

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 242111 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **435834**

(22) Data zgłoszenia: **2020.10.30**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.05.02 BUP 18/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.01.16 WUP 03/2023**

(51) MKP:

B23K 101/14 (2006.01)

B23K 37/02 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**PROTECH SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Zator, PL
SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ – INSTYTUT
SPAWALNICTWA, Gliwice, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**GRZEGORZ KRUPNIK, Zator, PL
MICHAŁ PAWEŁ URBAŃCZYK, Mysłowice, PL**

(74) Pełnomocnik:

Marta Miczkowska, Gliwice, PL

(54) Tytuł:

Sposób spawania rur z płytami sitowymi, zwłaszcza ze stali nierdzewnych

PL 242111 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób spawania rur z płytami sitowymi, zwłaszcza ze stali nierdzewnych, stanowiące wkład rurowy wymiennika kotła grzewczego.

Płyty sitowe, nazywane również dnami sitowymi lub ścianami sitowymi, są jednym z najważniejszych elementów konstrukcyjnych kotłów a także wymienników ciepła w energetyce, zbiorników ciśnieniowych do procesów chemicznych, i innych. Wymienniki ciepła zbudowane są zazwyczaj z wiązki metalowych rur o niewielkiej średnicy i małej grubości ścianki, zamocowanych końcami w metalowych płytach sitowych.

Do pozycjonowania i szczelnego łączenia rur w płytach sitowych stosuje się dwie metody tj. rozwałcowanie lub spawanie. Rozwałcowanie rur w dnach sitowych ma zastosowanie do łączenia rur o średnicach do 12 mm, natomiast w przypadku rur o większych średnicach stosowany jest proces spawania.

Urządzenia energetyki cieplnej, w tym kotły kondensacyjne narażone podczas pracy m.in. na zmiany temperatury, agresywne środowisko gorących gazów i żrących cieczy, zmienne obciążenia o dużej częstotliwości i długim czasie oddziaływania na dany element – powinny wykazywać odporność m.in. na kwasy, korozję, odkształcenia i zmęczenie. Z tego względu od elementów konstrukcyjnych wymienników ciepła kotłów kondensacyjnych wymagana jest długotrwała szczelność połączenia końców rur z płytami sitowym.

Opis patentu US5749414 ujawnia zespół wymiennika ciepła i sposób jego wytwarzania, który polega na połączeniu z dnem sitowym wielu równoległych do siebie cienkościennych rur aluminiowych. Rury wstawia się w otwory dna sitowego o jednolitych przekrojach, a następnie końce rur są spawane wiązką laserową kierowaną po obwodzie poszczególnych rur. Każda spawana laserowo spoina ma wewnętrzny kontur rozciągający się od położenia równego z powierzchnią ściany wewnętrznej rury do położenia równego z krawędzią dna sitowego, przy czym grubość spoiny jest większa od grubości ścianki rury.

Znany jest z opisu wynalazku CN111283328A1 sposób spawania rur i płyt sitowych wymiennika ciepła. Sposób prowadzony jest etapowo i obejmuje czyszczenie wykonanych ze stopu aluminium rur i płyt sitowych, podgrzewanie do temperatury 100°C do 150°C, a następnie ustala się położenie rur i płyt sitowych, po czym prowadzi spawanie laserowe w osłonie argonu.

Znany jest z opisu patentu DE3822807C1 sposób spawania cienkościennych rur wymiennika ciepła, którego płyta sitowa jest wyposażona w otwory odpowiadające wewnętrznej średnicy rur oraz kołnierze otaczające koncentrycznie te otwory. Czołowa część kołnierzy jest spawana do czoła wyśrodkowanych rur metodą spawania TIG za pomocą głowicy spawalniczej obracającej się we wnętrzu otworu. Złącze spawane otacza na zewnątrz pierścień ceramiczny, który jest używany do wyśrodkowania rur względem płyty sitowej i do utworzenia podparcia na zewnątrz złącza spawanego.

Z opisu wynalazku CN111037065A znane jest spawanie rury i płyty sitowej wymiennika ciepła, gdzie wewnętrzna średnica rury wynosi 9-15 mm, a grubość ścianki 1-2 mm. Spawanie prowadzi się tak, aby elektroda wolframowa uchwytu spawalniczego znajdowała się z boku płyty w położeniu w granicach 0-0,5 mm od powierzchni końcowej zgrzewanej płyty sitowej. Ponadto wykonane z superstopów na bazie niklu rury i otwory płyty sitowej są zamontowane współosiowo, a odstęp między parami powierzchni czołowych, które mają być zgrzewane, mieści się w granicach 0-0,1 mm. Spawanie łukowe w osłonie argonu prowadzi się odcinkami od ustalonego punktu początkowego.

Znany jest również z opisu patentu US9039814B2 sposób spawania zespołu rur o małej średnicy do wspólnej płyty podstawy. Zespoły rur, wykonane ze stopu palladu, mają kształt kielichowy i są przy-spawane laserowo kielichem do płyty w gniazdach otworu, przez który przechodzą.

Sposób łączenia dna sitowego i rur w płaszczowo-rurowym wymienniku ciepła za pomocą rotacyjnego rozwiertaka, znany jest z opisu patentu EP 2072173B1, i polega na tym, że rozwiertak jest przesuwany rotacyjnie w jego osiowym kierunku do wnętrza otwartego końca otoczonej dnem sitowym rury i jest dociskany przeciwnie do przedniej powierzchni rury tak, że koniec rury i obszar dna sitowego otaczający rurę są uplastycznione i tworzą razem połączenie spawane.

Z opisu patentu EP3334994B1 znany jest sposób łączenia wiązki rur do podstawy sitowej wymiennika ciepła. Rury są połączone z podstawą sitową za pomocą spawania laserowego, w którym natężenie generowanej wiązki laserowej jest większe niż 1 MW / cm². Rury są wykonane z aluminium lub ze stopu aluminium i mają grubość ścianki co najwyżej 2,0 mm, a podstawa sitowa ma grubość od

100 mm do 200 mm. Wiązka laserowa jest generowana przez laser światłowodowy, laser diodowy lub przez laser CO₂ lub Nd: YAG.

Rozwiązanie znane z opisu wynalazku EP3405738A1 odnosi się do sposobu łączenia wiązki rur wymiennika ciepła do płyty sitowej. Rury są połączone z płytą sitową przez spawanie laserowe, podczas którego generowana jest wiązka laserowa, która jest skupiona na miejscu spawanym w obszarze między rurą a płytą sitową, przy czym głowica lasera jest przemieszczana tak, aby wykonać pierwszy ruch nad obszarem łączącym i drugi ruch modyfikujący jeziorko.

Sposób łączenia rur z płytami sitowymi, zwłaszcza ze stali nierdzewnych, według wynalazku, w którym po etapie przygotowania zestawia się współosiowo końce rur w odpowiadających położeniach otworach płyt sitowych oraz wstępnie łączy przez szczepienie jako wkład rurowy, a następnie kolejno obwodowo spawa w gazie osłonowym złącza rur z płytami sitowymi z utworzeniem spoin, charakteryzuje się tym, że spawanie złącza każdej rury z powierzchnią płyty sitowej prowadzi się w jednym przejściu metodą hybrydową HLAW laser-MAG z prędkością co najmniej 1 m/min, i stosuje się głowicę spawalniczą hybrydową z laserem o mocy P co najmniej 3500 W oraz długości fali co najmniej 1064 nm, a natężenie prądu łuku elektrycznego wynosi co najmniej 140 A przy prędkości podawania drutu co najmniej 5 m/min. Ponadto głowica spawalnicza hybrydowa, usytuowana prostopadle do powierzchni spawanej, jest nieobrotowa, natomiast rury i płyty sitowe, jako wkład rurowy, wykonują podczas spawania jednostajny ruch obrotowy. Od punktu, w którym zamyka się pełny obwód spawanej rury, prowadzi się hybrydowo lub tylko laserowo, sterowane przez układ sterująco-monitorujący, uzupełniające spawanie początkowego złącza na długości nie większej niż 15% długości jej obwodu.

Uzupełniające spawanie złącza prowadzi się przez czas wygaszania wiązki promieniowania laserowego lub przez czas podawania do procesu drutu.

Oś wiązki promieniowania laserowego jest nachylona do osi uchwytu metody MIG/MAG pod kątem α w zakresie $0 \div 26^\circ$.

W głowicy lasera dyskowego ognisko jest położone na wysokości nie większej niż 2 mm nad powierzchnią spawanych elementów, a odległość „a” między końcem drutu elektrodowego „w” i osią wiązki promienia laserowego wynosi nie więcej niż 3 mm.

W drugim sposobie łączenia rur z płytami sitowymi, zwłaszcza ze stali nierdzewnych, według wynalazku, w którym po etapie przygotowania zestawia się współosiowo końce rur w odpowiadających położeniach otworach płyt sitowych oraz wstępnie łączy przez szczepienie jako wkład rurowy, a następnie kolejno obwodowo spawa w gazie osłonowym złącza rur z płytami sitowymi z utworzeniem spoin, charakteryzuje się tym, że spawanie złącza każdej rury z powierzchnią płyty sitowej prowadzi się w jednym przejściu metodą hybrydową HLAW laser-MAG z prędkością co najmniej 1 m/min, i stosuje się głowicę spawalniczą hybrydową z laserem o mocy P co najmniej 3500 W oraz długości fali co najmniej 1064 nm, a natężenie prądu łuku elektrycznego wynosi co najmniej 140 A przy prędkości podawania drutu co najmniej 5 m/min. Głowica spawalnicza hybrydowa jest nieobrotowa, a oś uchwytu głowicy spawalniczej hybrydowej usytuowana jest pod kątem β w zakresie 5° do 8° , korzystnie 7° do powierzchni rury, natomiast rury i płyty sitowe, jako wkład rurowy, wykonują podczas spawania jednostajny ruch obrotowy. Od punktu, w którym zamyka się pełny obwód spawanej rury, prowadzi się hybrydowo lub tylko laserowo sterowane przez układ sterująco-monitorujący uzupełniające spawanie początkowego złącza na długości nie większej niż 15% długości jej obwodu.

Uzupełniające spawanie złącza prowadzi się przez czas wygaszania wiązki promieniowania laserowego lub przez czas podawania do procesu drutu.

Oś wiązki promieniowania laserowego jest nachylona do osi uchwytu metody MIG/MAG pod kątem α w zakresie $0 \div 26^\circ$.

W głowicy lasera dyskowego ognisko jest położone na wysokości nie większej niż 2 mm nad powierzchnią spawanych elementów, a odległość „a” między końcem drutu elektrodowego „w” i osią wiązki promienia laserowego wynosi nie więcej niż 3 mm.

Rozwiązanie według wynalazku dotyczy problemu spawania elementów o zróżnicowanych cechach konstrukcyjnych wykonanych ze stali nierdzewnych, przeznaczonych do pracy w środowisku zmiennych ciśnień i temperatury oraz z wysokimi wymaganiami dotyczącymi szczelności i wytrzymałości złączy. W proponowanym sposobie spawania płyt sitowych ze stali nierdzewnych zapewnia się warunki procesowe, w których minimalizuje się możliwość powstania nieszczelności oraz uszkodzenia warstw pasywnych na powierzchniach spawanych.

Sposób spawania według wynalazku, zapewnia pełną obwodową szczelność złącza, prowadzony jest z prędkością powyżej 1 m/min co ma wpływ na zmniejszenie ilości ciepła wprowadzanego do obszaru złącza, mniejsze jego deformacje i odkształcenia. Dodatkowo korzystnie wpływa na zużycie materiałów do spawania tj. drutu elektrodowego, gazu osłonowego metody MAG co powoduje mniejszą emisję dymów spawalniczych, tworzonych przez pył i mieszaninę różnych gazów. Ponadto podczas etapu przygotowawczego zmniejsza się ilość operacji przez ograniczenie pracochłonnej obróbki mechanicznej.

Sposób spawania według wynalazku zilustrowano przykładowym wykonaniem na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia przekrój poprzeczny złącza spawanego z układem elementów głowicy spawalniczej hybrydowej, fig. 2 i fig. 3 przedstawiają schematycznie ustawienie wiązki lasera i końca drutu elektrodowego w procesie spawania, fig. 4 i fig. 5 przedstawiają schematycznie ustawienie elementów spawanych, fig. 6 przedstawia płytę sitową urządzenia grzewczego, fig. 7 przedstawia przekrój poprzeczny złącza spawanego z układem elementów głowicy spawalniczej hybrydowej w wariantcie realizacji, fig. 8 i fig. 9 przedstawiają schematycznie ustawienie elementów spawanych do układu z fig. 7, Fot. przedstawia układ głowicy robota spawalniczego, a Fot. 2 przedstawia zdjęcie makrograficzne przekroju poprzecznego złącza ze spoiną.

W celu połączenia rur **1** z płytami sitowymi **2** z blach ze stali nierdzewnych o grubości t_1 od 3 do 6 mm, w zależności od ich ustawienia, niezbędne jest wykonanie złączy doczołowych lub pachwinowych. Rury **1**, końcami mocowane do płyt sitowych **2**, są rozmieszczone w postaci wiązek wewnątrz płaszcza (niepokazanego na rysunku), i stanowią element konstrukcyjny kotła grzewczego **3**. Ze względu na wymóg kompatybilności wymiarowej z innymi elementami kotła grzewczego **3** a także uwzględnienia technologiczne, podczas spawania złączy doczołowych niezbędne jest uzyskanie dokładnego ustawienia krawędzi spawanych elementów względem siebie. Rozmiar płyty sitowej oraz liczba i rozmieszczenie otworów dla rur uzależniona jest od konstrukcji kotła grzewczego, ponieważ pośredniczy w przenoszeniu energii cieplnej z jednego medium do drugiego.

Otwory **4** w płytach sitowych **2** wykonuje się przez cięcie plazmowe lub laserowe w układzie ortogonalnym, przy czym możliwy jest również układ heksagonalny. Otwory **4** rozmieszczone są w odległościach zależnych od konstrukcji wymiennika, gdzie w przykładowym wykonaniu w układzie pionowym odległość d_1 między dwoma rurami jest równa 7,5 mm a w układzie poziomym odległość $d_2 = 14,40$ mm, (Fig. 6).

Po wykonaniu otworów **4** usuwa się z łączonych powierzchni wszelkie tlenki, oleje, smary oraz inne obce ciała za pomocą środków chemicznych lub pary. Następnie bez ukosowania krawędzi otworów **4** w płytach sitowych **2** oraz rurach **1** szczepia się np. metodą TIG odpowiednio krawędzie lub powierzchnie boczne rur **1** z krawędzią otworów **4** w płytach sitowych **2**. Odstęp między płytą sitową a rurą ustala się w zakresie $g = 0,01 \div 0,5$ mm. Uwzględnia się przy tym, że dopuszczalna wysokość h wysunięcia rury **1** w odniesieniu do dna sitowego **2** nie powinna być większa niż 3 mm (Fig. 8).

W czasie spawania złączy rury **1** i płyty sitowej **2**, które uprzednio zostały szczipione w całość jako wkład rurowy, umocowane są na stole spawalniczym lub w obrotniku, a jednostajny ruch obrotowy wykonuje wkład rurowy jako element spawany. Natomiast oś uchwytu **6** głowicy spawalniczej hybrydowej jest ustawiona prostopadle do powierzchni spawanej lub w wariantcie wykonania sposobu – nachylona jest pod kątem β w zakresie 5° do 8° do powierzchni rury **1**, a pozostałe parametry i ustawienia są zgodne z zadanymi warunkami opisanymi dalej.

Spawanie prowadzi się metodą hybrydową HLAW laser-MAG, a zrobotyzowany proces z układem sterująco-monitorującym umożliwia w trakcie spawania kontrolę zadanych ustawień i parametrów oraz występowanie niezgodności spawalniczych. W procesie zastosowano odpowiednio ustawione wzajemne położenie wiązki laserowej i drutu elektrodowego metody MAG względem osi złącza. Zgodnie z ustaleniami w głowicy lasera **5** ognisko jest położone na wysokości nie większej niż 2 mm nad powierzchnią spawanych elementów. Odległość „a” między końcem drutu elektrodowego **w** i wiązką promienia laserowego wynosi nie więcej niż 3 mm. W procesie spawania wiązka laserowa może poprzeczać łuk elektryczny w odniesieniu do kierunku spawania lub na odwrót (LA/AL).

W celu uzyskania w jednym przejściu spoiny, a także dla stabilności procesu i jakości uzyskiwanych złączy, oprócz parametrów technologicznych istotnym czynnikiem jest dobór kątów ustawienia głowicy hybrydowej względem łączonych rur **1** i płyty sitowej **2**. Podczas spawania oś uchwytu **6** palnika metody MIG/MAG ustawia się prostopadle do powierzchni spawanych elementów, a oś wiązki promieniowania laserowego jest nachylona do osi uchwytu **6** metody MIG/MAG w zakresie kątów $\alpha = 0 \div 26^\circ$

(Fig. 1, 2 i 3). W wariantcie wykonania sposobu spawania oś uchwytu **6** palnika metody MIG/MAG jest nachylona korzystnie pod kątem $\beta = 7^\circ$ do powierzchni spawanych rur **1**, jak na Fig. 7.

W procesie stosuje się wysokoenergetyczną rozogniskowaną do średnicy ognisk wiązkę laserową o mocy P co najmniej 3500 W i długości fali co najmniej 1064 nm, korzystnie ustawioną pod kątem $\alpha = 26^\circ$ do osi uchwytu **1** metody MIG/MAG. Natomiast natężenie prądu łuku elektrycznego wynosi co najmniej 140 A przy prędkości podawania drutu co najmniej 5 m/min.

Spawanie prowadzi się w gazie osłonowym i stosuje się mieszaninę argonu i dwutlenku węgla.

Do obszaru złącza wprowadza się w sposób ciągły energię cieplną wytworzoną przez łuk elektryczny i laser, po linii obrotu łukowej wyznaczonej przez obrót elementu spawanego. Parametry wiązki laserowej i łuku elektrycznego ustalono tak, aby uzyskać w jednym przejściu z prędkością spawania powyżej 1 m/min obwodową spoinę doczołową w złączu narożnym lub spoinę czołową w złączu teowym.

Rozwiązanie, jak wyżej opisane, pozwala na uzyskanie złącza z pełnym przetopem z równomiernym prawidłowo uformowanym licem spoiny i prawidłowo uformowaną granią dla blach ze stali nierdzewnych o grubości 3 do 6 mm. Ponadto pełny przetop zapewnia odpowiednią szczelność układu, eliminuje miejsca powstawania korozji od strony grani.

Proces spawania hybrydowego płyty sitowej **2** i rur **1** odbywa się po obwodzie, wzdłuż osi szczeliny powstałej między rurą a otworem **4** w płycie sitowej **2** w którym jest osadzona rura.

Jest znane, że rozpoczęcie procesu w przypadku spawania hybrydowego wymaga ustabilizowania obydwu źródeł ciepła. Spawanie na tym etapie powoduje, że na początku procesu występuje brak pełnego przetopu, i istnieje potrzeba stosowania podkładek dobiegowych. W przypadku spawania hybrydowego rur, gdzie spawanie jest prowadzone obwodowo, stosowanie podkładek dobiegowych i wybiegowych nie jest możliwe. Prowadzone w takich warunkach procesowych spawanie hybrydowe płyty sitowej i rur, po zakończonym procesie spawania mogłoby powodować pozostawienie na końcu spoiny otwartego krateru z otworem zmniejszającym jej przekrój poprzeczny. Z tego względu problem nie szczelności złącza wskutek niepełnego przetopu podczas procesu spawania płyt sitowych rozwiązano przez spawanie początkowej części obwodu rury jako kontynuacji procesu, czyli z najazdem na początek spoiny.

Jak już napisano zrobotyzowany proces spawania hybrydowego umożliwia kontrolę parametrów w trakcie spawania, gdzie weryfikuje się kształt lica spoiny oraz występowanie niezgodności spawalniczych. W celu usunięcia skutków niepełnego przetopu prowadzi się sterowane przez układ sterująco-monitorujący uzupełniające spawanie złącza od punktu, w którym zamyka się pełny obwód spawanej rury, na długości nie większej niż 15% długości obwodu. Spawanie może być prowadzone jako hybrydowe lub tylko laserowe.

W przypadku spawania laserowego uzupełniające spawanie złącza prowadzi się przez czas wygaszania działania wiązki promieniowania laserowego nadzorowany przez układ sterująco-monitorujący. Przykładowy parametr czasu t [ms], informuje, że czas wygaszania działania wiązki promieniowania lasera z mocy np. 3500 W do 0 W odbywa się w tym czasie t [ms]. Wydłużenie czasu działania lasera pozwala na wolniejsze wypełnienie krateru spoiny oraz wyeliminowanie niezgodności spawalniczej np. typu 2025, co zalicza złącze do poziomu jakości B, zgodnie z normą dotyczącą kwalifikowania technologii spawania.

Natomiast uzupełniające spawanie łukowe złącza prowadzi się przez czas podawania do procesu drutu, nadzorowany przez układ sterująco-monitorujący, a parametry wypełnienia krateru pokazano w Tabl. 2.

Powyższe działania pozwalają na uzyskanie złącza z pełnym przetopem na całym obwodzie rury i otworu.

Próby półprzemysłowe procesu spawania złączy rur z płytą sitową prowadzono na zrobotyzowanym stanowisku do spawania hybrydowego z laserem dyskowym i głowicą spawalniczą, zamocowanymi na ramieniu robota przemysłowego.

Przykład 1

Płytę sitową wkładu rurowego wymiennika dla kotła grzewczego kondensacyjnego wykonano z blachy stalowej o grubości $t_1 = 5$ mm z gatunku X6CrNiMoTi17-12-2 (H17N13M2T/ 316Ti/1.4571) wg normy PN-EN 10088, w której wykonano 6 otworów w układzie ortogonalnym (kwadratowym), o średnicy $\Phi 61$ mm (Fig. 6).

Stal X6CrNiMoTi17-12-2 to nierdzewna austenityczna stal chromowo-niklowo molibdenowa stabilizowana tytanem. Następnie w miejsca otworów umieszczono rury o średnicy 60,3 mm i grubości

ścianki 2 mm, wykonane z tego samego gatunku stali tak, aby górna krawędź rury była równa z powierzchnią blachy, tworząc złącze doczołowe. Odstęp między płytą sitową a rurą wynosi $g = 0,35$ mm.

Spawanie hybrydowe zostało realizowane z wykorzystaniem lasera dyskowego o długości fali 1064 nm i mocy 12 kW. Proces spawania prowadzono z wykorzystaniem światłowodu o średnicy $\varnothing = 400$ μ m i optyką głowicy hybrydowej, gdzie długość ogniskowej soczewki kolimatora $f_c = 200$ mm, a długość ogniskowej soczewki skupiającej $f_{og} = 400$ mm, co pozwala uzyskać wiązkę lasera o średnicy ogniska 0,8 mm.

Proces spawania hybrydowego polegał na uzyskaniu złącza z pełnym przetopem na całym obwodzie (rura–płyta). Głowica spawalnicza hybrydowa została umieszczona nad elementem spawanym a ruch obrotowy wykonuje element spawany zamocowany na stole spawalniczym.

Tabl.1 Parametry procesu napawania hybrydowego

Nr próbki	P [W]	Vs[m/min]	V _d [m/min]	I [A]	U [V]	Kor. U[V]	f [mm]	g [mm]	Q [kJ/cm]
Płyta sitowa1	3500	1,5	5	140	20	3	0	0,35	2.5

moc wiązki lasera - P [W]; prędkość spawania - Vs [m/min]; prędkość podawania drutu - V_d [m/min]; natężenie prądu spawania - I [A]; napięcie łuku - U [V]; korekta napięcia łuku (nastawa źródła łukowego) - Kor. U [V]; położenie ogniska względem powierzchni spawanych rur - f [mm], odstęp między łączonymi elementami – g [mm], ilość wprowadzonego ciepła – Q[kJ/mm];

Rury w płycie sitowej zestawiono z odstępem $g = 0,35$ mm i szczepiono metodą TIG. Następnie spawano hybrydowo złącze płyty sitowej i rury z prędkością 1,5 m/min, przy czym położenie ogniska wiązki laserowej ustawiono na powierzchni płyty ($f = 0$) w miejscu styku spawanych elementów.

Zastosowano następujące ustawienia: położenie ogniska względem powierzchni spawanych rur $f = 0$, kąt pochylenia i padania wiązki laserowej do powierzchni spawanych elementów wynosił 26° , uchwyt palnika metody MAG był ustawiony prostopadle do powierzchni spawanych elementów (Fig. 1).

Odległość między laserem a końcówką drutu elektrodowego wynosiła $a = 2$ mm.

Jako gaz osłonowy w metodzie MAG zastosowano mieszkankę M12 (Inoxline C2, PN-EN ISO 14175- M12-ArC-2,5). Strumień objętości gazu osłonowego wynosił 16 l/min. Jako spoiwo stosowano drut spawalniczy gatunku LINCOLN MIG 316LSi (PN-EN ISO 14343-A: G 19 9 LSi).

Natomiast uzupełniające spawanie łukowe złącza prowadzi się przez czas podawania do procesu drutu, ustalony przez układ sterująco-monitorujący, a parametry wypełnienia krateru pokazano w Tabl. 2.

Tabl. 2

Nr próbki	„Crater Time” P [s]	V _d [m/min]	Kor. U [V]	“End Post Flow Time”, t[mm]
Płyta sitowa 1, 2, 3	0,1	5	0	0,5

czas wypełnienia krateru - P [s]; prędkość podawania drutu - V_d [m/min]; korekta napięcia łuku (nastawa źródła łukowego) - Kor. U [V]; czas wyphywu gazu osłonowego w metodzie MAG po spawaniu – t[s].

Powyższe działania pozwalają na uzyskanie złącza z pełnym przetopem na całym obwodzie rury i otworu.

Złącze, cechuje, równomierny nadlew, gładkie lico, bez rozprysków z pełnym przetopem na całej długości złącza i prawidłowo uformowaną granią. Badania metalograficzne makroskopowe nie wykazały wewnętrznych niezgodności spawalniczych w złączu.

Przykład 2

Płytę sitową wkładu rurowego wymiennika dla kotła grzewczego kondensacyjnego wykonano z blachy stalowej o grubości 5 mm z gatunku X15CrNiSi20-12 (H20N12S2/309 /1,4828) wg normy PN-EN 10088, w której wycięto 6 otworów w układzie kwadratowym średnicy Φ 61 mm.

Stal X15CrNiSi20-12 to stal nierdzewna żaroodporna stosowana w budowie kotłów i elementów konstrukcyjnych pracujących w wysokich temperaturach.

Następnie w otworach umieszczono rury o średnicy Φ 60,3 mm i grubości ścianki $t_2 = 2$ mm, wykonane z tego samego gatunku stali. Rura została wysunięta w stosunku do powierzchni płyty sitowej o 3 mm, i tworzą złącze teowe. Odstęp między płytą sitową a rurą wynosi $g = 0,35$ mm.

Spawanie hybrydowe realizowano z wykorzystaniem lasera dyskowego o długości fali 1064 nm i mocy 12 kW. Proces spawania prowadzono z wykorzystaniem światłowodu o średnicy $\varnothing = 400 \mu\text{m}$ i optyką głowicy hybrydowej, gdzie długość ogniskowej soczewki kolimatora $f_c = 200$ mm, a długość ogniskowej soczewki skupiającej $f_{og} = 400$ mm, co pozwala uzyskać wiązkę lasera o średnicy ogniska 0,8 mm.

Proces spawania hybrydowego realizowano na dwa sposoby :

- z niepełnym przetopem – wykonanym zgodnie z parametrami podanymi w Tab. 3, poz. 1, dla płyty sitowej nr 2, zgodnie z którymi uzyskano do celów porównawczych złącze z niepełnym przetopem, czyli złącze ze spoiną pachwinową.
- z pełnym przetopem – wykonanym zgodnie z parametrami podanymi w Tab. 3, poz. 2, dla płyty sitowej nr 3, zgodnie z którymi uzyskano złącze z pełnym przetopem, czyli złącze ze spoiną czołową w złączu teowym, gdzie Tab. 3 przedstawia odpowiednio parametry procesu spawania hybrydowego dla złącza z niepełnym i pełnym przetopem.

Tab. 3

Nr próbki		P [W]	Vs[m/m in]	V _d [m/min n]	I [A]	U [V]	Kor. U[V]	f [mm]	a [mm]	g [mm]	h [mm]	Q [kJ/cm]
poz. 1	Płyta sitowa 2	3500	1,5	5	140	20	3	0	2	0,35	3	2,6
poz. 2	Płyta sitowa 3	3500	1,2	5	170	20	3	0	2	0,35	3	2,9

moc wiązki lasera - P [W]; prędkość spawania - Vs [m/min]; prędkość podawania drutu - V_d [m/min]; natężenie prądu spawania - I [A]; napięcie łuku - U [V]; korekta napięcia łuku (nastawa źródła łukowego) - Kor. U [V]; położenie ogniska względem powierzchni spawanych rur - f [mm], odległość między laserem a końcówką drutu elektrodowego - a [mm], odstęp między łączonymi elementami - g [mm], podniesienie rury w stosunku do dna sita h [mm], ilość wprowadzonego ciepła - Q [kJ/mm];

Głowica hybrydowa została umieszczona nad elementem spawanym, następnie cały układ został pochylony o kąt $\beta = 7^\circ$, a głowica hybrydowa unieruchomiona. Ruch obrotowy wykonuje wkład rurowy, (element spawany), zamocowany na stole spawalniczym.

Rury zestawiono w otworach płyty sitowej i sczepiono ze sobą metodą TIG, przy czym odstęp między łączonymi elementami są zgodne z podanymi w Tab. 3. Odległość wysunięcia rury w odniesieniu do powierzchni płyty sitowej wynosiła $h = 3$ mm, a odległość między laserem a końcówką drutu elektrodowego wynosiła $a = 2$ mm.

Podczas procesu spawania położenie ogniska wiązki laserowej ustawiono na powierzchni blachy ($f = 0$) w miejscu styku spawanych elementów. Koniec drutu elektrodowego ustawiono w miejscu styku płyty sitowej z rurą.

Dla lasera zastosowano następujące ustawienia: położenie ogniska względem powierzchni spawanych rur $f = 0$, kąt α pochylecia osi wiązki laserowej do powierzchni spawanych elementów wynosił $\alpha = 26^\circ$.

Wstępnie uchwyt palnika metody MAG ustawiono prostopadle do powierzchni spawanych elementów, a następnie pochylene całego układu tj., wiązki lasera i głowicy hybrydowej ustalono dla wartości kąta $\beta = 7^\circ$, (Fig. 10).

Jako gaz osłonowy w metodzie MAG zastosowano mieszanę M12 (Inoxline C2, PN-EN ISO 14175- M12-ArC-2,5). Strumień objętości gazu osłonowego wynosił 16 l/min. Jako spoiwo stosowano drut spawalniczy gatunku LINCOLN MIG 316LSi (PN-EN ISO 14343-A: G 19 9 LSi).

Natomiast uzupełniające spawanie łukowe złącza prowadzi się przez czas podawania do procesu drutu, ustalony przez układ sterująco-monitorujący, a parametry wypełnienia krateru pokazano w Tab. 2.

Tab. 2

Nr próbki	„Crater Time” P [s]	V _d [m/min]	Kor. U [V]	“End Post Flow Time”, t[mm]
Płyta sitowa 1, 2, 3	0,1	5	0	0,5

czas wypełnienia krateru - P [s]; prędkość podawania drutu - V_d [m/min]; korekta napięcia łuku (nastawa źródła łukowego) - Kor. U [V]; czas wyphywu gazu osłonowego w metodzie MAG po spawaniu – t[s].

Złącze z niepełnym przetopem tj. spoina pachwinowa, charakteryzuje się prawidłowo uformowanym licem, bez rozprysków i głębokością wtopienia na poziomie 70%.

W przypadku złącza z pełnym przetopem tj. spoina czołowa w złączu teowym, uzyskano złącze, które cechuje równomierny nadlew, gładkie lico bez rozprysków i z pełnym przetopem na całej długości złącza oraz prawidłowo uformowaną granią.

Uzyskanie pełnego przetopu zapewnia odpowiednią szczelność układu, eliminuje miejsca powstawania korozji od strony grani. Badania metalograficzne makroskopowe nie wykazały wewnętrznych niezgodności spawalniczych w złączu.

Natomiast w przypadku złącza z niepełnym przetopem istnieje prawdopodobieństwo powstawania korozji od strony grani.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób łączenia rur z płytami sitowymi, zwłaszcza ze stali nierdzewnych, w którym po etapie przygotowania zestawia się współosiowo końce rur w odpowiadających położeniu otworach płyt sitowych oraz wstępnie łączy przez szczipienie, i tworzą wkład rurowy, a następnie kolejno obwodowo spawa w gazie osłonowym złącza rur z płytami sitowymi z utworzeniem spoin, **znamienny tym, że**
 - spawanie złącza każdej rury (1) z powierzchnią płyty sitowej (2) prowadzi się w jednym przejściu metodą hybrydową HLAW laser-MAG z prędkością co najmniej 1 m/min, i stosuje się głowicę spawalniczą hybrydową z laserem o mocy P co najmniej 3500 W oraz długości fali co najmniej 1064 nm, a natężenie prądu łuku elektrycznego wynosi co najmniej 140 A przy prędkości podawania drutu co najmniej 5 m/min,
 - ponadto głowica spawalnicza hybrydowa, usytuowana prostopadle do powierzchni spawanej, jest nieobrotowa, natomiast rury (1) i płyty sitowe (2), jako wkład rurowy, wykonują podczas spawania jednostajny ruch obrotowy,
 - przy czym od punktu, w którym zamyka się pełny obwód spawanej rury (1), prowadzi się hybrydowo lub tylko laserowo, sterowane przez układ sterująco-monitorujący, uzupełniające spawanie początkowego złącza na długości nie większej niż 15% długości jej obwodu.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym, że** uzupełniające spawanie złącza prowadzi się przez czas wygaszania wiązki promieniowania laserowego.
3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym, że** uzupełniające spawanie hybrydowe złącza prowadzi się przez czas podawania do procesu drutu.
4. Sposób według zastrz. 1 albo 2 albo 3, **znamienny tym, że** oś wiązki promieniowania laserowego jest nachylona do osi uchwytu (6) metody MIG/MAG pod kątem α w zakresie $0 \div 26^\circ$.

5. Sposób według zastrz. 1 albo 2 albo 3 albo 4, **znamienny tym**, że w głowicy lasera (**5**) ognisko jest położone na wysokości nie większej niż 2 mm nad powierzchnią spawanych elementów, a odległość „**a**” między końcem drutu elektrodowego **w** i osią wiązki promienia laserowego wynosi nie więcej niż 3 mm.
6. Sposób łączenia rur z płytami sitowymi, zwłaszcza ze stali nierdzewnych, w którym po etapie przygotowania zestawia się współosiowo końce rur w odpowiadających położeniem otworach płyt sitowych oraz wstępnie łączy przez szczepienie jako wkład rurowy, a następnie kolejno obwodowo spawa w gazie osłonowym złącza rur z płytami sitowymi z utworzeniem spoin, **znamienny tym**, że
 - spawanie złącza każdej rury (**1**) z powierzchnią płyty sitowej (**2**) prowadzi się w jednym przejściu metodą hybrydową HLAW laser-MAG z prędkością co najmniej 1 m/min, i stosuje się głowicę spawalniczą hybrydową z laserem o mocy **P** co najmniej 3500 W oraz długości fali co najmniej 1064 nm, a natężenie prądu łuku elektrycznego wynosi co najmniej 140 A przy prędkości podawania drutu co najmniej 5 m/min,
 - głowica spawalnicza hybrydowa jest nieobrotowa, a oś uchwytu (**6**) głowicy spawalniczej hybrydowej usytuowana jest pod kątem β w zakresie 5° do 8° , korzystnie 7° do powierzchni rury, natomiast rury (**1**) i płyty sitowe (**1**), jako wkład rurowy, wykonują podczas spawania jednostajny ruch obrotowy,
 - przy czym od punktu, w którym zamyka się pełny obwód spawanej rury (**1**), prowadzi się hybrydowo lub tylko laserowo sterowane przez układ sterująco-monitorujący uzupełniające spawanie początkowego złącza na długości nie większej niż 15% długości jej obwodu.
7. Sposób według zastrz. 6, **znamienny tym**, że uzupełniające spawanie złącza prowadzi się przez czas wygaszania wiązki promieniowania.
8. Sposób według zastrz. 6, **znamienny tym**, że uzupełniające spawanie hybrydowe złącza prowadzi się przez czas podawania do procesu drutu.
9. Sposób według zastrz. 6 albo 7 albo 8, **znamienny tym**, że oś wiązki promieniowania laserowego jest nachylona do osi uchwytu (**6**) metody MIG/MAG pod kątem α w zakresie $0 \div 26^\circ$.
10. Sposób według zastrz. 6 albo 7 albo 8 albo 9, **znamienny tym**, że w głowicy lasera (**5**) ognisko jest położone na wysokości nie większej niż 2 mm nad powierzchnią spawanych elementów, a odległość „**a**” między końcem drutu elektrodowego **w** i osią wiązki promienia laserowego wynosi nie więcej niż 3 mm.

Rysunki

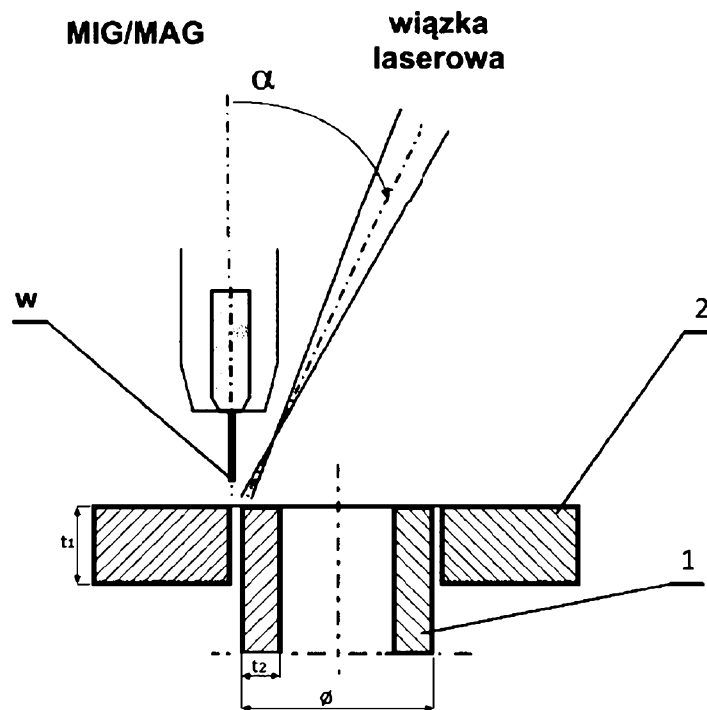


Fig.1

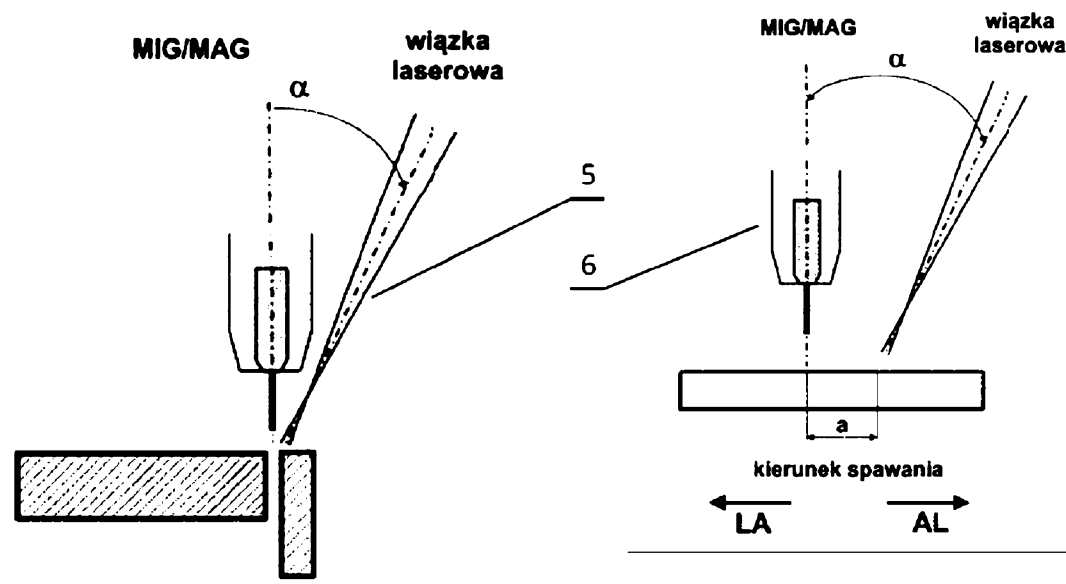


Fig.2

Fig.3

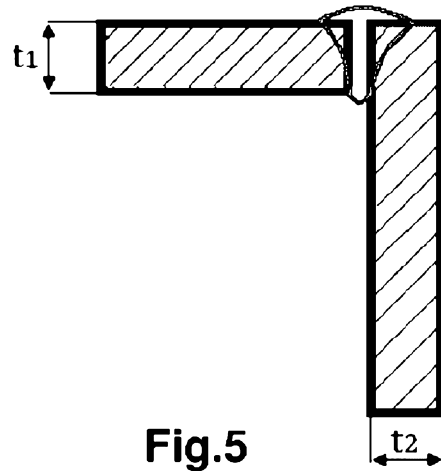
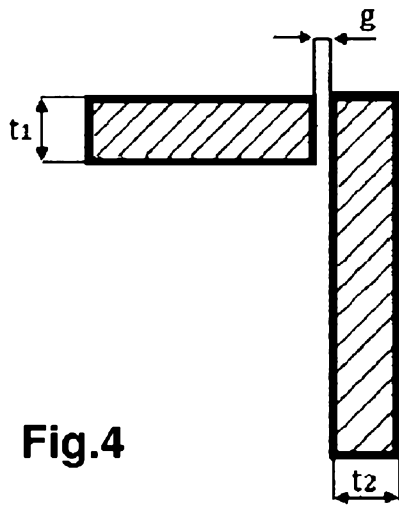
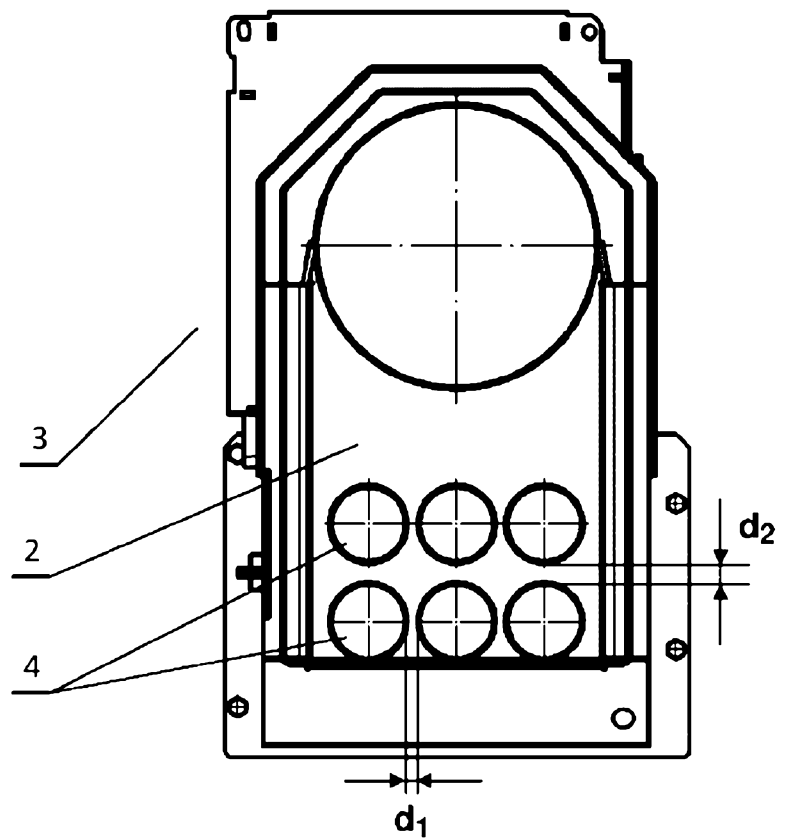


Fig. 6



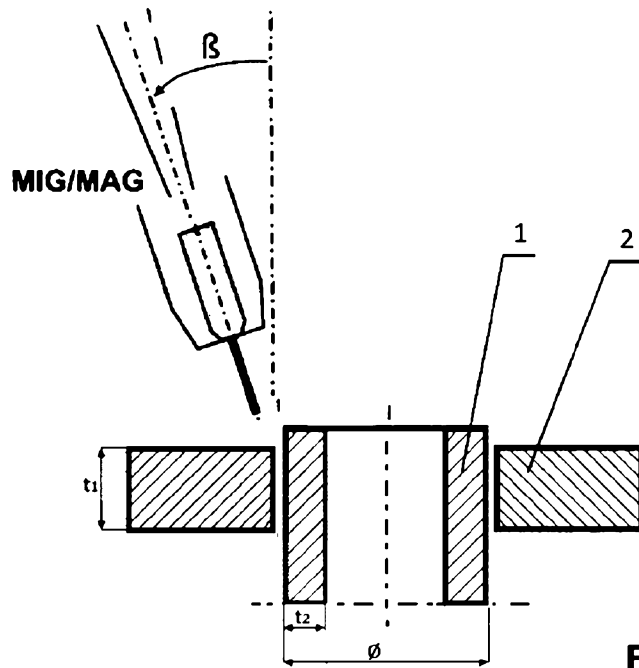
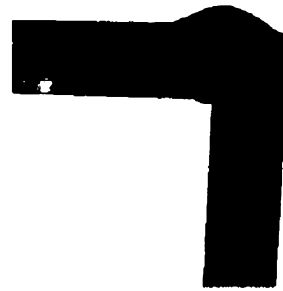


Fig.7



Fot.2

Fig.8

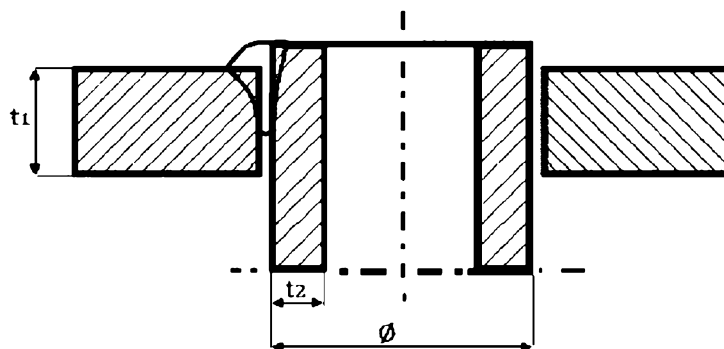
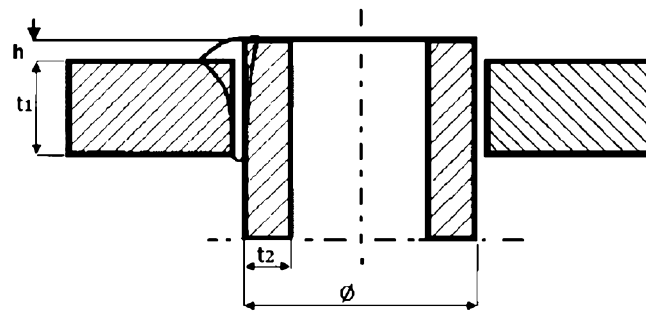


Fig.9