształtowanych prętów 8 z narzędzi. Położenie próbki 7 ustalano przy pomocy dwóch prowadnic 3 i 4, które znajdowały się po obu stronach próbki 7, między walcem górnym 1 i walcem dolnym 2. Następnie wprawiano walec górny 1 i walec dolny 2 w ruch obrotowy z jednakowymi prędkościami $n = 15$ obr/min w tym samym kierunku. Po czym oddziaływano na cylindryczny stopień wewnętrzny 7a próbki 7 spiralną powierzchnią 5a, która znajduje się w strefie wejściowej walca górnego 1, oraz spiralną powierzchnią 6a, która znajduje się w strefie wejściowej walca dolnego 2, w wyniku czego wprawiano próbkę 7 w ruch obrotowy w przeciwnym kierunku do obrotów walca górnego 1 i walca dolnego 2. Następnie obciskano obrotowo walcowymi powierzchniami 5b i 6b walca górnego 1 i walca dolnego 2 cylindryczny stopień wewnętrzny 7a próbki 7 i jednocześnie redukowano średnicę do cylindrycznego stopnia wewnętrznego 7a próbki 7 oraz dwóch skrajnych stopni stożkowych 7b do średnicy d dwóch zewnętrznych powierzchni czołowych skrajnych stopni stożkowych 7b próbki 7, uzyskując cylindryczny pręt 8 o długości $L = 280$ mm. W trakcie obciskania obrotowego próbki 7 wywoływano w cylindrycznym stopniu wewnętrznym 7a próbki 7 oraz dwóch skrajnych stopniach stożkowych 7b próbki 7 w ich strefie osiowej naprzemienne ściskanie i rozciąganie, w wyniku czego doprowadzano do wewnętrznego pęknięcia materiału wzdłuż osi ukształtowanego pręta cylindrycznego 8. Następnie prześwietlano promieniami rentgenowskimi ukształtowany pręt cylindryczny 8 i określano odległości L_p początków pęknięcia od dwóch powierzchni czołowych cylindrycznego pręta 8. Miarą własności plastycznych materiału jest minimalna wartość gniotu, którą określano na podstawie średnicy d_p na dwóch skrajnych stopniach stożkowych 7b próbki 7, przy której rozpoczyna się pęknięcie, odpowiadające minimalnej długości od powierzchni czołowych L_p . Na tej podstawie określono, że badany materiał może być odkształcany w procesie walcowania poprzecznego dwoma narzędziami obrotowymi bez niebezpieczeństwa powstania pęknięć wewnętrznych z gniotem nie większym niż 1,2.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wyznaczania własności plastycznych, zwłaszcza metali i ich stopów metodą walcowania poprzecznego narzędziami obrotowymi **znamienny tym**, że próbkę (7) nagrzewa się do temperatury powyżej temperatury rekrytalizacji, przy czym próbka (7) ma kształt stopniowanego wałka o cylindrycznym stopniu wewnętrznym (7a), którego długość (L_1) jest większa od średnicy (d_0) cylindrycznego stopnia wewnętrznego (7a) oraz dwóch stożkowych stopni skrajnych (7b), których tworzące pochylone są pod jednakowymi kątami (α) w kierunku powierzchni czołowych próbki (7), tworząc dwa ścięte stożki, których średnica (d) dwóch wewnętrznych powierzchni czołowych jest mniejsza od średnicy (d_0) cylindrycznego stopnia wewnętrznego (7a), następnie nagrzaną próbkę (7) umieszcza się w strefie wejściowej walca górnego (1) i walca dolnego (2), zaś położenie próbki (7) ustala się przy pomocy dwóch prowadnic (3) i (4), które znajdują się po obu stronach próbki (7) między walcem górnym (1) i walcem dolnym (2), następnie wprawia się walec górny (1) i walec dolny (2) w ruch obrotowy z jednakowymi prędkościami (n) i w tym samym kierunku, po czym oddziałuje się na cylindryczny stopień wewnętrzny (7a) próbki (7) spiralną powierzchnią (5a), która znajduje się w strefie wejściowej walca górnego (1) oraz spiralną powierzchnią (6a), która znajduje się w strefie wejściowej walca dolnego (2) i wprawia się próbkę (7) w ruch obrotowy, następnie obciska się obrotowo walcowymi powierzchniami (5b) i (6b) walca górnego (1) i walca dolnego (2) cylindryczny stopień wewnętrzny (7a) próbki (7) i jednocześnie redukuje się średnicę (d_0) cylindrycznego stopnia wewnętrznego (7a) próbki (7) oraz dwóch skrajnych stopni stożkowych (7b) do średnicy (d) dwóch zewnętrznych powierzchni czołowych skrajnych stopni stożkowych (7b) próbki (7) i uzyskuje się cylindryczny pręt (8), przy czym w trakcie obciskania obrotowego próbki (7) wywołuje się w cylindrycznym stopniu wewnętrznym (7a) próbki (7) oraz dwóch skrajnych stopniach stożkowych (7b) próbki (7) w ich strefie osiowej naprzemienne ściskanie i rozciąganie i doprowadza się do wewnętrznego pęknięcia materiału wzdłuż osi ukształtowanego pręta cylindrycznego (8), po czym usuwa się ukształtowany pręt cylindryczny (8) w gnieździe (6c), znajdującym się w walcu dolnym (2), następnie określa się odległości (L_p) początków pęknięcia od dwóch powierzchni czołowych cylindrycznego pręta (8),

- przy czym miarą własności plastycznych materiału jest minimalna wartość gniotu, którą określa się na podstawie średnicy (d_p) na dwóch skrajnych stopniach stożkowych (7b) próbki (7), przy której rozpoczyna się pęknięcie przy minimalnej długości od powierzchni czołowych (L_p).
2. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że ukształtowany cylindryczny pręt (8) prześwietla się promieniami rentgenowskimi i określa się położenie pęknięcia wewnętrznego na dwóch skrajnych stopniach stożkowych (7b).
 3. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że ukształtowany cylindryczny pręt (8) frezuje się do połowy średnicy wzdłuż osi pręta (8), a następnie określa się położenie pęknięcia wewnętrznego na stopniach stożkowych (7b).

Rysunki

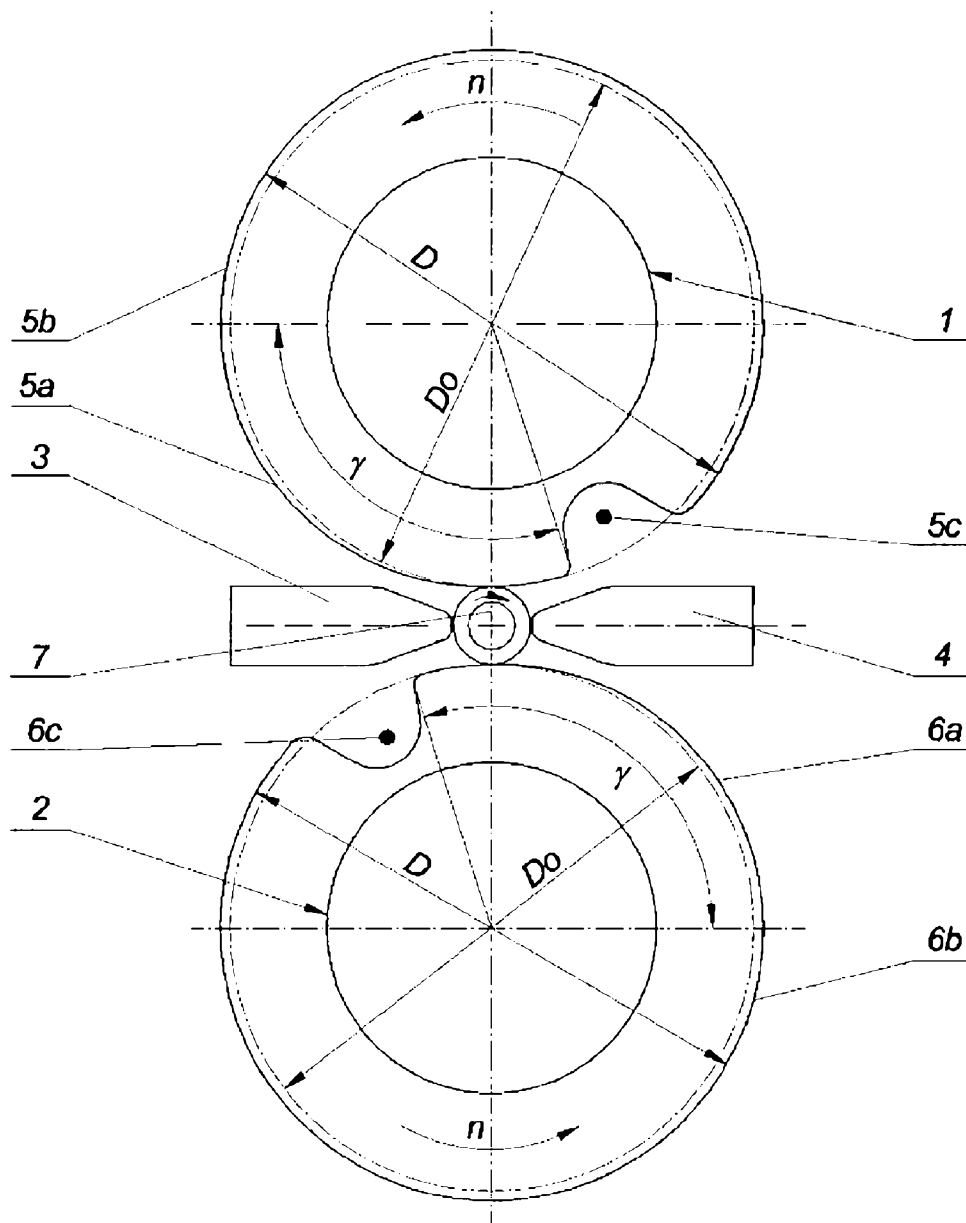


Fig. 1

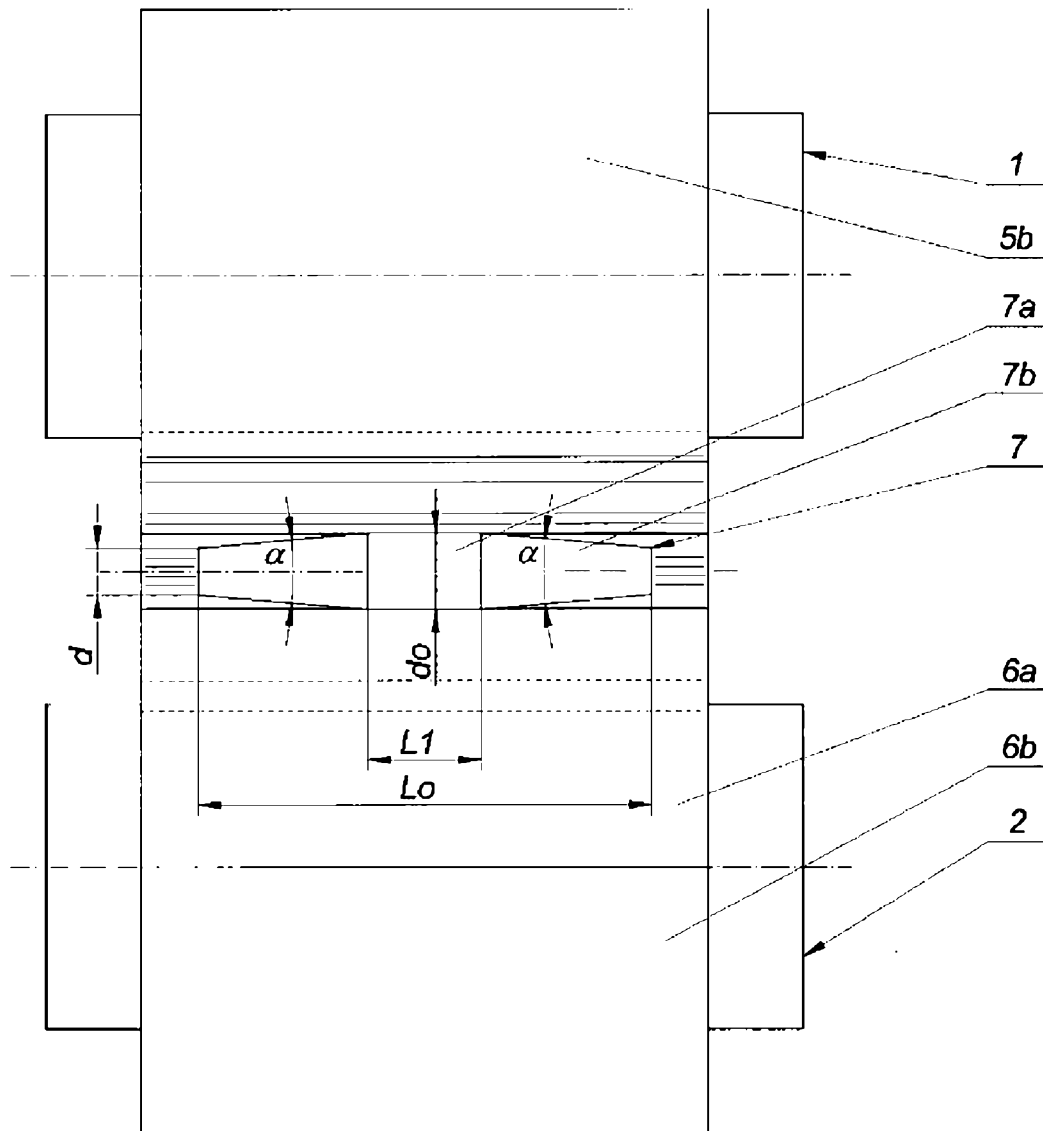


Fig. 2

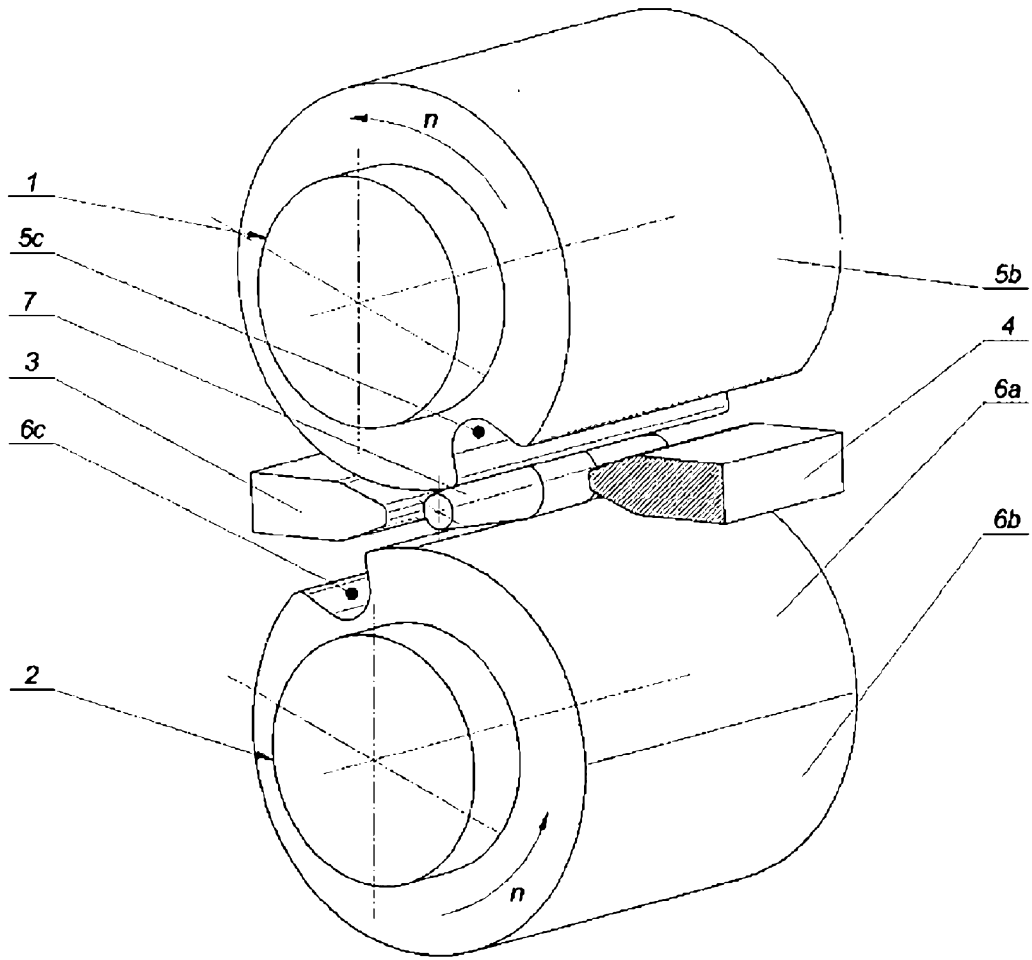


Fig. 3

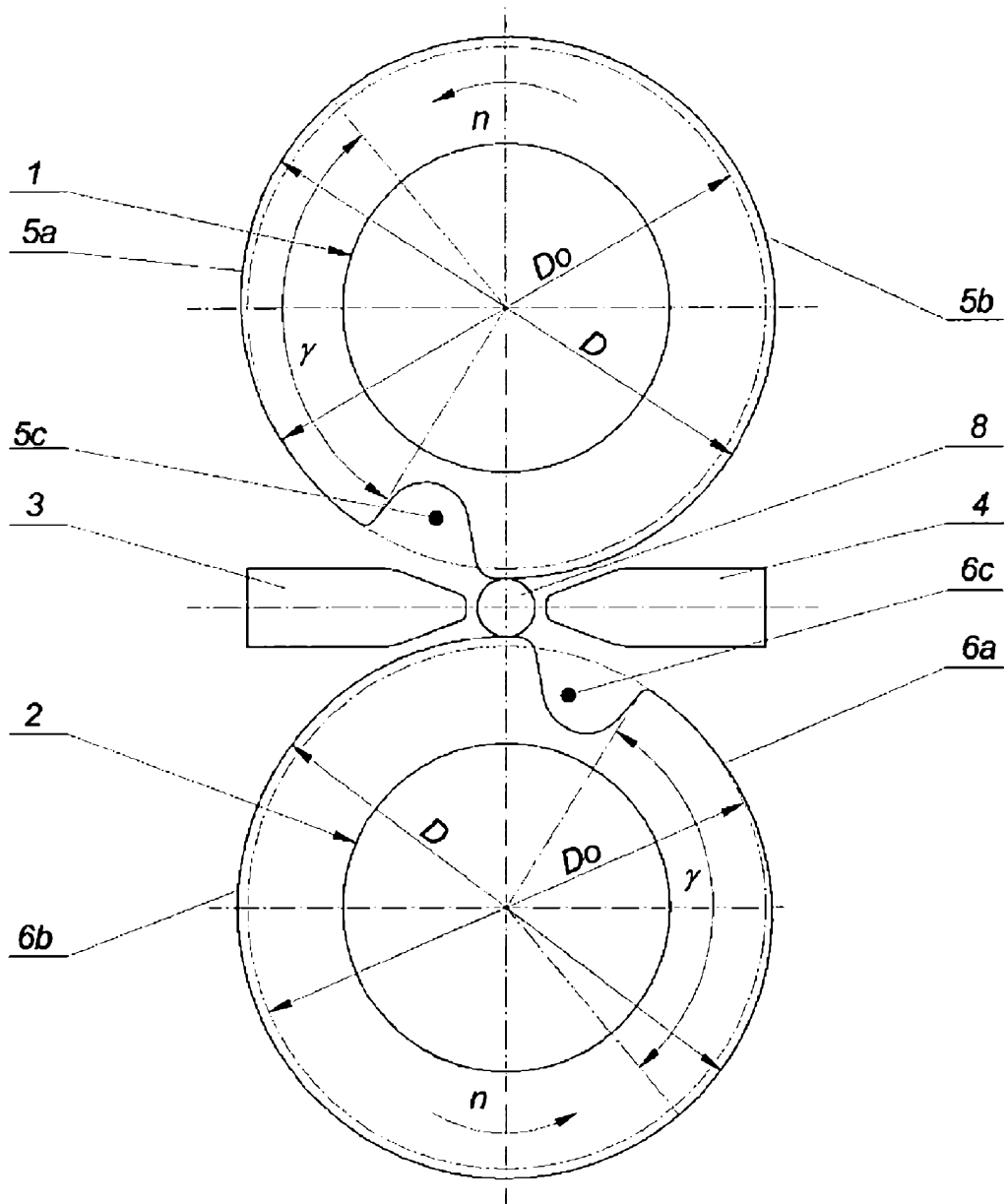


Fig. 4

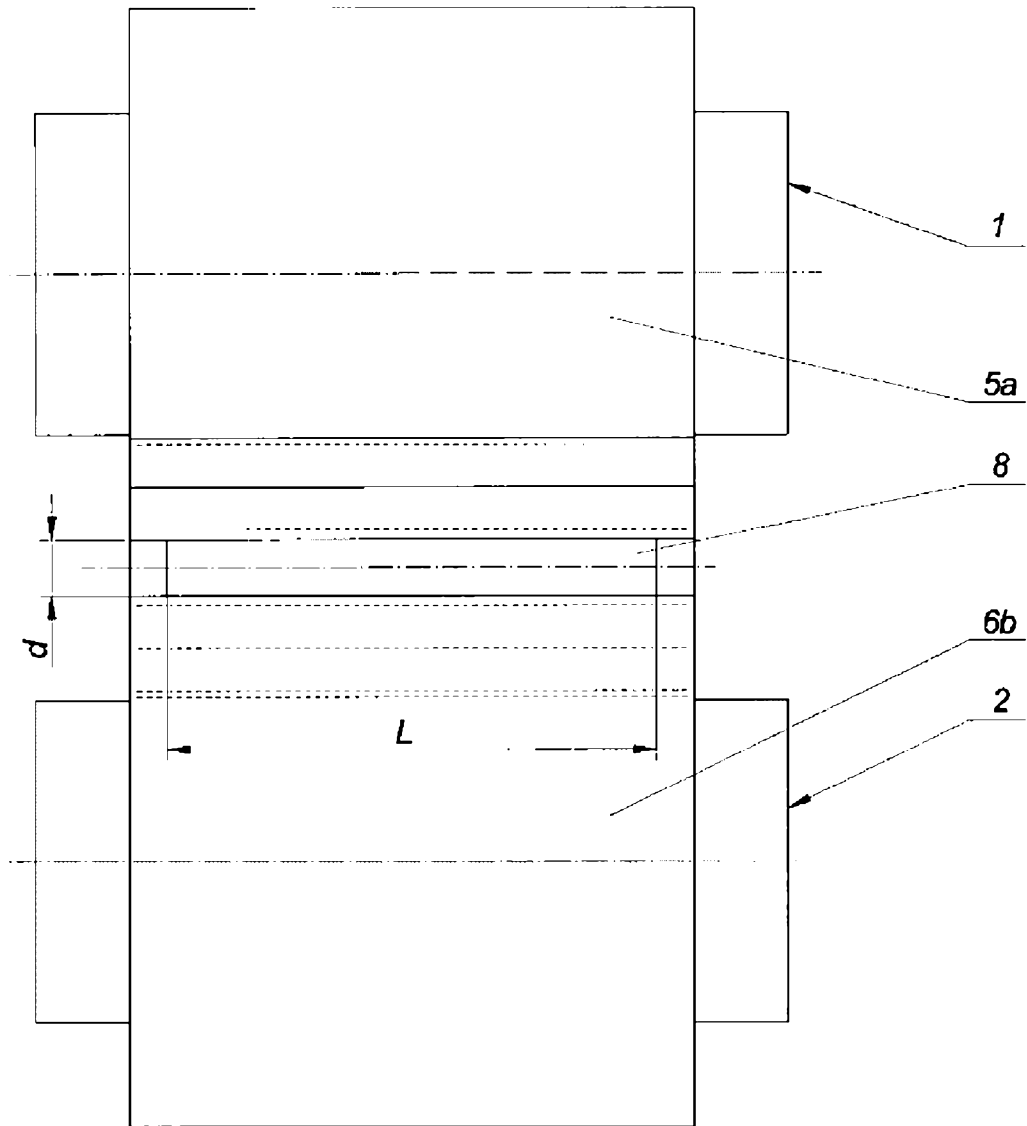


Fig. 5

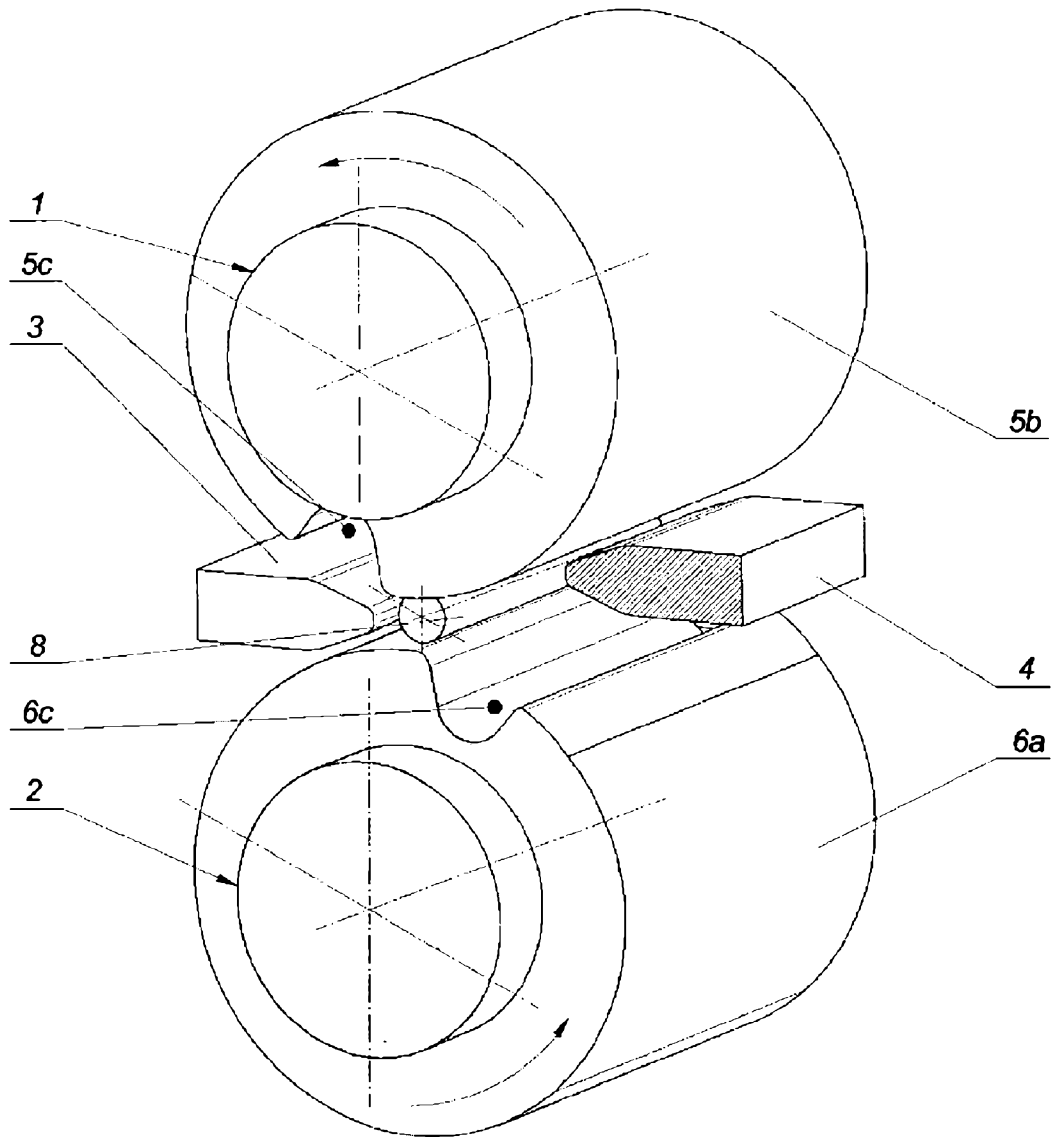


Fig. 6

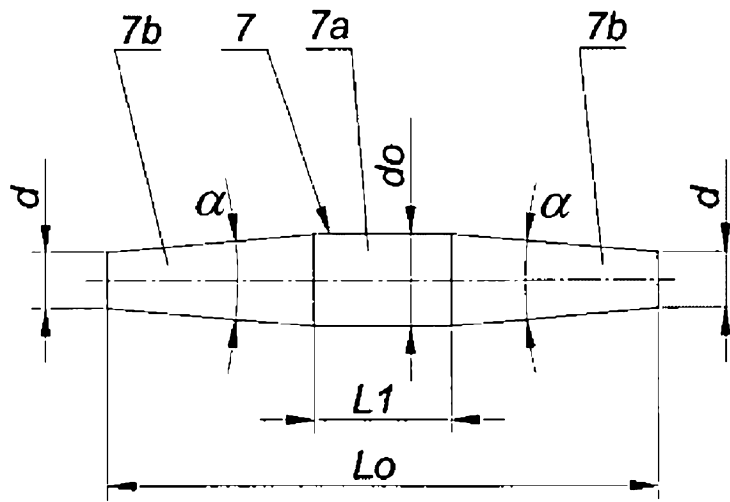


Fig. 7a

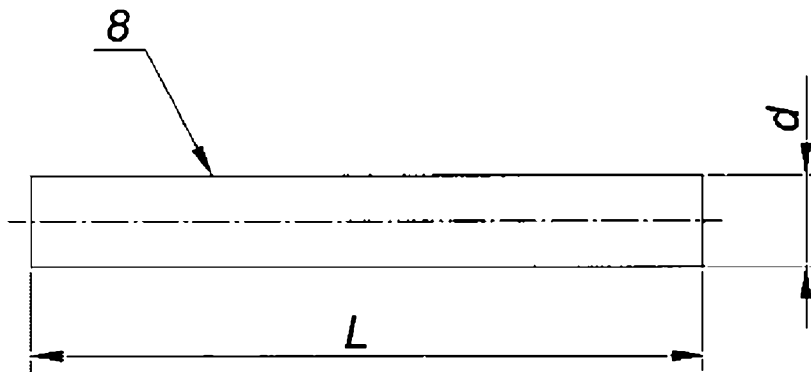


Fig. 7b