

Załącznik nr 3: Szczegółowy opis przedmiotu zamówienia 1/ FENG.01.01-IP.01-001/24

Opis przedmiotu zamówienia:

Przedmiotem zamówienia jest zlecenie usług badawczych w związku z realizacją projektu pt. „Innowacyjny proces tworzący środowisko dla implementacji spawania zrobotyzowanego w wytwarzaniu wielkogabarytowych konstrukcji powłokowo nośnych”.

Przewidywany okres realizacji zlecenia obejmuje okres 45 miesięcy i został podzielony na 4 zadania, co odpowiada harmonogramowi rzeczowemu realizacji projektu.

Zamawiający wymaga by realizacja prac badawczych w ramach poszczególnych zadań została poprzedzona przygotowaniem przez Wykonawcę Zamówienia szczegółowej metodyki badań dla każdego zadania i przedłożenia celem akceptacji przez Zamawiającego.

Szczegółowy zakres prac zleconych:

Zadanie 1: Badanie i analiza innowacyjnego systemu adaptacyjnego doboru parametrów spawania i geometrii rowka w funkcji pozycji spawania.

1.1. Badanie wpływu pozycji spawania na kształtowanie geometrii spoiny z zachowaniem własności mechanicznych dla materiałów konstrukcyjnych i trudnościeralnych. Uzyskany materiał wynikowy zostanie wykorzystany do stworzenia bazy danych w postaci funkcji sterującej ruchami robota i parametrami spawania korygowanymi przez laserowy sensor wizyjny kontrolujący wszelkie zmiany geometrii rowka i jego trajektorii w przestrzeni trójwymiarowej.

1.1.1. Wytypowanie geometrii rowków spawalniczych dla różnych konfiguracji ich usytuowania w przestrzeni.

1.1.2. Analiza makro i/lub mikrostruktury złączy spawanych (spoina, SWC, materiał rodzimy) zgodnie z PN-EN ISO 17639 wraz z określeniem charakterystycznych wymiarów geometrycznych przekrojów spoin oraz przeprowadzenie badań twardości zgodnie z PN-EN ISO 9015-1 dla 500 próbek +/- 50

1.1.3. Wstępna analiza wyników badań w trakcie dostarczania kolejnych partii próbek, wydawanie rekomendacji dotyczących zmian parametrów na podstawie uzyskiwanych na bieżąco wyników.

1.1.4. W przypadku nieuzyskania wymaganego profilu spoiny - opracowanie rekomendacji korekt procesowych związanych ze zmianą parametrów spawania, geometrii przygotowania rowka spawalniczego, itp. w celu uzyskania zakładanych do osiągnięcia wyników.

1.1.5. Prezentacja tabelaryczna i/lub graficzna uzyskanych wyników.

1.1.6. Opracowanie wytycznych kształtowania nowego typu rowków spawalniczych w konstrukcjach przewidzianych do spawania zrobotyzowanego bez możliwości manipulowania elementami spawanymi.

1.1.7. Określenie bazy parametrów spawania wraz z opracowaniem algorytmu sterowania parametrami dla założonych przekrojów rowka spawalniczego, przy zachowaniu wysokich cech i właściwości materiałów podstawowych, jak na przykład wysoką wymaganą twardość materiałów trudnościeralnych w obszarach spoiny i stref przyspoinowych (SWC) złączy spawanych.

1.2. Badania złączy wykonanych z zastosowaniem spawania adaptacyjnego, których przekrój rowka i jego profil będzie zmieniał się na całej długości złącza. Badanie ma na celu weryfikację algorytmu

sterującego ruchami robota i parametrami spawania korygowanymi przez laserowy sensor wizyjny kontrolujący wszelkie zmiany geometrii rowka i jego trajektorii pod kątem uzyskania zakładanej względnej nośności złączy przy zachowaniu wysokich cech i właściwości materiałów podstawowych.

1.2.1. Badanie względnej nośności spoin - 60 próbek +/- 12.

1.2.2. Ocena rzeczywistego przekroju spoin, analiza mikro i/lub makrostruktury złączy obejmujących spoinę, SWC oraz materiał rodzimy zgodnie z PN-EN ISO 17639 oraz przeprowadzenie prób twardości zgodnie z PN-EN ISO 9015-1 wszystkich badanych w pkt 1.2.1 próbek.

1.2.3. Wstępna analiza wyników badań wg 1.2.1-1.2.2 i weryfikacja działania algorytmu doboru wielkości opisowych procesu spawania.

1.2.4. W przypadku nieuzyskania zakładanych wymaganych celów związanych z funkcjami sterującymi ruchami robota i dopasowaniem parametrów spawania nastąpi opracowanie rekomendacji korekt procesowych związanych ze zmianą wielkości opisowych innowacyjnego procesu w celu uzyskania zakładanych wyników.

1.2.5. Opracowanie tabelarycznej i graficznej (jeżeli dotyczy) prezentacji uzyskanych wyników.

1.3. Przygotowanie raportu z usługi badawczej ze zrealizowanych prac zawierających:

1.3.1 Tabelaryczną i graficzną (jeżeli dotyczy) prezentację danych pomiarowych.

1.3.2 Ocenę wpływu zastosowania nowej technologii spawania na uzyskanie złączy spawanych ze spoinami spełniającymi wymagania poziomu jakości B zgodnie z normą PN-EN ISO 5817 na całej długości złącza ze zmiennym przekrojem rowka.

Celem realizacji prac badawczych wyspecyfikowanych w pkt 1.1 i 1.2 Zamawiający wykona i dostarczy Wykonawcy próbki ze stali konstrukcyjnych oraz trudnościeralnych w zakładanej ilości wraz zestawieniem parametrów materiałowych i procesowych ich wykonania niezbędnych do realizacji zadania. Próbki będą pobierane z modelowych złącz o grubości materiałów łączonych w zakresie 8-25 mm, dla których przekrój rowka i jego profil będzie zmieniał się na całej długości złącza.

Przewidywany okres realizacji zadania 1: 1-15 miesiąc realizacji zamówienia.

Zadanie 2: Badanie i analiza działania procesu zrobotyzowanego skanowania laserowego linii styków oraz cięcia i ukosowania termicznego elementów płaskich, przestrzennych oraz ich wzajemnych konfiguracji.

2.1. Badanie optymalnych parametrów cięcia stali konstrukcyjnych i trudnościeralnych wykonanych cięciem plazmowym elementów płaskich oraz na stanowisku do cięcia kompensacyjnego 3D.

2.1.1. Analiza makroskopowa szczelin cięcia wykonanych przy zmiennych parametrach cięcia - wykonanie zglądów zgodnie z PN-EN ISO 17639 - 180 próbek +/- 36.

2.1.2. Przeprowadzenie analizy geometrii szczeliny cięcia próbek z punktu 2.1.1 poprzez pomiar:

2.1.2.1. Szerokości szczeliny cięcia na różnych jej głębokościach z uwzględnieniem szerokości szczeliny cięcia wzdłuż górnej oraz dolnej powierzchni blachy oraz w miejscach maksymalnego zawężenia i rozszerzenia szczeliny cięcia.

2.1.2.2. Pola powierzchni szczeliny cięcia i SWC.

2.1.2.3. Szerokości SWC w co najmniej czterech liniach pomiarowych odpowiadających liniom pomiaru szczeliny cięcia.

2.1.2.4. Pola powierzchni SWC z uwzględnieniem wszystkich stref, w których struktura materiału podstawowego została w sposób widoczny zmieniona na skutek oddziaływania źródła ciepła.

2.1.2.5. Odchyłki prostopadłości krawędzi (ukosu) zgodnie z normą ISO 9013.

2.1.3. Wstępna analiza wyników wg punktu 2.1 prowadzona na bieżąco w trakcie dostarczania kolejnych partii próbek, wydawanie rekomendacji dotyczących zmian parametrów na podstawie uzyskiwanych na bieżąco wyników.

2.1.4. W przypadku nieuzyskania zakładanej jakości cięcia opracowanie rekomendacji korekt procesowych związanych ze zmianą parametrów cięcia 2D i 3D w celu uzyskania wymaganej jakości.

2.1.5. Opracowanie tabelarycznej i graficznej (jeżeli dotyczy) prezentacji uzyskanych wyników.

2.1.6. Zestawienie i wybór optymalnych parametrów cięcia do wykorzystania na zrobotyzowanym stanowisku do cięcia elementów 2D i 3D

Celem realizacji prac badawczych wyspecyfikowanych w pkt 2.1 Zamawiający wykona i dostarczy Wykonawcy próbki ze stali konstrukcyjnych i trudnościeralnych w zakładanej ilości wraz zestawieniem parametrów materiałowych i procesowych ich wykonania niezbędnych do realizacji zadania. Próby cięcia zostaną wykonane dla grubości materiału w zakresie 8 - 25 mm przecinarką plazmową CNC do cięcia elementów płaskich i na zrobotyzowanym stanowisku cięcia kompensacyjnego 3D. Próby cięcia przeprowadzone będą dla prostoliniowych i krzywoliniowych trajektorii odpowiadających liniom cięcia zaprojektowanych wzorców do badania systemu laserowego skanowania w następnej fazie badań przemysłowych.

Dla każdej metody cięcia elementów płaskich 2D i każdej badanej grubości blach wykonane zostaną po 6 płaskich płyt próbnych o rozmiarach 200x500 mm (2 z cięciem prostoliniowym prostym i 2 z cięciem prostoliniowym i ze zmiennym pochyleniem palnika oraz 2 z cięciem krzywoliniowym i ze zmiennym pochyleniem palnika).

2.2. Badanie systemu laserowego skanowania i generowania ścieżki cięcia kompensacyjnego 3D elementów wzorcowych.

2.2.1. Zaprojektowanie zgodnie z metodyką wzorców/modeli służących do badania systemu laserowego skanowania oraz cięcia kompensacyjnego w ilości 9 sztuk +/- 3.

2.2.2. Analiza jakości (dokładności odwzorowania rzeczywistej krawędzi) skanowania modeli/wzorców w celu określenia dopuszczalnych odchyłek.

2.2.3. W przypadku nieuzyskania zakładanej jakości skanowania opracowanie rekomendacji korekt procesowych wymagających zmiany parametrów skanowania w celu uzyskania wymaganej jakości związanej z zachowaniem maksymalnego odstęp progowy poniżej 3 mm.

2.2.4. Analiza jakości (dokładności) cięcia kompensacyjnego modeli/wzorców w celu określenia dopuszczalnych odchyłek pomiarowych (maksymalny odstęp progowy poniżej 3 mm).

2.2.5. W przypadku nieuzyskania zakładanej jakości cięcia kompensacyjnego opracowanie rekomendacji korekt procesowych związanych ze zmianą parametrów cięcia w celu uzyskania wymaganego maksymalnego odstęp progowy poniżej 3 mm.

2.2.6. Analiza jakości (dokładności) dopasowania elementów skojarzonych po procesie skanowania oraz cięcia kompensacyjnego. Wytypowanie próbek spełniających łącznie kryteria: odstęp progowy nie większy niż 3 mm, minimalne SWC przy założonej geometrii, spełnienie cech i właściwości zgodnie z normą ISO 9013.

2.2.7. W przypadku nieuzyskania zakładanej jakości (dokładności) dopasowania opracowanie rekomendacji korekt procesowych związanych ze zmianą parametrów skanowania i/lub cięcia kompensacyjnego w celu uzyskania wymaganej jakości.

Celem realizacji prac badawczych wyspecyfikowanych w pkt 2.2 Zamawiający wykona próbki ze stali konstrukcyjnych i trudnościeralnych z zastosowaniem cięcia kompensacyjnego w zakładanej ilości oraz dostarczy wyniki pomiarów geometrii i parametry procesowe ich wykonania niezbędnych do realizacji zadania. Będą to co najmniej:

- Łączone elementy wycinane płaskie 2D do przestrzennych 3D z i bez krawędzi ukosowanych dla łącz kątowych prostoliniowych i krzywoliniowych dla blach o grubości w zakresie 8-25 mm.
- Łączone elementy przestrzenne 3D cięte kompensacyjnie do już wykonanych elementów przestrzennych 3D jako elementy sekcji konstrukcji powłokowej z rowkami (krawędziami ukosowanymi) i bez rowków dla łącz teowych blach o grubości 8-25 mm w różnych konfiguracjach.
- Łączone elementy przestrzenne 3D cięte kompensacyjnie do już wykonanych elementów płaskich 2D w różnych konfiguracjach.

2.3. Opracowanie i przekazanie raportu dla Zamawiającego zrealizowanych prac zawierającego:

2.3.1. Tabelaryczną i graficzną (jeżeli dotyczy) prezentację uzyskanych wyników.

2.3.2. Ocenę wpływu parametrów skanowania oraz cięcia termicznego na wielkość odstępu progowego, a tym samym na geometrię i wielkość rowków spawalniczych uzyskiwanych po dopasowaniu detali wykonanych metodą cięcia kompensacyjnego.

Przewidywany termin realizacji zadania 2: 13–24 miesiąc realizacji zamówienia.

Zadanie 3: Badania naprężeń własnych oraz zmian własności materiału wywołanych cyklem cieplnym spawania i sposobem wykonania spoin w złączach ze zminimalizowanym przekrojem rowka dla innowacyjnego procesu wytwarzania konstrukcji spawanych - technologii skanowania laserowego i cięcia kompensacyjnego oraz spawania adaptacyjnego.

3.1. Przeprowadzenie analiz numerycznych rozkładu temperatury, naprężeń spawalniczych oraz odkształceń w złączach spawanych ze stali konstrukcyjnych i trudnościeralnych ze zmienną geometrią/objętością rowków spawalniczych/spoin oraz kolejnością spawania realizowaną dla procesów spawania ręcznego i możliwych optymalnych z zastosowaniem spawania zrobotyzowanego.

3.1.1. Wykonanie 3 modeli numerycznych, tj. dla złączy doczołowych, teowych i krzyżowych.

3.1.2. Wykonanie symulacji numerycznych obejmujących analizę rozkładu temperatury, naprężeń oraz odkształceń na trzech modelach numerycznych wykonanych w pkt 3.1.1 dla czterech zmiennych parametrów procesu jak niżej (łącznie 12 wariantów):

- trzy grubości blach w zakresie 8-25 mm ze spoinami wielowarstwowymi,
- spoiny ze zmienną geometrią rowka spawalniczego.

3.1.3. Przekazanie wyników symulacji w formie tabelarycznej i graficznej (zapis dynamiczny w jednym z popularnych formatów plików video).

Celem realizacji prac badawczych wyspecyfikowanych w pkt 3.1 na potrzeby budowy modelu numerycznego Zamawiający prześle dokumentację techniczną złączy zawierającą rysunki techniczne oraz zestawienie parametrów materiałowych i procesowych.

3.2. Pomiary naprężeń złączy spawanych z różnymi kątami ukosowania oraz różnymi wartościami odstępu progowego.

3.2.1. Wykonanie pomiaru naprężeń metodą nieniszczącą (np. metodą Barkhausena lub rentgenowską) oraz wytypowanie złączy o określonej geometrii rowka nieprzekraczających zakładanych maksymalnych poziomów naprężeń spawalniczych. Pomiar naprężeń będzie wykonywany w siedzibie Zamawiającego na powierzchniach blach spawanych wzorców i powinien obejmować strefy przyspoinowe, jak również materiał rodzimy w złączu spawanym - min. w 100 wytypowanych punktach na powierzchni blach spawanych wzorców, liczba wzorców 18szt. +/- 3

3.2.2. Wstępna analiza wyników pomiarów wg punktu 3.2.1.

3.2.3. W przypadku nieuzyskania wymaganego obniżenia wielkości naprężeń opracowanie rekomendacji korekt procesowych związanych ze zmianą parametrów cięcia kompensacyjnego i/lub spawania adaptacyjnego w celu nieprzekroczenia zakładanego maksymalnego poziomu naprężeń.

3.2.4. Opracowanie tabelarycznej i graficznej (jeżeli dotyczy) prezentacji uzyskanych wyników.

Celem realizacji prac badawczych wyspecyfikowanych w pkt 3.2 Zamawiający wykona wzorce do badań, które następnie udostępni Wykonawcy w zakładanej ilości wraz zestawieniem parametrów materiałowych i procesowych ich wykonania. Wzorce będą wykonane z blach ze złączami doczołowymi i teowymi o grubościach łączonych blach w zakresie 8-25 mm w wybranych konfiguracjach.

3.3. Przygotowanie raportu ze zrealizowanych prac zawierający:

3.3.1. Tabelaryczną i graficzną (jeżeli dotyczy) prezentację uzyskanych wyników.

3.3.2. Analizę wyników symulacji numerycznych oraz pomiarów naprężeń wg punktu 3.1 i 3.2 celem identyfikacji wpływu wielkości rowka spawalniczego oraz kolejności i kierunku układania ściegów podczas spawania na wielkość stref o obniżonych własnościach (twardości) stali konstrukcyjnych i trudnościeralnych.

3.3.3. Określenie maksymalnych objętości spoin (przekroju rowka spawalniczego) dla badanych grubości materiałów oraz typów złączy gwarantujących nieprzekraczania wymaganego poziomu naprężeń spawalniczych i obniżenia własności w tym głównie twardości w strefach przyspoinowych.

Przewidywany termin realizacji zadania 3: 22–33 miesiąc realizacji zamówienia.

Zadanie 4: Badania parametrów procesowych wraz z oceną funkcjonalności innowacyjnego procesu wykonywania konstrukcji spawanych.

4.1 Opracowanie szczegółowej metodyki badania innowacyjnego procesu na demonstracyjnej linii technologicznej. Metodyka winna zawierać co najmniej następujące elementy:

- Projekt modelu/modeli demonstratora/demonstratorów (konstrukcji powłokowo – nośnej lub jej reprezentatywnego fragmentu).
- Zdefiniowanie parametrów kluczowych zastosowanych innowacyjnych procesów obejmujących skanowanie laserowe ścieżki cięcia, cięcie kompensacyjne i zrobotyzowane spawanie adaptatywne do zmiennej geometrii rowka.
- Opracowanie programów obejmujących zmienną kolejność wykonywania ściegów, w tym spoin wielowarstwowych optymalizowanych na podstawie symulacji numerycznych MES.
- Opracowanie metody testowania parametrów procesowych uzyskanych w badaniach przemysłowych obejmujących zadania 1-3 nowego procesu wytwarzania konstrukcji

spawanych (pracochłonność, zużycie materiałów dodatkowych do spawania, zużycie energii elektrycznej, czas główny palenia się łuku).

Materiał wejściowy do prac zaplanowanych w pkt 4.1 stanowi dokumentacja z badań wykonanych przez Wykonawcę w ramach zadań 1-3 oraz przekazana przez Zamawiającego (materiał wynikowy z prac badawczych zrealizowanych przez personel B+R Zamawiającego, dokumentacja technologiczna linii demonstracyjnej).

4.2. Badania wybranych złączy demonstratora wykonanych z zastosowaniem nowego procesu wytwarzania na zintegrowanej linii demonstracyjnej.

4.2.1. Badanie względnej nośności spoin - 6 próbek +/- 3 z jednego demonstratora reprezentującego element sekcji konstrukcji skrzyni. Liczba demonstratorów 3 sztuki.

4.2.2. Badania wytrzymałości złączy ze spoinami czołowymi zgodnie z normą PN-EN ISO 4136 - 6 próbek +/- 3 z jednego demonstratora reprezentującego element sekcji konstrukcji skrzyni. Liczba demonstratorów 3 sztuki.

4.2.3. Badania wytrzymałości złączy krzyżowych ze spoinami pachwinowymi zgodnie z normą PN-EN ISO 9018 - 6 próbek +/- 3 z jednego demonstratora reprezentującego element sekcji konstrukcji skrzyni. Liczba demonstratorów 3 sztuki.

4.2.4. Wykonanie pomiaru naprężeń metodą nieniszczącą (np. metodą Barkhausena lub rentgenowską) na elemencie demonstratorów wykonanych dotychczasową technologią oraz nową technologią skanowania przestrzennego linii styku cięcia kompensacyjnego i zrobotyzowanego spawania adaptatywnego do zmiennej geometrii rowka celem wyznaczenia maksymalnych poziomów naprężeń spawalniczych. Pomiar naprężeń będzie wykonywany w siedzibie Zamawiającego na powierzchniach spawanych demonstratorów i powinien obejmować strefy przyspoinowe, jak również materiał rodzimy w złączu spawanym - min. w 100 wytypowanych punktach na powierzchniach spawanych demonstratorów. Liczba demonstratorów 3szt. +/- 1.

4.2.5. Ocena rzeczywistego przekroju spoin, analiza mikro i/lub makrostruktury złączy (SWC) zgodnie z PN-EN ISO 17639 oraz przeprowadzenie prób twardości zgodnie z PN-EN ISO 9015-1 wszystkich badanych w pkt 4.2.1-4.2.3 próbek.

4.3. Pomiar i analiza pól rozkładu temperatury podczas spawania demonstratorów – pomiary obejmować będą temperaturę złączy spawanych ze spoinami wielowarstwowymi. Liczba złączy spawanych 12 szt.

4.4. Wstępna analiza wyników uzyskana w badaniach i pomiarach wg punktów 4.2-4.3.

4.5. Analiza wskaźników procesowych zastosowania nowej linii technologicznej. Wartości wskaźników (pracochłonność, zużycie materiałów dodatkowych do spawania, zużycie energii elektrycznej, czas główny palenia się łuku) zostaną przekazane przez Zamawiającego.

4.6. W przypadku nieuzyskania zakładanych wartości wskaźników przywołanych w punkcie 4.5 w trakcie badań demonstratorów opracowanie rekomendacji korekt procesowych związanych ze zmianą parametrów procesowych.

4.7. Nadzór naukowy nad procesem integracji linii demonstracyjnej i testami w warunkach zbliżonych do rzeczywistych oraz nadzór nad działaniem, testowaniem i optymalizacją innowacyjnego procesu wytwarzania.

4.8. Przygotowanie raportu ze zrealizowanych prac zawierającego:

4.8.1. Tabelaryczną i graficzną (jeżeli dotyczy) prezentację uzyskanych wyników.

4.8.2. Analizę wyników badań i pomiarów wg punktów 4.2-4.5.

4.8.3. Ocenę wpływu zastosowania innowacyjnego procesu wytwarzania na zwiększenie względnej nośności spoin i zmniejszenie obszarów degradacji spowodowanych cyklem cieplnym spawania w stosunku do złączy wykonanych dotychczasową technologią.

Celem realizacji prac badawczych wyspecyfikowanych w pkt 4.2 Zamawiający wykona i udostępni Wykonawcy próbki pobrane z demonstratora., którym będzie reprezentatywny fragment skrzyni ładunkowej (w skali 1:1), odzwierciedlający połączenie elementów 3D. Zakłada się wykonanie dwóch różnych wersji/modeli demonstratora, które w sposób najbardziej właściwy odzwierciedlają problemy występujące podczas wytwarzania wielkogabarytowych konstrukcji powłokowych wg nowej technologii. Celem realizacji prac badawczych wyspecyfikowanych w pkt 4.3 Zamawiający winien zapewnić dostępność do obiektu badań (skrzynia ładunkowa) podczas pomiarów.

Analiza wskaźników procesowych wg 4.5 przeprowadzona zostanie w oparciu o dane dostarczone przez Zamawiającego na bazie danych rzeczywistych zebranych w trakcie wytwarzania minimum 3 sztuk skrzyń ładunkowych.

Wykonawca winien w przypadku prac wg 4.7 zaplanować zaangażowanie 2 osób z kadry wyznaczonej do realizacji Zamówienia przez minimum 16 godzin w miesiącu, w tym przynajmniej 8 godzin w miesiącu bezpośredniej dostępności w siedzibie Zamawiającego (Wieluń, województwo łódzkie) przez okres realizacji zadania 4, tj. okres 15 miesięcy.

Przewidywany termin realizacji zadania 4: 31 – 45 miesiąc realizacji zamówienia.