

# Zrobotyzowany system do spawania laserowego LAPRISS (*Laser Processing Robot Integrated System Solution*) firmy PANASONIC

Robot laser welding system LAPRISS (Laser Processing Robot Integrated System Solution) from PANASONIC

## Streszczenie

Referat przedstawia innowacyjne rozwiązania (technologia WBC, Direct Diode Laser, Spin Process) oraz software (Laser Navigator), które zaimplementowane zostały w systemie LAPRISS firmy PANASONIC dedykowanym do zrobotyzowanego spawania wiązką laserową.

**Słowa kluczowe:** zrobotyzowane spawanie laserowe; direct diode laser (DDL); technologia wavelength beam combination (WBC)

## Abstract

Article presents innovation solutions (WBC technology, Direct Diode Laser, Spin Process) and software (Laser Navigator) which are implemented in LAPRISS system from PANASONIC for laser beam robot welding.

**Keywords:** robot laser welding; direct diode laser (DDL); wavelength beam combination technology (WBC)

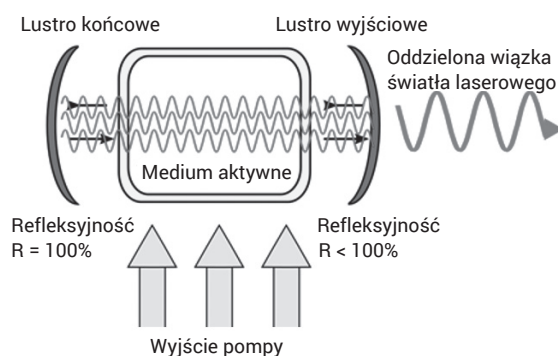
## Wstęp – podstawy technologii laserowej

LASER (ang. *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) – jest urządzeniem, które wykorzystuje zjawisko wzmocnienia światła przez wymuszoną emisję promieniowania. Generowane światło, czyli promieniowanie elektromagnetyczne może być o długości fali światła widzialnego, ultrafioletu lub podczerwieni.

Początki powstawania lasera sięgają lat pięćdziesiątych XX wieku. Kolejne dekady przyniosły rozwój technologii laserowej i powstanie wielu rodzajów laserów. Podzielić je można w zależności od mocy (dużej, średniej i małej), sposobu pracy (ciągła lub impulsowa), widma promieniowania (podczerwień, światło widzialne, nadfiolet). Jednak największa gama laserów powstała w oparciu o budowę ośrodka czynnego. Ośrodkiem czynnym może być:

- gaz (argon, azot, dwutlenek węgla, hel i neon, krypton, tlenek węgla, tlen i jod);
- ciało stałe (rubin, neodym na szkle, neodym na granacie syntetycznym Nd:YAG, erb na granacie syntetycznym Er:YAG, tul na granacie syntetycznym Tm:YAG, holm na granacie syntetycznym Ho:YAG, iterb na ciele stałym);
- ciecz (barwnikowe, chelatowe, neodymowe);
- półprzewodnik (złączowe – diody laserowe, bezzłączowe);
- swobodne elektrony (promieniowanie X).

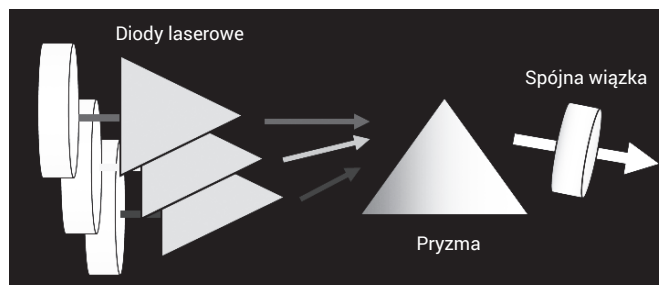
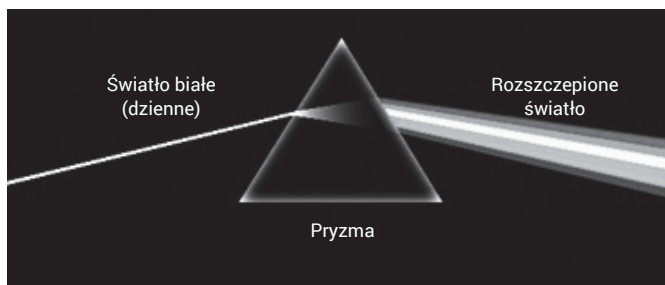
Zasada działania lasera polega na dostarczeniu energii z układu pompującego do ośrodka czynnego (z medium aktywnym) gdzie zachodzi reakcja kwantowego wzmocnienia fotonów. Następnie fotony odbijane są od lustra końcowego o refleksyjności  $R = 100\%$  (rys. 1) oraz lustra wyjściowego o refleksyjności  $R < 100\%$ . Dzięki takiemu rozwiązaniu fotony poprzez lustro wyjściowe przenikają jako oddzielona wiązka światła laserowego [1,2].



Rys. 1. Zasada generowania wiązki laserowej [3]  
 Fig. 1. Laser beam generating process [3]

Inż. Miroslaw Nowak (IWE), mgr inż. Daniel Wiśniewski (IWE), mgr inż. Jacek Buchowski – Technika Spawalnictwa, mgr inż. Aleksander Thomas – PANASONIC.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: [miroslaw.nowak@techspaw.com.pl](mailto:miroslaw.nowak@techspaw.com.pl)



Rys. 2. Porównanie zjawiska rozszczepienia światła oraz łączenia go w jedną wiązkę  
Fig. 2. Comparison of the light splitting process and combining it into a single beam

## Cechy charakterystyczne wiązki laserowej w porównaniu do światła dziennego

- monochromatyczność – wysoka intensywność jednej długości fali [3].
- mała rozbieżność – promień zwykłego światła rozchodzi się we wszystkich kierunkach, natomiast promień lasera pozostaje skupiony i posiada małą rozbieżność [3].
- wysoka spójność – laser jest wiązką światła o pokrywających się w czasie długościach fal. Może być mocniejszy dzięki wzajemnemu wzmacnianiu się fal [3].
- wysoka gęstość mocy ( $W/m^2$ ) – skupienie wiązki laserowej daje bardzo dużą koncentrację energii. Dla porównania opisano różnicę pomiędzy skoncentrowaną wiązką światła dziennego i laserowego poprzez soczewkę. Skupiając światło słoneczne padające prostopadłe do ziemi można wygenerować energię, która pozwoli podpalić papier, ale nie da się nią stopić metalu. Natomiast pojedyncza długość fali, wysokie ukierunkowanie wiązki laserowej daje wyższą koncentrację energii pozwalającą stopić metal [3].

## Zasada działania lasera przemysłowego trzeciej generacji

### – Direct Diode Laser (DDL)

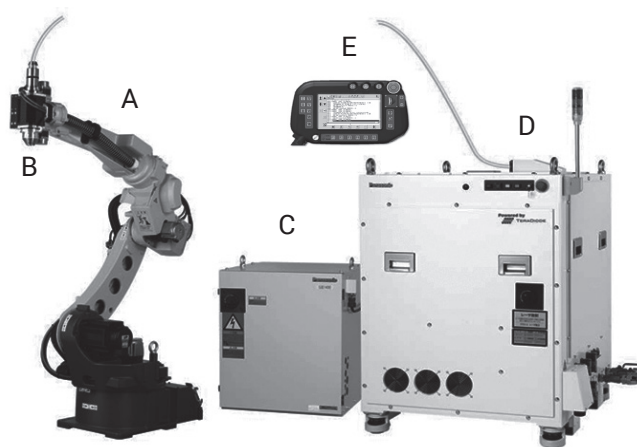
W przemyśle produkcyjnym lasery znalazły szeroki wachlarz zastosowań. Są wykorzystywane m.in. w cięciu metali, spawaniu, drążeniu, obróbce cieplnej czy znakowaniu. W dziedzinie spawania laserowego pierwszą generacją były lasery gazowe z użyciem dwutlenku węgla ( $CO_2$ ) oraz lasery na ciele stałym typu Nd:YAG. Pierwsza generacja sięga początków lat '80 XX wieku, a lasery te przetrwały do dnia dzisiejszego. Druga generacja została wprowadzona do przemysłu w roku 2005. Były to lasery światłowodowe (fiber) oraz dyskowe (disc) posiadające długość emitowanej fali sięgającą  $1 \mu m$ , w porównaniu z laserami  $CO_2$  posiadającymi dziesięciokrotnie dłuższą długość emitowanej fali (do  $10 \mu m$ ). Najnowsza – trzecia już generacja to lasery diodowe, które zostały wprowadzone do przemysłu w ostatniej dekadzie. Lasery diodowe są uznawane jako następcy laserów światłowodowych i dyskowych, posiadają szereg zalet m.in. większą wydajność, wyższą jakość promienia i pozwalają na generowanie dowolnej długości fali wiązki. Dodatkowym atutem jest zwiększona energooszczędność oraz mniejsze gabaryty oscylatora, który pozwala zaoszczędzić więcej miejsca na hali produkcyjnej. Istotą laserów nowej generacji, czyli DIRECT DIODE LASER (DDL) jest brak medium aktywnego. Układ pompujący dostarcza energię bezpośrednio na pryzmę, która łączy je w jedną wiązkę. Technologia

łączenia wiązki nazwana WBC – *Wavelength Beam Combination* opracowana została na uniwersytecie MIT w Stanach Zjednoczonych. Firma PANASONIC we współpracy z TERA DIODE Inc. (której jest właścicielem) zastosowała technologię WBC w swoich najnowszych oscylatorach. Technologia ta wykorzystuje zjawisko dyspersji fali elektromagnetycznej (światła). W przypadku przejścia wiązki światła przez pryzmę zostaje ona rozszczepiona na fale o różnej długości, ponieważ w zależności od ich częstotliwości załamują się one pod różnymi kątami. Technologia WBC wykorzystuje zjawisko odwrotne do opisanego powyżej (rys. 2) [3].

Łączy fale o różnych długościach padające pod określonym kątem na siatkę dyfrakcyjną w jedną wiązkę. Następnie wiązka poprzez zwierciadło wyjściowe przenika jako spójna o bardzo małej rozbieżności do światłowodu i dalej do głowicy [3].

## Zrobotyzowany system do spawania laserowego LAPRISS

Firma PANASONIC połączyła technologię laserową DIRECT DIODE LASER i WBC z robotem manipulacyjnym tworząc system LAPRISS (*Laser Processing Robot Integrated System Solution*). Dzięki temu powstał kompaktowy system, w którym wszystkie elementy składowe pochodzą od jednego producenta (rys. 3). Gwarantuje to pełną kompatybilność sprzętową oraz jeden zintegrowany interfejs. System ten składa się z ramienia robota ze sterownikiem, oscylatora laserowego oraz głowicy laserowej montowanej na ostatniej osi robota. Głowica ta wyposażona jest w dwa serwo-

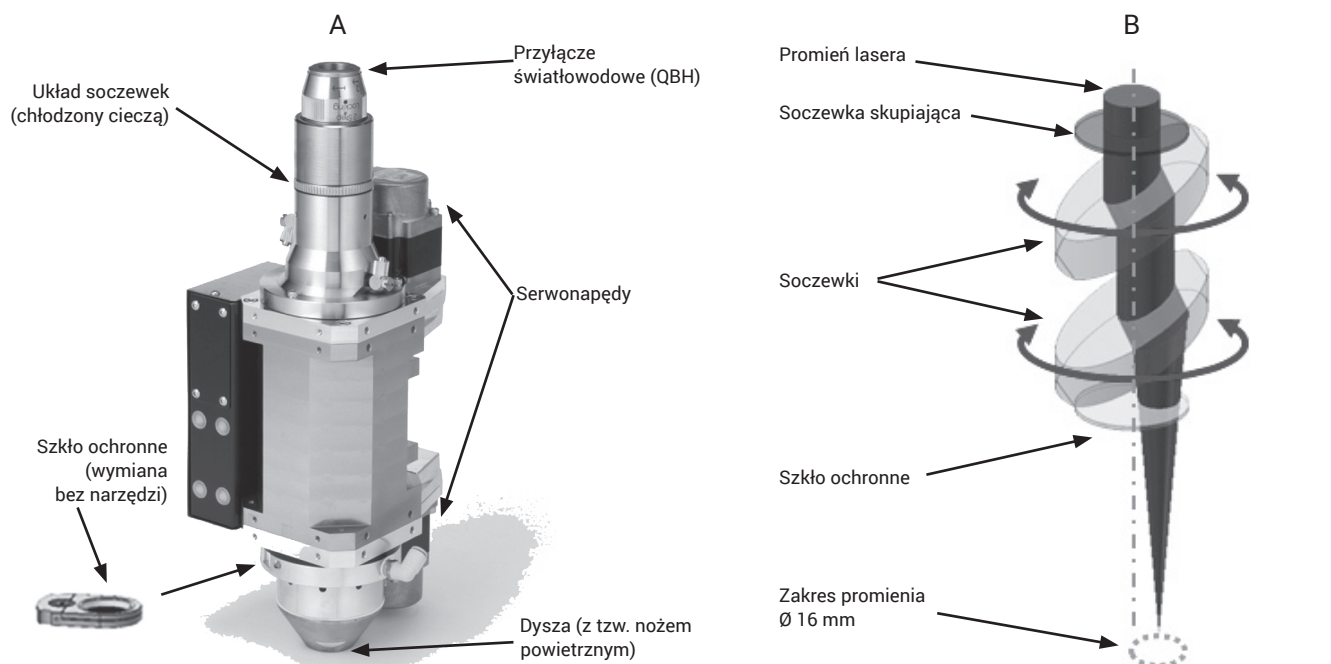


Rys. 3. Komponenty składowe systemu LAPRISS firmy PANASONIC (A – ramię robota, B – głowica laserowa, C – sterownik robota, D – oscylator, E – panel uczenia z dedykowanym interfejsem)

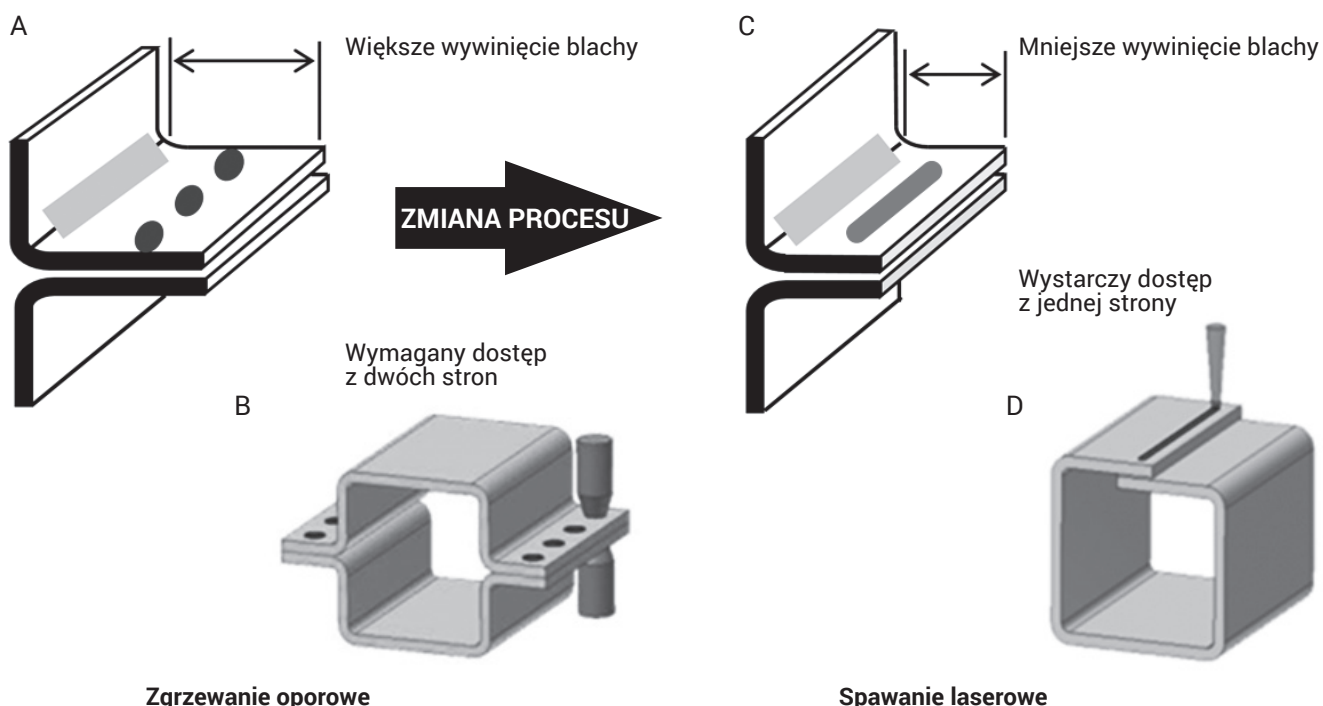
Fig. 3. Components of LAPRISS system from PANASONIC (A – robot arm, B – laser head, C – robot controller, D – oscillator, E – teach pendant with interface)

napędy sterujące kątem ustawienia soczewek, co pozwala na wykonanie ruchu spiralnego (funkcja SPIN) wiązki w zakresie  $\varnothing$  16 mm podczas jednoczesnego przesuwania głowicy ramieniem robota (rys. 4). Bardzo niska masa głowicy poniżej 4,5 kg pozwala na zainstalowanie jej na nadgarstkach wszystkich robotów PANASONIC obecnie dostępnych na rynku. Specjalnie zaprojektowana dysza na końcu głowicy z wyrzutem sprężonego powietrza (tzw. nóż powietrzny) zabezpiecza szkło ochronne przed szkodliwymi odpryskami i oparami powstającymi podczas procesu spawania. Dodatkowo szkło ochronne może być w łatwy sposób wymienione przez operatora bez użycia narzędzi w celu przyspieszenia prac naprawczych. Rozwiązanie to jest tańsze i praktyczniejsze w porównaniu np. z serwisowaniem skomplikowanych w budowie głowic skanujących [3].

Zrobotyzowane spawanie laserowe może w niektórych przypadkach zastąpić proces zgrzewania oporowego. Wynika to m.in. z bardzo dobrej dostępności do miejsc spawanych wiązką laserową oraz z prędkości procesu i jego elastyczności. Dzięki temu można zaprojektować mniej skomplikowany detal, a tym samym zmniejszyć jego masę i koszty produkcji. Dla przykładu poniżej pokazano proces wytwarzania profili zamkniętych z blachy (rys. 5). Do procesu zgrzewania koniecznym jest dwustronne wywiniecie blachy i złożenie jej ze sobą na znacznym odcinku, aby kleszcze zgrzewalnicze mogły swobodnie docisnąć elementy (rys. 5A i 5B), natomiast przy spawaniu laserowym wystarczy mniejsze złożenie jednostronne z uwagi na dojsię jedynie wiązką laserową (rys. 5C i 5D). Zaprojektowanie elementu na łączenie jednostronne elementów obniży koszty zużywanych materiałów oraz czas produkcji [3].



Rys. 4. Głowica laserowa (trepanująca) – budowa (A) oraz zasada działania obrotowych soczewek (B)  
 Fig. 4. Laser head (trepanning) – head construction (A) and principle of working rotating lenses (B)



Rys. 5. Zalety produkcyjne przy zmianie procesu zgrzewania oporowego na spawanie laserowe  
 Fig. 5. Benefits of changing production method from resistance welding to laser welding

W tabeli poniżej przedstawiono porównanie przykładowych czasów cyklu grzewania oporowego ze spawaniem laserowym detali ze stali niestopowej o grubości 0,8 mm i szerokości zgrzeiny 4 mm w złączach zakładkowych (tabl. I). Niewątpliwą zaletą spawania laserowego jest znacznie krótszy czas cyklu, a dzięki możliwości wykonania punktowych spoin bliżej siebie cały element zyskuje większą sztywność [3].

**Tablica I.** Porównanie czasu cyklu zgrzewania oporowego ze spawaniem laserowym

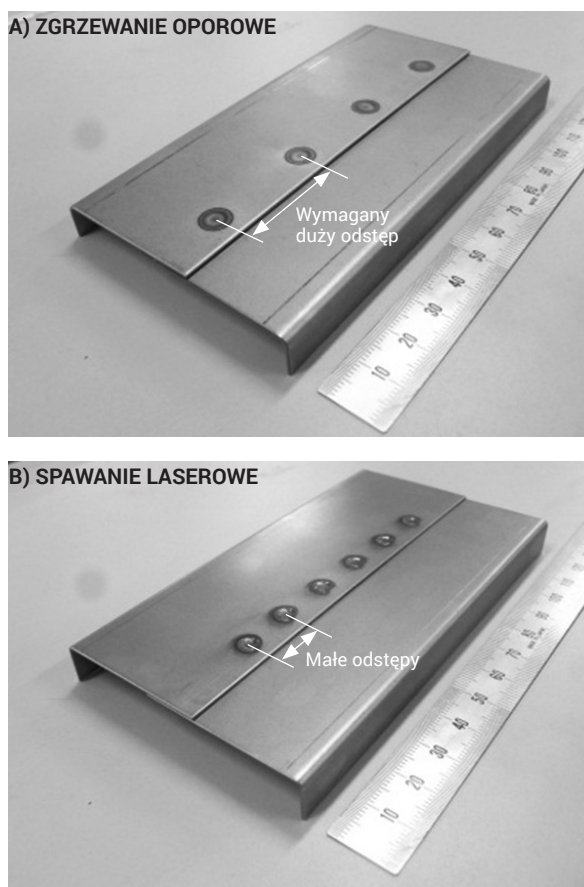
**Table I.** Comparison of resistance welding cycle time with laser welding cycle time

Zgrzewanie oporowe		Spawanie laserowe	
Ruch robota	1,0 s	Ruch robota	0,425 s
Ruch szczęk (zamknięcie)	0,5 s	–	–
Czas ściśnięcia	0,2 s	–	–
Czas impulsu prądowego	0,15 s	Czas spawania	0,25 s
Czas ściśnięcia (chłodzenie)	0,5 s	–	–
Ruch szczęk (otwarcie)	0,5 s	–	–
<b>Łącznie</b>	<b>2,85 s</b>	<b>Łącznie</b>	<b>0,675 s</b>

Kolejną zaletą spawania laserowego nad zgrzewaniem oporowym jest możliwość wykonywania punktów łączenia blachy bliżej siebie. W przypadku wiązki laserowej nie ma żadnych ograniczeń i punkty te mogą występować jeden obok drugiego (rys. 6B), natomiast podczas operacji zgrzewania nie tylko ograniczają nas duże gabaryty kleszczy, ale również niekorzystne zjawisko powstawania bocznikowania prądu zgrzewania. Zjawisko to pojawia się w przypadku, gdy zgrzeiny zostały wykonane blisko siebie i prąd zgrzewania przepływa przez uprzednio zrobioną zgrzeinę, a tym samym z mniejszym natężeniem przez aktualnie wykonywaną zgrzeinę. To niekorzystne zjawisko jest intensywniejsze w przypadku spajania grubych blach oraz blach o mniejszej oporności elektrycznej. Jedynym rozwiązaniem jest zwiększenie prądu

zgrzewania lub zwiększenie odległości pomiędzy zgrzeinami, na co nie zawsze pozwala obrabiany detal [3].

Elementy spawane laserowo wykazują także większą wytrzymałość złącza. Dla przykładu w poniższej tabeli (tabl. II) pokazano złącze przyługowe z blachami ze stali niestopowej grubości 0,8 mm. Przy próbie rozrywania elementu lepsze parametry wytrzymałościowe miała spoina punktowa wykonana wiązką laserową ok. 4830N w porównaniu ze zgrzeiną ok. 4350N.



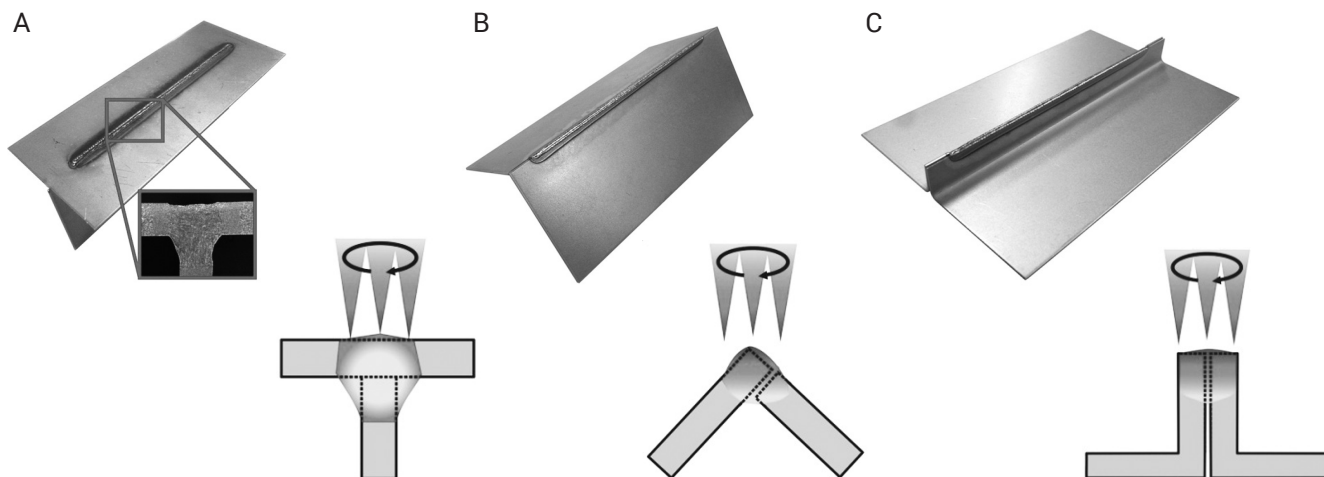
**Rys. 6.** Porównanie wielkości odległości wykonywania miejsc spajania blach przy zgrzewaniu oporowym (A) ze spawaniem laserowym (B)

**Fig. 6.** Comparison of the spacing of joining points in resistance welding (A) with laser welding (B)

**Tablica II.** Porównanie próby wytrzymałościowej na rozrywanie złącza przyługowego zgrzewanego oporowo kleszczami oraz spawanego laserowo robotem PANASONIC

**Table II.** Comparison of the tensile strength test for lap joint made by resistance welding method with PANASONIC robot laser welding method

	Zgrzewanie oporowe	Spawanie laserowe
Warunki	Prąd: 8000A, Ciśnienie: 0,2 Mpa, Czas: 0,2s; Elektroda: R50	Średnica punktu: 0,6 mm, Moc: 2,5 kW, Prędkość 3,0 m/min
Wygląd (test naprężeń)	<p>PRZED PO</p> <p>Ø 4,5 mm</p>	<p>PRZED PO</p> <p>Ø 4,5 mm</p>
Wytrzymałość połączenia	<p>Rozzerwany detal</p> <p>Średnio 4350 N (4320 ~ 4400 N)</p>	<p>Rozzerwany detal</p> <p>Średnio 4830 N (4770 ~ 4900 N)</p>



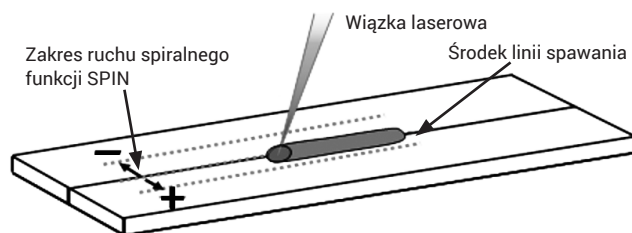
**Rys. 7.** Przykłady zastosowań funkcji SPIN: A) spoina teowa, B) spoina narożna, C) spoina brzeżna [3]  
**Fig. 7.** Examples of usage of the SPIN function: A) T-joint, B) corner joint, C) edge joint [3]

## Funkcja SPIN

Proces produkcyjny spajania możemy również polepszyć poprzez skrócenie czasu trwania cyklu. Zastosowanie innowacyjnych funkcji zawartych w systemie LAPRISS daje nam właśnie taką możliwość. Jedną z nich jest SPIN PROCESS, która za pomocą dwóch soczewek w głowicy laserowej odchyła wiązkę laserową na boki, powodując ruch spiralny o maksymalnej średnicy 16 mm (rys. 4B). Ruch spiralny soczewek wykonywany może być zarówno w interpolacji liniowej, jak i łukowej podczas ruchu ramienia robota. Dzięki tej funkcji możemy na przykład wykonać proces spawania dwustronnej spoiny teowej tylko w jednym przejściu (rys. 7A). Innym zastosowaniem mogą być złącza kątowe np. spoiny narożne (rys. 7B) lub spoiny brzeżne w złączach przyłgowych (rys. 7C), gdzie wymagane jest równomierne nagrzanie obszaru wokół krawędzi łączonych elementów. Funkcja SPIN wyparła starszą metodę spawania laserowego z podwójnym ogniskiem, w której wiązka rozdzielana była na dwie składowe lub stosowano dwie odrębne głowice.

Dodatkowo zastosowanie funkcji SPIN może pozwolić na spawanie elementów posiadających większą tolerancję wymiarową przygotowania materiału. Dla przykładu posłużono się złączem doczołowym, w którym dozwolona szerokość szczeliny wynosi  $0,2 \pm 0,3$  mm, a błąd pozycjonowania ok.  $0,2 \pm 0,3$  mm (rys. 8). Dla metody spawania łukowego MAG są to wartości graniczne, natomiast dla spawania laserowego z wykorzystaniem funkcji SPIN możemy topić materiał ruchem spiralnym wzdłuż linii spawania na boki w zakresie  $\varnothing 16$  mm. Amplituda oscylacji spiralnych zależy od grubości materiału spawanego i prędkości spawania.

Wykorzystując metodę spawania laserowego z funkcją SPIN, przyspieszamy 4- lub 5-krotnie proces spawania względem metody MAG (dla metody MAG ok. 0,5 m/min),



**Rys. 8.** Możliwość zastosowania funkcji SPIN w spawaniu elementów o zwiększonej tolerancji wymiarowej  
**Fig. 8.** Possibility of using the SPIN function in welding of elements with increased dimensional tolerance

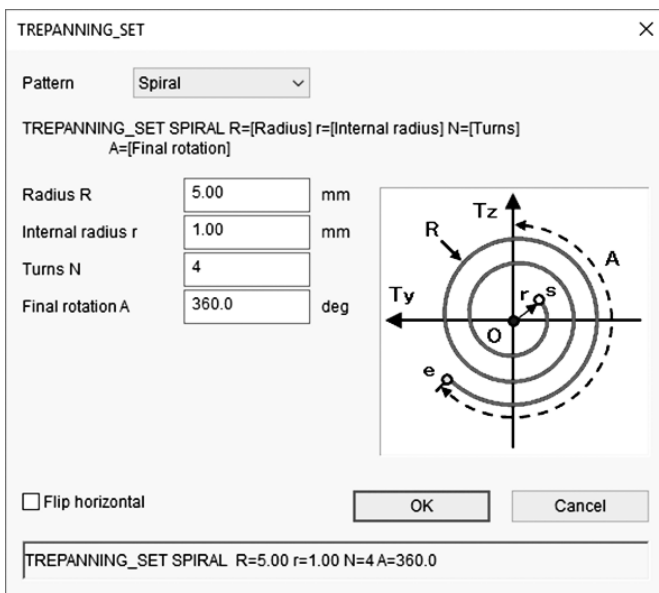
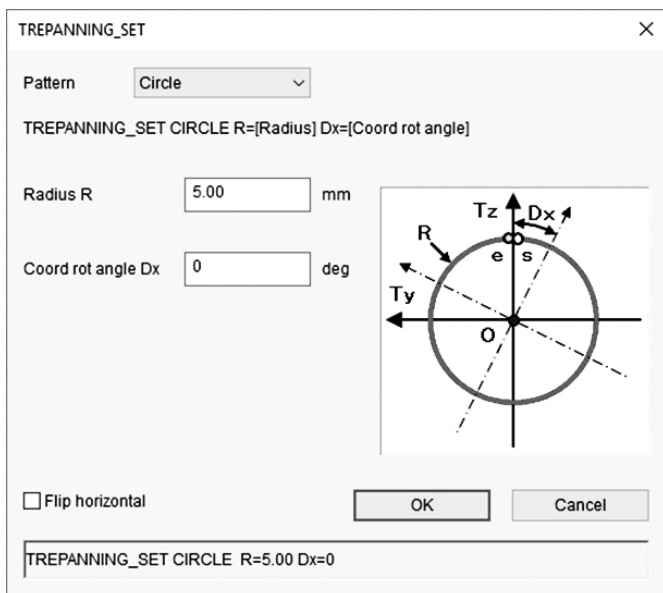
a tym samym zmniejszamy odkształcenia termiczne powstałe podczas spawania. Dzięki temu nie ma konieczności prostowania elementu po spawaniu.

Kolejną zaletą funkcji SPIN jest możliwość zastosowania jej przy spawaniu cienkich blach, pomiędzy którymi występuje szczelina. Rozgrzewając materiał ruchem spiralnym, stapiamy większą powierzchnię niż w przypadku spawania prostym ruchem liniowym. Jako przykład posłużymy nam proces spawania laserowego dwóch blach o grubości 0,8 mm nałożonych na siebie tak, że powstała pomiędzy nimi szczelina o szerokości 0,5 mm (tabl. III). W przypadku spawania laserowego bez funkcji SPIN cała energia liniowa złącza została skupiona na małej powierzchni co w efekcie spowodowało stopienie niedostatecznej ilości materiału do wypełnienia szczeliny pomiędzy blachami. Natomiast przy wykorzystaniu ruchu spiralnego stopiono 1,7 razy więcej materiału co umożliwiło prawidłowe zalanie szczeliny oraz wykonanie poprawnego złącza.

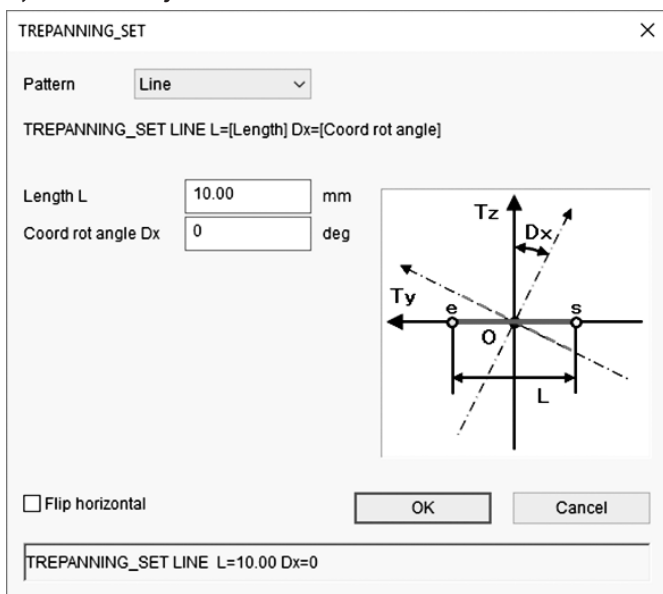
Dodatkowo system LAPRISS został wzbogacony o różne wzory prowadzenia trajektorii spawania do wykonywania spoin szcpepnych (rys. 9). Wykonywane są za pomocą poruszających się zwierciadeł w głowicy bez przemieszczania się ramienia robota. Mogą być z powodzeniem wykorzystywane do spawania miejsc, w których do tej pory wykonywany był proces punktowego zgrzewania oporowego. Z dostępnej biblioteki można wybrać m.in. ruch kołowy, owalny czy spiralny. Każdy z nich dla ułatwienia wprowadzenia parametrów zobrazony został również graficznie.

## Funkcja LASER NAVIGATOR

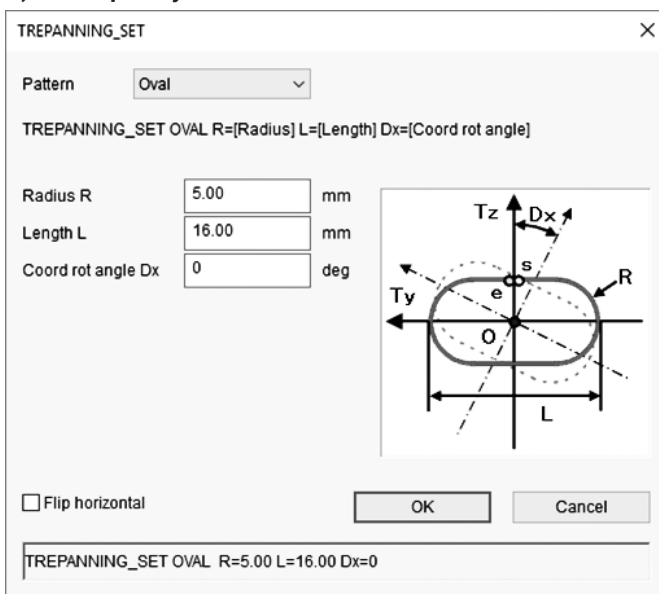
W celu ułatwienia doboru parametrów spawania wiązką laserową firma PANASONIC opracowała innowacyjny software LASER NAVIGATION (rys. 10). Wcześniej podobne rozwiązanie zastosowano w technologii MAG w systemach TAWERS. Oprogramowanie to pozwala na automatyczne obliczenie odpowiedniej wartości mocy wiązki [W], odległości głowicy od detalu [mm] oraz kąta padania wiązki na detal [°]. Jako dane wejściowe należy podać rodzaj materiału, który łączymy, typ spawanego złącza, grubość łączonych elementów oraz rodzaj wzoru oscylacji wiązki laserowej. LASER NAVIGATION wspomaga nie tylko proces programowania robota przez osoby, które wcześniej nie miały styczności ze spawaniem laserowym, ale może przyspieszyć prace wdrożeniowe również zaawansowanym programistom [3].



### A) Ruch kołowy



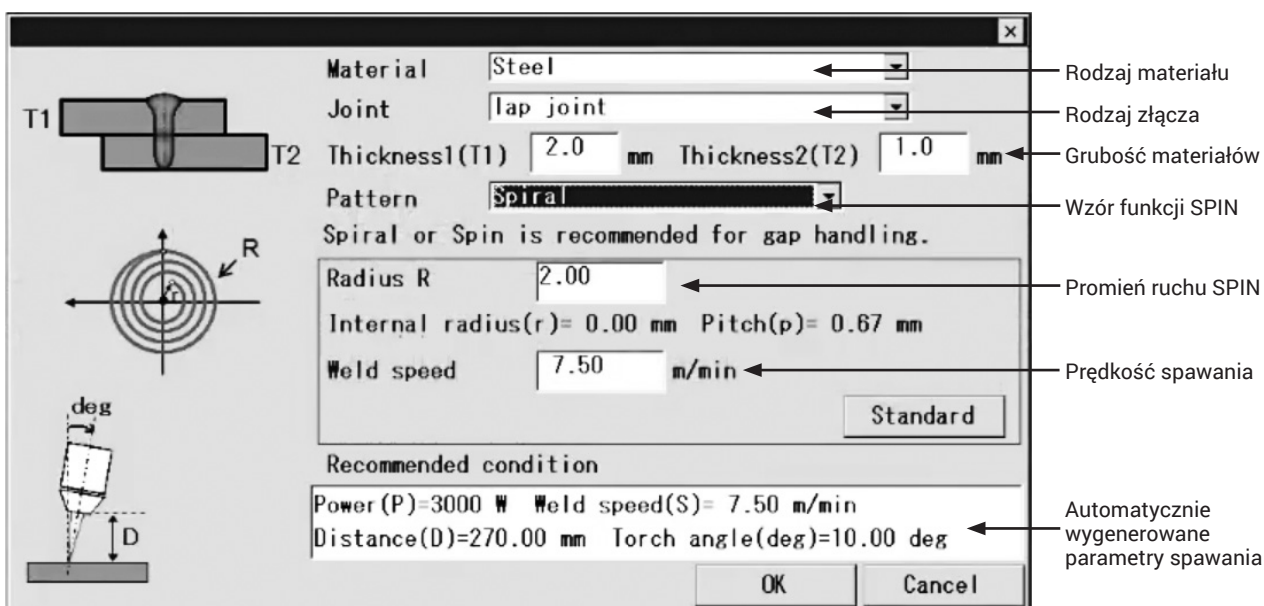
### B) Ruch spiralny



### C) Ruch liniowy

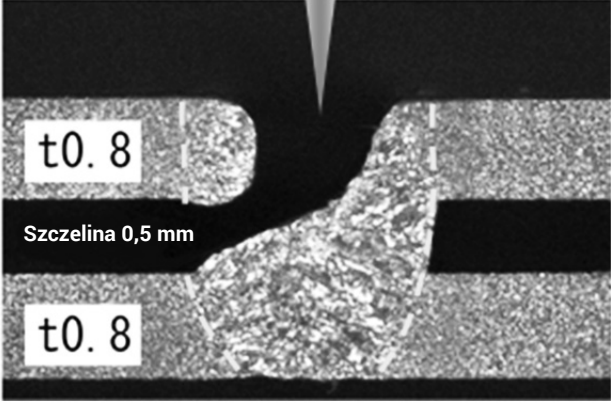
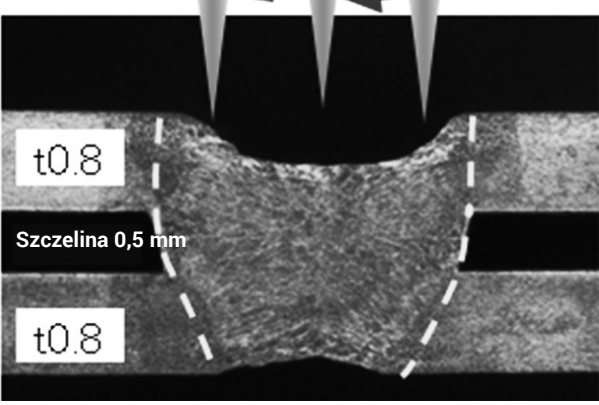
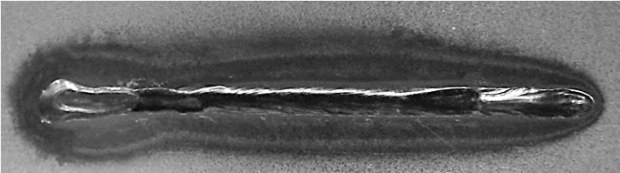
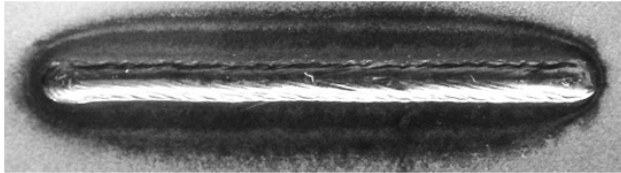
### D) Ruch owalny

Rys. 9. Przykładowe wzory ruchu wiązki laserowej wykonywane w głowicy bez przesuwania ramienia robota  
 Fig. 9. Example pattern of laser beam movement executed in laser head without moving robot arm



Rys. 10. Funkcja LASER NAVIGATOR  
 Fig. 10. LASER NAVIGATOR function

**Tablica III.** Zastosowanie funkcji SPIN przy spawaniu blach ze szczeliną  
**Table III.** Usage of the SPIN function in welding lap joint with gap

Spawanie w linii prostej	Spawanie w linii prostej z funkcją SPIN
Moc: 2,5 kW, Prędkość: 2,0 m/min	Moc: 3,4 kW, Ruch spiralny: Ø 1,0 mm, Prędkość: 2,0 m/min
<p style="text-align: center;">Wiązka laserowa</p>  <p style="text-align: center;">Zbyt mała ilość stopionego materiału</p>	<p style="text-align: center;">Ruch typu SPIN</p> <p style="text-align: right;">Wiązka laserowa</p>  <p style="text-align: center;">Odpowiednia ilość stopionego (1,7 razy większa z funkcją SPIN)</p>
Maksymalna szerokość szczeliny: 0,3 mm	Maksymalna szerokość szczeliny: 0,5 mm
	

## Wnioski

1. Technologia WBC (*Wavelength Beam Combination*) w połączeniu z Direct Diode Laser jest nowatorskim rozwiązaniem na świecie i wzbogaca możliwości zastosowań laserów.
2. Zastosowanie technologii Direct Diode Laser jest obecnie najbardziej energooszczędną technologią laserową.
3. System LAPRISS (*Laser Processing Robot Integrated System Solution*) jest jedynym na świecie znanym rozwiązaniem połączenia robota spawalniczego z systemem laserowym z jednym interfejsem i od jednego producenta.
4. Zrobotyzowane spawanie laserowe w porównaniu ze zgrzewaniem oporowym pozwala zwiększyć wydajność i jakość procesu produkcyjnego. Nie występuje w nim niekorzystne zjawisko bocznikowania prądu i umożliwia wykonanie połączeń w miejscach trudnodostępnych (nieosiągalnych np. dla kleszczy zgrzewalniczych).

## Literatura

- [1] Pilarczyk J.: Poradnik Inżyniera T. 2 Spawalnictwo, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2017.
- [2] Banasik M., Stano S.: Lasery dyskowe – źródło ciepła dla procesów spawalniczych, Przegląd Spawalnictwa 7/2011.
- [3] Materiały PANASONIC, właściciela firmy TERA DIODE.