

*Dzięki wykorzystaniu materiału pomocniczego lutowane laserowo połączenia nie wymagają obróbki wykańczającej, a krawędzie łączonych detali nie tracą właściwości antykorozyjnych*

## LUTOWANIE LASEROWE W PRODUKCJI WIELKOSERYJNEJ

Wraz z miniaturyzacją obrabianych komponentów oraz postępem w rozwoju nowych materiałów, często cechujących się większą wrażliwością na wysokie temperatury, lutowanie laserowe coraz bardziej zyskuje na znaczeniu, oferując możliwość łatwej automatyzacji i dużą dostępność niezależnie od kształtu detali. Szczególnie istotną rolę odgrywa ono w procesach produkcji wielkoseryjnej wymagających ograniczenia strefy wpływu ciepła i precyzyjnego sterowania podawaniem spoiwa, np. w sektorze motoryzacyjnym oraz w produkcji elektroniki i optoelektroniki.

**Bernard Rzany**

**W** procesach produkcji dużych serii ustandaryzowanych wyrobów od zawsze liczyły się szybkość i powtarzalność. Można je osiągnąć dzięki postępującej automatyzacji poszczególnych etapów wytwarzania. Wraz z początkiem ery Przemysłu 4.0, a co za tym idzie – dalszą miniaturyzacją i modyfikacją składu materiałowego detali, aspekty takie jak szybkość, precyzja i możliwość kontroli całego procesu, przede wszystkim w trybie online, jeszcze bardziej zyskały na znaczeniu. W zakresie technologii laserowych przełożyło się to na szybki wzrost popularności lutowania laserowego jako metody alternatywnej nie tylko wobec tradycyjnych technik lutowniczych, ale także spawania.

Momentem przełomowym w tym procesie było upowszechnienie się laserów diodowych jako źródeł promieniowania laserowego do obróbki lutowaniem. Lasery te emitują bowiem promieniowanie o długości fali 980 (808) nm, dobrze absorbowanej przez metale i stopy lutownicze. Co więcej, pozwalają na elastyczną regulację mocy wyjściowej, a tym samym i ilości doprowadzanej energii procesowej. Dzięki temu umożliwiają lokalne przetapianie

stopu lutowniczego bez ryzyka naruszenia materiału lutowanych detali, a także szybkie reagowanie na wahania zapotrzebowania na energię. Jak pokażemy na przykładach, cecha ta jest pożądana zarówno w procesach lutowania twardego dużych komponentów, jak i podczas łączenia filigranowych układów elektronicznych metodą lutowania selektywnego (miękkiego).

### PRZYKŁAD 1: LUTOWANIE TWARDE DACHÓW SAMOCHODOWYCH

Przemysł motoryzacyjny jest branżą silnych kontrastów: z jednej strony jako jeden z pierwszych rozpoczął wdrażanie środków automatyzacji na szeroką skalę, z naciśkiem na powtarzalność procesów oraz szybkość produkcji komponentów (i jest dziś uznawany za lidera w tym zakresie), z drugiej zaś strony jest to segment szybko reagujący na potrzeby klienta, a tym samym przodujący w rozwoju technologii i metod produkcji ukierunkowanych na poprawę komfortu jazdy oraz aspektów wizualnych i jakościowych pojazdów. Te dwie w zasadzie przeciwstawne tendencje mają decydujący wpływ na wybór technologii łączenia materiałów, zwłaszcza na powierzchniach zewnętrznych widocznych dla końcowego użyt-

Autor artykułu jest prezesem firmy laser PRO, [www.laser-pro.pl](http://www.laser-pro.pl)

kownika. Tu – poza odpowiednią wytrzymałością – kluczową rolę odgrywa estetyka połączenia i brak konieczności obróbki wykańczającej, która wiąże się z dodatkowymi nakładami finansowymi i czasowymi. Stąd też w takich zastosowaniach tradycyjne techniki spawania zastępowane są procesami lutowania laserowego twardego (w temperaturze powyżej 450°C), w których procesom topienia poddaje się nie krawędzie łączonych detali, lecz materiał pomocniczy w postaci spoiwa lutowniczego. Przykładem użycia tej technologii może być proces łączenia komponentów dachów samochodowych.

Dobrze wykonane połączenie elementów dachu pojazdu powinno z jednej strony zapewniać odpowiednią szczelność i odporność na wysokie naprężenia, a z drugiej – cechować się estetycznym wyglądem. Aby osiągnąć ten cel, połączenie spawane pachwinowo poddawano dodatkowej obróbce wykańczającej, która służyła usunięciu nierówności powstałych w procesie spawania, widocznych także po nałożeniu lakieru. Był to jednak proces czaso- i kosztochłonny. Zastosowanie w zamian lutowania laserowego pozwoliło na uzyskanie gładkich powierzchni bez konieczności dalszej obróbki. Ponieważ w procesie tym topieniu poddawany jest materiał pomocniczy, krawędzie komponentów nie są narażone na korozję. Co więcej, dodatek drutu powoduje, że komponenty nie muszą być idealnie spasowane, a jakość wiązki laserowej może być mniejsza niż w przypadku analogicznego procesu spawania laserowego. Pozwala to na prowadzenie procesu lutowania z dużymi prędkościami dochodzącymi do do 6 m/min (zob. tabela).

### Testy lutowania laserowego blachy stalowej cynkowanej z wykorzystaniem systemu DF060 HP firmy Coherent/Rofin; przykładowe parametry

L.p.	Moc lasera [W]	Prędkość lutowania [m/min]	Prędkość podawania drutu [m/min]
1	5000	4,0	3,5
2	6000	5,0	3,5
3	6000	6,0	5,0
4	6000	7,0	5,0

źródło: Coherent/Rofin

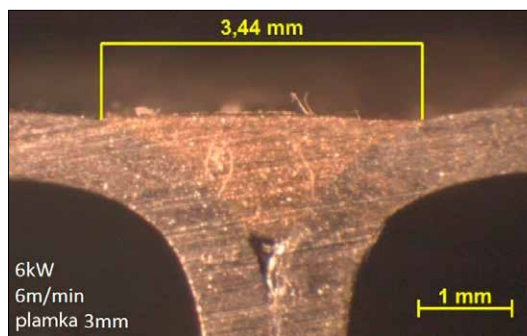
### PRZYKŁAD 2: LUTOWANIE SELEKTYWNE (MIĘKKIE) UKŁADÓW ELEKTRONICZNYCH

Miniaturowe układy elektroniczne i optoelektroniczne stanowią szczególne wyzwanie dla producentów urządzeń lutowniczych. Niewielkie rozmiary takich układów powodują bowiem, że bezpośrednie doprowadzenie kolby lutowniczej, induktora czy palnika w miejsce łączenia jest bardzo trudne i czasochłonne. Dodatkowe utrudnienie stanowi także ich duża wrażliwość na temperaturę, co wymusza stosowanie technologii o niewielkiej, precyzyjnie sterowanej strefie wpływu ciepła. Aspekt ten jeszcze bardziej zyskał na znaczeniu wraz z wprowadzeniem w 2006 r. unijnej dyrektywy RoHS, która ograniczyła możliwość użycia w tych procesach materiałów zawierających ołów. Nowe,



Lutowane laserowo komponenty dachu pojazdu od strony przedniej i tylnej

źródło: Coherent/Rofin



źródło: Coherent/Rofin

Wyniki testów lutowania laserowego blachy cynkowanej laserem DF060 HP firmy Coherent/Rofin o mocy 6 kW przy prędkości 6 m/min

bezołowiowe spoiwa lutownicze cechują się mniejszą tolerancją temperatury obróbki: topią się w wyższej temperaturze (215–220°C), a przy tym wykazują większą skłonność do powstawania tzw. zimnych lutów. Z tego względu ich tworzenie (spoiw lutowniczych?) wymaga precyzyjnego sterowania mocą urządzeń lutowniczych, a tym samym i temperaturą w strefie obróbczej.

Możliwość taką oferują laserowe stacje lutownicze, w których jako źródło wykorzystano laser diodowy dużej mocy. Dzięki odpowiedniej wielkości płamki ( $\pm 200 \mu\text{m}$ ), odpowiadającej standardowym rozmiarom punktów lutowniczych w sektorze produkcji elektroniki i optoelektroniki, źródło to zapewnia doprowadzenie wiązki dokładnie na punkt lutowniczy. Największą precyzją w tym względzie cechują się lasery diodowe o wiązce wiedzionym światłowodem: elastyczny światłowód może być bez problemu doprowadzony bezpośrednio do punktu lutowniczego, a optyka skupiająca wiązkę o stałej ogniskowej zapewnia dokładne ogniskowanie promieniowania laserowego na punkt lutowniczy. W ten sposób można łączyć nie tylko dwie szyny sterownicze czy styki z obudową, ale także np. elementy SMD z płytką drukowaną.

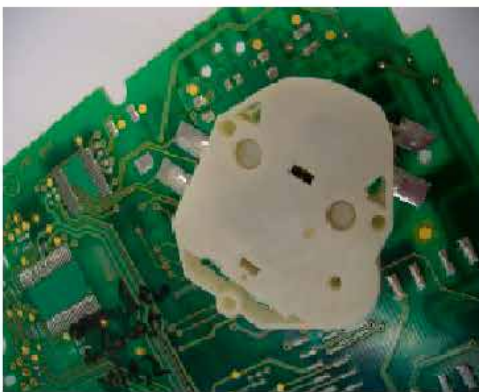
### EFEKTYWNA KONTROLA WARUNKIEM AUTOMATYZACJI

W obu przytoczonych przykładach kluczowym aspektem przewagi lutowania laserowego nad innymi technikami łączenia materiałów jest automatyzacja tego procesu, rozumiana jako połączenie poszczególnych jego etapów (podawania lutu, obracania detalu, włączenia i wy-

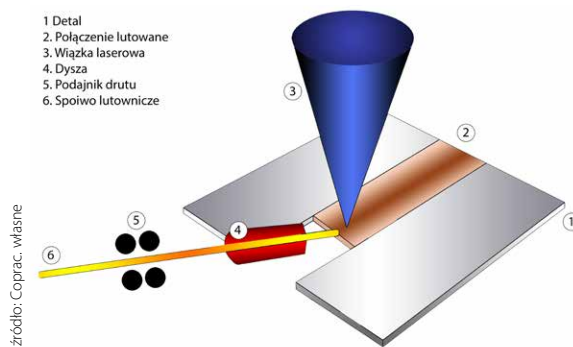
łączenia urządzenia) w jeden ciąg wzajemnie warunkowanych procesów. Nie tylko znacznie skraca ona cykl produkcyjny, ale też gwarantuje wysoką jakość i powtarzalność uzyskanych wyników.

Automatyzację można przy tym rozpatrywać dwojako: jako zespół fizycznych komponentów zapewniających realizację poszczególnych czynności składających się na proces łączenia detalu (podajnik drutu bądź pasty, dysza, emiter wiązki laserowej, dopasowane mocowanie) lub jako integrację autonomicznych systemów sterowa-

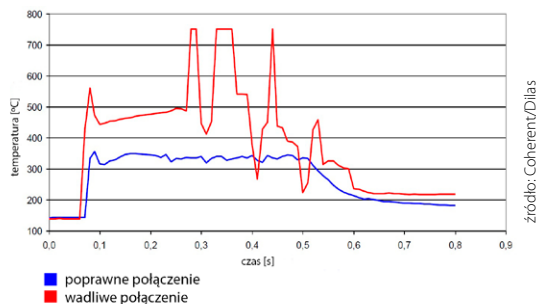
Przykłady lutowania laserowego komponentów elektronicznych



źródło: Coherent/Refin



Schemat komponentów procesu lutowania laserowego z wykorzystaniem drutu lutowniczego



Wpływ temperatury i czasu lutowania na wyniki procesu

nia i kontroli w jeden spójny, interakcyjny system sterowania. W pierwszym przypadku warunkiem skutecznej automatyzacji jest takie skonfigurowanie poszczególnych komponentów urządzenia, aby harmonijnie ze sobą współgrały przy realizacji kolejnych etapów lutowania. W drugim na znaczeniu zyskuje kwestia odpowiedniego zaprogramowania systemu, tak by zapewniał maksymalną kontrolę nad procesem.

Kontrolę można jeszcze rozszerzyć, uzupełniając system o dodatkowe moduły monitorujące i regulujące kluczowe parametry pracy urządzenia: temperaturę wiązki laserowej i prędkość doprowadzania drutu lutowniczego. Istotne jest, by zapewniały one kontrolę w czasie rzeczywistym i możliwość zmiany parametrów procesu (ilości dostarczanej energii, prędkości podawania drutu) w jego trakcie. W pierwszym przypadku monitoring taki realizowany jest bezdotykowo za pomocą pirometru umiejscowionego na wyjściu wiązki laserowej, w drugim regulacja siły/posuwu odbywa się na zasadzie mechanicznej: gdy drut natrafi na przeszkodę (opór) na lutowanej powierzchni, proces lutowania zostaje wstrzymany, a system archiwizuje ostatnią lokalizację jako punkt referencyjny do jego wznowienia.

Wydaje się, że podobnie jak w innych systemach laserowych, także i w przypadku urządzeń do lutowania laserowego kwestia odpowiedniego opomiarowania i efektywnej regulacji online w czasie rzeczywistym będzie nadal zyskiwała na znaczeniu, decydując o przewadze danego systemu nad innym. A wraz z nią na znaczeniu zyskiwać będzie samo lutowanie laserowe jako atrakcyjna alternatywa dla spawania i lutowania innymi metodami, które jako trudniej poddające się automatyzacji generują wyższe nakłady czasowe i finansowe na realizację pojedynczego cyklu łączenia materiałów.

