RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **241185**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **440096**

(22) Data zgłoszenia: **07.01.2022**

(51) Int.Cl.
F16C 33/58 (2006.01)
F16C 19/16 (2006.01)
F16C 33/64 (2006.01)

(54) **Łożysko toczne**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
06.06.2022 BUP 23/22

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
16.08.2022 WUP 33/22

(73) Uprawniony z patentu:
PAŃSTWOWA AKADEMIA NAUK STOSOWANYCH W CHEŁMIE, Chełm, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
JÓZEF ZAJĄC, Stany Nowe, PL
DARIUSZ PARTYKA, Lublin, PL
PIOTR RÓŻAŃSKI, Chełm, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Maciej Nowicki

PL 241185 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest łożysko toczne kulkowe o trzypunktowym styku kulek z bieżniami tocznymi. W konstrukcji łożyska na pierścieniu zewnętrznym znajdują się dwie bieżnie dla elementów tocznych.

Z opisu zgłoszenia patentowego US2142474A znane jest łożysko kulkowe poprzeczne, dwukierunkowe z kulkami podpartymi w dwóch punktach na dwóch bieżniach, dzięki któremu można uzyskać małe tarcie oraz, poprzez zbliżenie kształtu promienia przekroju poprzecznego bieżni do promienia elementu tocznego, możemy uzyskać dużą nośność łożyska.

Z opisu zgłoszenia patentowego US20030215169 A1 znany jest sposób zmniejszenia oporu toczenia i hałasu łożyska tocznego kulkowego polegający na zastosowaniu bardzo niskich wartości chropowatości powierzchni dla bieżni elementów tocznych.

Znane jest łożysko kulkowe o styku czteropunktowym oferowane aktualnie między innymi przez firmę DEEP CHAND DAYAL CHAND & COMPANY (http://www.dcdcbearings.com/angular-contact-ball-bearings.php). Łożysko to należy do łożysk kulkowych skośnych jednorzędowych. Przejmują one duże obciążenia osiowe w obu kierunkach i nieznaczne siły promieniowe.

Z opisu zgłoszenia patentowego GB2053380A znane jest trzypunktowe łożysko kulkowe posiadające pierwszą część łożyskową, która tworzy powierzchnię toczną równoległą do osi i dwie zasadniczo promieniowe powierzchnie toczne oraz drugą część łożyska, która jest ruchoma obrotowo względem pierwszej części łożyskowej i posiada dwie powierzchnie toczne, które są każdorazowo usytuowane naprzeciw dwóch wspomnianych powierzchni tocznych i są nachylone w przeciwnych kierunkach. Zgodnie z wynalazkiem, powierzchnia toczna równoległa do osi jest utworzona przez pierścień, który ugina się sprężyście w kierunku promieniowym. W rezultacie łożysko może pracować zasadniczo bez luzu w różnych temperaturach, a mimo to może przenosić siły osiowe przechylające na sztywnych powierzchniach tocznych, pozostając zasadniczo sztywne.

Z opisu zgłoszenia patentowego CN101457785A znane jest łożysko kulkowe o styku trzypunktowym, które zawiera pierścień wewnętrzny łożyska, korpus toczny i pierścień zewnętrzny łożyska. Korpus toczny jest umieszczony między pierścieniem wewnętrznym łożyska a pierścieniem zewnętrznym łożyska. Wynalazek charakteryzuje się tym, że bieżnia pierścieniowa, której odcinek ma kształt litery U, jest umieszczona na zewnętrznej powierzchni bocznej pierścienia wewnętrznego łożyska; na wewnętrznej powierzchni bocznej zewnętrznego pierścienia łożyska znajduje się pierścieniowa bieżnia kulista. Kąty zawarte między torem pierścieniowym na pierścieniu wewnętrznym łożyska a torem kulistym na pierścieniu zewnętrznym łożyska, a także między punktem styku korpusu tocznego a linią środkową korpusu tocznego wynoszą od 150° do 270°.

Z opisu zgłoszenia patentowego CN101776121A znane jest łożysko kulkowe wzdłużne o styku trzypunktowym i metoda jego projektowania. Łożysko kulkowe wzdłużne o styku trzypunktowym składa się z podkładki wału, podkładki obudowy, kulki stalowej i ustalacza, przy czym podkładka oprawy jest wyposażona w kanał pierścieniowy. Przekrój podłużny kanału jest łukiem złożonym z dwóch segmentów łuków, stalowej kulki i pierścieniowego kanału na podkładce obudowy, które są w dwupunktowym kontakcie. Obydwa łuki są symetryczne względem obracającej się stalowej kulki. Pomiędzy liniami połączenia dwóch punktów styku kulki stalowej z kanałem pierścieniowym a rdzeniem kulki stalowej powstaje kąt β. Podkładka wału nie jest wyposażona w kanał, a kulka stalowa i wspomniana podkładka znajdują się w jednym punkcie styku. Wynalazek sprawia, że kulka stalowa, podkładka wału i podkładka obudowy mają trzy punkty styku, dzięki czemu zwiększa się nośność osiowa, która jest większa niż w przypadku dwupunktowego łożyska kulkowego wzdłużnego i promieniowego. Łożysko może przenosić dodatkowe obciążenia, bez strat na jego żywotności.

Z opisu zgłoszenia patentowego JPH1113750A znane jest łożysko kulkowe o styku trzypunktowym, które składa się ze stalowych kulek, które umieszczone są między pierścieniami zewnętrznym i wewnętrznym. W pierścieniu zewnętrznym znajduje się rowek orbitalny, który w przekroju poprzecznym posiada kształt łuku o zadanym promieniu. W pierścieniu wewnętrznym również znajduje się rowek orbitalny, który w przekroju poprzecznym posiada kształt łuku gotyckiego. Stalowa kulka znajduje się pomiędzy pierścieniem zewnętrznym i wewnętrznym i styka się z rowkiem orbitalnym pierścienia zewnętrznego w jednym punkcie oraz z rowkiem orbitalnym pierścienia wewnętrznego w dwóch punktach. Kąt styku kulki stalowej z pierścieniem zewnętrznym jest kątem α. Jeden z kątów zwilżania pierścienia wewnętrznego kulki stalowej z dwoma punktami jest kątem α–β uzyskanym przez odjęcie danego kąta

β od kąta zwilżania α. Drugi kąt zwilżania to kąt α+β uzyskany przez dodanie danego kąta β do kąta zwilżania α.

W artykule MODELOWANIE ZJAWISK KONTAKTOWYCH WŁOŻYSKU SKOŚNYM METODĄ ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH, w czasopiśmie MODELOWANIE INŻYNIERSKIE nr .56, ISSN 1896–771X, autorstwa Jana Kosmoli i Pawła Lisa, opublikowanym na stronie https://docplayer.pl/31345363-Modelowanie-ziawisk-kontaktowvch-w-lozyku-skosnym-metoda-elementow-skonczonych.html przedstawiono materiał dotyczący obliczeń oporów ruchu w łożysku tocznym, które wymagają informacji o oddziaływaniach pomiędzy kulką i bieżniami łożyskowymi w strefach kontaktowych. Istniejące modele obliczeniowe nie zapewniają wystarczającej dokładności, ponieważ nie uwzględniają wpływu prędkości obrotowej na opory ruchu. Współczesne, komercyjne programy klasy Ansys umożliwiają modelowanie zjawisk kontaktowych, wykorzystując dostępne modele kontaktowe. W analizowanym przypadku wzięto pod uwagę model Frictional, który umożliwia modelowanie zarówno tarcia jak i przemieszczeń kulki względem bieżni pierścieni. W programie Ansys można symulować występowanie sił odśrodkowych wynikających z ruchu obiegowego kulki oraz sił żyroskopowych wnikających z ruchu obrotowego kulki wokół własnej osi i z jej ruchu obiegowego. Program Ansys pozwala obliczać siły (reakcje) występujące w strefach kontaktowych. Siły te, wraz ze współczynnikiem tarcia tocznego, pozwalają na oszacowanie momentu oporów ruchu łożyska w funkcji prędkości obrotowej i napięcia wstępnego łożyska. W referacie przedstawiono przykładowe wyniki takich badań dla wybranego łożyska tocznego skośnego.

Celem wynalazku jest łożysko toczne, kulkowe, poprzeczne, skośnego lub wzdłużne o możliwości przenoszenia dużej prędkości obrotowej poprzez zmianę prędkości obrotowej elementów tocznych. Takie rozwiązanie umożliwia zmniejszenie prędkości obrotowej elementów tocznych oraz zmniejszenie hałasu wytwarzanego przez to łożysko – uzależnionej od tej prędkości.

Przedmiotem wynalazku jest łożysko toczne składające się z pierścienia wewnętrznego zawierającego bieżnię wewnętrzną i pierścienia zewnętrznego zawierającego bieżnie zewnętrzne oraz elementów tocznych. Charakteryzuje się ono tym, że pierścień zewnętrzny ma bieżnię, która w przekroju poprzecznym posiada dwa punkty styku, z elementem tocznym. Kąt zawarty pomiędzy linią poprowadzoną pomiędzy pierwszym punktem styku oraz środkiem elementu tocznego a linią poprowadzoną pomiędzy drugim punktem styku oraz środkiem elementu tocznego wynosi od 60° do 120°. Pierścień wewnętrzny posiada bieżnię, która w przekroju poprzecznym posiada jeden, trzeci punkt styku, z elementem tocznym. Tudzież kąt zawarty pomiędzy linią poprowadzoną pomiędzy trzecim punktem styku oraz środkiem elementu tocznego a linią poprowadzoną pomiędzy pierwszym punktem styku a środkiem elementu tocznego wynosi 360° minus kąt 2α, zawarty pomiędzy linią poprowadzoną pomiędzy pierwszym punktem styku oraz środkiem elementu tocznego a linią poprowadzoną pomiędzy drugim punktem styku a środkiem elementu tocznego.

Korzystnym skutkiem zastosowania łożyska według wynalazku jest to, że poprzez zastosowanie trzech punktów styku na elementach tocznych uzyskano możliwość większego obciążenia łożyska siłami prostopadłymi i poosiowymi. Zastosowanie trzech punktów styku w układzie według wynalazku powoduje również uzyskanie dodatkowych możliwości konstrukcyjnych – większe możliwości doboru nośności łożyska, odprowadzania ciepła i oporów toczenia. To, że na pierścieniu zewnętrznym znajdują się dwie bieżnie dla elementów tocznych powoduje, że kulki łożyska toczą się po trzech różnych bieżniach mających różne promienie toczenia. Daje to w konsekwencji znaczne zwiększenie prędkości obrotowej łożyska – w praktyce do 1,4 razy. Trzypunktowe podparcie kulek spełnia optymalne warunki geometryczne ich usytuowania, poprawia trwałość łożyska i zwiększa jego nośność.

Zasadnicze cechy przedmiotu wynalazku uwidocznione są na części rysunkowej, na której poszczególne figury przedstawiają:

Fig. 1 – Widok perspektywiczny przekroju poprzecznego łożyska według wynalazku w przykładzie wykonania;
Fig. 2 – Przekrój fragmentu łożyska z zaznaczonymi składowymi sił;
Fig. 3 – Schemat położenia kulki względem bieżni;
Fig. 4 – Schemat przekładniowy toczenia kulki z dolnym przełożeniem;
Fig. 5 – Schemat przekładniowy toczenia kulki z górnym przełożeniem;
Fig. 6 – Wykres zależności wartości wektora siły N od kąta α;
Fig. 7 – Wykres zależności długości wektora sił poosiowych $|\bar{M}|$ od kąta α;
Fig. 8 – Punkty styku łożyska według wynalazku – M1 ;
Fig. 9 – Punkty styku łożyska wykonanego w oparciu o dokument patentowy JPH1113750A - M2;

Fig. 10 – Przekrój fragmentu łożyska według wynalazku – M1, przy analizie numerycznej MES naprężeń, przy prędkość obrotowej 100 obr/min;
Fig. 11 – Przekrój fragmentu łożyska według wynalazku – M1, przy analizie numerycznej MES naprężeń, przy prędkości obrotowej 1000 obr/min;
Fig. 12 – Przekrój fragmentu łożyska według wynalazku – M1, przy analizie numerycznej MES naprężeń, przy prędkości obrotowej 3000 obr/min;
Fig. 13 Przekrój fragmentu łożyska według wynalazku – M1, przy analizie numerycznej MES naprężeń, przy prędkości obrotowej 4000 obr/min;
Fig. 14 Przekrój fragmentu łożyska według wynalazku – M1, przy analizie numerycznej MES naprężeń, przy prędkości obrotowej 7000 obr/min;
Fig. 15 Przekrój fragmentu łożyska według wynalazku – M1, przy analizie numerycznej MES naprężeń, przy prędkości obrotowej 10000 obr/min;
Fig. 16 Przekrój fragmentu łożyska według wynalazku – M2, przy analizie numerycznej MES naprężeń, przy prędkości obrotowej 100 obr/min;
Fig. 17 Przekrój fragmentu łożyska według wynalazku – M2, przy analizie numerycznej MES naprężeń, przy prędkości obrotowej 1000 obr/min;
Fig. 18 Przekrój fragmentu łożyska według wynalazku – M2, przy analizie numerycznej MES naprężeń, przy prędkości obrotowej 3000 obr/min;
Fig. 19 Przekrój fragmentu łożyska według wynalazku – M2, przy analizie numerycznej MES naprężeń, przy prędkości obrotowej 4000 obr/min;
Fig. 20 Przekrój fragmentu łożyska według wynalazku – M2, przy analizie numerycznej MES naprężeń, przy prędkości obrotowej 7000 obr/min;
Fig. 21 Przekrój fragmentu łożyska według wynalazku – M2, przy analizie numerycznej MES naprężeń, przy prędkości obrotowej 10000 obr/min;

Łożysko toczne według prezentowanego wynalazku składa się z pierścienia wewnętrznego 1 zawierającego bieżnię wewnętrzną i pierścienia zewnętrznego 2 zawierającego bieżnię zewnętrzną oraz elementów tocznych 3. Pierścień zewnętrzny 2 posiada bieżnię, która w przekroju poprzecznym posiada pierwszy punkt styku A i drugi punkt styku B z elementem tocznym 3. Kąt 2α pomiędzy linią poprowadzoną pomiędzy pierwszym punktem styku A, środkiem elementu tocznego 3, a linią poprowadzoną pomiędzy drugim punktem styku B oraz środkiem elementu tocznego 3 wynosi od 60° do 120°. Pierścień wewnętrzny 1 posiada bieżnię, która w przekroju poprzecznym posiada trzeci punkt styku C z elementem tocznym 3. Kąt β pomiędzy linią poprowadzoną pomiędzy trzecim punktem styku C oraz środkiem elementu tocznego 3, a linią poprowadzoną pomiędzy pierwszym punktem styku A, a środkiem elementu tocznego 3 wynosi od 120° do 150°.

Przełożenie kinematyczne w pracy łożyska trójbieżnego typu redukcyjnego

Z uwagi na addytywność kinematyczną przekładni obrotów w schemacie pracy łożyska tocznego trójbieżnego do rozważań, za podstawę wyjściową, przyjęto:

1. jeden pełny obrót układu tocznego po okręgu o promieniu R z przekładnią dolną;
2. jeden pełny obrót układu tocznego po okręgu r z przekładnią górną.

Schemat pracy klasycznego łożyska kulkowego posiada następujące dane:

$2\pi r$ – obwód okręgu o promieniu r – długość bieżni „wewnętrznej" okręgu o promieniu r,
$2\pi\rho$ – obwód okręgu o promieniu ρ – długość drogi toczenia się kulki o promieniu γ przy jednym obrocie,
$2\pi R$ – obwód okręgu o promieniu R – długość bieżni „zewnętrznej" okręgu o promieniu R.

Z przedstawionej na Fig. 3 sytuacji wynika, że $R = r + 2\rho$, zatem wielkości r i ρ możemy przyjąć jako zmienne. Iloraz

$$\nu := \frac{2\pi R}{2\pi\rho} = \frac{R}{\rho} = \frac{r+2\rho}{\rho} = 2 + \frac{r}{\rho}$$

oznacza ilość obrotów kulki o promieniu ρ, przebiegającej jednokrotnie okrąg o promieniu R. Iloraz

$$\mu := \frac{2\pi R}{2\pi\rho} = \frac{r}{\rho}$$

oznacza ilość obrotów kulki o promieniu ρ względem jej środka, przebiegającej jednokrotnie okrąg o promieniu r. Zatem

$$\nu - \mu = 2$$

niezależnie od doboru wartości promieniu r oraz ρ.

Ad 1. W tym przypadku symbolem ρ oznaczono *przełożenie*, czyli liczbę oznaczającą stosunek drogi przebytej przez toczącą się kulkę po okręgu wewnętrznym do jego długości, gdy kulka łożyska przetoczy się jednokrotnie po okręgu o promieniu R. Zatem:

$$\rho := \frac{\nu \cdot 2\pi\rho}{2\pi r} = \nu\frac{\rho}{r} = \left(+\frac{r}{\rho}\right)\frac{\rho}{r} = 1 + 2\frac{\rho}{r} = \frac{R}{r}$$

Przyjmując, że okrąg o promieniu R jest nieruchomy, zaś łożysko znajduje się w obsadzie zewnętrznej – wtedy okrąg wewnętrzny, przy jednokrotnym obiegu kulki po okręgu o promieniu R, obróci się $\rho = 1 + 2\frac{\rho}{r}$ $-razy$.

Z uwagi na addytywność kinematyczną przekładni obrotów w pracy łożyska tocznego redukcyjnego, za podstawę wyjściową przyjmuje się do rozważań jeden pełny obrót układu po okręgu o promieniu R. Z przedstawionego na Fig. 4 schematu wynika, że

$$R = r + 2\rho = r' + 2\rho' + d = r + 2p' + 2d,$$

gdzie:
d – podniesienie toru toczenia kulki
r – teoretyczny promień toczenia kulki
r" – promień rowka
r – r" – głębokość rowka smarującego
ρ' = p – d, r' = r + d – boczne promienie tocznia kulki.

Stąd, długość drogi przebytej przez okrąg o promieniu ρ' przy ν obrotach wynosi:

$$2\pi\rho'\nu = 2\pi(\rho - d)\left(2 + \frac{r}{\rho}\right) = 2\pi\frac{(\rho - d)(2\rho + r)}{\rho} = 2\pi R\left(1 - \frac{d}{\rho}\right)$$

Zatem przełożenie q, otrzymane w wyniku toczenia się kulki po śladzie o promieniu ρ' z ν jej obrotami, względem okręgu o promieniu r' = r + d spełnia równanie:

$$2\pi\rho'\nu = q \cdot 2\pi r'.$$

Stąd

$$q = \frac{2\pi\rho'\nu}{2\pi r'} = \frac{\rho'\nu}{r'} = \left(2 + \frac{r}{\rho}\right) \cdot \frac{\rho}{r} \cdot \frac{r}{\rho} \cdot \frac{\rho'}{r'} = \left(1 + 2\frac{\rho}{r}\right) \cdot \frac{r}{\rho} \cdot \frac{\rho - d}{r + d} = \rho\alpha$$

Gdzie:

$$\rho := 1 + 2\frac{\rho}{r}$$

jest przełożeniem zwykłego łożyska tocznego, zaś

$$\alpha := \frac{r(\rho - d)}{\rho(r + d)}$$

oznacza współczynnik zmiany obrotów łożyska. Jego wartość, dla d = 0, wynosi α = 1, co oznacza warunek początkowy czyli zgodność otrzymanego wzoru z wyrażeniem określającym współczynnik ρ. Łożysko redukcyjne staje się wtedy zwyczajnym łożyskiem tocznym.

Ad 2. Z uwagi na addytywność kinematyczną przekładni obrotów w schemacie pracy łożyska tocznego trójbieżnego do rozważań, za podstawę wyjściową przyjęto teraz jeden pełny obrót układu tocznego po okręgu o promieniu r z górną przekładnią.

Z przedstawionej na Fig. 5 sytuacji wynika, że

$$r = R - 2\rho = R - 2\rho' - 2d = R' - 2\rho' - d,$$

gdzie:
d – obniżenie toru toczenia kulki – nie ma rowka smarującego;
R' – promień boczny tocznia kulki;
R - teoretyczny promień toczenia się kulki w rowku pierścienia zewnętrznego;
$\rho' = \rho - d$ oraz $R' = R - d$, $d < p$.

Stosunek ρ' drogi przebytej przez kulkę toczącą się po okręgu zewnętrznym do jego długości, gdy kulka łożyska przetoczy się jednokrotnie po okręgu o promieniu r wynosi

$$\rho' := \frac{\mu \cdot 2\pi\rho}{2\pi R} = \mu\frac{\rho}{R} = \frac{r}{\rho} \cdot \frac{\rho}{r + 2\rho} = \frac{r}{r + 2\rho} = \frac{r}{R} = \frac{1}{\rho},$$

czyli

$$\rho' = \frac{r + 2\rho - 2\rho}{r + 2\rho} = 1 - 2\frac{\rho}{r + 2\rho}.$$

Przyjmując, że okrąg o promieniu r jest nieruchomy – łożysko znajduje się w obsadzie wewnętrznej, wtedy okrąg zewnętrzny, przy jednokrotnym obiegu kulki po okręgu o promieniu r obróci się

$$\rho' = 1 - 2\frac{\rho}{r + 2\rho} - razy$$

Parametr μ wyraża ilość obrotów kulki przebiegającej okrąg o promieniu r jednokrotnie. Długość drogi toczenia kulki o promieniu ρ' przy μ obrotach wynosi

$$2\pi\rho'\mu = 2\pi(\rho - d)\frac{r}{\rho} = 2\pi\frac{(\rho - d)r}{\rho},$$

skąd

$$\rho'\mu = \frac{(\rho - d)r}{\rho}.$$

Zatem przełożenie q', otrzymane przez toczenie się kulki po śladzie o promieniu ρ' z μ – krotnymi obrotami względem okręgu o promieniu R' spełnia równanie

$$2\pi\rho'\mu = q' \cdot 2\pi R'.$$

Stąd

$$q' := \frac{\rho'\mu}{R'} = \frac{(\rho - d)r}{(R - d)\rho} = \frac{r}{R} \cdot \frac{R}{\rho} \cdot \frac{\rho - d}{R - d} = \rho' \cdot \alpha'.$$

gdzie

$$\alpha' := \left(2 + \frac{r}{\rho}\right)\frac{\rho - d}{r + 2\rho - d}$$

jest współczynnikiem zmiany obrotów łożyska.

Obciążenia prostopadłe i równoległe do osi obrotu łożyska trójbieżnego typu redukcyjnego

Założono, tak jak było powyżej, że główna ścieżka toczenia ma promień R, zaś boczne ścieżki toczenia mają promień wynoszący r'.

Z geometrii łożyska wynika, że wektor $\overline{N}$ sił prostopadłych do osi obrotu łożyska rozkłada się na sumę dwóch wektorów $\overline{w_1}$ i $\overline{w_2}$, skierowanych prostopadle do odpowiednich płaszczyzn styczności toczącej się kulki, czyli $\overline{N} = \overline{w_1} + \overline{w_2}$. Symbolem α oznaczono kąt, jaki tworzy prosta prostopadła do osi obrotu łożyska z każdym z wektorów $\overline{w_1}$ i $\overline{w_2}$. Wtedy długość tych wektorów spełnia równanie:

$$|\overline{N}| = |\overline{w_1}| \cos\alpha + |\overline{w_2}| \cos\alpha.$$

Ponieważ $|\overline{w_1}| = |\overline{w_2}|$,więc

$$|\overline{N}| = 2|w_1|\cos\alpha + 2w_2 \cos\alpha.$$

Przyjmując $|\overline{w_1}| = |\overline{w_2}| = 1$ otrzymujemy

$$|\overline{N}| = 2\cos\alpha =: f\alpha)$$

Przekrój fragmentu łożyska z zaznaczonymi składowymi sił przedstawiono na Fig. 2. Zależności długości wektora sił prostopadłych do osi obrotu łożyska $|\overline{N}|$ od kąta α przedstawiono na Fig. 6.

Wynika stąd, że dla $\alpha \in \left(0; \frac{\pi}{3}\right)$ następuje zwiększenie siły pionowej o współczynniku z przedziału (1,2) – poprawienie własności łożyska – działającej na łożysko, zaś dla $\alpha \in \left(\frac{\pi}{3}; \frac{\pi}{2}\right)$ siła ta ulega redukcji do zera.

Długość wektora sił poosiowych $\overline{M}$ wyraża się wzorem

$$|\overline{M}| = |w_1|\sin\alpha = |w_2| \sin\alpha.$$

Przyjmując $|w_1| = |w_2|$ widzimy, że

$$|\overline{M}| = \sin\alpha =: g(\alpha)$$

Zatem dla $\alpha \in \left(0; \frac{\pi}{2}\right)$ następuje poprawa poosiowej wytrzymałości łożyska. Wybór kąta α zależy od zakładanych parametrów użytkowych łożyska.

Zależność długości wektora sił poosiowych $|\overline{M}|$ od kąta α przedstawiono na Fig. 7.

Analiza numeryczna Metodą Elementów Skończonych

Przeprowadzono analizę porównawczą Metodą Elementów skończonych MES łożyska według wynalazku oraz łożyska wykonanego w oparciu o dokument patentowy JPH1113750A.

Do modelowania strefy kontaktowej metodą numeryczną przyjęto tak jak w cytowanej pozycji literaturowej dostępny w systemie Ansys model kontaktu Frictional, który umożliwia uwzględnienie zarówno tarcia jak i poślizgu kulki w kierunku stycznym względem bieżni łożyskowych.

Łożyska te posiadały jednakowe wymiary:

- szerokość łożyska – 31 mm;
- średnica wewnętrzna – 50 mm;
- średnica zewnętrzna – 120 mm;
- średnica kulki – 25 mm

nazwa	nazwa skrócona	Opis
model 1	M1	łożysko według wynalazku
model 2	M2	łożysko wykonane w oparciu o dokument patentowy JPH1113750A

Punkty styku łożyska według wynalazku – M1 przedstawiono na Fig. 8.

Punkty styku łożyska wykonanego w oparciu o dokument patentowy JPH1113750A M2 przedstawiono na Fig. 9.

Analiza rozkładu naprężeń w łożysku przy zadanej stałej prędkości obrotowej:

n (obr/min)	M1	M2
	Mises (MPa)	
100	0,0013	0,0016
1000	5,4700	15,2600
3000	51,6000	144,0000
4000	91,7000	251,0000
7000	278,0000	807,0000
10000	573,0000	1873,0000

Wykaz oznaczeń

1. pierścień wewnętrzny z bieżnią z jednym punktem styku C;
2. pierścień zewnętrzny z bieżnią z dwoma punktami styku (A, B);
3. elementy toczne;

A, B punkt styku pomiędzy pierścieniem zewnętrznym a elementem tocznym;

C punkt styku pomiędzy pierścieniem wewnętrznym a elementem tocznym;

2α kąt pomiędzy linią poprowadzoną pomiędzy pierwszym punktem styku oraz środkiem elementu tocznego a linią poprowadzoną pomiędzy drugim punktem styku oraz środkiem elementu tocznego;

β kąt pomiędzy linią poprowadzoną pomiędzy trzecim punktem styku oraz środkiem elementu tocznego a linią poprowadzoną pomiędzy pierwszym punktem styku oraz środkiem elementu tocznego;

R promień ścieżki głównej toczenia elementu tocznego po bieżni pierścienia zewnętrznego;

r_w promień ścieżki toczenia elementu tocznego po bieżniach pierścienia zewnętrznego;

N wektor siły nacisku prostopadłego do osi obrotu łożyska;

w_1, w_2 siły znormalizowane

Zastrzeżenie patentowe

1. Łożysko toczne składające się z pierścienia wewnętrznego (1) zawierającego bieżnię wewnętrzną i pierścienia zewnętrznego (2) zawierającego bieżnię zewnętrzną oraz elementów tocznych (3) **znamienne tym**, że pierścień zewnętrzny (2) ma bieżnię, która w przekroju poprzecznym posiada dwa punkty styku (A) i (B), z elementem tocznym (3), przy czym kąt (2α) zawarty pomiędzy linią poprowadzoną pomiędzy pierwszym punktem styku (A) oraz środkiem elementu tocznego (3) a linią poprowadzoną pomiędzy drugim punktem styku (B) oraz środkiem elementu tocznego (3) wynosi od 60° do 120°, tudzież pierścień wewnętrzny (1) posiada bieżnię, która w przekroju poprzecznym posiada jeden, trzeci punkt styku (C) z elementem tocznym (3), zaś kąt (β) zawarty pomiędzy linią poprowadzoną pomiędzy trzecim punktem styku (C) oraz środkiem elementu tocznego (3) a linią poprowadzoną pomiędzy pierwszym punktem styku (A) oraz środkiem elementu tocznego (3) wynosi 360° minus kąt (2α), zawarty pomiędzy linią poprowadzoną pomiędzy pierwszym punktem styku (A) oraz środkiem elementu tocznego (3) a linią poprowadzoną pomiędzy drugim punktem styku (B) a środkiem elementu tocznego (3).

Rysunki

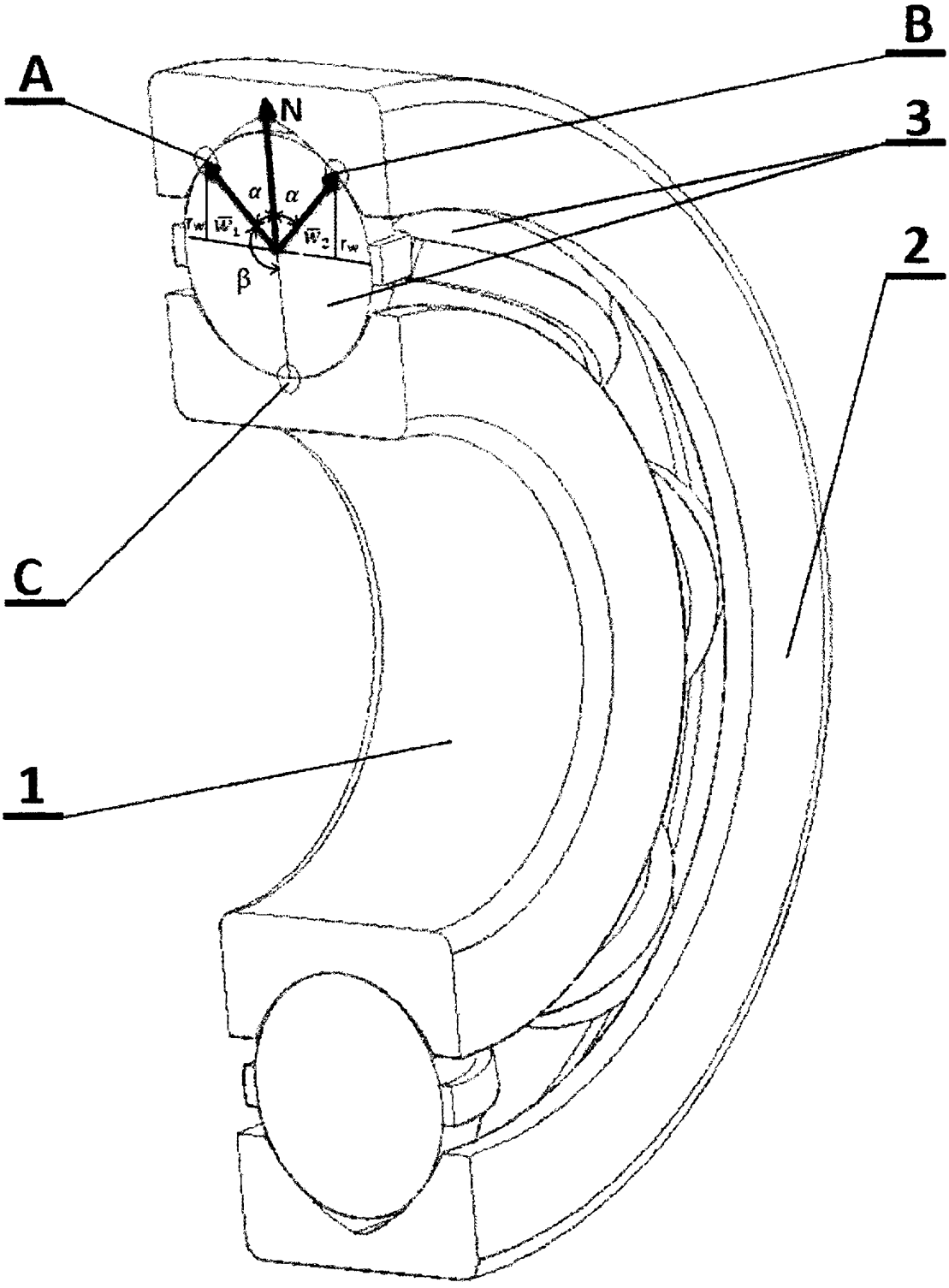


Fig. 1

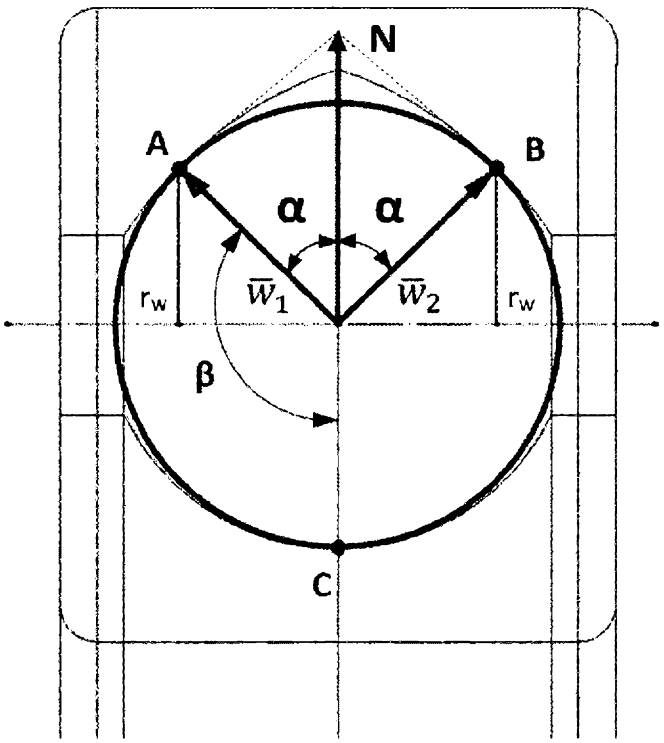


Fig. 2

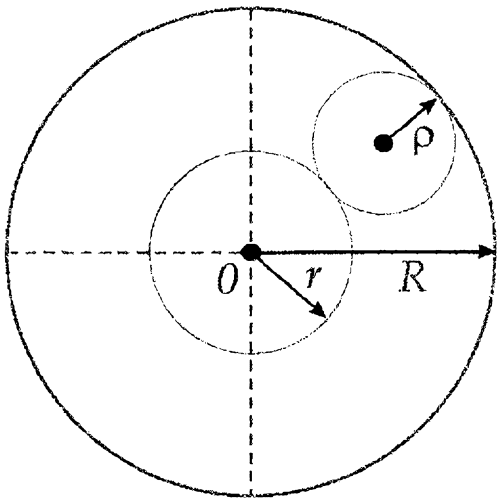


Fig. 3

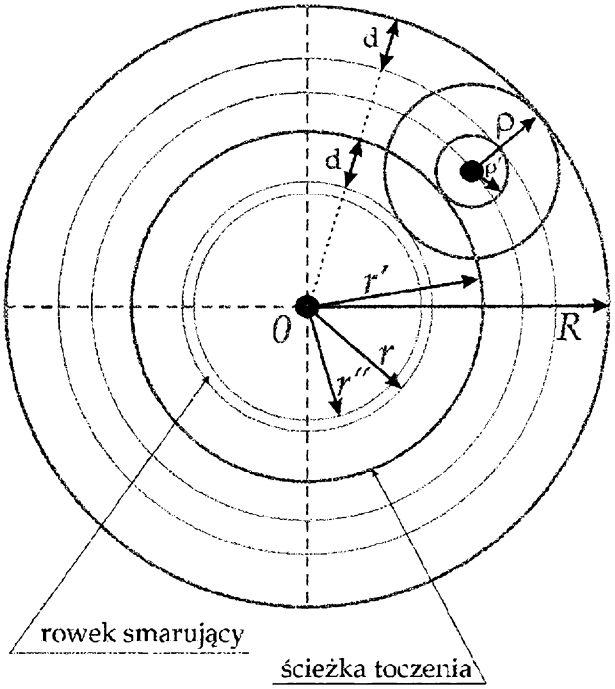

d
d
ρ
r'
0
R
r
r''
rowek smarujący
ścieżka toczenia

Fig. 4

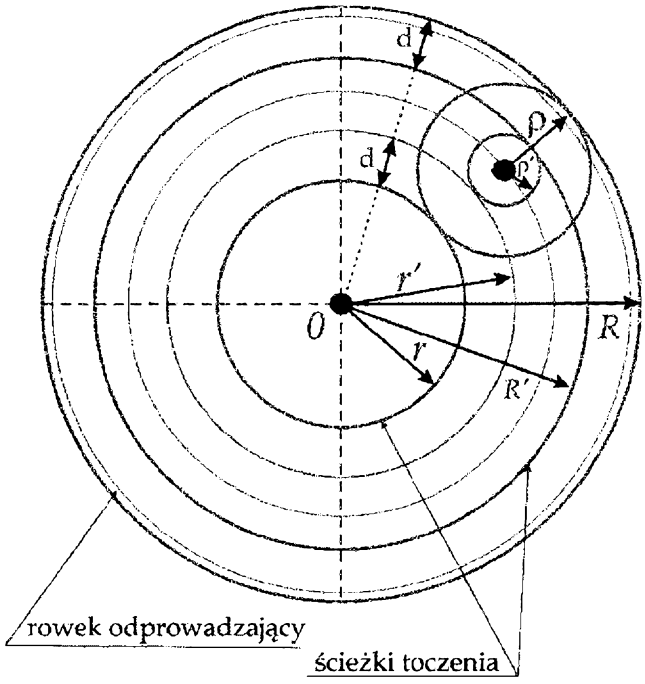

d
d
ρ
r'
0
R
r
R'
rowek odprowadzający
ścieżki toczenia

Fig. 5

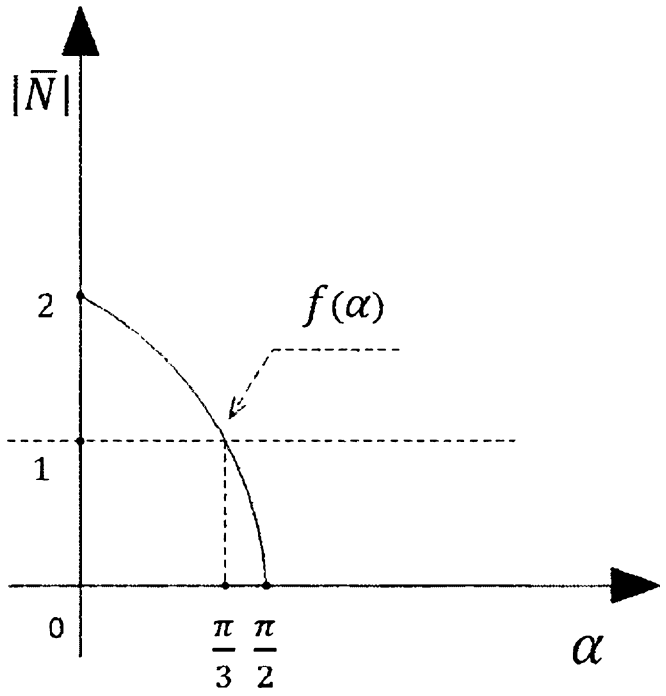

$|\bar{N}|$
2
1
0
$f(\alpha)$
$\frac{\pi}{3}$ $\frac{\pi}{2}$
α

Fig. 6

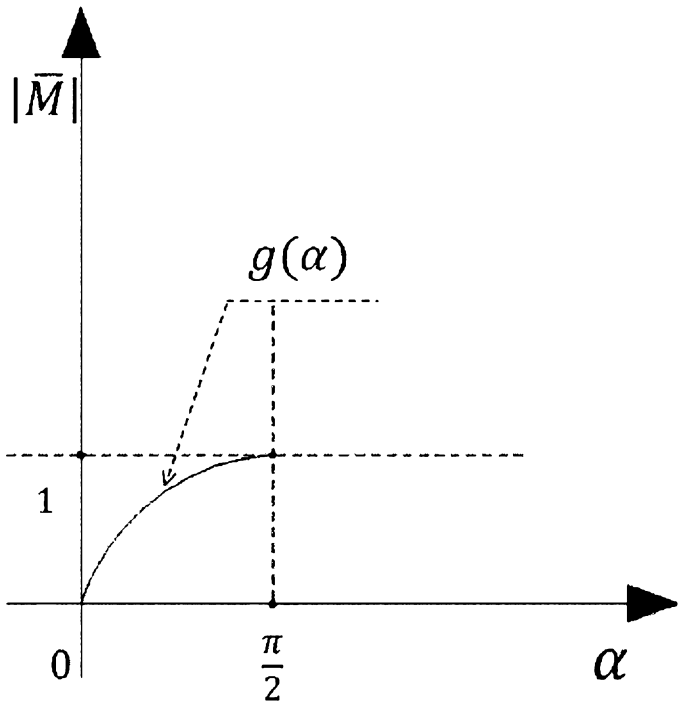

$|\bar{M}|$
1
0
$g(\alpha)$
$\frac{\pi}{2}$
α

Fig. 7

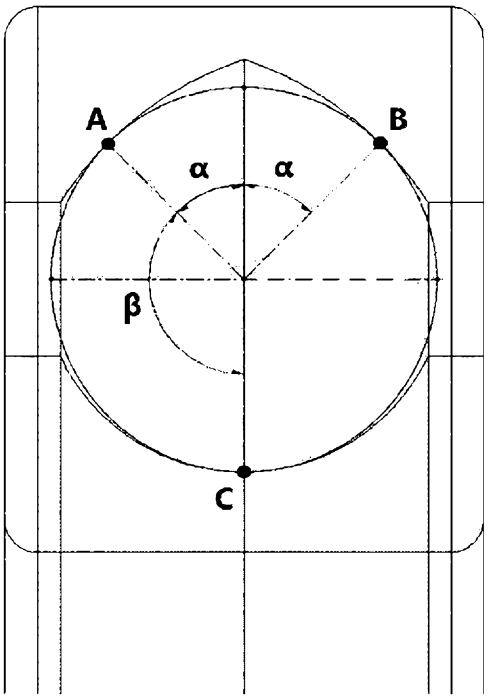


Fig. 8

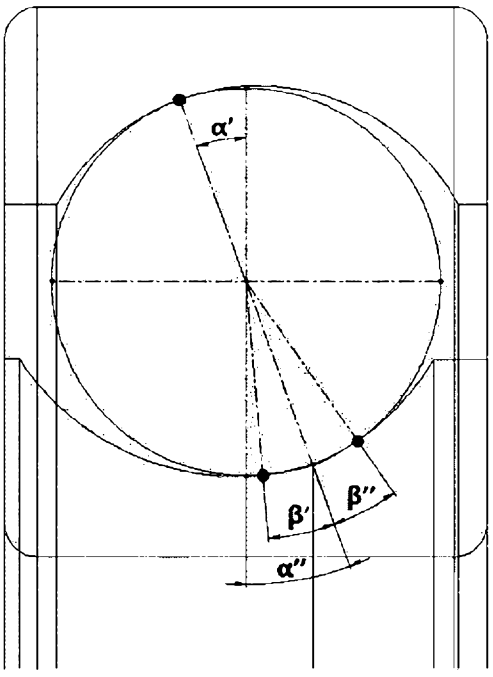


Fig.9

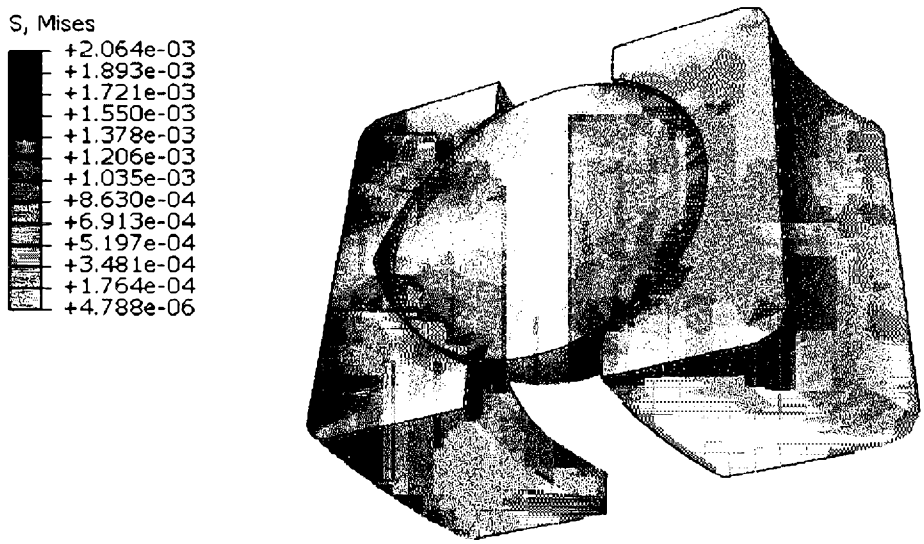

S, Mises
+2.064e-03
+1.893e-03
+1.721e-03
+1.550e-03
+1.378e-03
+1.206e-03
+1.035e-03
+8.630e-04
+6.913e-04
+5.197e-04
+3.481e-04
+1.764e-04
+4.788e-06

Fig. 10

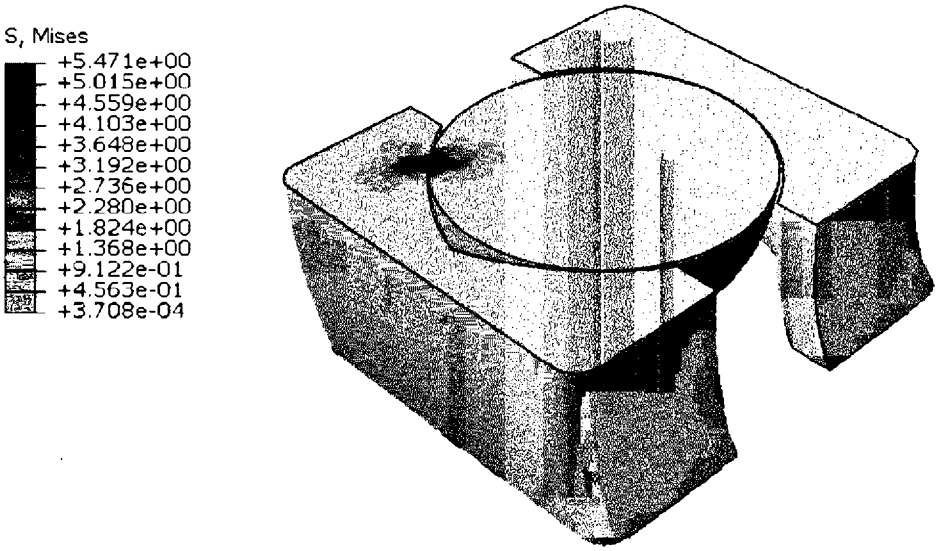

S, Mises
+5.471e+00
+5.015e+00
+4.559e+00
+4.103e+00
+3.648e+00
+3.192e+00
+2.736e+00
+2.280e+00
+1.824e+00
+1.368e+00
+9.122e-01
+4.563e-01
+3.708e-04

Fig. 11

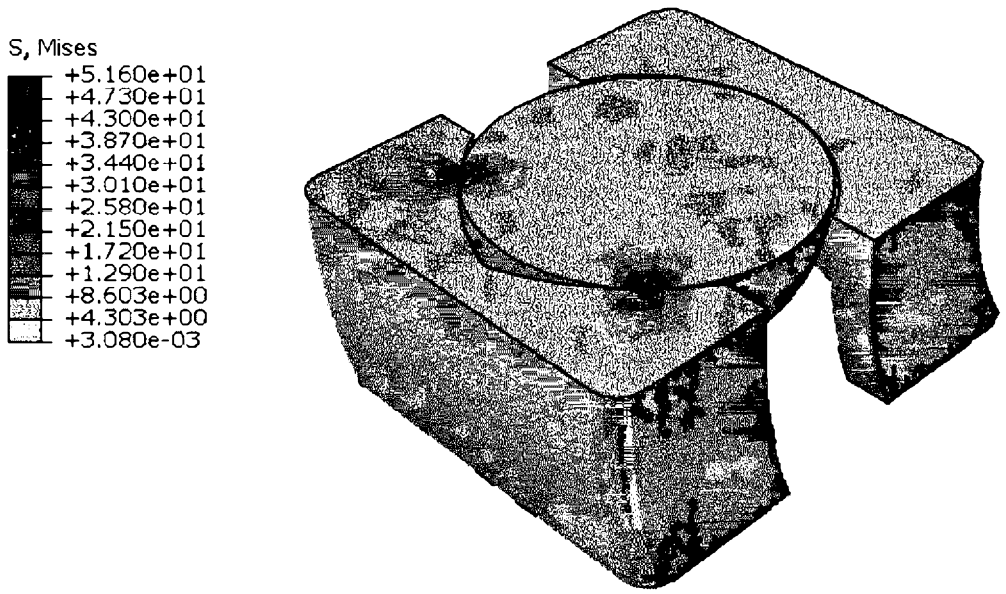

S, Mises
+5.160e+01
+4.730e+01
+4.300e+01
+3.870e+01
+3.440e+01
+3.010e+01
+2.580e+01
+2.150e+01
+1.720e+01
+1.290e+01
+8.603e+00
+4.303e+00
+3.080e-03

Fig. 12

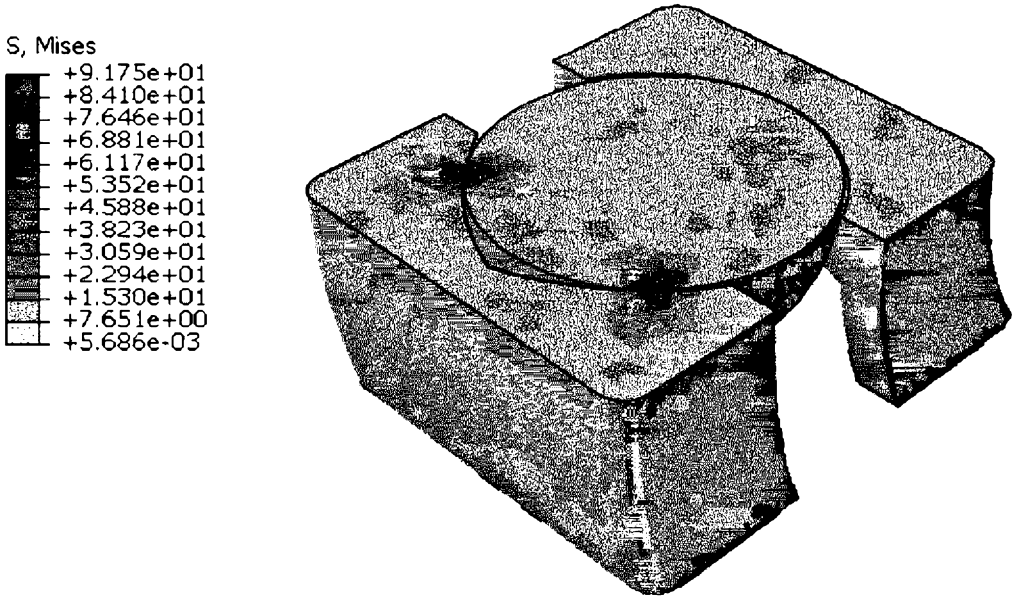

S, Mises
+9.175e+01
+8.410e+01
+7.646e+01
+6.881e+01
+6.117e+01
+5.352e+01
+4.588e+01
+3.823e+01
+3.059e+01
+2.294e+01
+1.530e+01
+7.651e+00
+5.686e-03

Fig.13

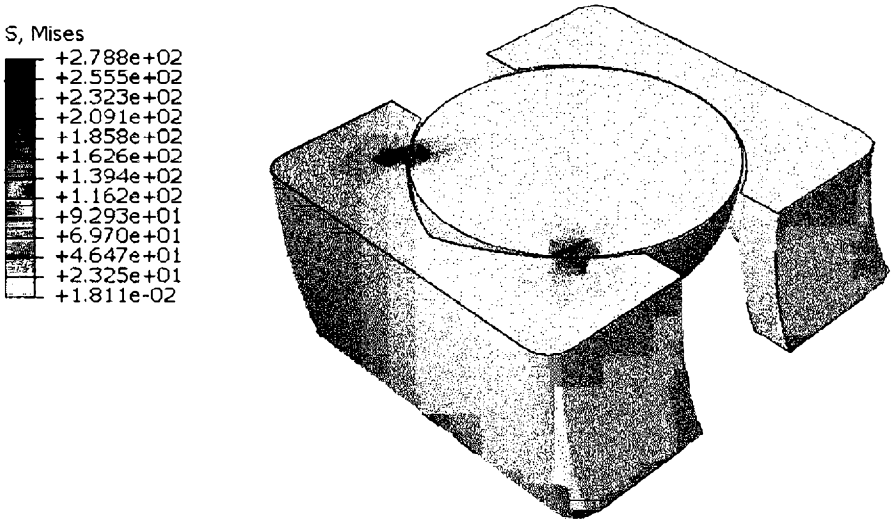


Fig.14

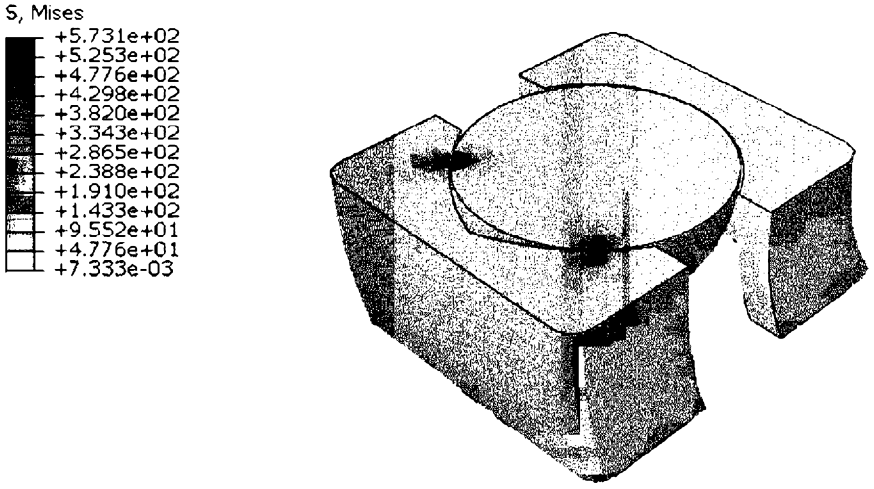


Fig.15

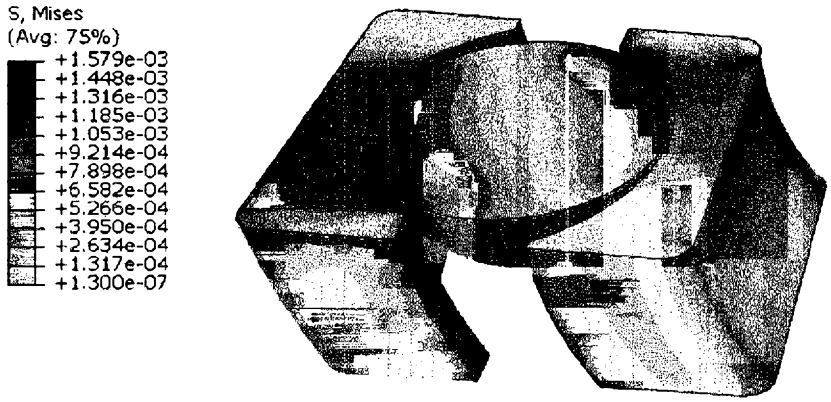


Fig. 16

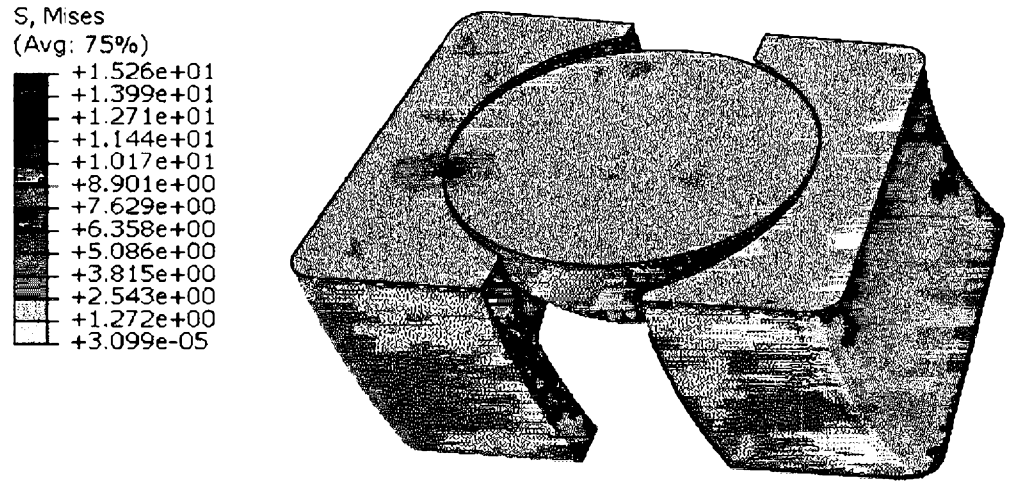

S, Mises
(Avg: 75%)
+1.526e+01
+1.399e+01
+1.271e+01
+1.144e+01
+1.017e+01
+8.901e+00
+7.629e+00
+6.358e+00
+5.086e+00
+3.815e+00
+2.543e+00
+1.272e+00
+3.099e-05

Fig. 17

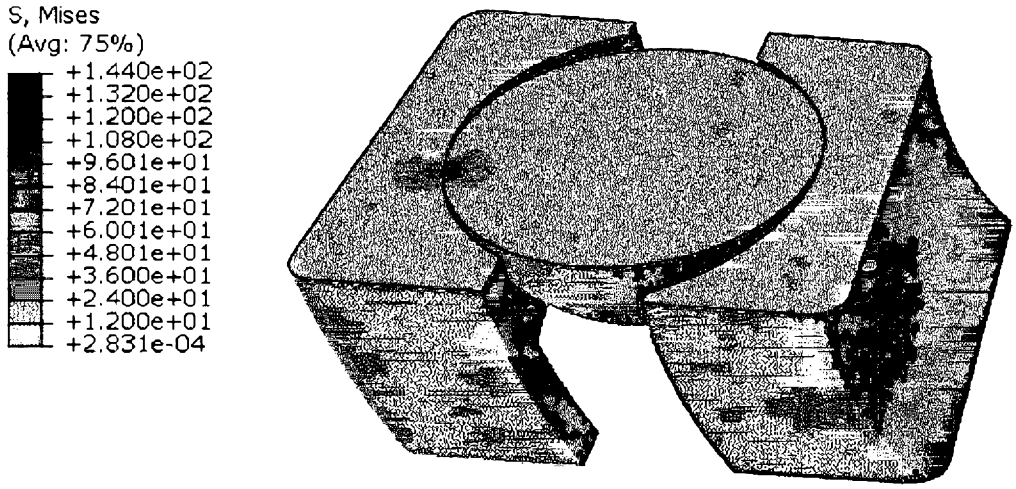

S, Mises
(Avg: 75%)
+1.440e+02
+1.320e+02
+1.200e+02
+1.080e+02
+9.601e+01
+8.401e+01
+7.201e+01
+6.001e+01
+4.801e+01
+3.600e+01
+2.400e+01
+1.200e+01
+2.831e-04

Fig. 18

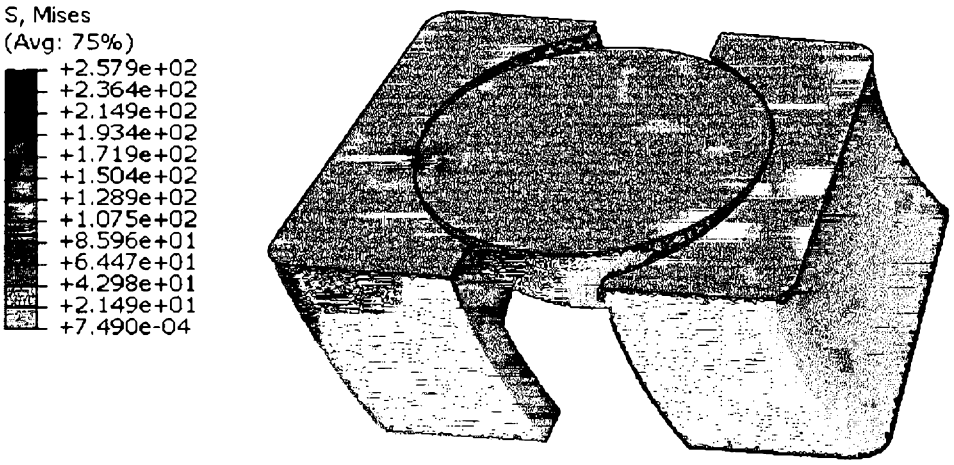


Fig. 19

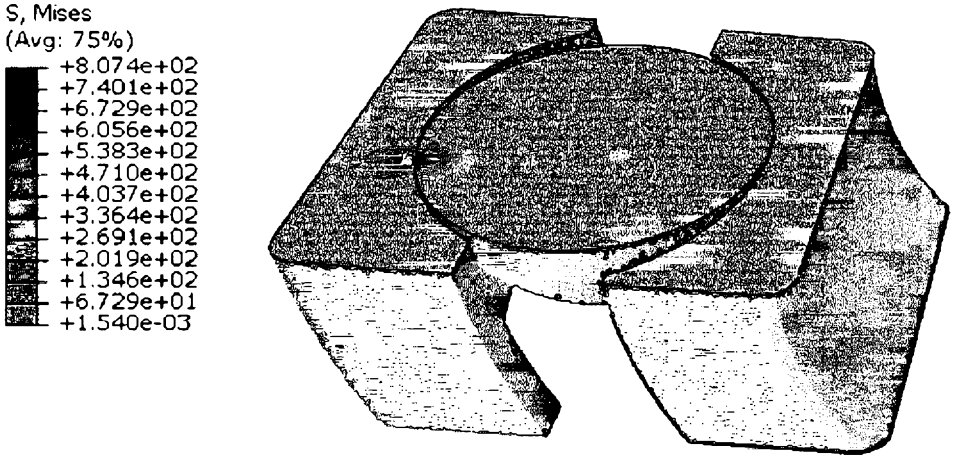


Fig.20

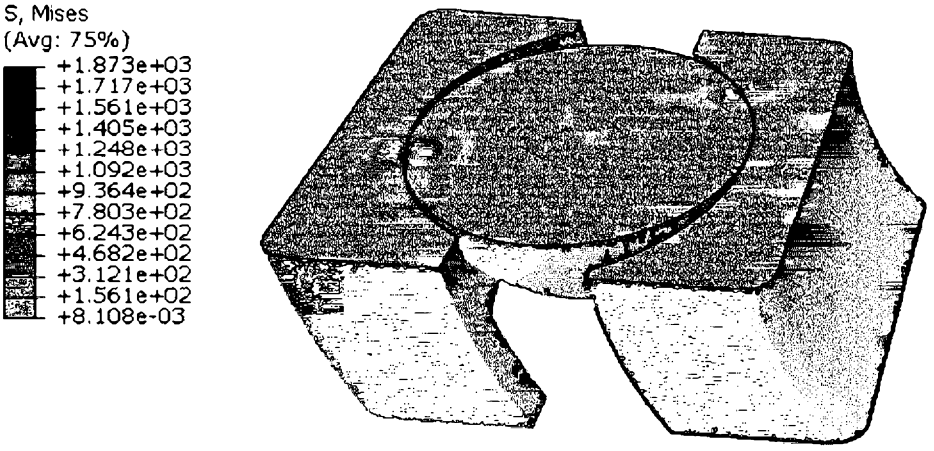


Fig. 21