

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **235892**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **421134**

(22) Data zgłoszenia: **04.04.2017**

(51) Int.Cl.

*F16S 1/02 (2006.01)*

*B23P 17/04 (2006.01)*

*B21D 1/00 (2006.01)*

*B23P 9/00 (2006.01)*

*B21D 47/04 (2006.01)*

*B21B 38/02 (2006.01)*

*B23K 26/06 (2014.01)*

*B23K 28/02 (2014.01)*

*B23K 101/18 (2006.01)*

*B23K 103/02 (2006.01)*

*C21D 7/04 (2006.01)*

*C23C 8/38 (2006.01)*

(54) **Sposób wytwarzania spawanych konstrukcji stalowych typu skrzynkowego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**08.10.2018 BUP 21/18**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**02.11.2020 WUP 17/20**

(73) Uprawniony z patentu:

**KONSTRUKTION SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ  
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Biskupice, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**ZYGMUNT GAZDA, Kraków, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Adam Pawłowski**

**PL 235892 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania spawanych konstrukcji stalowych typu skrzynkowego, zawierających zespane ze sobą płyty, w szczególności stoły montażowe.

Stoły montażowe to konstrukcje wykorzystywane jako podstawa do różnego rodzaju modułowych systemów montażowych z opcją oprzyrządowania. Do montażu precyzyjnego wymaga się takich systemów montażowych o stabilnej konstrukcji i dużej, niezmiennej w czasie dokładności wymiarowej. W przypadku niektórych linii technologicznych wymagana jest precyzja wymiarowa poniżej 0,2 mm na długości stołu dochodzącej do kilku metrów.

Tak wysokie wymagania precyzji wykonania modułowego systemu montażowego z opcją oprzyrządowania są wyjątkowo trudne do spełnienia przy wykorzystaniu standardowych technologii wytwarzania spawanych konstrukcji stalowych typu skrzynkowego. W płytach wykorzystywanych do wytwarzania takich systemów montażowych mogą występować naprężenia wewnętrzne, które powodują odkształcenia elementów na różnych etapach produkcji. Naprężenia wewnętrzne, które nie zostaną uwolnione w procesie produkcyjnym, mogą ponadto uwalniać się w trakcie użytkowania konstrukcji, nawet po kilku miesiącach od jej wytworzenia, co powoduje pogłębiające się w czasie odkształcenia, a ostatecznie czyni produkt niezdatnym do użytku ze względu na nadmierne odejście od wymiarów pierwotnych.

Celowym zatem było opracowanie takiego sposobu wytwarzania spawanych konstrukcji stalowych typu skrzynkowego, który umożliwi uzyskanie wyrobów o dużej precyzji wykonania, niezmiennej w czasie w trakcie użytkowania produktu.

Sposób wytwarzania spawanych konstrukcji stalowych typu skrzynkowego, w którym z arkuszy blachy wycina się płyty o pożądanej wielkości, po czym płyty prostuje się, zestawia z nich konstrukcję typu skrzynkowego, którą spawa się metodą spawania hybrydowego laserowo-łukowego, po czym wybrane powierzchnie poddaje się obróbce skrawaniem a następnie całość konstrukcji poddaje się azotowaniu plazmowemu, charakteryzuje się tym, że prostowanie płyt prowadzi się na prostowarce wielowalcowej, zawierającej co najmniej 15 walców, do uzyskania płaskości w zakresie 0,1–0,8 mm na długości 4000 mm oraz zmodyfikowanej struktury ziaren w warstwach przypowierzchniowych, na głębokości 1–2 mm, w której obwód ziarna po prostowaniu jest co najmniej dwukrotnie większy niż przed prostowaniem, następnie zestawia się z płyt konstrukcję typu skrzynkowego stosując montaż beznaprężeniowy, po czym spawa się przedmiotową konstrukcję stosując metodę spawania hybrydowego laserowo-łukowego z wykorzystaniem lasera o mocy co najmniej 16 kW, przy czym monitoruje się szerokość szczeliny w miejscu spawania i dostosowuje moc lasera do wielkości szczeliny, następnie przeprowadza się obróbkę mechaniczną wybranych powierzchni zewnętrznych konstrukcji, które skóruje się na głębokość 0,1–0,8 mm pozostawiając w materiale warstwę przypowierzchniową o zmodyfikowanej strukturze ziaren na głębokości co najmniej 0,2 mm, po czym prowadzi się azotowanie plazmowe z nawęglaniem w temperaturze z zakresu 480–500°C.

Korzystnie, stosuje się głowicę laserową o zmiennej ogniskowej.

Przedmiot wynalazku został przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia konstrukcję wytworzoną sposobem według wynalazku, fig. 2 ilustruje kolejne czynności i operacje technologiczne sposobu według wynalazku, zaś fig. 3 przedstawia szczegółowe etapy operacji azotowania plazmowego.

Przykładowa konstrukcja modułowego systemu montażowego z opcją oprzyrządowania, którą wytworzono sposobem według wynalazku została przedstawiona w widoku aksonometrycznym na fig. 1. Składa się ona z zespanej ze sobą płyt, które tworzą blat 11, ściany boczne 12 oraz wewnętrzne uźebrowanie wzmacniające 13. Celem przedmiotowego sposobu było uzyskanie maksymalnie wysokiej dokładności wykonania konstrukcji, w szczególności płaskości blatu 11, prostopadłości ścian bocznych 12 do blatu 11 oraz ścian 12 względem siebie, która utrzyma się nawet w długim okresie użytkowania konstrukcji (korzystnie w okresie co najmniej kilkunastu miesięcy, a jeszcze korzystniej kilku lat). Wskazano jest prowadzenie obróbki elementów konstrukcyjnych tak, aby uzyskać wysoki stopień ich płaskości oraz wyeliminować w możliwie największym stopniu naprężenia wewnętrzne.

Sposób według wynalazku, przedstawiony na fig. 2, obejmuje kolejne opisane poniżej czynności lub operacje technologiczne. W pierwszej z nich pobiera się z magazynu blach 101 materiał w postaci blachy o grubości od 20 mm do 30 mm, ze stali walcowanej na gorąco, przykładowo z gatunku S235J2+N lub S355 J2+N. Stosowane mogą być również blachy o podwyższonych parametrach, przy-

kładowo Hardox 400 lub Hartplst 300. Zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 10029:2011, nominalne tolerancje płaskości dla tego typu blach mają wartość od 6 do 12 mm na rozpiętości 1,5 metra.

Z przedmiotowej blachy wycina się w operacji 102 płytę o wymiarach zgodnych z projektem konstrukcyjnym, najczęściej płytę o wymiarach rzędu kilku metrów w jednym kierunku, przykładowo o wymiarach 120 x 4000 mm czy 2000 x 4000 mm, przy których to wymiarach występują jednakże trudne do uwolnienia naprężenia. Płytę wycina się za pomocą palnika plazmowego lub gazowego, przy czym pod wpływem ciepła palnika uwalnia się część naprężeń obecnych w płycie (wprawdzie możliwe jest także wprowadzenie naprężeń dodatkowych ale zjawisko to pozostaje poza kontrolą).

W kolejnej operacji 103 płyty poddaje się prostowaniu na prostowarce wielowalcowej, zawierającej co najmniej 15 walców, korzystnie co najmniej 20 walców, a jeszcze korzystniej co najmniej 25 walców. Prostowanie prowadzi się do uzyskania płaskości w zakresie od 0,1 do 0,8 mm na całej długości płyty, w tym przypadku 4000 mm. Poprzez doprowadzenie blachy do takiej płaskości redukuje się konieczność zebrania grubszej warstwy w dalszych etapach produkcyjnych (przy dotychczasowej min. 3,5 mm), a zebrana zostaje jedynie warstwa o grubości od 0,1 do 0,8 mm na całej długości płyty, co tylko nieznacznie zmniejsza początkową grubość blachy do wymaganej i pożądanej grubości w wyrobie końcowym.

W wyniku przejścia przez prostowarkę o tak dużej ilości walców uzyskuje się nie tylko wyrównanie powierzchni, ale również modyfikację struktury wewnętrznej blachy. Stwierdzono bowiem, że pod wpływem wielokrotnych przepiężeń uwalnia się znaczna część naprężeń powalcowniczych, w szczególności w wewnętrznej części przekroju blachy. Naprężenie pozostałe w warstwie zewnętrznej usuwa się na dalszym etapie obróbki ubytkowej, w którym usuwa się warstwę zewnętrzną aż do uzyskania powierzchni zabilonej. Ponadto, w wyniku przejścia przez prostowarkę o tak dużej ilości walców, w wyniku wielokrotnego przeginania następuje zmiana struktury krystalicznej ziaren w warstwie zewnętrznej, polegająca między innymi na wydłużeniu obwodu ziaren, przykładowo z początkowo okrągłego na eliptyczny, lub z początkowo kwadratowego na rombowy. W sposobie według wynalazku prostowanie prowadzi się więc tak, aby obwód ziarna przy spłaszczeniu zwiększył się co najmniej dwukrotnie, a także by aby ziarna o tak zmienionej strukturze znajdowały się w warstwach przy powierzchniowych na głębokości od 1 do 2 mm. Gwarantuje to, że na dalszych etapach obróbki, gdy warstwa wierzchnia zostanie zebrana na głębokość nierówności prostowania, tj. od 0,1 do 0,8 mm, w arkuszu blachy pozostanie co najmniej 0,2 mm warstwy powierzchniowej o zmodyfikowanej strukturze ziaren. Tak zmodyfikowana struktura ziaren w warstwie powierzchniowej ułatwia operację azotowania, co omówiono poniżej.

W kolejnej operacji 104 zestawia się (montuje) z płyt konstrukcję typu skrzynkowego, przykładowo taką jak przedstawiono na fig. 1. Dzięki uzyskaniu wysokiego stopnia płaskości płyt, krawędzie płyt przylegających do siebie prostopadle mogą ściśle do siebie przylegać, tym samym nie ma konieczności, jak w standardowych technologiach, dociągania blach. Montaż prowadzi się więc tak, aby blachy były ustawione swobodnie względem siebie – z zachowaniem minimalnych szczelin – lecz bez dociągania, przez co nie wprowadza się kolejnych naprężeń. Szczeliny pomiędzy krawędzią jednej blachy a powierzchnią blachy, do której ta krawędź przylega, ze względu na wysoki stopień płaskości uzyskany w procesie prostowania, są minimalne i wynoszą od 0,1 do 0,8 mm. Tak zestawiona konstrukcja nadaje się bardzo dobrze do spawania hybrydowego.

Kolejną operacją 105 jest hybrydowe spawanie laserowo-łukowego HLAW (Hybrid Laser Arc Welding), będące „hybrydą” obróbki laserem i klasycznej metody spawania MAG. Możliwość hybrydowego spawania laserowo-łukowego konstrukcji skrzynkowych uzyskano dzięki temu, że blachy o odpowiedniej płaskości są ze sobą zestawione precyzyjnie. W porównaniu do spawania metodą tradycyjną spawanie hybrydowe laserowo-łukowe jest bardziej energooszczędne i materiałooszczędne, a także zapewnia wysoką szybkość spawania. Ponadto, szczególnie istotnym w sposobie według wynalazku jest to, że spawanie hybrydowe laserowo-łukowe wzdłuż linii spawu o dużej jednolitości generuje niewielkie ilości ciepła, przez co ma ono istotny wpływ jedynie w bezpośrednim otoczeniu spoiny. Tym samym spawane elementy nie deformują się, bowiem nie wprowadza się dodatkowych naprężeń o zmiennych wartościach w różnych miejscach konstrukcji.

W sposobie według wynalazku stosuje się laser o wysokiej mocy, to znaczy co najmniej 16 kW i korzystnie z głowicą o zmiennej ogniskowej. Dzięki temu możliwe jest spawanie grubych blach przy głębokości przetopu 18 mm. W trakcie spawania monitoruje się szerokość szczeliny pomiędzy łączonymi elementami konstrukcji i dobiera się ogniskową głowicy lasera w zależności od wielkości szczeliny w danym miejscu spawania – dzięki temu można skutecznie wykonywać spoiny doczołowe i pa-

chwinowe o wysokim stopniu jednolitości. Ponadto prowadzi się na bieżąco monitoring parametrów spawania, a w przypadku wykrycia odchyłek od wartości typowych (przykładowo: wykrycie wyjątkowo wysokiej lub niskiej mocy lasera wykorzystanej w danym miejscu do wykonania spawu na podstawie odczytanej szerokości szczeliny) można zapisać miejsce wystąpienia w konstrukcji tej odchyłki i podać je szczegółowej analizie na etapie kontroli jakości.

Kolejną operacją jest poddanie zespawanej konstrukcji obróbce mechanicznej 106, w trakcie której zbiera się naddatki, w tym przypadku wszelkie nierównomierności na powierzchni pozostałe po procesie prostowania i ewentualne naddatki na krawędziach powstałe w procesie spawania. Przeprowadza się więc frezowanie powierzchni zewnętrznej w miejscach, w których ma ona zachowywać pożądane parametry wymiarowe, przykładowo na zewnętrznych płaszczyznach blatu 11 i ścian bocznych 12 konstrukcji przedstawionej na fig. 1. Frezowanie prowadzi się jedynie na głębokość od 0,1 do 0,8 mm, przy czym tak niewielka głębokość obróbki powoduje, że stosować można typowe maszyny obróbcze (np. frezarki bramowe) i wystarcza zwykle jedno przejście narzędzia – zgrubnie – wykańczającego. Na powierzchni materiału po takiej obróbce pozostaje więc warstwa przypowierzchniowa o grubości co najmniej 0,2 mm o zmodyfikowanej w procesie prostowania strukturze ziaren, jak opisano to powyżej, przy czym frezowanie prowadzi się tak, aby uzyskać dokładność powierzchni w zakresie od 0,05 do 0,1 mm na powierzchni całego elementu konstrukcji w danej płaszczyźnie.

Tak przygotowaną konstrukcję poddaje się procesowi azotowania plazmowego 107, przy czym szczegółowe etapy tego procesu przedstawiono na fig. 3.

Po odtłuszczeniu i wysuszeniu w etapie 111 konstrukcję umieszcza się w etapie 112 w kolumnie do azotowania, a w kolejnym etapie 113 wytwarza się próżnię techniczną z ciśnieniem rozrzedzonego medium poniżej 100 Pa, po czym następuje nagrzewanie 114 wnętrza kolumny w tempie 15–30°C/h, przykładowo 20°C/h. Po uzyskaniu temperatury z zakresu 320–350°C przeprowadza się, w ramach przygotowania wstępnego, oczyszczanie powierzchni konstrukcji metodą plazmy argonowej 115 przez czas od 0,5 do 5 godzin, w zależności od rodzaju konstrukcji. Powoduje to erozyjne usunięcie ewentualnych zanieczyszczeń z warstwy powierzchniowej, w której mogą występować zaabsorbowane gazy, tlenki itp. Po oczyszczeniu plazmą argonową ponownie zwiększa się temperaturę i prowadzi nagrzewanie 116 wnętrza kolumny w tempie 15–30°C/h, przykładowo 20°C/h, aż do osiągnięcia temperatury z zakresu 480–500°C. Po osiągnięciu zadanej temperatury następuje etap azotowania z nawęglaniem 117, w którym do kolumny z plazmą wodorowo-azotową podaje się dwutlenek węgla, przez czas od 8 do 32 godzin, w zależności od rodzaju konstrukcji. Prowadzenie azotowania z nawęglaniem w temperaturze poniżej 500°C ma korzystny wpływ na końcowe właściwości warstwy wierzchniej konstrukcji, bowiem taka temperatura nie wpływa na strukturę materiału – nie powoduje nadmiernego rozrostu ziaren. Nawęglanie – poprzez podanie CO<sub>2</sub> w celu wprowadzenia atomów węgla do oczyszczonej warstwy wierzchniej powoduje zwiększenie jej twardości i wytrzymałości na ścieranie. W końcowym etapie 118 zubożnia się atmosferę w kolumnie (stopniowo zastępując ją jedynie azotem) i schładza konstrukcję do temperatury otoczenia w tempie 15–30°C/h, przykładowo 20°C/h.

Dzięki temu, że proces azotowania z nawęglaniem prowadzi się w temperaturze poniżej 500°C (co między innymi umożliwia wcześniejsza operacja prostowania wielowalcowego), oraz dzięki temu, że konstrukcja ma minimalną szczątkową formę naprężeń, skraca się czas potrzebny na jej nagrzanie i schłodzenie o kilka godzin w porównaniu do stosowanych dotychczas procesów, w których azotowanie prowadzi się w wyższych temperaturach i dłuższych czasach. Azotowanie, w sposobie według wynalazku, w tak niskiej temperaturze jest możliwe dzięki opisanemu powyżej przygotowaniu materiału w procesie prostowania, czyli obecności ziaren o wydłużonej strukturze, dla których możliwa jest skuteczniejsza migracja jonów azotu do wnętrza materiału. Dzięki temu, że migracja azotu następuje wzdłuż granicy ziaren, już samo wydłużenie ich obwodu powoduje zwiększoną migrację jonów azotu a tym samym usprawnienie procesu azotowania.

Sposób według wynalazku umożliwia wytworzenie konstrukcji typu skrzynkowego o bardzo wysokiej dokładności wykonania, tzn. o płaskości od 0,05 do 0,1 mm na całej długości nawet kilkumetrowego elementu, przy czym parametry konstrukcji pozostają stabilne w czasie. Uzyskano to dzięki specyficznym parametrom kolejnych operacji sposobu według wynalazku dobranym tak, aby nie powodować odkształceń materiału i skutecznie eliminować jego wewnętrzne naprężenia (by nie uwalniały się z czasem w trakcie użytkowania konstrukcji). W żadnej z operacji nie wprowadza się dodatkowych naprężeń, w szczególności konstrukcje zestawia się z płyt stosując ich montaż beznaprężeniowy.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wytwarzania spawanych konstrukcji stalowych typu skrzynkowego, w którym z arkuszy blachy wycina się płyty o pożądanej wielkości, po czym płyty prostuje się, zestawia z nich konstrukcję typu skrzynkowego, którą spawa się metoda spawania hybrydowego laserowo-łukowego, po czym wybrane powierzchnie poddaje się obróbce skrawaniem a następnie całość konstrukcji poddaje się azotowaniu plazmowemu, **znamienny tym**, że prostowanie płyt (103) prowadzi się na prostowarce wielowalcowej, zawierającej co najmniej 15 walców, do uzyskania płaskości w zakresie 0,1–0,8 mm na długości 4000 mm oraz zmodyfikowanej struktury ziaren w warstwach przypowierzchniowych, na głębokości 1–2 mm, w której obwód ziarna po prostowaniu jest co najmniej dwukrotnie większy niż przed prostowaniem, następnie zestawia się (104) z płyt konstrukcję typu skrzynkowego stosując montaż beznaprężeniowy, po czym spawa się przedmiotową konstrukcję stosując metodę spawania hybrydowego laserowo-łukowego (105) z wykorzystaniem lasera o mocy co najmniej 16 kW, przy czym monitoruje się szerokość szczeliny w miejscu spawania i dostosowuje moc lasera do wielkości szczeliny, następnie przeprowadza się obróbkę mechaniczną (106) wybranych powierzchni zewnętrznych konstrukcji, które skóruje się na głębokość 0,1–0,8 mm pozostawiając w materiale warstwę przypowierzchniową o zmodyfikowanej strukturze ziaren na głębokości co najmniej 0,2 mm, po czym prowadzi się azotowanie plazmowe z nawęglaniem (107, 117) w temperaturze z zakresu 480–500 C.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że stosuje się głowicę laserową o zmiennej ogniskowej.

## Rysunki

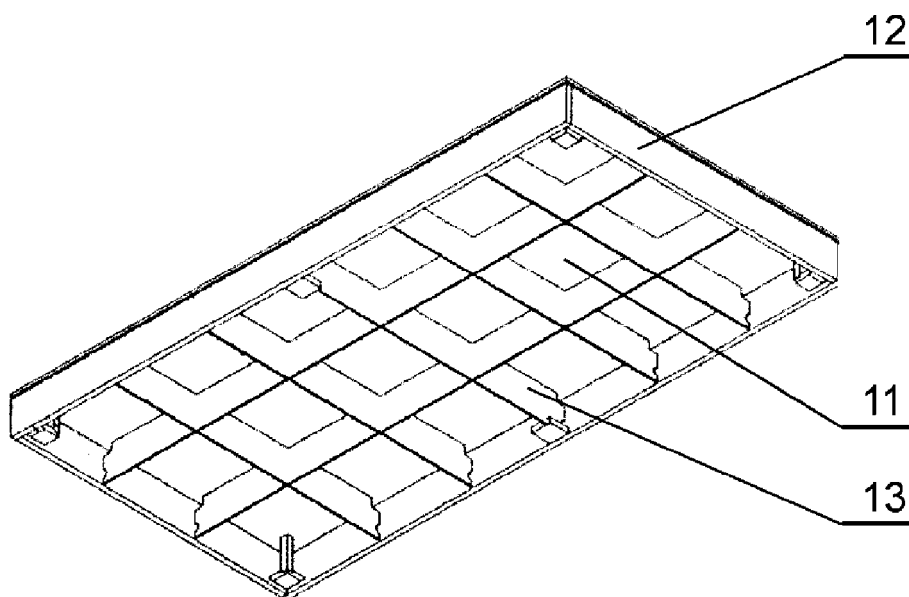


Fig. 1

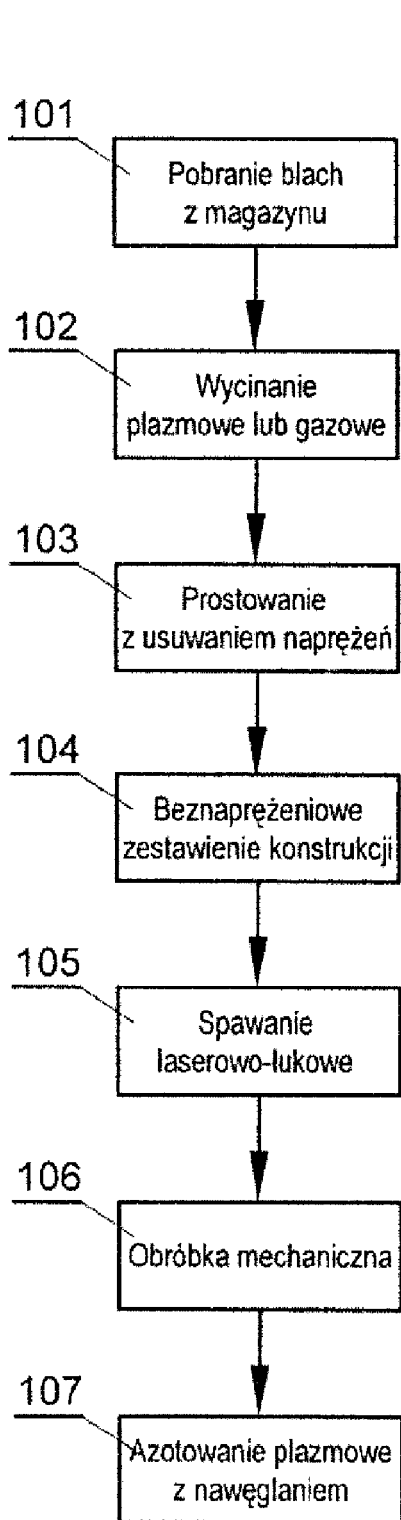


Fig. 2

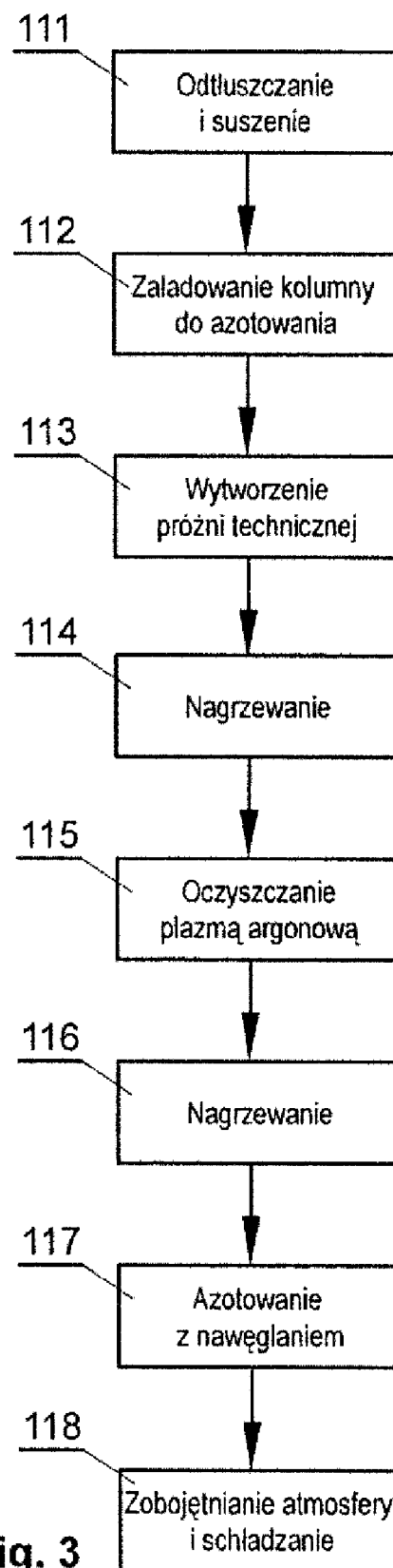


Fig. 3