

WOJCIECH TEMEL
IRENEUSZ CZAJKA
TOMASZ LACH
ŁUKASZ HALAMA

Projekt stanowiska do spawania elementów tłumika samochodowego

Wykonywanie dużych partii powtarzających się elementów stanowi wyzwanie dla ręcznego procesu spawania. Rozwiązaniem tych problemów jest automatyzacja z wykorzystaniem maszyn o układach dwu- lub wieloosiowych. Projekt stanowiska do spawania elementów tłumika samochodowego skupia się na automatyzacji jednego z procesów produkcji w firmie Ulter-Sport Sp. z o.o. dzięki wykorzystaniu prototypowego pięcioosiowego stanowiska sterowanego numerycznie. Zastosowanie tego rodzaju rozwiązania daje operatorowi możliwość szybkiego opracowania nowych cykli spawania, które za pomocą układu śrub kulowych oraz silników krokowych są wielokrotnie i dokładnie odtwarzanie. Przeszronne pole robocze oraz duże możliwości ruchu głowicy spawalniczej pozwalają na adaptację maszyny do wykonywania innych zadań bazujących na spawaniu.

Słowa kluczowe: spawanie, układ wydechowy, automatyzacja

1. WSTĘP

Układ wydechowy jest jednym z podstawowych podzespołów współczesnych samochodów spalinywych. Uzyskiwane za jego pomocą wrażenia dźwiękowe zależą od geometrii, jakości wykonania komponentów i połączeń między nimi. Ciągłe dążenie za innowacyjnymi kształtami prowadzi do znacznego skomplikowania produkowanych końcówek, utrudniając tym samym zapewnienie koniecznej dokładności wykonania.

W przemyśle z branży *automotive* duże nakłady powtarzających się elementów stanowią bazę do szeroko pojętej automatyzacji, dzięki której wykonywanie trudnych i monotonicznych zadań zostaje przeniesione z operatora na maszynę.

Jednym z elementów wymagających dużej dokładności są końcówki przedstawione na rysunku 1. Produkt końcowy składający się z perforowanej rurki oraz dwóch pierścieni wymaga zastosowania sześciu spoin rozmieszczonych obwodowo na krawędzi łączącej elementy.



Rys. 1. Końcówki układu wydechowego wykonane na stanowisku automatu spawalniczego (AS-03)

Wąska przestrzeń dostępna dla operatora oraz niewielka grubość ścianek znacząco utrudnia uzyskanie powtarzalności spoin o wymaganej wytrzymałości [1].

2. RĘCZNE WYKONYWANIE SPOIN

Ręczne wykonanie końcówek układu wydechowego odbywało się na stanowisku obrotownika programowanego.

Urządzenie to zostało wyposażone w obrotowy talerz umożliwiający montaż narzędzi pozycjonujących komponenty na czas spawania. Programowanie odbywa się w wyniku podziału obrotu na odcinki „szybkiego przejazdu” oraz „spawania”, następnie po ich uruchomieniu urządzenie obraca narzędzie do położenia, w którym należało wykonać spoinę, i informuje pracownika za pomocą sygnału dźwiękowego o rozpoczęciu procesu spawania. Po obrocie o zaprogramowany kąt i z przypisaną prędkością cykl powtarzał się na całym obwodzie, czego skutkiem było wykonanie zadanej liczby spoin o wskazanych parametrach.



Rys. 2. Stanowisko obrotownika programowalnego (SOP)

Utrzymanie jakości wymaga od operatora dużego doświadczenia oraz skupienia przez cały czas pracy. Ze względu na duże partie identycznych elementów (sięgających jednorazowo nawet 600 sztuk) monotonna praca prowadzi do zmniejszenia się dokładności i częstego występowania wad spawalniczych wykluczających detale z kolejnych etapów produkcji.

Na bazie stanowiska obrotownika programowalnego (rys. 2) został opracowany System Automatycznego Dosuwania (SAD), działający z wykorzystaniem siłownika pneumatycznego, zestaw łożysk liniowych i układ zaworów. Umożliwiał on automatyczne przysuwanie lub odsuwanie uchwytu spawalniczego względem spawanego elementu w zależności od aktualnego cyklu pracy stanowiska.

System SAD pozwolił na przetestowanie automatyzacji na prostych detalach wymagających wyłącznie krótkich ruchów w jednej osi.

Dodatkowo w trakcie testowania zauważono wiele nieprawidłowości, takich jak:

- trudności w regulacji położenia uchwytu spawalniczego;
- trudności w sterowaniu prędkością dosuwu;
- drgania wynikające z niedostatecznej liczby łożysk liniowych.

Problemy te należało rozwiązać w kolejnych etapach projektowania.

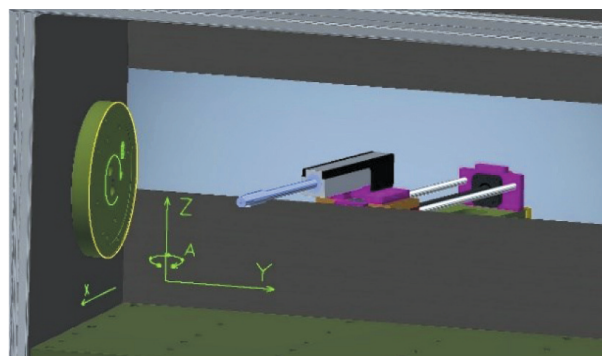
3. WYMAGANIA KONSTRUKCYJNE

Na podstawie dokumentacji technicznej produkowanych elementów, a także doświadczeń płynących z prób przeprowadzonych na systemie automatycznego dosuwania określone zostały następujące wymagania konstrukcyjne stanowiska do spawania elementów tłumika samochodowego:

- liczba spoin: dwie, trzy lub cztery;
- eliminacja drgań uchwytu spawalniczego;
- sterowanie prędkością ruchu;
- skrócenie czasu cyklu;
- długość spoiny w zakresie 30–40 mm;
- prędkość kładzenia spoiny: 10–15 mm/s;
- napięcie prądu spawania w granicach 14–19 V;
- natężenie prądu spawania w granicach 80–140 A;
- prędkość podawania drutu: 6–9 m/min;
- głębokość przetopu: $ET1 \geq 0,2$ [2].

4. AUTOMAT SPAWALNICZY AS-03

W celu sprostania wszystkim założeniom konstrukcyjnym, a także skomplikowanym kształtom końcówek układu wydechowego zdecydowano się na maszynę bazującą na układzie pięciu osi ruchowych (rys. 3).



Rys. 3. Model przestrzeni roboczej z zaznaczonym rozmieszczeniem osi stanowiska AS-03 wygenerowany za pomocą programu Inventor

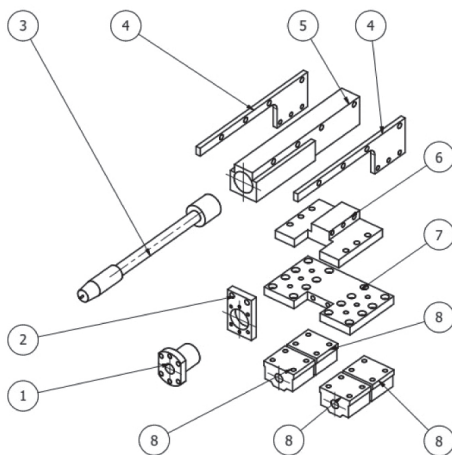
Automat spawalniczy (AS-03) (rys. 5) wyposażony jest w układ trzech osi liniowych, których ruch odbywa się za pośrednictwem silnika krokowego z enkoderem [3] połączonego ze śrubą kulową za pomocą sprzęgła kłowego [4, 5]. Jako osie liniowe wyróżnia się:

- oś X – odpowiadającą za przysuwanie uchwytu spawalniczego do spawanego elementu w zakresie 0–255 mm;
- oś Y – odpowiadającą za ruch wzdłuż spawanego elementu w zakresie 0–810 mm;
- oś Z – odpowiadającą za regulację wysokości w zakresie 0–162 mm.

Dodatkowe osie kątowe są jednymi z najważniejszych elementów konstrukcji maszyny. Odpowiadają one za sterowanie kątem przystawienia głowicy spawalniczej do spawanej krawędzi, a także za jej pozycjonowanie i nadawanie prędkości wykonywania spoiny. Jako osie kątowe wyróżnia się:

- oś A – odpowiadającą za wychyłanie głowicy spawalniczej wokół osi Z w zakresie 0–95°;
- oś B – odpowiadającą za obrót spawanego elementu w zakresie 0–360°.

Ze względów konstrukcyjnych oraz możliwości produkcyjnych firmowego parku maszyn w stanowisku AS-03 zastosowano głowicę spawalniczą własnej konstrukcji (rys. 4). Składa się ona z teflonowej obudowy zamocowanej na wózku z łożyskami liniowymi oraz mosiężnej rurki prowadzącej pancierz. Końcówka głowicy zwieńczona jest łącznikiem prądowym przystosowanym do montażu znormalizowanych końcówek prądowych oraz dysz gazowych.



Rys. 4. Zestawienie elementów wchodzących w skład głowicy spawalniczej stanowiska AS-03.

Rysunek wygenerowany za pomocą programu Inventor

Najważniejszym aspektem pracy na maszynach z ruchomymi elementami jest bezpieczeństwo operatora. Piktogramy, osłony, przycisk ESTOP, a także

krańcówki w połączeniu z modulem bezpieczeństwa firmy SICK stanowią sprzętowe zabezpieczenie operatora przed urazem.



Rys. 5. Automat spawalniczy AS-03

Dodatkowo systemy bezpieczeństwa zostały zdublowane za pomocą szeregu makr oraz skryptów sporządzonych w języku Python. Odpowiadają one za takie funkcje, jak blokowanie się drzwi w czasie pracy, obsługę czujników i innych systemów zewnętrznych współpracujących ze stanowiskiem AS-03 [6, 7].

Za sterowanie dodatkowymi funkcjami stanowiska odpowiada osiowy kontroler ruchu firmy CSMIO wyposażony w szereg wyjść analogowych oraz cyfrowych przesyłających sygnały na osprzęt stanowiska. Jednym z takich komponentów jest spawarka Oerlikon Citowave III [8], której praca kontrolowana jest za pomocą dwóch sygnałów analogowych umożliwiających płynną zmianę posuwu drutu oraz prądu spawania w czasie pojedynczego cyklu, a nawet w trakcie wykonywania pojedynczej spoiny.

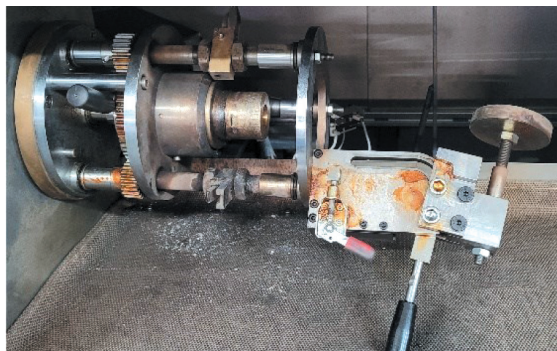
Praca stanowiska AS-03 jest oparta na G-code z dokładnościami liniowymi na poziomie 0,01 mm oraz kątowymi na poziomie 30'.

Aby ułatwić opracowywanie programów, w wyposażeniu maszyny znajduje się pilot MPG (rys. 6) z dodatkowym przyciskiem umożliwiającym zapis aktualnych współrzędnych do pliku.



Rys. 6. Pilot MPG do opracowywania kodów G-code

Oś kątowna B zakończona jest obrotowym talerzem, na którym rozmieszczono sworznie oraz szereg otworów gwintowanych zapewniających jednakowe zamontowanie narzędzi pozycjonujących (rys. 7) przy każdym przeobrażeniu stanowiska.



Rys. 7. Narzędzie zamontowane w przestrzeni roboczej stanowiska AS-03

5. ZASTOSOWANIE AS-03

Maszyna została opracowana z uwzględnieniem wszystkich wymagań konstrukcyjnych, a także została w niej przewidziana możliwość adaptacji do spawania innych elementów układu wydechowego, takich jak płaszcze tłumika. Ostatecznie stanowisko posiada następujące możliwości:

- zachowanie zasad bezpieczeństwa zgodnych z dyrektywami CE;
- skrócenie czasu cyklu spawania z 144 s do 54 s (dla jednego z elementów);
- płynne sterowanie posuwem drutu w zakresie 2–25 m/min;
- płynne sterowanie prądem spawania w zakresie 15–420 A;
- dokładność liniowa na poziomie 0,01 mm;
- dokładność osi kątowych na poziomie 30';
- zakres pracy osi liniowej X w zakresie 0–255 mm;
- zakres pracy osi liniowej Y w zakresie 0–800 mm;
- zakres pracy osi liniowej Z w zakresie 0–162,5 mm;
- zakres pracy osi kątownej A w zakresie 0–95°;
- zakres pracy osi kątownej B w zakresie 0–360°;
- obszar roboczy w kształcie walca o wymiarach $\varnothing 360 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$;
- łatwe programowanie z wykorzystaniem pilota MPG.

6. METALOGRAFICZNE BADANIE ZGLĄDÓW

Komponenty wykonane na stanowisku AS-03 zostały poddane metalograficznemu badaniu zglądów

(rys. 8) w laboratorium działu kontroli jakości firmy Ulter-Sport Sp. z o.o. Raport z badań pozwolił stwierdzić poprawność parametrów ET1, ET2, EL1 oraz EL2 [2] w przypadku 95% badanych spoin.



Rys. 8. Fragment raportu z metalograficznego badania zglądów (t1, t2 – grubość materiału bazowego; EL1, EL2 – długości wtopienia w osi cięcia; ET1, ET2 – głębokość wtopienia)

7. PODSUMOWANIE

Opracowane stanowisko do spawania elementów tłumika samochodowego zostało zaprojektowane, wykonane, przetestowane i włączone do produkcji w firmie Ulter-Sport Sp. z o.o.

Pole robocze o wymiarach $\varnothing 360 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$, zakres wychylenia głowicy spawalniczej $\pm 45^\circ$, płynne sterowanie posuwem drutu i prądem spawania oraz kontrola prędkości posuwu umożliwiły znaczną poprawę powtarzalności oraz dokładności uzyskiwanych spoin. W połączeniu z zestawem narzędzi pozycjonujących stanowi ono system zapewniający ciągłość produkcji końcówek tłumika samochodowego.

Stanowisko automatu spawalniczego AS-03 znalazło dodatkowe zastosowanie w spawaniu innych elementów, takich jak płaszcze tłumika, a dzięki systemowi podtrzymywania długich elementów rozpoczęły się na nim badania z zakresu regeneracji zużytych wałów maszynowych w procesie napawania.

Podziękowania

Dziękujemy firmie Ulter-Sport Sp. z o.o. oraz jej pracownikom za finansowanie oraz pomoc w realizacji projektu stanowiska do spawania elementów tłumika samochodowego.

Literatura

- [1] Adamiec. P., Pilarczyk J.: *Poradnik inżyniera. Spawalnictwo*, t. 1–4. WNT, Warszawa 2003.
- [2] TAE13005 Welding Exhaust systems EN 2017-08 [norma branżowa TENNECO]. Edenkoben 2017.
- [3] *Silniki krokowe i enkodery z oferty WObit*. <https://automatyka.b2b.pl/prezentacje/53098-silniki-krokowe-i-encodery-z-oferty-wobit> [3.12.2020].
- [4] Dobrzański T.: *Rysunek techniczny maszynowy*. WNT, Warszawa 2015.
- [5] Kurmaz L.: *Podstawy konstrukcji maszyn projektowanie*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.
- [6] *Podstawy Pythona*. <https://python101.readthedocs.io/pl/latest/podstawy/index.html> [30.11.2020].
- [7] *Przewodnik po makrach Python*. <https://www.cs-lab.eu/wp-content/uploads/2019/08/makra-python-przewodnik-simcnc.pdf> [30.11.2020].
- [8] Instrukcja obsługi spawarki Oerlikon Citowave III. https://www.oerlikon-welding.com/sites/oerlikon/files/2018/06/22/citowave-iii_pl_2018.pdf [3.12.2020].

inż. **WOJCIECH TEMEL**

wojciech.temel@gmail.com

dr hab. inż., prof. **AGH IRENEUSZ CZAJKA**

iczajka@agh.edu.pl

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

im. Stanisława Staszica

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

mgr inż. **TOMASZ LACH**

tlach@ulter.com.pl

mgr inż. **ŁUKASZ HALAMA**

lhalama@ulter.com.pl

Ulter-Sport Sp. z o.o.

ul. Wyzwolenia 24, 34-350 Węgierska Góra