

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 244703 B1

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **438592**

(22) Data zgłoszenia: **2021.07.26**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.01.30 BUP 05/2023**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.02.26 WUP 09/2024**

(51) MKP:

B21J 1/06 (2006.01)

B21J 5/00 (2006.01)

B21K 1/00 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL
SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ –
GÓRNOŚLĄSKI INSTYTUT TECHNOLOGICZNY,
Gliwice, PL
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,
Kraków, PL
KUŹNIA JAWOR SPÓŁKA AKCYJNA, Jawor, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

PAWEŁ KACZYŃSKI, Wrocław, PL
ZBIGNIEW GRONOSTAJSKI, Wrocław, PL
MACIEJ ZWIERZCHOWSKI, Wilczyce, PL
ARTUR BAREŁKOWSKI, Wrocław, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Katarzyna Paprzycka, Wrocław, PL

(54) Tytuł:

Sposób zwiększania wydajności wytwarzania osiowosymetrycznych odkuwek typu kołnierzowego wykonanych ze stali P245GH

PL 244703 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób zwiększania wydajności wytwarzania osiowosymetrycznych odkuwek typu kołnierzewego wykonanych ze stali P245GH. Sposób polega na zastosowaniu wyżarzania normalizującego bezpośrednio po kuciu bez chłodzenia gotowych elementów do temperatury pokojowej oraz wygrzewaniu elementów i ich schładzaniu do temperatury otoczenia.

Znaczna część przedmiotów codziennego użytku wytwarzana jest za pomocą odkształcania metali poprzez wywieranie na nie nacisku za pomocą specjalnych urządzeń kuźniczych (np. młotów, pras, kuźniarek) oraz narzędzi, najczęściej stempla i matrycy. Tak wytwarzane elementy cechują się wysoką wytrzymałością, co pozwala na ich zastosowanie w najbardziej wymagających aplikacjach. Opisana technologia wytwarzania znajduje zastosowanie w procesach wytwarzania osiowosymetrycznych odkuwek typu kołnierzewego. Do tej grupy elementów można zaliczyć różnego rodzaju akcesoria hydrauliczne, w szczególności kołnierze płaskie, gwintowane, zaślepiające, szyjkowe i inne.

Wykonywanie elementów w procesach kucia i obróbki cieplnej wiąże się ze znacznym wydatkiem energetycznym potrzebnym do wykonania pracy odkształcenia plastycznego metalu w całej jego objętości. Aby zmniejszyć siły kształtowania powszechnie stosuje się podgrzewanie materiału wsadowego, co pozwala obniżyć jego wytrzymałość i zwiększyć znacząco jego właściwości plastyczne na czas kształtowania. W typowym procesie kucia elementów kołnierzowych temperatura materiału wsadowego przekracza 1100°C . Następnie w wyniku odkształcania uzyskuje się bardzo dużą niejednorodność rozkładu odkształcenia zarówno na powierzchni, jak i w całej w objętości materiału. Typowe wartości odkształcenia uzyskiwane w ramach jednego przedmiotu wynoszą od 0,5 do nawet 15. Dodatkowo chłodzenie przedmiotu po procesie kucia odbywa się ze skrajnie różnymi prędkościami. Miejsca o większym przekroju wychładzają się znacznie wolniej, aniżeli przekroje cienkościenne. Jest to związane z ograniczoną możliwością oddawania ciepła z materiału do otoczenia na drodze konwekcji oraz z bardzo szybkim transportem ciepła z wnętrza odkuwki do warstwy przypowierzchniowej na drodze przekazywania. W zależności od grubości materiału oraz jego pojemności cieplnej możliwe jest uzyskanie prędkości chłodzenia od 5°C/s do nawet 100°C/s . Po kuciu wykonuje się obowiązkowo obróbkę cieplną, zazwyczaj wyżarzanie normalizujące, co pozwala na znaczące zwiększenie własności wytrzymałościowych. Opisana, bardzo duża niejednorodność odkształceń oraz prędkości chłodzenia odkuwki przekłada się na trudności w precyzyjnym ustaleniu krytycznej temperatury przemiany austenitu w ferryt lub perlit (T_N). Temperatura tej przemiany waha się od $T_N = 350^{\circ}\text{C}$ do nawet $T_N = 600^{\circ}\text{C}$. Dodatkowo brak jest możliwości wykonania pomiaru temperatury wewnątrz przedmiotu za pomocą metod nieniszczących. Skutkuje to zgrubnym szacowaniem tej temperatury na podstawie doświadczenia technologicznego oraz pomiaru temperatury warstwy wierzchniej za pomocą termopar, pirometrów lub metod termowizyjnych. W praktyce opisane problemy skutkują koniecznością zachowania szerokiego marginesu bezpieczeństwa i schłodzenia gotowej odkuwki do temperatury otoczenia, szczególnie gdy mowa o krótkich seriach produkcyjnych oraz wytwarzania przedmiotów na nieautomatyzowanych liniach produkcyjnych.

Następnie wykonywane jest normalizowanie, tj. ponowne podgrzewanie materiału do temperatury T_{N1} , która jest wyższa o około $30\text{--}50^{\circ}\text{C}$ od temperatury T_N . Szeroki zakres temperatur T_N , skutkuje również szerokim zakresem temperatur T_{N1} , który wynosi od $T_{N1} = 400^{\circ}\text{C}$ do $T_{N1} = 650^{\circ}\text{C}$. W praktyce materiał nagrzewa się więc do temperatury nie mniejszej niż 650°C tak, aby w wyniku ponownej przemiany ferrytu i perlitu w austenit uzyskać rozdrobnienie ziaren i jednorodny rozkład ich wielkości w całym przekroju odkuwki.

Po uzyskaniu zadanej temperatury materiał jest wygrzewany przez odpowiednio długi czas tak, aby umożliwić zajście przemian fazowych w całej objętości materiału. Ponieważ w praktyce produkcyjnej możliwość skrócenia czasu wygrzewania pozwala znacząco obniżyć koszty wytwarzania zazwyczaj stosuje się znacznie wyższe temperatury wynoszące nie mniej niż 750°C . Następnie wygrzany materiał jest chłodzony na powietrzu do temperatury otoczenia, co skutkuje uzyskaniem jednorodnej drobnoziarnistej struktury ferrytyczno-perlitycznej.

Wadą opisanego procesu produkcyjnego jest konieczność międzyoperacyjnego chłodzenia materiału po procesie kucia, co wiąże się z koniecznością ponownego nagrzania materiału, a więc znaczącym wydatkiem energetycznym i zwiększeniem kosztów wytworzenia wyrobu finalnego. Ujawniony sposób zwiększania wydajności wytwarzania pozwoli precyzyjnie ustalić parametry obróbki cieplnej dla wybranej grupy osiowosymetrycznych odkuwek typu kołnierzewego wykonanych ze stali P245GH tak, iż po procesie kucia nie będzie konieczne chłodzenie odkuwki do temperatury pokojowej, a jedynie nieznacznie poniżej temperatury przemiany fazowej T_N . Pozwoli to znacząco ograniczyć ilość ciepła, które

należy dostarczyć do odkuwki, aby podgrzać ją do temperatury T_{N1} . W rezultacie zwiększona zostanie wydajność produkcji oraz zredukowana zostanie energochłonność wytwarzania i ograniczona zostanie emisja CO_2 do atmosfery, co umożliwi znaczące zwiększenie konkurencyjności firm kuźniczych stosujących opisany sposób. Znana jest ograniczona liczba zbliżonych rozwiązań. Najważniejsze spośród nich opisano poniżej.

W przemyśle motoryzacyjnym szeroko stosowana jest obróbka cieplna polegająca na przyspieszonym chłodzeniu odkuwek zaraz po ich odkuciu. Odbywa się to na tzw. linii BY (Behandlung auf bestimmte Streckgrenze, Yield-Strength – obróbka nadająca materiałowi odpowiednią granicę plastyczności), która składa się zazwyczaj z kilku wentylatorów oraz ażurowej taśmy transportującej odkuwki oraz umożliwiającej swobodny przepływ powietrza. Regulując prędkość posuwu taśmy, można w pewnym zakresie zmieniać temperaturę, w której kończy się przyspieszone chłodzenie i w ten sposób poprawić właściwości mechaniczne odkuwek. Linie tego typu są stosowane w przypadku odkuwek wykonywanych ze stali węglowych lub stali do utwardzania wydzieleniowego. Należy jednak zwrócić uwagę, że obróbka cieplna tego typu nie może poprawić mikrostruktury powstałej w czasie kucia np. poprzez zmniejszenie wielkości ziarna, ponieważ nie występuje w takim przypadku przemiana fazowa. Obróbka cieplna tego typu zapobiega jedynie niekorzystnym zjawiskom, wynikającym ze zbyt wolnego stygnięcia w czasie, gdy gorące odkuwki są składowane w pojemnikach, więc odprowadzenie ciepła jest utrudnione.

W publikacji pod tytułem „Massivumgeformte Komponente” wydanej przez Hirschvogel Holding GmbH ujawniono, że w kuźni należącej do tego holdingu prowadzi się zaawansowane badania nad wykorzystaniem ciepła kucia do operacji obróbki cieplnej. Obecnie wdrażana uruchamiana jest linia produkcyjna do kucia korpusów wtryskiwaczy używanych w samochodowych silnikach wysokoprężnych. Korpusy są hartowane i odpuszczane po kuciu w temperaturze $900^{\circ}C$. W przeciwieństwie ujawnionego sposobu w którym przedmiot poddawany jest powtórnemu nagrzewaniu i chłodzeniu z odpowiednią prędkością, w przedmiotowej publikacji jest on od razu chłodzony z dużą prędkością do temperatury otoczenia.

Celem według wynalazku jest opracowanie nowego sposobu zwiększania wydajności wytwarzania osiowosymetrycznych odkuwek bez pogarszania właściwości mechanicznych osiowosymetrycznych odkuwek typu kołnierzonego wykonanych ze stali P245GH.

Sposób zwiększania wydajności wytwarzania osiowosymetrycznych odkuwek typu kołnierzonego wykonanych ze stali P245GH, w którym gorące odkuwki po procesie kucia schładza się do temperatury poniżej $650^{\circ}C$ z prędkością nie większą niż $50^{\circ}C/s$, następnie podgrzewa się je do temperatury powyżej $750^{\circ}C$ i wygrzewa się je w tej temperaturze nie krócej niż 15 min, po czym schładza się je do temperatury otoczenia z prędkością nie większą niż $50^{\circ}C/s$ według wynalazku charakteryzuje się tym, iż po procesie kucia odkuwki chłodzi się do uzyskania średniej temperatury powierzchniowej w zakresie od $420^{\circ}C$ do $460^{\circ}C$ z prędkością od $1^{\circ}C/s$ do $10^{\circ}C/s$ po czym niezwłocznie, bez wykonywania dodatkowych zabiegów międzyoperacyjnych, nagrzewa się je do temperatury $890-930^{\circ}C/s$ i przed rozpoczęciem chłodzenia wygrzewa się je w warunkach izotermicznych przez co najmniej 20 min.

Korzystnie stosunek średnicy odkuwki ($\varnothing D$) do jej grubości (g) mieści się w przedziale 1-10, a maksymalna wysokość (h) odkuwki nie przekracza 100 mm.

Korzystnie podczas chłodzenia odkuwek do uzyskania temperatury powierzchni od $420^{\circ}C$ do $460^{\circ}C$ oraz podczas powtórnego nagrzewania odkuwek do temperatury $890-930^{\circ}C/s$ nie stykają się one ze sobą, co pozwala na zachowanie jednorodnego rozkładu prędkości chłodzenia na całej powierzchni odkuwki.

Sposób według wynalazku został przedstawiony bliżej w przykładach realizacji oraz na rysunku, na którym:

fig. 1 przedstawia schemat prowadzonego procesu,

fig. 2 przedstawia wpływ prędkości chłodzenia odkuwki z temperatury kucia do temperatury przemiany fazowej austenitu w perlit lub ferryt (T_N) na udarność wyrobu końcowego i tempo produkcji,

fig. 3 przedstawia półwidok-półprzekrój kołnierza szyjkowego, który może być wytwarzany według ujawnionego sposobu,

fig. 4 przedstawia półwidok-półprzekrój kołnierza zaślepiającego, który może być wytwarzany według ujawnionego sposobu.

Przykład 1

Sposób zwiększania wydajności wytwarzania osiowosymetrycznych odkuwek typu kołnierzo-
wego wykonanych ze stali P245GH w przykładzie realizacji pierwszym według wynalazku polega na
tym, że wsad w postaci pręta kwadratowego o wymiarach 75x75x75 mm wykonanego z niestopowej
stali P245GH podgrzano do temperatury 1150°C poprzez umieszczenie go na okres 240 s w nagrzew-
nicy indukcyjnej. Następnie przetransportowano go na stanowisko wytwarzania kołnierza szyjkowego
o średnicy zewnętrznej $\varnothing D = 185$ mm do pracy pod ciśnieniem nominalnym PN16 (przedstawionego na
fig. 3) wg. normy EN 1092-1-2001 i kuto go w 3 operacjach w układzie pojedynczym na prasie korbowej
Massey o nacisku nominalnym 25 MN. Każdorazowo przed umieszczeniem materiału w wykroju robo-
czym narzędzia smarowane były wodą z grafitem, która była dawkowana metodą natryskową za po-
mocą lancy. Temperatury kolejnych zestawów narzędzi wynosiły 350°C, 250°C oraz 250°C. Po wyko-
naniu wszystkich operacji odkuwka o temperaturze rdzenia 1120°C była automatycznie transportowana
za pomocą manipulatora przemysłowego na dwupunktową prasę okrojczą Wilkins & Mitchell o nacisku
nominalnym 3,5 MN, która usuwała wypływkę. Po tym zabiegu ramię robota transportowało odkuwkę
na automatyczną przenośnikową linię chłodzącą, gdzie chłodzono ją za pomocą powietrza ze średnią
prędkością 2,7°C/s do osiągnięcia średniej temperatury powierzchni 440°C oraz temperatury rdzenia
470°C, co było mierzone termoparą typu K umieszczoną w otworze, którego koniec sięgał punktu
o najwyższej temperaturze. Następnie odkuwka była niezwłocznie transportowana do pieca o tempera-
turze 910°C i po osiągnięciu temperatury pieca wygrzewano ją izotermicznie przez okres 25 min. Po
tym zabiegu odkuwkę przenoszono na stanowisko składowania, gdzie była ona chłodzona do tempera-
tury pokojowej na powietrzu. Opisany proces pozwolił na uzyskanie jednorodnej pod względem wielko-
ści ziaren, drobnoziarnistej struktury ferrytyczno-perlitycznej w całej objętości materiału.

Przykład 2

Sposób zwiększania wydajności wytwarzania osiowosymetrycznych odkuwek typu kołnierzo-
wego wykonanych ze stali P245GH prowadzono w pierwszym etapie jak w Przykładzie 1, następnie
ramię robota transportowało odkuwkę na automatyczną przenośnikową linię chłodzącą, gdzie chłó-
dzono ją za pomocą powietrza ze średnią prędkością 1°C/s do osiągnięcia średniej temperatury po-
wierzchni 420°C oraz temperatury rdzenia 450°C, co było mierzone termoparą typu K umieszczoną
w otworze, którego koniec sięgał punktu o najwyższej temperaturze. Następnie odkuwka była nie-
zwłocznie transportowana do pieca o temperaturze 890°C i po osiągnięciu temperatury pieca wygrze-
wano ją izotermicznie przez okres 20 min. Po tym zabiegu odkuwkę przenoszono na stanowisko skła-
dowania, gdzie była ona chłodzona do temperatury pokojowej na powietrzu. Opisany proces pozwolił
na uzyskanie jednorodnej pod względem wielkości ziaren, drobnoziarnistej struktury ferrytyczno-perli-
tycznej w całej objętości materiału.

Przykład 3

Sposób zwiększania wydajności wytwarzania osiowosymetrycznych odkuwek typu kołnierzo-
wego wykonanych ze stali P245GH prowadzono w pierwszym etapie jak w Przykładzie 1, następnie
ramię robota transportowało odkuwkę na automatyczną przenośnikową linię chłodzącą, gdzie chłó-
dzono ją za pomocą powietrza ze średnią prędkością 10°C/s do osiągnięcia średniej temperatury po-
wierzchni 460°C oraz temperatury rdzenia 480°C, co było mierzone termoparą typu K umieszczoną
w otworze, którego koniec sięgał punktu o najwyższej temperaturze. Następnie odkuwka była nie-
zwłocznie transportowana do pieca o temperaturze 930°C i po osiągnięciu temperatury pieca wygrze-
wano ją izotermicznie przez okres 30 min. Po tym zabiegu odkuwkę przenoszono na stanowisko skła-
dowania, gdzie była ona chłodzona do temperatury pokojowej na powietrzu. Opisany proces pozwolił
na uzyskanie jednorodnej pod względem wielkości ziaren, drobnoziarnistej struktury ferrytyczno-perli-
tycznej w całej objętości materiału.

Przykład 4

Sposób zwiększania wydajności wytwarzania osiowosymetrycznych odkuwek typu kołnierzo-
wego wykonanych ze stali P245GH jak w przykładzie pierwszym, z tą różnicą, że kuty jest kołnierz
zaślepiający typ 05 do pracy przy ciśnieniu nominalnym PN40 o średnicy zewnętrznej $\varnothing D = 115$ mm
(przedstawiony na fig. 4) wg. normy EN 1092-12001, z wsadu w postaci pręta okrągłego o wymiarach
 $\varnothing 70 \times 45$ mm, a po przeniesieniu odkuwki na stanowisko składowania była ona dodatkowo poddana
śrutowaniu.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób zwiększania wydajności wytwarzania osiowosymetrycznych odkuwek typu kołnierzo-
wego wykonanych ze stali P245GH, w którym gorące odkuwki po procesie kucia schładza się
do temperatury poniżej 650°C z prędkością nie większą niż 50°C/s, następnie podgrzewa się
je do temperatury powyżej 750°C i wygrzewa się je w tej temperaturze nie krócej niż 15 min,
po czym schładza się je do temperatury otoczenia z prędkością nie większą niż 50°C/s, **zna-
mienny tym**, że po procesie kucia odkuwki chłodzi się do uzyskania średniej temperatury
powierzchniowej w zakresie od 420°C do 460°C z prędkością od 1°C/s do 10°C/s po czym
niezwłocznie, bez wykonywania dodatkowych zabiegów międzyoperacyjnych, nagrzewa się
je do temperatury 890-930°C/s i przed rozpoczęciem chłodzenia wygrzewa się je w warunkach
izotermicznych przez co najmniej 20 min.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że stosunek średnicy odkuwki ($\varnothing d$) do jej grubości
(g) mieści się w przedziale 1-10, a maksymalna wysokość (h) odkuwki nie przekracza
100 mm.
3. Sposób według dowolnego z poprzednich zastrzeżeń, **znamienny tym**, że podczas chłodze-
nia odkuwek do uzyskania temperatury powierzchni od 420°C do 460°C oraz podczas powtór-
nego nagrzewania odkuwek do temperatury 890-930°C/s nie stykają się one ze sobą, co po-
zwala na zachowanie jednorodnego rozkładu prędkości chłodzenia na całej powierzchni od-
kuwki.

Rysunki

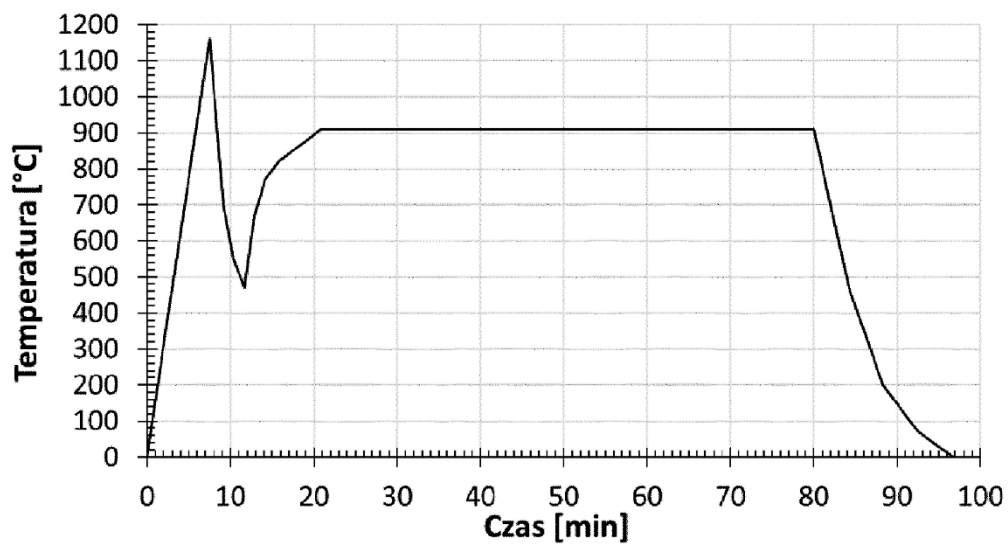


Fig. 1

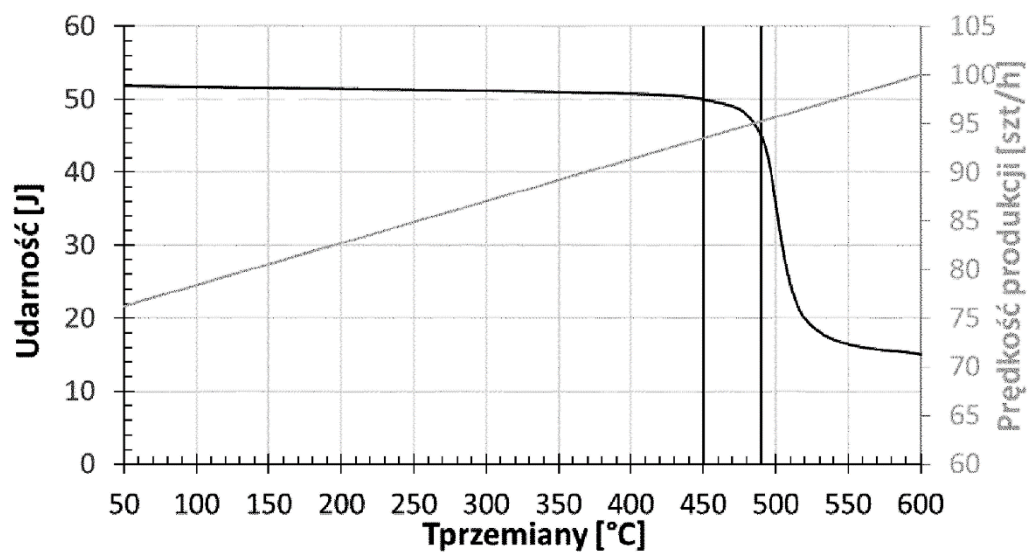
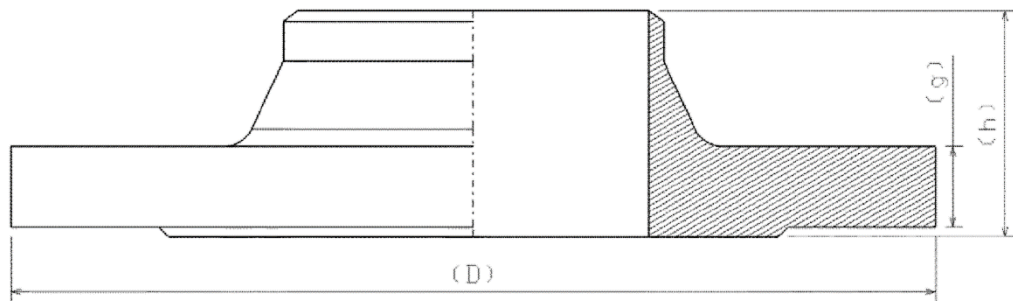
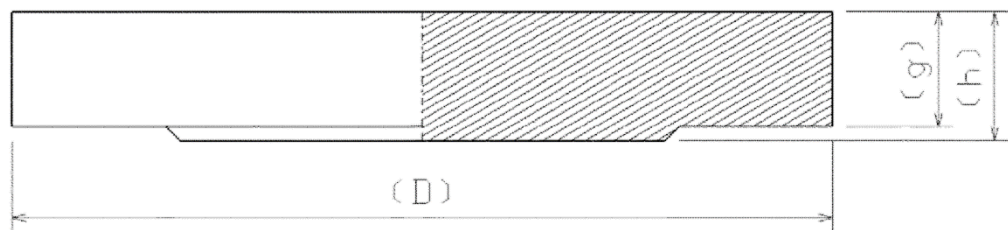


Fig. 2

**Fig. 3****Fig. 4**