

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 244758 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **431658**

(22) Data zgłoszenia: **2019.10.30**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2021.05.04 BUP 09/2021**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.03.04 WUP 10/2024**

(51) MKP:

B23K 11/10 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

PAWEŁ KUSTROŃ, Mirków, PL

MARCIN KORZENIOWSKI, Mirosławice, PL

ZYGMUNT MIKNO, Gliwice, PL

(54) Tytuł:

Sposób detekcji zjawiska ekspulsji w procesie zgrzewania rezystancyjnego punktowego

PL 244758 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób detekcji zjawiska ekspulsji w procesie zgrzewania rezystancyjnego punkowego charakteryzujący się wykrywaniem zjawiska na wczesnym etapie jego się kształtowania.

Zgrzewanie rezystancyjne punktowe jest szeroko stosowanym procesem łączenia metali w wielu gałęziach przemysłu samochodowego, lotniczego czy AGD. Polega ono na doprowadzeniu prądu elektrycznego do obszaru styku łączonych materiałów, nagrzaniu go do temperatury powyżej temperatury topnienia i utworzenia ciekłego jądra zgrzeiny.

Zjawisko ekspulsji polega na wyrzuceniu ciekłego metalu z obszarów styku materiałów zgrzewanych lub styku pomiędzy elektrodą a materiałem zgrzewanym. Wystąpienie tego zjawiska jest skrajnie niekorzystne dla właściwości połączenia zgrzewanego, w tym głównie wytrzymałości statycznej i zmęczeniowej oraz skutkuje niespełnieniem wymogów jakościowych norm dotyczących połączeń zgrzewanych rezystancyjnie punktowo.

Najczęstszą przyczyną występowania ekspulsji ciekłego metalu podczas zgrzewania jest dostarczenie zbyt dużej ilości energii cieplnej do obszaru złącza. Pod wpływem wysokiego ciśnienia par metali wewnątrz jądra zgrzeiny lub na powierzchni styku elektroda materiał, materiał zgrzewany nie jest w stanie utrzymać ciekłego jądra zgrzeiny i następuje wyrzucenie ciekłego metalu poza obszar złącza. Zachodzące w zgrzeinie zmiany mają bardzo dynamiczny charakter. Zjawisko to trwa od kilkuset mikro-sekund do kilku mili-sekund. Sprawia to, że jest ono bardzo trudne zarówno do detekcji jak i kontroli. Ekspulsja może również następować w wyniku zanieczyszczeń występujących na powierzchni elementów lub nieprawidłowo dobranych parametrów zgrzewania. Ekspulsji zawsze towarzyszy bardzo dynamiczny ruch elektrody, a co za tym idzie jej przemieszczenie się i odpowiadające mu przyspieszenie.

Badanie procesu zgrzewania prowadzi się w trakcie tworzenia zgrzein. Istnieje szeroka gama metod monitorowania i kontroli procesu zgrzewania w czasie rzeczywistym, na przykład, działające w oparciu o pomiary rezystancji dynamicznej (z udziałem sieci neuronowych lub logiki rozmytej), systemy ultradźwiękowe, pomiary siły docisku czy przemieszczenia elektrody.

Najczęściej stosowanymi rozwiązaniami do monitorowania procesu zgrzewania, w tym do detekcji zjawiska ekspulsji, są metody oparte na pomiarze: zmian napięcia zgrzewania, przemieszczenia elektrod, zmian prędkości elektrod, siły docisku elektrod, czy innych parametrów podstawowych oraz parametrów od nich pochodnych jak na przykład: rezystancji dynamicznej, energii cieplnej wprowadzonej do zgrzeiny (opisanej w amerykańskim dokumencie patentowym US5892147), czy promieniowania podczerwonego.

W polskim opisie patentowym PL220341B1 ujawniona została zgrzewarka rezystancyjna wyposażona w układ do pomiaru głębokości wgniotu podczas zgrzewania, który umożliwia pomiar rozrostu jądra zgrzeiny w czasie rzeczywistym.

Z polskiego opisu patentowego PL219245B1 znana jest elektroda do rezystancyjnego zgrzewania punkowego, wyposażona w głowicę ultradźwiękową do kontroli procesu zgrzewania oporowego punkowego w czasie rzeczywistym.

Z patentu amerykańskiego US6414260B1 znana jest elektroda do zgrzewania i testowania połączeń zgrzewanych za pomocą fal ultradźwiękowych, która posiada przetwornik ultradźwiękowy, umieszczony w obsadzeniach elektrod, na dnie kanału z medium sprzęgającym, który doprowadza falę ultradźwiękową do jednej z elektrod zgrzewalniczych.

W polskim opisie patentowym PL194779B1 ujawniony został uchwyt elektrody stacjonarnej zgrzewarki punkowej z pomiarem siły docisku elektrod. Uchwyt składa się z dwóch korpusów, przy czym dolny korpus ma kanał, w którym umieszczana jest elektroda, która wchodzi w gniazdo górnego korpusu mocowanego w ramieniu zgrzewarki. Pomiędzy korpusami znajduje się przetwornik siły, który od strony górnego korpusu jest odizolowany izolacyjnym pierścieniem, a na styku dolnego korpusu z przetwornikiem jest umieszczony zabezpieczający element. Dolny korpus z nasadzoną izolacyjną tulejką wraz z wpasowaną metalową rurką jest odizolowany elektrycznie od górnego korpusu, ponadto na obwodzie uchwytu umieszczone są elastyczne przewody prądu, a dolny korpus z górnym korpusem połączony jest w jedną całość mocującym pierścieniem.

Amerykański dokument patentowy US5892147 ujawnia proces zgrzewania, w którym szacuje się w czasie rzeczywistym wielkość przyrostu jądra zgrzeiny oraz ilość wprowadzonego do procesu ciepła.

Amerykański dokument patentowy US3774006 ujawnia sposób, który polega na sterowaniu czasem zgrzewania poprzez pomiar rezystancji dynamicznej w trakcie procesu zgrzewania.

Amerykański dokument patentowy US5852273 ujawnia sposób sterowania prądem i czasem podczas procesu zgrzewania rezystancyjnego punktowego, który wykorzystuje dane z obliczeń numerycznych do sterowania prądem i czasem zgrzewania w celu uzyskania jądra zgrzeiny o żądanym kształcie i wymiarach.

Amerykański dokument patentowy US4447700A ujawnia sposób adaptacyjnej kontroli procesu zgrzewania rezystancyjnego polegający na wykorzystaniu rezystancji dynamicznej jako parametru, na podstawie którego dokonuje się regulacji procesu. Przed rozpoczęciem procesu zgrzewania kontroler dokonuje pomiaru statycznej rezystancji i sprawdzenia czy mierzona wartość mieści się w ustalonych wcześniej granicach.

W europejskim patencie EP1428608B1 ujawniony został sposób sterowania siłą docisku elektrod, według którego ustala się jednorazowo optymalną zadaną siłą docisku dla danego procesu zgrzewania oraz określa wymagany prąd roboczy dla napędu elektrycznego, dla stałej prędkości ruchu przy każdym następnym skoku roboczym. W procesie monitorowana jest rzeczywista prędkość ruchu, a w razie potrzeby stałą prędkość utrzymuje się przez korektę prądu roboczego.

Amerykański dokument patentowy US4596917 ujawnia monitorowanie wielu zmiennych procesu zgrzewania oporowego w celu uzyskania chwilowej informacji o jakości zgrzein podczas cyklu zgrzewania.

Amerykański dokument patentowy US6506997 ujawnia sposób monitorowania warunków procesu zgrzewania oporowego, w którym w czasie rzeczywistym monitoruje się co najmniej jeden parametr zgrzewania, to jest: prąd zgrzewania, czas zgrzewania lub siłę docisku elektrody. Na podstawie modelu bilansu energetycznego wyznacza się przewidywane warunki procesu zgrzewania, to jest: średnią temperaturę, średnicę spoiny i jej przyrost, straty ciepła na podstawie których parametry zgrzewania są modyfikowane w czasie rzeczywistym, dla eliminacji ekspulsji.

Amerykański dokument patentowy US2019314925 ujawnia zgrzewarkę mającą w układzie elektrod wbudowany akcelerator. Ujawniona w rozwiązaniu konstrukcja służy do badania jakości wykonanych zgrzein.

Sposobem na ograniczenie skutków ekspulsji jest natychmiastowe zatrzymanie doprowadzania prądu zgrzewania lub jego zmniejszenie oraz zwiększanie siły docisku elektrod. Ze względu na dynamikę zjawiska ekspulsji i bardzo krótki czas przebiegu zjawiska, bardzo istotne jest wczesne wykrycie zjawiska. Głównym problemem takiego rozwiązania jest dynamika czujników pomiarowych, gdyż w każdym przypadku występuje pewne opóźnienie informacji o wystąpieniu zjawiska ekspulsji. Ponadto, zatrzymanie procesu utrudnia wysoka indukcyjność obwodu zgrzewania.

Celem według wynalazku jest rozwiązanie, w którym wykrywanie zjawiska ekspulsji podlega wczesnemu wykryciu.

Sposób detekcji zjawiska ekspulsji w procesie zgrzewania rezystancyjnego punktowego, **według wynalazku charakteryzuje się tym, iż** zjawisko ekspulsji identyfikuje się po wzroście amplitudy drgań elektrody, wywoływanym propagowaną w niej falą mechaniczną generowaną w procesie ekspulsji przed jego etapem kulminacyjnym, to jest etapem, w którym następuje wyrzucanie ciekłego metalu z obszarów styku materiałów zgrzewanych lub styku pomiędzy elektrodą a materiałem zgrzewanym, przy czym przyspieszenia dla określenia amplitudy drgań elektrody mierzy się, zamocowanym w układzie elektrod, co najmniej jednym czujnikiem przyspieszenia.

Badania przeprowadzone na zgrzewarce inwertorowej 10 kHz wykazały, że poza pomiarami siły docisku elektrod, napięcia, prądu i innych, wskazane jest również badanie przyspieszenia elektrody zgrzewarki podczas przebiegu procesu zgrzewania. Powyższe realizowane sposobem według wynalazku pozwala na wykrycie ekspulsji na wczesnym etapie jej kształtowania się. Rozwiązanie według wynalazku cechuje się łatwością pomiaru, małymi rozmiarami czujników oraz wysoką czułością, która przekłada się na wysoką skuteczność identyfikacji i badania zjawiska ekspulsji.

Zaletą sposobu z wykorzystaniem pomiaru z akcelerometru jak w rozwiązaniu według wynalazku jest łatwość jego implementacji. Czujniki przyspieszenia nie wymagają punktu odniesienia czy skomplikowanego układu mechaniczno-elektrycznego jak w przypadku pomiarów siły czy punktu odniesienia w przypadku pomiarów przemieszczenia. W rozwiązaniu według wynalazku podobnie jak w rozwiązaniach znanych ze stanu techniki bardzo istotne jest umiejscowienie czujników przyspieszenia w maszynie. Z uwagi, iż niektóre elementy konstrukcyjne w trakcie procesu zgrzewania podatne są na drgania,

przy których mogą nawet osiągać częstotliwości rezonansowe, czujniki przyspieszenia należy umieszczać na relatywnie sztywnych elementach umiejscowionych w pobliżu elektrod zgrzewarki, na przykład w jej uchwytych.

Zaletą rozwiązania w odniesieniu do metody pomiaru siły docisku jest, iż badanie przyspieszenia nie wymaga operacji różniczkowania sygnału. Powyższe pozwala istotnie skrócić czas przetwarzania danych, a to przekłada się na wcześniejszą detekcję zjawiska ekspulsji. Kolejny pomiar przyspieszenia nie jest wrażliwy na indukcyjność obwodu zgrzewania, co ma istotne znaczenie podczas pomiaru wielkości elektrycznych w obwodzie zgrzewania. Wyniki pomiarów zmian napięcia, prądu zgrzewania, rezystancji dynamicznej czy energii wprowadzonej do złącza są obarczone błędem wynikającym z indukcyjnego charakteru obwodu wtórnego zgrzewania. Efekt jest tym większy, im większe jest tak zwane okno zgrzewarki. Ze względu na inercję układu zgrzewania sygnał przyspieszenia jest wcześniej wykrywany niż przemieszczenie elektrod.

Przedmiot wynalazku został bliżej objaśniony w oparciu o rysunek, na którym fig. 1 przedstawia przebieg prądu zgrzewania w cyklu jednoimpulsowym.

Sposób detekcji zjawiska ekspulsji w procesie zgrzewania rezystancyjnego punktowego w przykładzie realizacji według wynalazku polega na tym, że zjawisko ekspulsji identyfikuje się po wzroście amplitudy drgań elektrody, wywoływanym propagowaną w elektrodzie falą mechaniczną generowaną w procesie ekspulsji przed jego etapem kulminacyjnym, to jest etapem w którym następuje wyrzucenie ciekłego metalu z obszarów styku materiałów zgrzewanych lub styku pomiędzy elektrodą a materiałem zgrzewanym. Wartości przyspieszenia, dla określenia amplitudy drgań elektrod mierzy się, zamocowanymi w układzie elektrod, dwoma czujnikami przyspieszenia, z których pierwszy, pomiarowy, zamocowany jest do uchwyty elektrody pierwszej, a drugi, referencyjny, do uchwyty elektrody drugiej. W innych przykładach wykonania czujniki przyspieszenia mogą być zamocowane do nasadek zgrzewalniczych, osadzeń elektrod, belek mocujących osadzenia lub ewentualnie do konstrukcji nośnej zgrzewarki. Mierzona czujnikami przyspieszenia fala mechaniczna propaguje w materiale elektrod (stopach miedzi) z prędkością dźwięku, to jest pomiędzy 3600 – 4500 m/s. Z uwagi na powyższe, fala do czujników przyspieszenia dociera znacznie wcześniej aniżeli nastąpi faktyczne przemieszczenie elektrody. Powyższe sprawia, iż wykrywane przez czujniki przyspieszenia zjawiska ekspulsji dokonywane jest na etapie początkowym. W rozwiązaniu według wynalazku przed wystąpieniem właściwej ekspulsji następuje wzrost amplitudy drgań elektrod zgrzewarki. Analiza sygnału na podstawie analizy statystycznej sygnału, na przykład analizy wariancji sygnału lub jego odchylenia od wartości średniej lub średniej ruchomej, pozwala na oszacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia ekspulsji.

Z przeprowadzonych na potrzeby niniejszego wynalazku badaniach, z wykorzystaniem prototypowego stanowiska oraz wybranego materiału w postaci blach stalowych, tłocznych o grubości 1,2 mm, wynika, że w warunkach przedmiotowego eksperymentu przyrost zmienności odchylenia przyspieszenia od średniej o więcej niż 4 m/s^2 może być symptomem wystąpienia ekspulsji.

Przeznaczone do stosowania w sposobie według wynalazku czujniki przyspieszenia mogą być budowane w technologii MEMS lub być w formie przetwornika opartego o materiały piezoelektryczne w układzie zgrzewania. Niewielki ich rozmiar powoduje, iż mogą one być implementowane bez wpływu na proces zgrzewania i funkcjonalność zgrzewki, relatywnie blisko elektrod zgrzewarki (miejsca zgrzewania).

Zastrzeżenie patentowe

1. Sposób detekcji zjawiska ekspulsji w procesie zgrzewania rezystancyjnego punktowego, **znamienny tym**, że zjawisko ekspulsji identyfikuje się na podstawie wzrostu amplitudy drgań elektrody, który wywoływany jest propagowaną w elektrodzie falą w zjawisku ekspulsji indukowaną przed jego etapem kulminacyjnym, przy czym przyspieszenia dla określenia amplitudy drgań elektrody mierzy się, zamocowanym w układzie elektrod, co najmniej jednym, czujnikiem przyspieszenia.

Rysunek

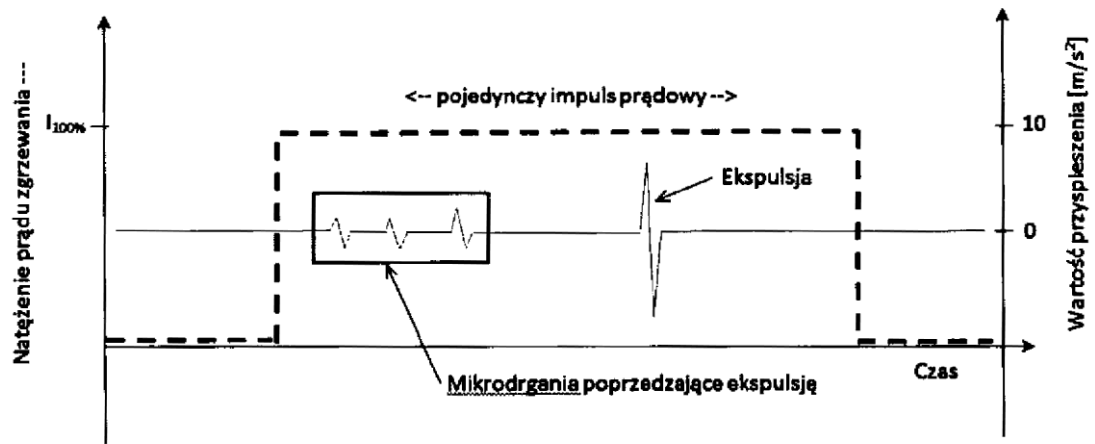


Fig. 1