

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 246819 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **434040**

(22) Data zgłoszenia: **2020.05.22**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2021.11.29 BUP 35/2021**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2025.03.17 WUP 11/2025**

(51) MKP:

B21D 7/00 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA WARSZAWSKA, Warszawa, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:
ANDRZEJ KOCHAŃSKI, Konstancin-Jeziorna, PL
HANNA SADŁOWSKA, Warszawa, PL

(74) Pełnomocnik:
rzec. pat. Oliwia Czarnocka, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

Sposób hydromechanicznego kształtowania zamkniętych profili cienkościennych

PL 246819 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób hydromechanicznego kształtowania zamkniętych profili cienkościennych. Wynalazek ma zastosowanie do wytwarzania gotowych wyrobów oraz preprofilu wstępnie kształtowanych, dedykowanych dalszym operacjom kształtującym.

Jednym ze sposobów plastycznego kształtowania profili metalowych jest formowanie ich przy użyciu ciśnienia cieczy, określane również pojęciem kształtowania hydrodynamicznego lub hydromechanicznego lub rozpęczania cieczą. Technika kształtowania cieczą możliwe jest wykonywanie elementów z metalowych profili lub z blach, a w szczególności z cienkościennych profili zamkniętych, co stanowi alternatywę dla wyrobów odlewanych lub wykonywanych na drodze łączenia profili otwartych lub wytłoczek. W trakcie kształtowania dochodzi do odkształcenia plastycznego wywołanego ciśnieniem cieczy roboczej działającym na ściankę profilu, a kształt profilu regulowany jest zazwyczaj kształtem sztywnej matrycy.

Z amerykańskiego patentu US1 943560 znana jest metoda wykonywania, z profili o przekroju kołowym, profili o dowolnym przekroju, w tym także profili o przekroju ze zmiennym kształtem na długości profilu oraz o zmiennej grubości ścianki profilu. Metoda polega na wypełnieniu kształtowanego profilu cieczą, a następnie kuciu matrycowym tak przygotowanego profilu. Profil w trakcie operacji kucia jest na stałe połączony ze zbiornikiem cieczy. W celu zapobieżenia spadkom ciśnienia cieczy w kształtowanym profilu, w zbiorniku nad lustrem cieczy utrzymywane jest sprężone powietrze. W patencie przedstawiono również rozwiązanie alternatywne, w którym ciecz roboczą zastąpiono materiałem sypkim, takim jak złom kwarcowy lub piasek, albo innym podobnym materiałem charakteryzującym się relatywną nieściśliwością.

W patencie amerykańskim US3443409 przedstawiono metodę hydrodynamicznego kształtowania wyrobów mających kształt mieszka. W rozwiązaniu tym wykorzystuje się gwałtowny wzrost ciśnienia cieczy kształtującej spowodowany impulsem wywołanym, np. uderzeniem szybko poruszającego się tłoka. Zaproponowane rozwiązanie stwarza możliwość taktowego kształtowania mieszków przy równoczesnym uniknięciu konieczności uszczelnienia elementu kształtowanego.

W innym amerykańskim patencie US5107693 został rozwiązany problem uszczelniania połączenia pomiędzy profilem kształtowanym a elementem doprowadzającym ciecz kształtującą do wnętrza kształtowanego profilu. Kształtowany profil o początkowym przekroju kołowym jest wstępnie odkształcany przez matrycę i nadawany jest mu przybliżony kształt. Matryca jest złożona z dwóch połówek. Na tym etapie kształtowany profil ma otwarte końce i jest wypełniony swobodnie przepływającą cieczą. Podczas tego procesu nie dochodzi do zmian grubości ścianek profilu. Dopiero po nadaniu przybliżonego kształtu oba końce profilu są zamykane za pomocą stożkowych trzpieni. Trzpień mają naniezione na powierzchnię stożkową piłokształtne wgłębienia, które wnikając w powierzchnię profilu tworzą szczelne połączenie. Następnie pod wpływem zwiększającego się ciśnienia hydraulicznego cieczy wypełniającej profil następuje jego odkształcenie w formie do postaci gotowego wyrobu odwzorowującego kształt wnęki matrycy. Proces końcowego odkształcania przerywa się po pełnym wypełnieniu wnęki matrycy przez kształtowany profil. Podczas końcowej fazy odkształcania ciśnienie wywierane na stożkowe trzpień i ciśnienie doprowadzanej cieczy jest regulowane hydraulicznie lub elektrohydraulicznie w zależności od ciśnienia wewnątrz kształtowanego profilu.

Opisy znanych dotychczas rozwiązań przedstawiają na ogół sposoby doprowadzania cieczy wykorzystywanej do kształtowania, a ich rozwój na przestrzeni lat dotyczył miejsca doprowadzania oraz chwili i sposobu uszczelnienia elementu kształtowanego. Podstawowym narzędziem nadającym kształt jest zazwyczaj metalowa matryca kształtująca powierzchnię zewnętrzną.

Z opisu patentowego KR20020093494 znany jest także sposób hydroformowania kształtek z płyty zamocowanej w matrycy ciśnieniowej, w której płyta jest zamocowana pomiędzy komorą z cieczą roboczą i komorą ze sprężonym gazem tworzącą poduszkę gazową pomiędzy płytą a powierzchnią kształtowaną matrycy. Formowanie kształtki następuje pod wpływem ciśnienia hydrodynamicznego cieczy i stopniowego uwalniania sprężonego gazu aż do pełnego kontaktu formowanej kształtki z powierzchnią kształtowaną matrycy. Rozwiązanie pozwala na zminimalizowanie niekorzystnego wpływu tarcia na kształtowaną płytę oraz zapewnia jednolity rozkład ciśnienia hydrodynamicznego na całej kształtowanej powierzchni płyty aż do jej kontaktu z powierzchnią kształtowaną matrycy, wymaga jednak wykonania specjalnej matrycy z kanałami gazowymi i zaworami do regulacji ciśnienia sprężonego gazu.

Znany jest patent CN103056215 w którym hydroformowanie odbywa się na stanowisku składającym się z prasy hydraulicznej i systemu grzewczego. System grzewczy pozwala na kontrolowane

podniesienie temperatury materiału kształtowanego blachy. Celem podniesienia temperatury kształtowanego materiału jest poprawienie jego plastyczności.

W amerykańskim patencie US1000574A ujawniono metodę kształtowania zewnętrznej powierzchni profilu w maszynie dedykowanej do wytwarzania beczek. Kształtowany element umieszczany jest w sztywnej formie przez podnoszoną na zawiasie część ruchomą. Napędzane siłownikami końcowe zamknięcia przestrzeni roboczej stanowią uszczelnienie kształtowanego elementu rury metalowej.

W zgłoszeniu patentowym PL424401 (A1), kształt zewnętrzny jest nadawany przez specjalnie wykonaną formę. Forma ta ulega odkształceniu w trakcie formowania. Kontrolowane odkształcenie formy prowadzi do uzyskania założonego kształtu profilu.

W przypadku cienkościennych profili zamkniętych ciecz kształtująca wprowadzana jest do wnętrza profilu. Dostatecznie wysokie ciśnienie cieczy pozwala na lokalne lub globalne uplastycznienie materiału wyrobu. W celu uzyskania odpowiednio wysokiego ciśnienia cieczy wewnątrz kształtowanego profilu stosuje się elementy uszczelniające, które jednocześnie umożliwiają doprowadzenie cieczy do wnętrza profilu. Aby było to możliwe element uszczelniający oraz kształtowany profil są odpowiednio przygotowane, co pozwala na ich połączenie w trakcie procesu kształtowania. Wykonanie odpowiedniego elementu uszczelniającego jest trudne, a czasem ze względu na kształt profilu wręcz niemożliwe.

W celu nadania odpowiedniego kształtu zewnętrznego rozpęczanego profilu powszechnie stosowane jest narzędzie kształtujące, zazwyczaj matryca sztywna, najczęściej wykonana z metalu. Stosowanie metalowej matrycy kształtującej powierzchnię zewnętrzną profilu stwarza istotne ograniczenia dla produkcji jednostkowej lub małoseryjnej. Wykonanie matrycy jest czasochłonne i energochłonne. Jest to przeszkodą stosowania metody kształtowania cieczą do produkcji prototypowej wymagającej wytworzenia elementów o wariantowej geometrii.

Istotą wynalazku jest sposób hydromechanicznego kształtowania zamkniętych profili cienkościennych polegający na wypełnieniu profilu materiałem kształtującym, charakteryzujący się tym, że zamknięty profil cienkościenny mocuje się w uchwytach mocująco-pozycjonujących oraz wprowadza się do profilu cienkościennego element metalowy w postaci pręta, przy czym element metalowy w postaci pręta jest dopasowany w przekroju poprzecznym do kształtowanego profilu cienkościennego i składa się z dwóch lub więcej elementów, końce elementu metalowego zamyka się w zaciskach wyposażonych w napęd i łączy się ze źródłem prądu, następnie do niestopionych, wystających poza profil cienkościenny końców elementu metalowego, przykładą się wzdlużnie siłę, która powoduje podwyższenie ciśnienia roztopionego fragmentu elementu metalowego i odkształcanie profilu cienkościennego, a po zakończeniu procesu kształtowania usuwa się element metalowy, przy czym w części odkształconej i jej okolicach profilu cienkościennego pozostaje pozostałość elementu metalowego tworząc warstwę wewnętrzną.

Korzystnie, element metalowy składa się z dwóch zewnętrznych elementów metalowych.

Korzystnie, pomiędzy dwa zewnętrzne elementy metalowe wprowadza się wewnętrzny element metalowy.

Korzystnie, wewnętrzny element metalowy jest wykonany z metalu o niższej temperaturze topnienia niż kształtowany profil cienkościenny zamknięty obwodowo.

Przedmiot wynalazku jest objaśniony w dwóch przykładach wykonania na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia profil cienkościenny zamknięty w przekroju wzdlużnym wraz z dwoma stykającymi się elementami metalowymi umieszczonymi w uchwytach mocująco-pozycjonujących, Fig. 2 przedstawia profil cienkościenny zamknięty z elementami metalowymi i nałożonymi na ich końcówki zaciskami dostarczającymi energię elektryczną powodującą lokalne stopienie materiału elementów metalowych w regionie styku dwóch ich części, Fig. 3 przedstawia profil cienkościenny zamknięty w trakcie procesu kształtowania, gdzie pokazano strefę uszczelnienia przestrzeni między elementami metalowymi a profilem cienkościennym oraz strefę lokalnego odkształcenia plastycznego kształtowanego profilu cienkościennego, Fig. 4 przedstawia ukształtowany profil cienkościenny po wyjęciu elementu metalowego wraz z warstwą naniesioną na wewnątrz strefy odkształconej, Fig. 5 przedstawia profil cienkościenny zamknięty w przekroju wzdlużnym wraz z trzema elementami metalowymi umieszczonymi w uchwytach mocująco-pozycjonujących, Fig. 6 przedstawia profil cienkościenny zamknięty z elementami metalowymi z nałożonymi na jego końcówki zaciskami dostarczającymi energię elektryczną powodującą lokalne stopienie materiału elementów metalowych w regionie styku elementów metalowych oraz strefę uszczelnienia przestrzeni między elementami metalowymi a profilem cienkościennym, Fig. 7 przedstawia profil cienkościenny zamknięty w trakcie procesu kształtowania, gdzie pokazano strefy lokalnego

odkształcenia plastycznego kształtowanego profilu cienkościennego, Fig. 8 przedstawia ukształtowany profil cienkościenny po wyjęciu elementu metalowego wraz z warstwą naniesioną na wnętrze strefy odkształconej.

Przykład 1. Sposób hydromechanicznego kształtowania profili cienkościennych 1 zamkniętych obwodowo realizowany jest na stanowisku do hydromechanicznego kształtowania, gdzie profil cienkościenny 1 zamknięty obwodowo o średnicy 30 mm i grubości ścianki 1 mm jest mocowany i pozycjonowany w uchwytach mocująco-pozycjonujących 2, a w profilu cienkościennym umieszczany jest element metalowy 3 w postaci pręta, o średnicy 29,8 mm i składa się z dwóch zewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b wykonanych z mosiądzu krzemowego, które wsuwa się do profilu cienkościennego 1 tak, aby stykały się ze sobą czołowo, przy czym dwa skrajne końce zewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b wystają poza końce profilu cienkościennego 1 i mocowane są w zaciskach 4 wyposażonych w napęd, służących także do doprowadzenia energii elektrycznej o regulowanej mocy do 20000 VA do wystających z profilu cienkościennego 1 końców zewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b, w których dzięki przepływowi energii elektrycznej o regulowanym natężeniu prądu i rezystancji na powierzchni styku zewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b dochodzi do lokalnego stopienia fragmentu 5 elementów metalowych 3a i 3b, przy czym zaciski 4 pozwalają zadaną siłą i prędkością przemieszczać końce zewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b wzdłuż osi kształtowanego profilu cienkościennego 1 zbliżając je do siebie i poddając działaniu ściskającemu prowadząc do stopienia fragmentu 5 zewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b, co prowadzi do przemieszczania się stopionego metalu w przestrzeń między kształtowanym profilem cienkościennym 1 a zewnętrznymi elementami metalowymi 3a i 3b i utworzenia strefy uszczelnienia 6 między zewnętrznymi elementami metalowymi 3a i 3b a profilem cienkościennym 1, a także nagrzewając kształtowany profil cienkościenny 1 oraz prowadząc do utworzenia strefy lokalnego kształtowania plastycznego 7 profilu cienkościennego 1 wywołanego zwiększonym ciśnieniem roztopionego wewnątrz profilu cienkościennego 1 fragmentu 5 oraz dzięki podgrzaniu profilu cienkościennego 1 do temperatury nieprzekraczającej jego temperatury topnienia. Po uzyskaniu zadanego stopnia deformacji strefy lokalnego kształtowania plastycznego 7 nieroztopione części zewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b są usuwane z profilu cienkościennego 1 za pomocą zacisków 4 realizujących ruch wzdłużny, a lokalnie roztopiony fragment 5 przestaje być poddawany ciśnieniu, co skutkuje zakończeniem procesu odkształcenia profilu cienkościennego 1, i zostaje częściowo usunięty z profilu cienkościennego 1 wraz z usuwanymi końcami nieroztopionych zewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b i pozostawia we wnętrzu profilu cienkościennego 1 w jej części odkształconej i okolicach niewielką pozostałość tworzącą warstwę wewnętrzną 8.

Przykład 2. Sposób hydromechanicznego kształtowania profili cienkościennych 1 zamkniętych obwodowo realizowany jest na stanowisku do hydromechanicznego kształtowania, gdzie profil cienkościenny 1 zamknięty obwodowo o średnicy 30 mm i grubości ścianki 1 mm jest mocowany i pozycjonowany w uchwytach mocująco-pozycjonujących 2, a w profilu cienkościennym 1 umieszczany jest element metalowy 3 w postaci pręta o średnicy 29,8 mm, i składa się z dwóch zewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b wykonanych z miedzi oraz dodatkowej części, wewnętrznego elementu metalowego 3c wykonanego ze stopu cyny, które wsuwa się do profilu cienkościennego 1 tak, aby stykały się ze sobą czołowo, przy czym dwa skrajne końce zewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b wystają poza końce profilu cienkościennego 1 i mocowane są w zaciskach 4 wyposażonych w napęd, służących także do doprowadzenia energii elektrycznej o regulowanej mocy do 10000 VA do wystających z profilu cienkościennego 1 końców zewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b, w których dzięki przepływowi energii elektrycznej o regulowanym natężeniu prądu i rezystancji na powierzchni styku zewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b dochodzi do lokalnego stopienia fragmentu 5 zewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b, przy czym zaciski 4 pozwalają zadaną siłą i prędkością przemieszczać końce zewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b wzdłuż osi kształtowanego profilu cienkościennego 1 zbliżając je do siebie i poddając działaniu ściskającemu prowadząc do stopienia fragmentu 5 zewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b, co prowadzi do przemieszczania się stopionego metalu w przestrzeń między kształtowanym profilem cienkościennym 1 a zewnętrznymi elementami metalowymi 3a i 3b i utworzenia strefy uszczelnienia 6 między zewnętrznymi elementami metalowymi 3a i 3b a profilem cienkościennym 1, a także nagrzewając kształtowany profil cienkościenny 1 oraz prowadząc do utworzenia strefy lokalnego kształtowania plastycznego profilu 7 wywołanego zwiększonym ciśnieniem roztopionego wewnątrz profilu cienkościennego 1 fragmentu 5 zewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b oraz dzięki podgrzaniu profilu cienkościennego 1 do temperatury nieprzekraczającej jego tempera-

tury topnienia. Po uzyskaniu zadanego stopnia deformacji strefy lokalnego kształtowania plastycznego 7 nieroztopione części zewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b są usuwane z profilu cienkościennego 1 za pomocą zacisków 4 realizujących ruch wzdłużny, a lokalnie roztopiony fragment 5 wewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b przestaje być poddawany ciśnieniu, co skutkuje zakończeniem procesu odkształcenia profilu cienkościennego 1, i zostaje częściowo usunięty z profilu cienkościennego 1 wraz z usuwanymi końcami nieroztopionych zewnętrznych elementów metalowych 3a i 3b i pozostawia we wnętrzu profilu cienkościennego 1 w jej części odkształconej i okolicach niewielką pozostałość tworzącą warstwę wewnętrzną 8.

Rozwiązanie według wynalazku umożliwia wykonanie elementów kształtowanych hydromechanicznie z materiałów trudno odkształcalnych. Zastosowanie metalu doprowadzanego lokalnie do stanu ciekłego pozwala na kształtowanie profilu w lokalnie podwyższonej temperaturze, co nie wpływa na właściwości mechaniczne w pozostałych obszarach profilu. W rozwiązaniu tym przestrzeń pomiędzy wkładem metalowym wprowadzonym do kształtowanego profilu a profilem kształtowanym samoczynnie jest uszczelniana przez stopiony lokalnie materiał wkładu metalowego, co minimalizuje ograniczenia dotyczące stosowanego ciśnienia potrzebnego do odkształcenia plastycznego profilu.

Dodatkową zaletą rozwiązania jest także równoczesne z kształtowaniem plastycznym profilu nanoszenie powłoki metalowej na wewnętrzne powierzchnie kształtowanego profilu. W tradycyjnych rozwiązaniach nanoszenie powłoki odbywa się albo przed kształtowaniem albo po kształtowaniu, co niesie ze sobą różne niedogodności, w tym konieczność wykonania dodatkowej operacji. Ponadto nanoszona powłoka w sposób przedstawiony w niniejszym rozwiązaniu charakteryzuje się wysokimi walorami mechanicznymi i użytkowymi, ponieważ jest nanoszona na już ukształtowaną powierzchnię podczas jej tworzenia. Równocześnie nanoszenie odbywa się w podwyższonej temperaturze i przy podwyższonym ciśnieniu. Zarówno wysoka temperatura, jak i wysokie ciśnienie stwarzają dogodniejsze warunki do dyfuzji, co sprawia, że naniesiona powłoka ma korzystniejsze właściwości.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób hydromechanicznego kształtowania zamkniętych profili cienkościennych polegający na wypełnieniu profilu materiałem kształtującym, **znamienny tym**, że zamknięty profil cienkościenny (1) mocuje się w uchwytych mocująco-pozycjonujących (2) oraz wprowadza się do profilu cienkościennego (1) element metalowy (3) w postaci pręta, przy czym element metalowy (3) w postaci pręta jest dopasowany w przekroju poprzecznym do kształtowanego profilu cienkościennego (1) i składa się z dwóch lub więcej elementów (3a, 3b, 3c), końce elementu metalowego (3) zamyka się w zaciskach (4) wyposażonych w napęd i łączy się ze źródłem prądu, następnie do niestopionych, wystających poza profil cienkościenny (1) końców elementu metalowego (3), przykłada się wzdłużnie siłę, która powoduje podwyższenie ciśnienia roztopionego fragmentu elementu metalowego (3) i odkształcanie profilu cienkościennego (1), a po zakończeniu procesu kształtowania usuwa się element metalowy (3), przy czym w części odkształconej i jej okolicach profilu cienkościennego (1) pozostaje pozostałość elementu metalowego (3) tworząc warstwę wewnętrzną (8).
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że element metalowy (3) składa się z dwóch zewnętrznych elementów metalowych (3a, 3b).
3. Sposób według zastrz. 2, **znamienny tym**, że pomiędzy dwa zewnętrzne elementy metalowe (3a, 3b) wprowadza się wewnętrzny element metalowy (3c).
4. Sposób według zastrz. 3, **znamienny tym**, że wewnętrzny element metalowy (3c) jest wykonany z metalu o niższej temperaturze topnienia niż kształtowany profil cienkościenny (1) zamknięty obwodowo.

Rysunki

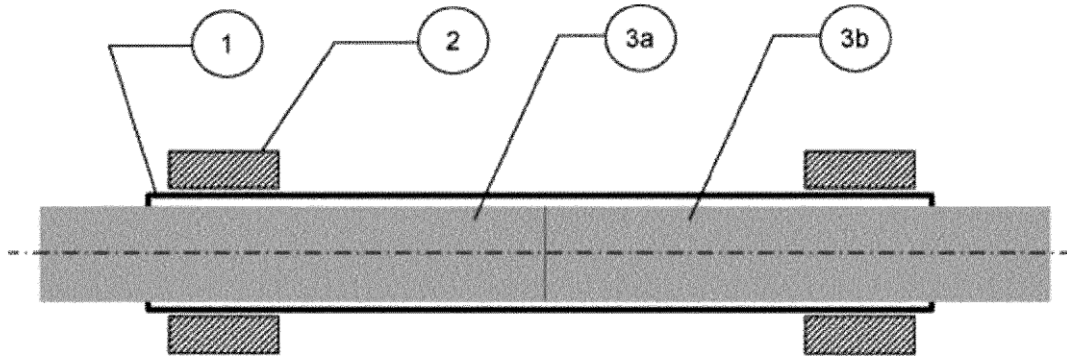


Fig. 1

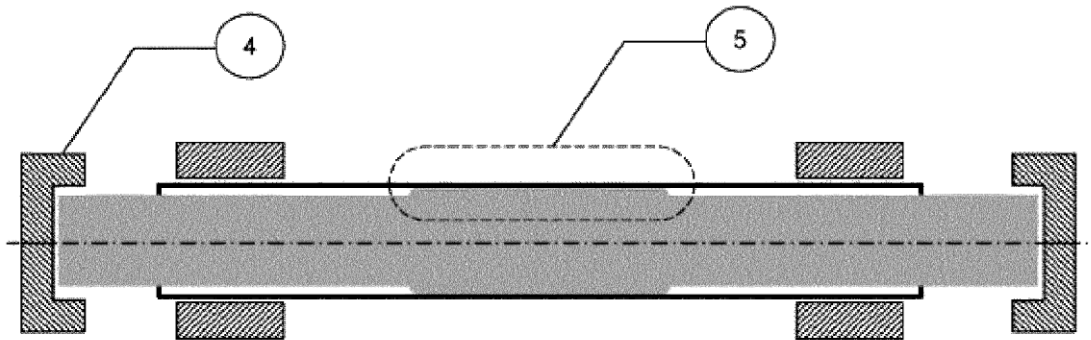


Fig. 2

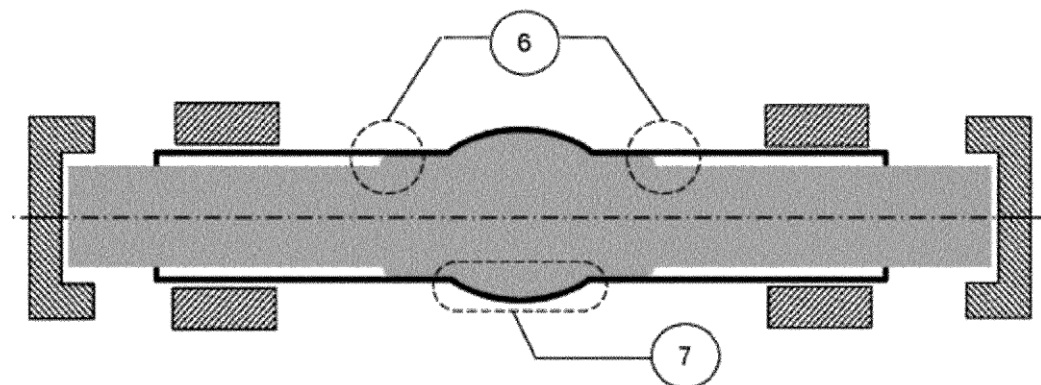


Fig. 3

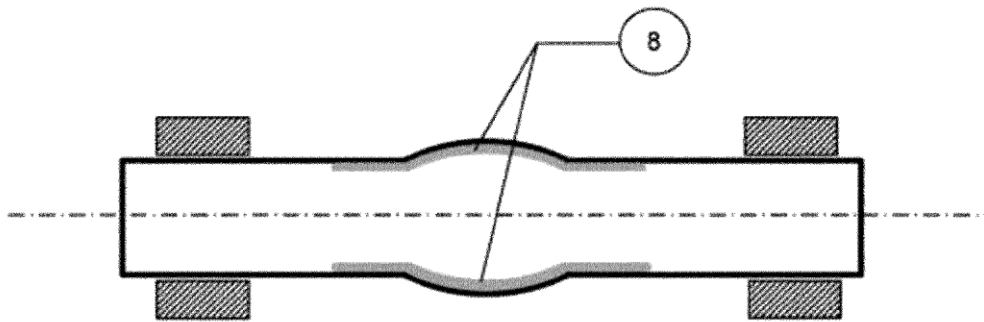


Fig. 4

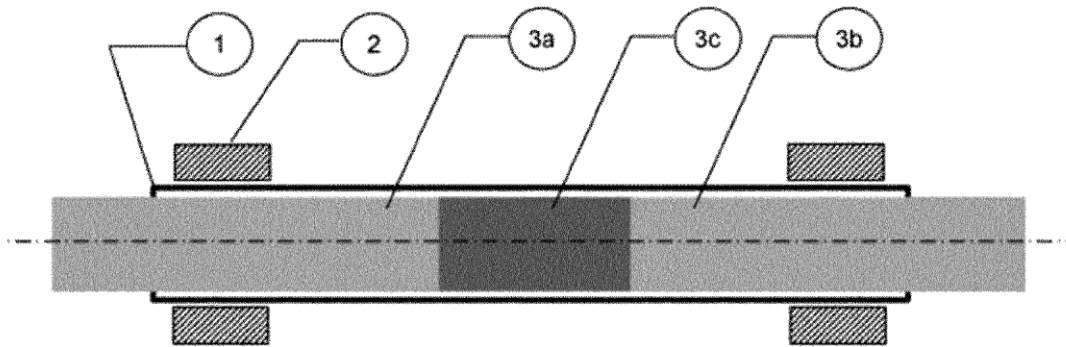


Fig. 5

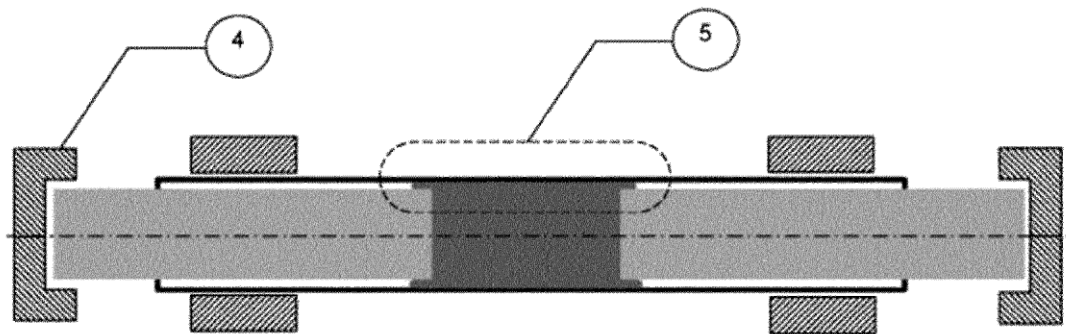


Fig. 6

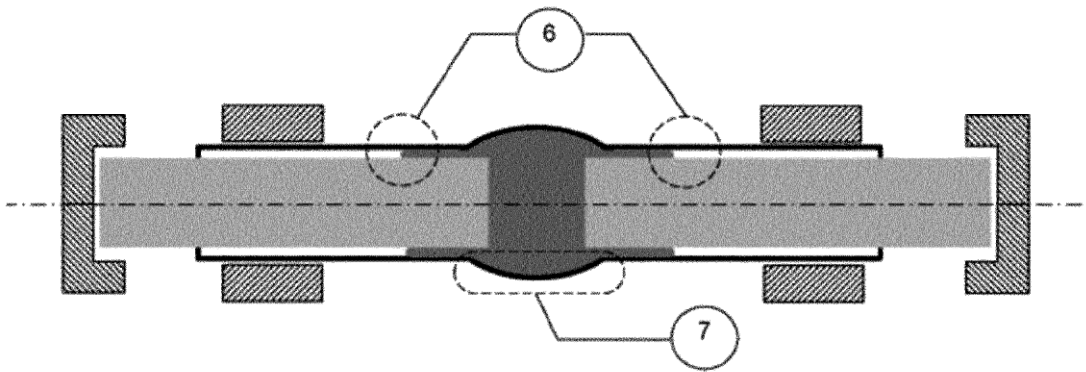


Fig. 7

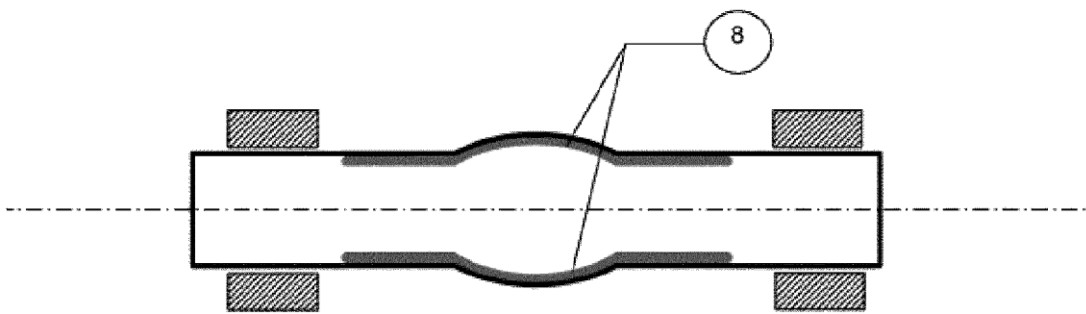


Fig. 8