

AMB
technic



CLEARWELD®
WYRAŻNA KORZYŚĆ



PODRĘCZNIK UŻYTKOWNIKA

Spawanie laserowe z pełnym przechodzeniem metodą Clearweld

© 2003 GENTEX Corporation

O TYM PODRĘCZNIKU

Ten podręcznik jest pomyślany jako pomoc dla licencjobiorców metody Clearweld we wdrażaniu tego procesu. W celu osiągnięcia tego, proces został podzielony na zasadnicze części składowe, z których każda jest niezależnie opisana. Biorąc pod uwagę wielką liczbę istniejących scenariuszy, które mogą wpłynąć na wyniki, stworzenie uniwersalnego podręcznika dla użytkowników wydaje się zadaniem niewykonalnym. Zagadnienia takie jak rodzaj podłoża, kształt części, cele procesu i parametry spawania mają znaczący wpływ na wynik końcowy.

Ze względu na to, że stosowane rozwiązania są określane dla każdego przypadku oddzielnie, zawarte tu wskazówki są podawane jako punkt wyjścia i mogą być traktowane jedynie jako informacja ogólna. Informacje podane tutaj są wiarygodne, ale należy pamiętać, że parametry procesu końcowego, zastosowane urządzenia, kształt części i dobór materiałów muszą być zoptymalizowane dla każdego zastosowania.

SPIS TREŚCI

Wprowadzenie	3	Klamrowanie	15
<i>Spawanie laserowe z pełnym przechodzeniem</i>	3	Podgrzewanie podłoży	17
<i>Koncepcja Clearweld</i>	3	<i>Technologie laserowe</i>	17
Spawanie laserowe metodą Clearweld	3	<i>Typy laserów najlepiej nadających się</i>	
<i>Jak to działa</i>	3	<i>do metody Clearweld</i>	17
<i>Czynniki techniczne</i>	4	<i>Metody korekcji wiązki</i>	17
<i>Kroki spawania</i>	Wstawka	<i>Konfiguracje laserów</i>	18
Zalety i ograniczenia metody Clearweld	5	<i>Klasyfikacja laserów pod względem</i>	
Systemy materiałów absorpcyjnych		<i>bezpieczeństwa</i>	19
w metodzie Clearweld	6	Projektowanie spoiny	20
<i>Przegląd systemów materiałowych</i>		Cytotoksyczność	21
<i>metody Clearweld</i>	6	Usuwanie defektów—Spawanie	23-24
<i>Arkusze danych materiałowych</i>		Usuwanie defektów—Dozowanie	26
<i>metody Clearweld</i>	Wstawka	Definicje określeń	27
<i>Metody nakładania</i>	8		
<i>Dozowanie cieczy</i>	9		
<i>Arkusze danych EFD</i>	Wstawka		
<i>Wskazówki do dozowania cieczy</i>	10		
<i>Inne metody nakładania</i>	14		

WPROWADZENIE

Zastosowania laserów w przetwarzaniu materiałów szybko rozwijają się. Szybkość, dokładność i elastyczność są tylko niektórymi zaletami tej nowoczesnej techniki wytwarzania.

Pewne rodzaje materiałów, zwłaszcza tworzywa sztuczne, mają pewne specyficzne właściwości, które ograniczały zastosowanie laserów dziedzinie łączenia materiałów. Jednak postępy wiedzy o materiałach przewyżniają wiele tych ograniczeń.

Istnieje wiele szeroko stosowanych metod łączenia termoplastów, z których każda ma swoje własne zalety i wady. Mimo że spawanie laserowe jest pełnowartościową alternatywą dla większości z nich, jego stosowanie w produkcji było hamowane przez ważny czynnik - kolor.

Spawanie Laserowe z Pełnym Przechodzeniem

W spawaniu laserowym z pełnym przechodzeniem energia elektromagnetyczna jest absorbowana i zamieniana na energię cieplną. Tworzywa sztuczne w ich naturalnym stanie nie pochłaniają światła bliskiej podczerwieni (NIR). Dlatego wysoka energia laserów NIR przechodzi przez nie. W celu pomyślnego zastosowania laserów do łączenia polimerów, światło laserowe musi być pochłonięte w strefie przejściowej spoiny, Dzięki czemu powstaje dostateczna ilość ciepła do wytworzenia spoiny. Dotychczas najczęściej stosowanym sposobem osiągnięcia tego było rozpraszanie sadzy na całej powierzchni podłoża. Jednak takie podejście nadaje części kolor i nie nadaje się do zastosowań, w których części nieprzezroczyste są niepożądane.

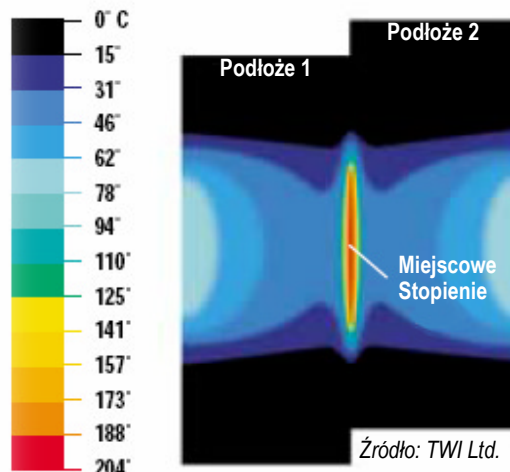
Koncepcja Clearweld®

Metoda Clearweld® jest rewolucyjnym procesem spawania laserowego przezroczystych, kolorowych i nieprzezroczystych tworzyw sztucznych bez dodawania niepożądanego koloru. Przez zastosowanie zastrzeżonych technologii materiałowych, Gentex opracował koncepcję Clearweld dla praktycznych potrzeb. Jest ona teraz dostępna jako samodzielne elastyczne rozwiązanie dla łączenia termoplastów.

SPAWANIE LASEROWE METODĄ CLEARWELD

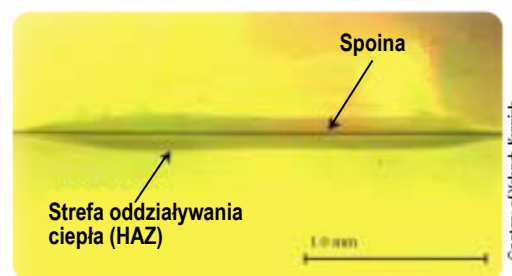
Jak to działa

W ciągu wieloletnich badań Gentex opracował szereg materiałów zdolnych do silnego pochłaniania w widmie NIR przy jednoczesnej minimalnej zmianie widzialnego koloru. Kluczowymi elementami procesu Clearweld są systemy materiałowe, zawierające te szczególne pochłaniacze, a sformułowane w celu optymalizacji spawania laserowego w szerokim zakresie scenariuszy łączenia tworzyw sztucznych. Zwykle nałożenie cienkiej warstwy takiego systemu materiałowego na styku dwóch kawałków tworzywa koncentruje energię laserową na tym styku. Miejscowe stopienie warstw podłoża daje w wyniku natychmiastowe spojenie, nie wymagające czasu utwardzania. Proces spawania nie wytwarza żadnych cząstek stałych, a spoiny mają minimalny rąbek lub widoczny kolor.



Rysunek 1

Model termiczny (Rys. 1) powyżej pokazuje miejscowe podgrzewanie podłoża tylko w strefie przejściowej spoiny. Przekrój poprzeczny strefy spawania (Rys. 2) pokazuje, że efektem tego dokładnego grzania jest bardzo mała linia spawania i strefa objęta oddziaływaniem ciepła.



Rysunek 2

Skuteczność systemu materiałowego zależy od jego zgodności z określonymi parametrami procesu.

Potrzebne dokładne sformułowanie uwzględnia materiały podłoża, kształt części i wymagania procesu. Zasadnicze znaczenie dla powodzenia metody Clearweld ma dokładne doprowadzenie materiału absorbującego do strefy przejściowej spoiny. Systemy materiałowe Clearweld są badane i certyfikowane na stosowanie określonych sposobów doprowadzania, takich jak dozowanie i natryskiwanie płynów.

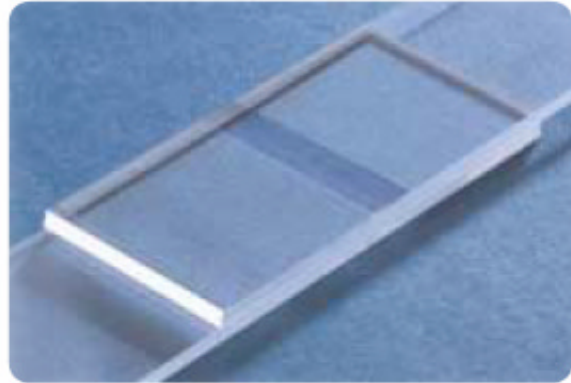
Czynniki techniczne

W procesie Clearweld potrzebny jest po prostu laser, który wytworzy dostateczną energię, odpowiedni poziom absorpcji NIR w strefie przejściowej spoiny i bliski kontakt w tej strefie, umożliwiającą przepływ materiału. Rozumienie niżej podanych czynników technicznych ma zasadnicze znaczenie dla pomyślnego wdrożenia metody Clearweld w konkretnym zastosowaniu.

Nakładanie materiału—Proces Clearweld zależy od dokładnego i powtarzalnego miejscowego nałożenia warstwy absorbującej NIR na styku spoiny. Systemy materiałowe Clearweld są zaprojektowane do stosowania zatwierdzonych metod doprowadzania w celu zapewnienia powodzenia tego procesu (*Patrz sekcja Absorpcyjne systemy materiałowe w metodzie Clearweld*). Typowymi metodami nakładania są: dozowanie iglicą i natrysk.

Bliski kontakt—W celu uzyskania bliskiego kontaktu podłoża na styku spoiny, potrzebny jest docisk kłamrą (przy pasowaniu z wciskiem docisk kłamrą może nie być potrzebny). Wielkość docisku zależy od spajanych materiałów i od stanu powierzchni na styku spoiny. Umożliwia to wystarczający przepływ stopionego materiału do zespawania zgodnych podłoży. (*Patrz sekcja Klamrowanie*).

Wytwarzanie ciepła—Lasery diodowe dostarczają energię elektromagnetyczną potrzebną do wytwarzania ciepła. Typowe stosowane długości fal leżą w zakresie od 940 nm do 1064 nm (lasery typu Nd:YAG przy 1064 nm pracowały w procesie Clearweld, ale dla tej długości fali nie prowadzono szerszych badań). Zależnie od konkretnych wymagań danego zastosowania, można brać pod uwagę różne poziomy mocy i konfiguracje. Ważne jest jednak, żeby długość fali lasera była zgodna z długością fali, dla jakiej zaprojektowana jest absorpcja danego systemu materiałowego (*Patrz sekcja Technologie laserowe*).



Kluczem do zapewnienia pomyślnego wdrożenia metody Clearweld jest optymalizacja mocy lasera, prędkości spawania, docisku i poziomu absorpcji systemu materiałowego. Dokładne dopasowanie Tych parametrów pomoże uzyskać wytrzymałość Spoiny i prędkość spawania równą lub większą niż inne alternatywne techniki spawania. ■

ZALETY I OGRANICZENIA METODY CLEARWELD

ZALETY	OGRANICZENIA
<ul style="list-style-type: none">■ Czyste, optycznie przezroczyste spoiny■ Można spawać kolorowe nieprzezroczyste tworzywa, ale muszą one przepuszczać długości fal NIR■ Możliwa hermetyczna szczelność■ Możliwa szybka spoina, < 1 s■ Bezstykowa■ Brak drgań■ Brak wytwarzania cząstek stałych■ Wytwarzana jest prawdziwa spoina, a nie powiązanie■ Dokładne umiejscowienie spoin■ Brak uszkodzeń powierzchni■ Niskie naprężenia resztowe■ Możliwe skomplikowane kształty■ Elastyczna — wiele części za pomocą tego samego systemu laserowego■ Miejscowe podgrzewanie — brak ciepłych uszkodzeń wrażliwych elementów w pobliżu spoiny■ Jednoczesne spawanie wielowarstwowe■ Cienkie elastyczne podłoża■ Rąbek mały lub brak■ Pomaga przy spawaniu trudnospawalnych tworzyw sztucznych tradycyjną metodą spawania laserowego z pełnym przepuszczaniem. Na przykład, części z niewielką zawartością sadzy.	<ul style="list-style-type: none">■ Do stosowania z termoplastami■ Dodanie kroku dozowania w celu nałożenia pochłaniacza (ale może być nałożony oddzielnie, z wielomiesięcznym wyprzedzeniem, jeżeli będzie odpowiednio przechowywany)■ Grubość górnego podłoża ograniczona przy spawaniu tworzyw o małej przepuszczalności. Na przykład HDPE, ABS, tworzywa wypełnione, tworzywa nieorganiczne pigmentowane.■ Tworzywa o ograniczonym niepodobieństwie są spawalne■ Wymaga większej gęstości energii niż tradycyjne spawanie laserowe z pełnym przepuszczaniem (z użyciem sadzy)■ Prędkość może być ograniczona jeżeli kolor resztowy jest niepożądany■ Koszt dodatkowych materiałów

SYSTEMY MATERIAŁÓW ABSORPCYJNYCH W METODZIE CLEARWELD



Przegląd systemów materiałowych w metodzie Clearweld

W celu zespawania dwóch podłoży z tworzyw sztucznych należy w strefie przejściowej spoiny wytworzyć ciepło. W spawaniu laserowym z pełnym przepuszczaniem źródłem energii jest laser. Materiał absorbujący jest używany do pochłaniania energii lasera i wytwarzania ciepła. Materiał absorbujący jest umieszczony na styku spoiny albo przez rozproszczenie na całym dolnym podłożu, albo przez umieszczenie tylko na styku spoiny. Ilość energii podczerwieni pochłanianej przez materiał może być opisana za pomocą praw fizycznych, szczególnie prawa Beera-Lamberta*. Ilość energii pochłanianej przy konkretnej długości fali świetlnej jest określona przez współczynnik zanikania*.

W tradycyjnym spawaniu laserowym z pełnym Przepuszczaniem jako materiał absorpcyjny stosuje się sadze. Sadze mogą pochłaniać energię świetlną o wszystkich długościach fal. Ilość użytych sadzy określa ilość pochłanianej energii. Jeżeli energia lasera nie zostanie całkowicie pochłonięta w strefie przejściowej spoiny, to wiązka przenika dolne podłoże aż do całkowitego pochłonięcia lub przejścia. Ze względu na przenikanie wiązki, jeżeli zawierające sadze dolne podłoże jest półprzezroczyste, to podłoże to zostanie podgrzane na całej grubości i potencjalnie może się stopić. Ogranicza to stosowanie tradycyjnego spawania laserowego z pełnym przepuszczaniem do części

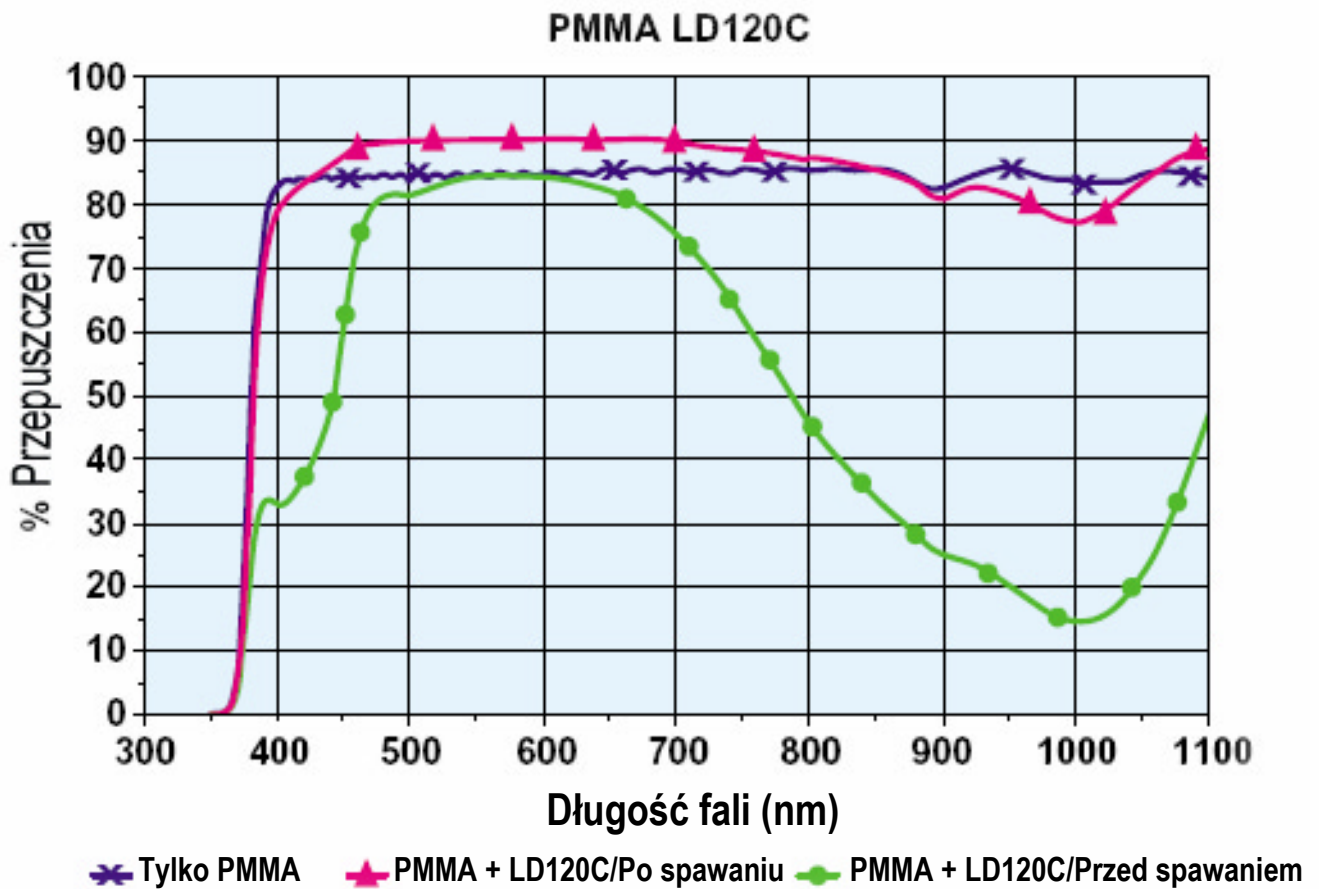
nieprzezroczystych, z dużym pochłanianiem w strefie przejściowej spoiny lub z częściami przezroczystymi z sadzami tylko w strefie przejściowej. Sadze nie rozkładają się pod wpływem podgrzewania, zatem spoina ma zabarwienie. Niżej podane jest zestawienie ograniczeń tradycyjnego spawania laserowego z pełnym przepuszczaniem.

1. *Kolor dolnego podłoża* — jeżeli na dolnym podłożu zostały rozproszczone sadze, to liczba możliwych kolorów jest ograniczona.
2. *Nieprzezroczyste dolne podłoże*— półprzezroczyste dolne podłoże zawierające sadze topi się na całej grubości.
3. *Kolor resztkowy* — węgiel umieszczony tylko na styku spoiny pozostaje w spoinie lub zostaje wypchnięty na krawędzie spoiny i wprowadza niepożądany kolor.

Systemy materiałowe metody Clearweld zawierają złożone materiały organiczne, które silnie pochłaniają energię podczerwieni. Pochłaniacze można dobrać w celu zoptymalizowania absorpcji przy długości fali konkretnego lasera. Obecnie oferujemy rozwiązania najlepiej dostosowane do zakresu długości od 940 do 1064 nm (lasery typu Nd:YAG przy 1064 nm dobrze pracowały, ale dla tej długości fali nie prowadzono szerszych badań). Poziom natężenia pochłaniania może być zmieniany i dopasowany do wymagań danego zastosowania. W istocie, systemy materiałowe metody Clearweld są dostosowane do różnych szczególnych zastosowań.

Materiały stosowane do pochłaniania energii lasera i wytwarzania ciepła mają postać ciała stałego. W celu zoptymalizowania pochłaniania energii podczerwieni na połączeniu spawanym, materiał powinien być rozłożony równomiernie co najmniej na jednym z podłoży. Uzyskanie tego równomiernego rozłożenia jest możliwe dzięki rozpuszczeniu pochłaniaczy w systemach rozpuszczalników organicznych. Do klientów dostarczany jest roztwór chemiczny. Roztwór o małej lepkości jest nakładany lub „nadrukowany” na powierzchnię. Rozpuszczalnik odparowuje pozostawiając na powierzchni cienką, zwartą warstwę materiału.

*Patrz sekcja Definicje określeń



Rysunek 3: Wykres przepuszczania LD120C na warstwie PMMA o grubości 3 mm przy różnych długościach fali.

System materiałowy będzie miał zabarwienie przed wystawieniem na działanie wiązki laserowej. W procesie spawania materiał absorbujący ulega rozkładowi termicznemu, w wyniku czego traci kolor i tworzy przezroczystą spoinę. (Patrz Rys. 3). ■

METODY NAKŁADANIA



Powierzchnia Płaska



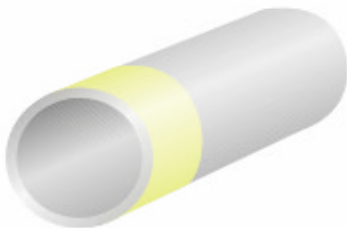
Rowek



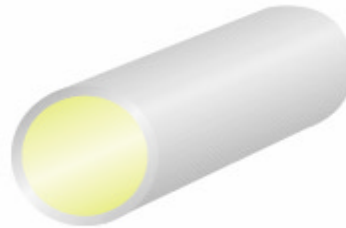
Występ



Krawędź



Zewnętrzna Powierzchnia Cylindra



Wewnętrzna powierzchnia cylindra

Rysunek 4

Istnieje kilka sposobów nakładania systemów materiałowych na podłoża w metodzie Clearweld. W zasadzie można użyć każdego sposobu nakładania cieczy o małej lepkości na podłoża. Jednak najważniejsze wymagania dotyczące nakładania tych materiałów na bazie rozpuszczalników są następujące:

Równomierność — cały obszar spoiny na jednej części zawiera taką samą ilość pochłaniacza.

Powtarzalność — każda część ma taką samą ilość pochłaniacza.

Brak zanieczyszczeń — system materiałowy zawiera mało lub wcale domieszek lub zanieczyszczeń.

Pochłaniacz jest materiałem umożliwiającym utworzenie spoiny. Jeżeli pochłaniacz jest nałożony nierówno, to spoina może w jednych obszarach ulec przegrzaniu, a w innych nie powstać wcale. Równomierne nałożenie

ma zasadnicze znaczenie dla uzyskania spoiny o jednolitej jakości i wytrzymałości. Niektóre metody nakładania i nadrukowywania wymagają stosowania domieszek, takich jak wzmacniacze lepkości dla dobrej jakości nadruku. Jednak domieszki mogą osłabiać lub hamować tworzenie spoiny. Z tego powodu preferowane są metody nakładania odpowiednie dla cieczy o małej lepkości.

Metoda nakładania zależy od kształtu pokrywanych części i wymagań końcowego użytkownika. Na ogół powinno się daną metodą nakładać system materiałowy Clearweld tylko na obszar przewidywanej spoiny. Dokładne nakładanie materiału eliminuje potrzebę używania maskowania, które jest często potrzebne przy tradycyjnym spawaniu laserowym. Inne czynniki, takie jak szybkość operacji, będą także miały wpływ na wybór metody nakładania. ■

DOZOWANIE CIECZY



Jednym ze sposobów nakładania systemów materiałowych Clearweld jest dozowanie cieczy. Dozowanie roztworów Clearweld wykonuje się zwykle za pomocą dozownika iglicowego. Inaczej niż w dozownikach strzykawkowych, kiedy ciecz przepływa przez końcówkę dozującą, układ zaworów reguluje przepływ i umożliwia precyzyjne nakładanie. Końcówka porusza się wzdłuż powierzchni pokrywanej części i dozuje roztwór. Dozownik jest normalnie połączony ze stołem X-Y-Z, co umożliwia poruszanie się zgodnie z kształtem pokrywanej części.



Stosowanie dozowników cieczy do nakładania cieczy jest rozpowszechnione. Urządzenia i odpowiedni serwis są dostępne na rynku. Dla Państwa potrzeb w zakresie zaworów dozujących polecamy firmę EFD Inc., oddział Nordson Corporation (patrz zdjęcia obok). Nordson Corporation jest także czołowym producentem systemów zrobotyzowanych i oferuje szeroki asortyment urządzeń. Opracowali oni systemy, które uzyskały certyfikaty do stosowania z materiałami używanymi w metodzie Clearweld. ■

WSKAZÓWKI DO DOZOWANIA ROZTWORÓW W METODZIE CLEARWELD

Zawory EFD 740V-SS i 741MD

Firma EFD opracowała dwa zawory dozujące, które mogą być z powodzeniem używane do nakładania systemów materiałowych Clearweld. Zawory dozujące 740V-SS i 741MD są dokładnymi zaworami iglicowymi, stosowanymi do dozowania cieczy o małej i dużej lepkości. Zawory te są używane ze sterownikiem Valvemate™ 7000. Korpusy cylindryczne są wykonane z utwardzanego aluminium, a komory na ciecz ze stali nierdzewnej 303. Tłoki, iglice i końcówki adaptacyjne są wszystkie wykonane ze stali nierdzewnej 303. Uszczelnienia iglic są z Teflonu®. Do końcówki adaptacyjnej można dołączać końcówki dozujące o różnych średnicach, co pozwala uzyskiwać krople cieczy o różnej wielkości.

Zawór 740V-SS jest zwykle bardziej odpowiedni do nakładania większych ilości materiału i szerszych linii, a zawór 741MD jest używany do nakładania materiału końcówkami o mniejszych średnicach i przy mniejszej szerokości linii. Wybór zaworu zależy od konkretnego zastosowania.

Ilość materiału dozowanego z zaworu zależy od następujących czynników:

- Długości czasu otwarcia zaworu.
- Ciśnienia w zasobniku cieczy.
- Skoku końcówki.
- Średnicy wylotowej użytej końcówki dozującej.
- Lepkości dozowanej cieczy.

Wskazówki do dozowania cieczy

Przy używaniu urządzeń do dozowania cieczy konieczne jest określenie właściwej wielkości (średnicy) końcówki, ustawienia zaworu dozującego, ciśnienia w zasobniku cieczy, prędkości nakładania oraz odległości pomiędzy końcówką dozującą a pokrywany podłożem (wysokości szczeliny). Zwykle te czynniki są z sobą powiązane. Średnica końcówki, ustawienie zaworu i ciśnienie w zasobniku wpływają na ilość dozowanej cieczy w danym czasie. Prędkość nakładania i wysokość szczeliny wpływają na ilość materiału nałożonego na jednostkę pokrywanej powierzchni. Kiedy te wartości zostaną określone, powinny być utrzymywane przy nakładaniu materiału Clearweld.

Cechy Linii

W celu dobrania najodpowiedniejszej średnicy końcówki, ustawienia zaworu i ciśnienia w zasobniku należy wykonać próbne przebiegi. Te parametry pracy powinny być zoptymalizowane dla każdego konkretnego zastosowania. Jest to konieczne, ponieważ jakość nakładanego pokrycia może się znacznie różnić. Przy określaniu jakości linii nakładanego materiału należy brać pod uwagę dwie sprawy. Linie powinny mieć dobry przebieg i odpowiednią wyrazistość.

Jedną z ważnych cech określających jakość linii jest przebieg linii nałożonej na część.

W systemie Clearweld materiał pochłaniający musi być tak umieszczony na części tak, żeby wiązka laserowa trafiała w ten materiał. Jeżeli wiązka laserowa ominie materiał pochłaniający (nałożoną linię), to spoina nie zostanie utworzona. Jeżeli wiązka laserowa trafi tylko w część nałożonej linii, to spoina nie będzie optymalna. Dlatego należy zapewnić nałożenie roztworu Clearweld w odpowiednim miejscu na części przeznaczonej do spawania. Albo na odwrót, należy tak wyregulować wiązkę laserową, żeby trafiała w miejsce gdzie jest nałożony materiał pochłaniający.

Drugim czynnikiem określającym jakość linii jest wyrazistość linii. Ogólnie mówiąc, linia powinna mieć stosunkowo jednolity wygląd. Jeżeli linia ma zbyt nierówne krawędzie, to zgodność z wiązką laserową może być problematyczna. Jeżeli szerokość materiału pochłaniającego jest większa niż szerokość wiązki laserowej, to materiał na zewnątrz wiązki laserowej nie wejdzie w reakcję. Nie musi to oznaczać osłabienie spoiny, ale pozostawi to kolor resztkowy po zakończeniu spawania. Jeżeli szerokość materiału pochłaniającego jest znacznie mniejsza niż szerokość wiązki laserowej, to część sprawności lasera będzie zmarnowana.

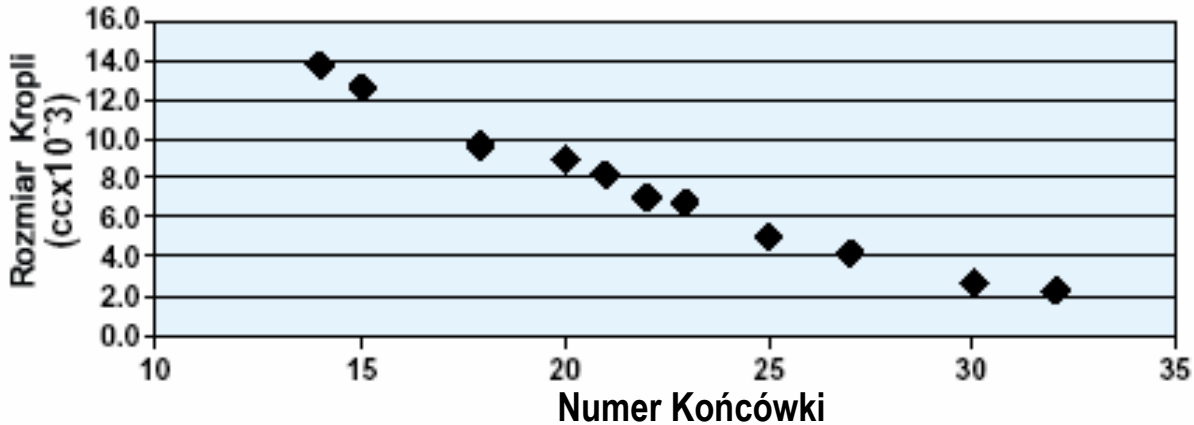
Zatem celem określenia parametrów dozowania powinno być maksymalne wykorzystanie wiązki laserowej i materiału pochłaniającego.

Numer końcówki

Rysunek 5 pokazuje ilość materiału dozowanego przez iglice o różnych numerach przy stałym ustawieniu zaworu i ciśnieniu w zasobniku, za pomocą zaworu EFD 740V-SS. Kiedy numer końcówki wzrasta (kończówki są coraz mniejsze), ilość dozowanej cieczy zmniejsza się. Dla zastosowań metody Clearweld końcówki o numerach od 14 do 20 należy uważać za duże.

Rysunek 5: Wpływ Numeru Końcówki na Dozowaną Objętość

Wielkość Kropli przy różnych końcówkach (Zawór = 1.0, Ciśnienie = 2.0)



Średnie końcówki będą odpowiadały numerom od 20 do 25, a małe końcówki - numerom od 27 do 32. **Wielkość końcówki należy wybrać jako pierwszą przy wykonywaniu przebiegów próbnych. Następnie należy ustawić zawór i wyregulować ciśnienie w zasobniku w celu zoptymalizowania wypływu cieczy z końcówki.**

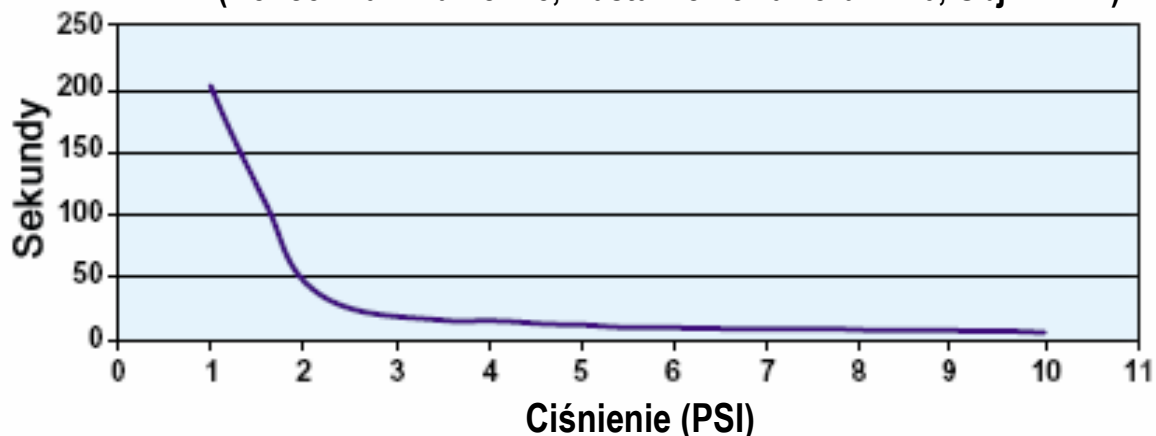
Ciśnienie

Rysunek 6 pokazuje wpływ zmian ciśnienia w zasobniku dla zaworu EFD 740V-SS przy stałym ustawieniu zaworu i wielkości końcówki. Na ogół zmiany w ustawieniu przy niskich ciśnieniach wywołują większe zmiany dozowanych ilości niż przy wysokich ciśnieniach. Roztwory Clearweld mają małą lepkości na skutek tego ciśnienia w zasobniku będą miały zwykle małe wartości. Dlatego zalecamy stosowanie

dokładnego regulatora przy dozowaniu roztworów Clearweld.

Regulatory powietrza ogólnego zastosowania są używane jako tania metoda zmniejszania ciśnienia sprężonego powietrza do względnie stałego obniżonego poziomu. Pracują one dobrze w większości zastosowań gdzie dokładna regulacja powietrza nie jest wymagana. Regulatory precyzyjne dają wyższy stopień dokładności, powtarzalność i stabilność przepływu w warunkach eksploatacyjnych. Niektóre precyzyjne regulatory kontrolują ciśnienie powietrza z dokładnością 0.1%. Zapewniają one znacznie lepsze sterowanie w zastosowaniach z niższymi ciśnieniami (tzn. 10 psi (poniżej 1 bar) i mniej).

Wpływ Nastawionego Ciśnienia na Czas Dozowania (Końcówka = numer 25, Nastawienie zaworu = 1.0, Obj. = 1 ml)



Regulatory precyzyjne mają zwykle niższe maksymalne wartości ciśnienia niż regulatory ogólnego zastosowania. Ze względu na ochronę regulatora precyzyjnego, powinien on być zainstalowany za regulatorem ogólnego zastosowania, który może być wykorzystany do dławienia ciśnienia wlotowego do bezpieczniejszego poziomu.

Wysokość szczeliny

Oprócz ustalenia parametrów kontrolujących ilość dozowanej cieczy, konieczne jest ustawienie wysokości szczeliny systemu dozowania. Wysokość szczeliny jest to odległość pomiędzy końcówką końcówki dozującej a pokrywana powierzchnią. Wysokość ta jest regulowana przez zwiększenie lub zmniejszenie wysokości końcówki dozującej nad powierzchnią części. Na tę odległość mają wpływ dwa czynniki. Pierwszym jest objętość kropli dozowanej z końcówki dozującej. Drugim jest niejednorodność powierzchni pokrywanego podłoża.

W celu nałożenia na podłoże jednorodnej linii, kropla utworzona na końcówce dozującej powinna stykać się z powierzchnią podłoża. Kropla jest "ciągnięta" po powierzchni i w efekcie tworzy ciągły strumień cieczy od końcówki do powierzchni. Jeżeli wysokość szczeliny jest zbyt duża, utworzy się pełna kropla cieczy. Kropla spadnie na powierzchnię i rozprysnie się na powierzchni. W rezultacie powstanie szereg oddzielnych kropeł, które utworzą nieciągłą linię o nieodpowiedniej jakości. Jeżeli wysokość szczeliny jest zbyt mała, to końcówka dozująca może zetknąć się z powierzchnią. Może to spowodować zarysowanie powierzchni, ograniczenie wypływu cieczy z końcówki lub uszkodzenie końcówki. Jak widać na Wykresie 1, wielkość końcówki ma wpływ na wielkość kropli utworzonej na końcówce. Większe iglice mogą pracować przy większej wysokości szczeliny niż mniejsze iglice.

Prędkość

Innym czynnikiem jest prędkość nakładania. Prędkość wyznacza gęstość roztworu na części. Poruszać się może albo część, albo zawór dozujący. Im wolniejszy jest ruch części, tym więcej cieczy zostaje nałożone na jednostkę powierzchni. Jeżeli nakładane jest zbyt dużo cieczy, to należy zwiększyć prędkość. Innym rozwiązaniem w celu zmniejszenia ilości materiału wpływającego z końcówki dozującej jest zmiana parametrów wybranych w czasie prób początkowych. Na przykład, można zmniejszyć nastawienie zaworu lub ciśnienie w celu zmniejszenia dozowanej ilości cieczy.

Geometria Części

Innym czynnikiem, który należy brać pod uwagę przy ustawianiu urządzeń dozujących jest geometria części. Rys. 4 pokazuje przykłady geometrii części. Zależnie od energii powierzchniowej podłoża i napięcia powierzchniowego cieczy, ciecze na płaskiej powierzchni mogą się rozlewać lub tworzyć kałuże. Jeżeli roztwór jest nakładany na część z występem zewnętrznym lub półką, Rys. 4, to roztwór będzie miał tendencję do zbierania się w tym rejonie i rozlewanie będzie zmniejszone. Umożliwia to zwiększenie prędkości nakładania i większą tolerancję szerokości niż przy nakładaniu linii na płaską płytę.

Suszenie

Ostatnią opcją przy dozowaniu materiałów ciekłych jest zastosowanie wspomagającego suszenia. W systemach materiałowych Clearweld stosowane są zwykle rozpuszczalniki do rozpuszczania pochłaniaczy promieniowania podczerwonego. Rozpuszczalniki te mają zwykle małą prężność pary i szybko odparowują. Jednak części można po nałożeniu podgrzewać za pomocą prostych urządzeń, takich jak promiennik lampowy podczerwieni, w celu szybszego odparowania rozpuszczalników. Suszenie wspomagające nie tylko przyspiesza proces suszenia, ale także poprawia wyrazistość linii i końcową gęstość warstwy absorbującej na części. Podgrzanie powierzchni przed nałożeniem systemu materiałowego też może poprawić jakość linii.

UWAGA: *Zwykle staramy się wytworzyć linię o szerokości od 1 mm do 5 mm. Optymalną wyrazistość linii uzyskuje się przy szerokościach linii od 2 mm do 4 mm. Przy szerokości linii mniejszej niż 1 mm trudno jest utworzyć linię ciągłą. Przy szerokości powyżej 5 mm trudno jest uzyskać dobrą definicję krawędzi, chyba że stosuje się maskowanie części.*

Tablica 1 przedstawia zalecane wartości początkowe parametrów, które wpływają na jakość linii przy stosowaniu urządzeń firmy EFD do dozowania cieczy i systemów materiałowych metody Clearweld. Pokazane dane uzyskano przy nakładaniu systemów Clearweld na płaskie płyty akrylowe przy użyciu zaworu EFD 740V-SS. Jest to trudna powierzchnia do nakładania cieczy. Nastawy zaworu i ciśnienia są stosunkowo niskie. Ze względu na to, że zastosowane materiały mają małą lepkość, dozowany materiał tworzy stosunkowo cienką warstwę na podłożu. Jeżeli nastawy ciśnienia lub zaworu zostaną zwiększone, to natężenie wypływu będzie nadmierne i ostrość krawędzi się pogorszy.

Tablica 1: Zalecane wartości parametrów dozowania

NASTAWIENIE ZAWORU	CIŚNIENIE W ZASOBNIKU (PSI)	NUMER KOŃCÓWKI DOZUJĄCEJ	WYSOKOŚĆ SZCZELINY (10 ⁻³ in.)	PRĘDKOŚĆ NAKŁADANIA (CAL/S)
1	1	16 - 18	3 - 9	3 - 6
1	2	22 - 30	3 - 9	1 - 6
1	3	25 - 30	3 - 9	3 - 6
2	1	18 - 22	3 - 9	3 - 6
2	2	22 - 30	3 - 9	2 - 6
2	3	25 - 30	3 - 9	3 - 6
3	1	18 - 25	3 - 9	3 - 6
3	2	22 - 30	3 - 9	3 - 6
3	3	25 - 30	3 - 9	2 - 6

Każde zastosowanie jest inne; dlatego wartości parametrów należy wybierać dla każdego przypadku oddzielnie, ponieważ wpływ na te wartości ma kilka czynników, jak geometria części, materiał podłoża i szorstkość powierzchni. Po ustaleniu właściwych parametrów dozowania należy je kontrolować, żeby zapobiec zmianom ilości dozowanego materiału. ■

INNE METODY NAKŁADANIA

Natryskiwanie

Inną metodą stosowaną do nakładania systemów materiałowych Clearweld jest natryskiwanie. W tej metodzie nakładania roztwór znajduje się w zasobniku. W zasobniku panuje ciśnienie, które wciąga roztwór do kołpaka powietrznego na pistolecie natryskowym. Do kołpaka powietrznego wprowadzane jest powietrze rozdrabniające, które rozprasza roztwór z dyszy w postaci kropelek. Zaletą tego systemu jest łatwość obsługi i możliwość pokrycia dużej powierzchni w jednym przejściu. Na rynku jest wiele pistoletów natryskowych. Użytkownikowi zaleca się skontaktowanie się z przedstawicielem serwisu producenta pistoletu przed jego zainstalowaniem. Systemy materiałowe Clearweld zawierają rozpuszczalniki, które mogą wchodzić w reakcje z niektórymi materiałami uszczelniającymi używanymi w pistoletach natryskowych.

Nakładanie pędzlem

Nakładanie systemów materiałowych Clearweld pędzlem na podłoża także jest stosowane przy tworzeniu połączeń spawanych. Urządzenia do dozowania cieczy można przystosować do końcówek w postaci pędzla zamiast końcówki. Te same praktyczne metody dozowania cieczy odnoszą się także do nakładania pędzlem. Pędzlem można się posługiwać przy nakładaniu szerszych linii niż normalnie nakłada się metodami dozowania cieczy.

Nakładacze z końcówką filcową

Nakładacze z końcówką filcową także są z powodzeniem używane do nakładania systemów materiałowych Clearweld na podłoża. Tak jak w wypadku pędzla, standardowe urządzenia do dozowania cieczy można przystosować do nakładaczy z końcówką filcową. Ze względu na to, że przepływ przez końcówkę filcową jest mniejszy niż przez iglicę lub pędzel, nakładana warstwa będzie mniej gęsta niż w normalnych metodach dozowania cieczy. Jednak w niektórych zastosowaniach metoda ta może dać bardziej równomierną warstwę.

Zanurzenie

Przeprowadziliśmy wiele prób, w których system materiałowy Clearweld był nakładany po prostu przez zanurzenie części w roztworze i pozwolenie na odparowanie rozpuszczalnika. Mimo że można stosować tę metodę, to kontrolowanie stężenia materiału pochłaniającego w roztworze jest utrudnione. Nie zaleca się zatem tej metody do celów produkcyjnych.

Folie

Możliwe jest wprowadzenie materiału pochłaniającego do folii. Folia może wtedy służyć jako nośnik materiału pochłaniającego w operacji spawania. Ten sposób nakładania musi być indywidualnie przygotowany dla każdego zastosowania. Nie jest to rozwiązanie "z półki" do każdego zastosowania w spawaniu. ■

NACISK KLAMRĄ

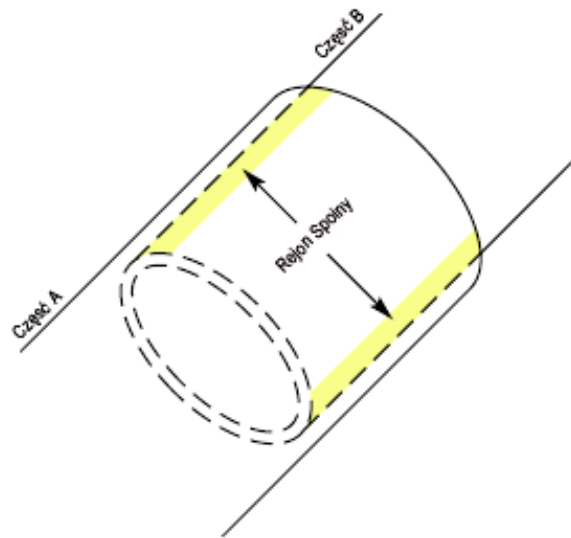
Proces Clearweld, tak jak inne techniki spawania, wymaga połączenia dwóch podłoży z dociskiem. Docisk kłamrą jest wymagany z kilku powodów, w szczególności:

- W celu zapewnienia bezpośredniego styku pomiędzy dwiema spawanymi powierzchniami. Powierzchnie mają zwykle nierówności (wyboje, zagłębienia itd.), które uniemożliwiają bezpośredni styk. W miarę podgrzewania powierzchni, docisk kłamrą spłaszcza powierzchnie i usuwa uwięzione powietrze, dzięki czemu uzyskuje się równomierny styk wzdłuż spoiny.
- W celu uzyskania podgrzania i stopienia w obydwu podłożach. System materiałowy Clearweld jest nakładany tylko na jedną powierzchnię spoiny (w większości wypadków). Pochłaniacz wytwarza ciepło w wyniku wystawienia go na działanie energii laserowej. Powstanie spoiny wymaga stopienia się obydwu podłoży. Bezpośredni styk pomiędzy powierzchniami umożliwia zaistnienie tego podgrzania i stopienia.
- W celu umożliwienia dyfuzji łańcuchów polimerowych pomiędzy powierzchniami. W tworzywach sztucznych spoina powstaje przez wzajemne wymieszanie łańcuchów polimerowych z obydwu podłoży. Kiedy tworzywo topi się, łańcuchy polimerowe mogą się poruszać. Docisk kłamrą wywołuje styk powierzchni i umożliwia dyfuzję. Ponadto docisk daje siłę zbliżającą łańcuchy do siebie.
- W celu zapobieżenia rozdzielaniu powierzchni podczas fazy stygnięcia. Wszystkie materiały do pewnego stopnia rozszerzają się pod wpływem ciepła i kurczą się pod wpływem chłodzenia. Po odstawieniu energii lasera lub po całkowitym rozłożeniu materiału pochłaniającego materiał zaczyna stygnąć i kurczyć się. Jeżeli podczas stygnięcia docisk kłamrą nie jest wywierany, to podłoża mogą się rozdzielić. Docisk kłamrą jest potrzebny w celu utrzymania styku pomiędzy podłożami podczas kurczenia się materiału. Przy spawaniu większości materiałów metodą Clearweld tylko niewielki miejscowy obszar tworzywa ulega stopieniu. Stopione tworzywo stygnie bardzo szybko, dlatego wymagane są krótsze czasy zatrzymania.

UWAGA: W metodzie Clearweld występuje niewielkie zapadanie się materiału, w porównaniu z zapadaniem się przy innych procesach

Metoda kłamrowania / Opis

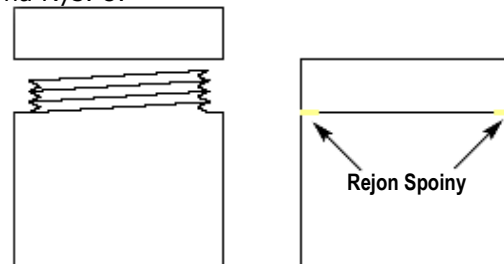
Można uniknąć potrzeby stosowania zewnętrznego docisku kłamrą przez zastosowanie pasowania właczanego lub pasowania z poślizgiem na styku spoiny. Przykład pokazano na Rys. 7.



Rysunek 7

Przykład pasowania z poślizgiem. Wewnętrzna średnica Części A jest taka sama lub nieco mniejsza niż zewnętrzna średnica Części B. Zapewnia to odpowiedni nacisk do spawania obwodu części cylindrycznych.

Docisk można także wywierać bez uchwytu przez skręcenie dwóch podłoży śrubami, jak na Rys. 8.



Przykład docisku za pomocą części nagwintowanych. Nakrywka jest nakręcona na podstawę, wywierając nacisk na rejon spoiny.

Prosta uniwersalna kłamra posiada cylinder pneumatyczny, który dociska podłoża do górnej płyty, Rys. 9a i b. Płyta górna musi być bardzo przepuszczalna dla lasera. Szkło borokrzemianowe, szkło kwarcowe i PMMA mają dobrą przepuszczalność przy 940 nm.

spawania, łącznie ze spawaniem laserowym z pełnym przejściem.

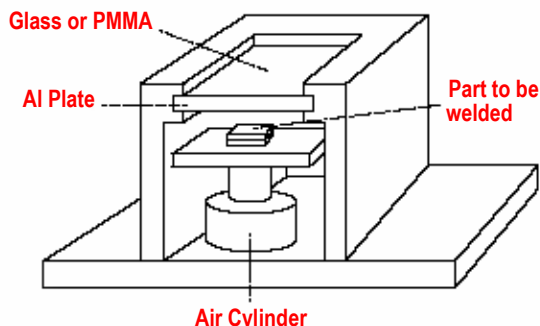


Figure 9A: Simple Universal Clamp — Open

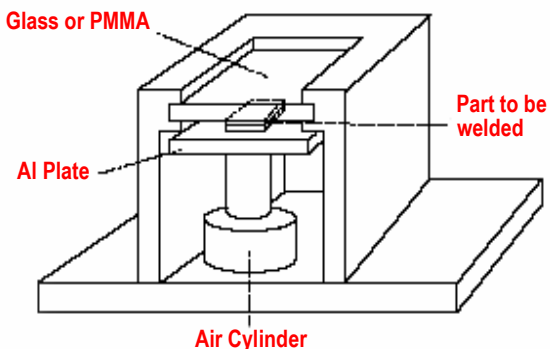


Figure 9B: Simple Universal Clamp — Closed

Można zastosować standardowe płaskie szkło walcowane, ale nie jest to zalecane. Płaskie szkło walcowane pochłania do 30% energii laserowej, powodując podgrzanie szkła i możliwość pęknięcia. Jest to tania alternatywa, ale powinna być stosowana tylko przy zapewnieniu odpowiednich środków bezpieczeństwa. Poliwęglan nie jest zalecany z powodu ryzyka zapalenia się poliwęglanu przy dużej gęstości energii. Aluminium, stal lub inny metal mogą być użyte jako płyta dolna. Polerowana powierzchnia nie jest zalecana, ponieważ wiązka laserowa może się odbić z powrotem do lasera i spowodować uszkodzenie. Można stosować powierzchnie obrabiane mechanicznie lub czarne anodyzowane. Możliwe są także tworzywa sztuczne, ale tworzywa wypełnione sadzami lub inne tworzywa silnie pochłaniające ulegną stopieniu. Stosując tworzywa o dużej przepuszczalności dla promieni podczerwonych, użytkownik powinien pamiętać, że powierzchnia, na której umieszczona jest klamra może być wystawiona na działanie wiązki laserowej.

Inne wskazówki:

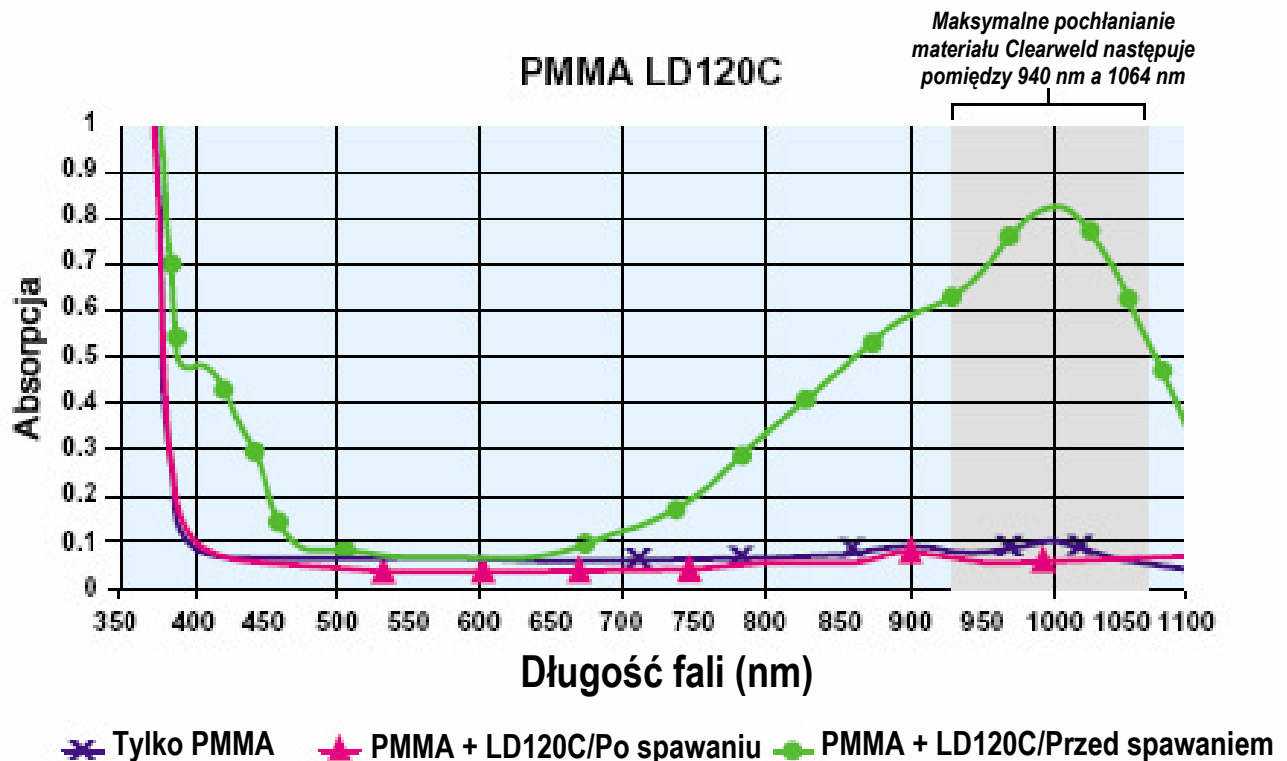
- Nacisk musi być wywierany równomiernie na styk spoiny
- Po górnej lub dolnej stronie podłoża można założyć przezroczysty kauczuk silikonowy w celu wyrównania nacisku. Pomaga to przy cienkich foliach.

UWAGA: Kauczuk silikonowy zapala się przy większych gęstościach energii.

- Nadmierny nacisk może pogorszyć wytrzymałość spoiny. Łańcuchy polimerowe przesuwają się kiedy sztuczne tworzywo ulega stopieniu. Jeżeli wywierany jest zbyt duży nacisk, tworzywo jest "wyciskane" i zimne materiały rodzime spotykają się w strefie przejściowej spoiny. Kontrola strefy topienia ma zasadnicze znaczenie.
- Nacisk klamrowania oddziałuje na parametry spawania. Jeżeli ten nacisk się zmienia, to parametry spawania mogą także wymagać zmiany, lub na odwrót.
- Wymagany nacisk zależy od rodzaju tworzywa sztucznego i od kształtu części. Przykładowe naciski klamrowania podane są w Tabelicy 2.
- Zaleca się krótki czas przytrzymania po spawaniu. Jeżeli nacisk zostanie usunięty zbyt szybko, to rozprężanie się części (a stąd jej zwiększona objętość) odpycha podłoża od siebie nawzajem, co prowadzi do pogorszenia wytrzymałości.

Tabela 2: Przykładowe Naciski Klamrowania

MATERIAŁ	NACISK KLAMROWANIA (PSI)
PMMA (Akryl)	600
Nylon 6,6	640
Polipropylen	600
Poliwęglan	640



Rysunek 10: Wykres absorpcji LD120C na PMMA (grubość 3 mm) przy różnych długościach fali.

PODGRZEWANIE PODŁOŻY

Technologie Laserowe

Lasery są dostępne w szerokim zakresie długości fali, na przykład:

- CO2 – 10 600 nm
- Nd:YAG – 1064 nm
- Diodowy – 635-670 nm, 808 nm, 940 nm, 980 nm
- Rubinowy – 693,4 nm
- HeNe (helowo-neonowy) – 543 nm, 633 nm.

Wiązki mają charakter impulsowy albo ciągłej fali.

Typy laserów najlepiej nadających się do metody Clearweld

Pochłaniacz stosowany w systemach materiałowych Clearweld był zaprojektowany do optymalnej absorpcji w zakresie długości fali od 940 do 1064 nm, jak pokazano na Rys. 10. Laserami o fali ciągłej dostępnymi w tym zakresie są Nd:YAG i lasery diodowe. Pochłaniacz może pochłaniać przy mniejszych

absorpcję energii przy 808 nm, mniejsza prędkość, większa moc lub więcej materiału będzie potrzebne do uzyskania wyników spawania podobnych do osiągniętych laserem na 940 nm.

Metody korekcji wiązki

Elektrody lasera diodowego są prostokątne, co powoduje niepożądaną charakterystykę wiązki. Na wyjściu z diody wiązka ma przekrój eliptyczny. Kształt przekroju poprzecznego wiązki może być różny w różnych diodach. Ze względu na prostokątny kształt fasetki diody, punkt ogniskowy jest inny w kierunku osi x niż w kierunku osi y. W rezultacie pojedyncza soczewka kolimuje wiązkę (tworzy wiązkę równoległą) tylko w jednym kierunku. To zjawisko nazywane jest astygmatyzmem.

Istnieją dwa ogólnie znane sposoby korekcji wiązki w celu uzyskania okrągłego przekroju poprzecznego i zmniejszenia astygmatyzmu. Pierwszy sposób nazywany jest korekcją soczewkową, a drugi sprzężeniem włókien.

Korekcja soczewkowa

W metodzie korekcji soczewkowej do korekcji wiązki stosuje się szereg pryzmatów i soczewkę. Kształt skorygowanej wiązki jest kwadratowy lub prostokątny. Minimalne wymiary wiązki wynoszą 0.45 mm x 0.45 mm. Zmiana soczewki ogniskującej może zwiększyć wymiary wiązki.

długościach fal, ale sprawność absorpcji jest dużo mniejsza. Na przykład, przy 808 nm absorbowane jest aż o 50% mniej energii niż przy 940 nm. Ze względu na niską

Tabela 3: Zalety i Wady Metody Korekcji Soczewkowej

ZALETY	WADY
<ul style="list-style-type: none"> ■ Łatwa do stosowania, nie wymaga specjalnych operacji ■ Mała strata mocy, 30–50% ■ Niski koszt 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zniekształcenie wiązki pogorszenie jakości wiązki ■ Wiązka nie jest w pełni skolimowana, tzn. wiązka nie zbiega się w jedno ognisko.

Sprzężenie włókien

Metoda korekcji wiązki zwana sprzężeniem włókien wykorzystuje dwie soczewki do zogniskowania wiązki w jedno włókno (wiązka o przekroju okrągłym), a trzecia soczewka na wyjściowym końcu włókna kolimuje wiązkę. Wiązka jest okrągła, a minimalna średnica wiązki wynosi 0.2 mm. Średnicę wiązki można zwiększyć używając innych soczewek.

Tabela 4: Zalety i Wady Metody Sprzężenia Włókien

ZALETY	WADY
<ul style="list-style-type: none"> ■ Małe zniekształcenie - dobra jakość wiązki ■ Mały resztkowy astygmatyzm 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Strata mocy ~ 50–70% ■ Koszt ■ Specjalne operowanie, żeby nie uszkodzić włókna.

Głównymi czynnikami w wyborze metody wytwarzania wiązki są: moc, pożądana jakość spoiny i koszt. Metoda korekcji soczewkowej daje większą moc wyjściową. Lasery z korekcją metodą sprzężenia włókien mają lepszą jakość wiązki, dlatego można wytwarzać bardziej równomierne spoiny. Lasery z korekcją soczewkową są zwykle tańsze niż lasery z korekcją metodą sprzężenia włókien.

UWAGA: Wymiary wiązki zwiększają się wraz ze wzrostem mocy.

Konfiguracje Laserów

Wiązkę laserową można kierować na część za pomocą różnych technik:

- Pojedyncza wiązka – kontur
- Wiązka przeszukująca

UWAGA: W przeciwieństwie do spawania laserowego z podłożem pochłaniającym, takim jak sadze, przy stosowaniu metody Clearweld wiązka laserowa nie musi być tak dokładna. Przy absorpcyjnym dolnym podłożu wiązka laserowa musi być dokładna, ponieważ podgrzanie i topienie następuje we wszystkich miejscach gdzie wiązka dociera. Jednak w metodzie Clearweld podgrzanie i topienie podłoża wystawionego na działanie lasera nastąpi tylko tam, gdzie materiał Clearweld reaguje ze światłem lasera (z tego powodu dokładne nałożenie materiału jest bardzo ważne). Zaleca się, żeby szerokość wiązki laserowej była równa lub większa od szerokości nałożonej linii, co zmniejszy lub wyeliminuje kolor resztkowy.

Pojedyncza wiązka – Kontur

Przy spawaniu za pomocą pojedynczej wiązki laser trafia w strefę spoiny jako wiązka lub punkt. Przesuwanie części pod wiązką lub przesuwanie wiązki po części wytwarza spoinę. Część może być przesuwana różnymi sposobami, np. za pomocą taśmy przenośnika, stołu x-y lub stołu obrotowego. Laser może być przesuwany przez zamocowanie go do numerycznie sterowanej obrabiarki lub do ramienia robota.

Wiązka przeszukująca

System przeszukujący także używa pojedynczej wiązki, ale szereg luster zamocowanych do silników galwanometrycznych odchyła wiązkę we właściwym kierunku. Zaletą tego systemu jest to, że laser i spawana część pozostają nieruchome.

Kurtyna

Kutrynowy system laserowy używa szeregu wiązek laserowych ustawionych obok siebie, albo jednej lub więcej wiązek rozszerzonych przez układ optyczny do postaci linii (czyli kurtyny). Kurtynę laserową lub część przesuwają się w celu wystawienia strefy spoiny na działanie lasera. Kiedy kurtyna jest stosowana do tradycyjnego spawania laserowego, potrzebne jest maskowanie żeby spawać tylko w określonych miejscach. Maskę nie jest potrzebna w metodzie Clearweld, ponieważ spawanie następuje tylko tam gdzie nałożony jest pochłaniacz.

Jednoczesna - Siatka

Systemy jednoczesne składają się z szeregu wiązek laserowych ustawionych w kształcie spawanej części. Nie ma części ruchomych, a cała przejściowa strefa spawania jest podgrzewana w tym samym czasie.

- Kurtyna
- Jednoczesna

Tabela 5: Porównanie Konfiguracji

CZYNNIK	POJEDYŃCZA WIĄZKA	PRZESZUKIWANIE	KURTYNA	JEDNOCZESNA
Prędkość spawania 1 - szybko, 3 - wolno	2*	1	2*	1
Elastyczność jednej konfiguracji do spawania części o różnej geometrii 1 - duża, 3 - brak	1	1	1	3
Spawanie kształtów 3 - wymiarowych 1 - możliwe, 2 - ograniczone, 3 - niemożliwe	1	3†	3†	2
Sprawność 1 - duża, 3 - mała	1	1	3Δ	1
Maksymalna wielkość części	Zależy od wielkości urządzeń ruchu	500 mm x 500 mm przy 10 mm wiązce	Duże części możliwe, ale koszty mogą być zbyt wysokie	Duże części możliwe, ale koszty mogą być zbyt wysokie

* Prędkość ograniczona przez urządzenia ruchu.

† Wiązki laserowe mają kształt stożka, tzn. wiązka skupia się w ognisku. W częściach o dużej różnicy wysokości do strefy spawania dochodzi wiązka o różnej średnicy (powoduje to różnice gęstości energii).

Δ Znaczna część wiązki nie jest w ogóle wykorzystana.

Bezpieczeństwo Lasera

Lasery stosowane w metodzie Clearweld są zwykle zaliczane do kategorii Class 4 i w związku z tym wymagają podjęcia odpowiednich środków ostrożności. ANSI Z136.1 podaje informacje pomagające użytkownikom zaplanować właściwy program bezpieczeństwa. Dla systemu Clearweld będzie to zwykle oznaczało pracę ze zdalnym sterowaniem lub co najmniej odpowiednie osłony zapobiegające przypadkowemu wystawieniu na działanie lasera. ■

PROJEKTOWANIE SPOINY

Główne wymagania dotyczące spoiny w systemie Clearweld są następujące:

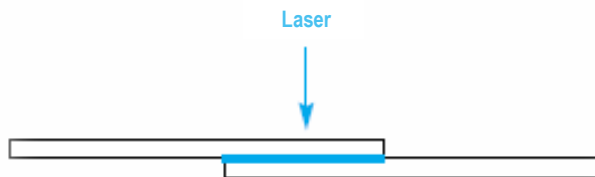
- Płaskie stykające się powierzchnie.
- Wystarczający docisk kłmą przyłożony na stykające się powierzchnie.
- Dostateczna przepuszczalność w górnym podłożu, tak żeby energia lasera osiągnęła strefę spawania.

Spoina musi być prostopadła lub nachylona pod pewnym kątem do wiązki laserowej. Jeżeli spoina jest równoległa do wiązki, to energia lasera będzie niewystarczająca do wytworzenia spoiny.

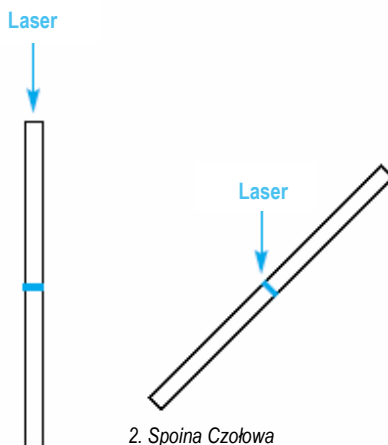
Przykłady spoin:

UWAGA: Na wszystkich ilustracjach kolory służą tylko do oznaczenia strefy spawania i pokazują który laser wykonuje spoinę.

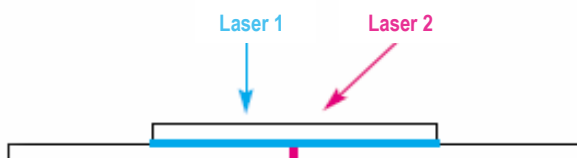
1. Spoina Zakładkowa, Podobnie może być wykonana spoina łupinowa.



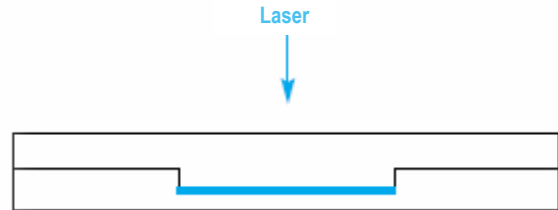
2. Spoina Czołowa



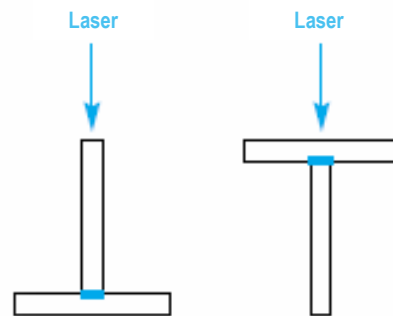
3. Pojedyncza Nakładka



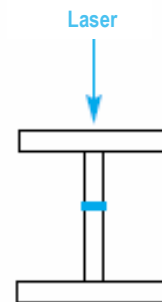
4. Wpust i rowek



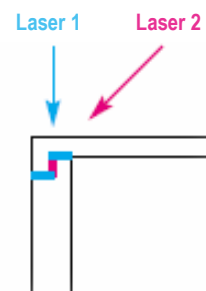
5. Spoina T



6. Spoina I



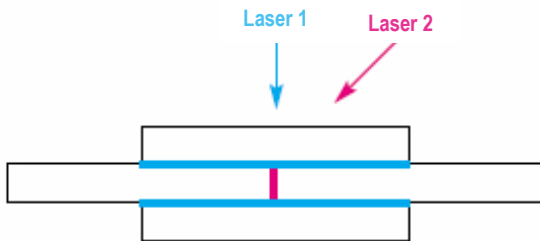
7. Zakładka Ściana-Czoło



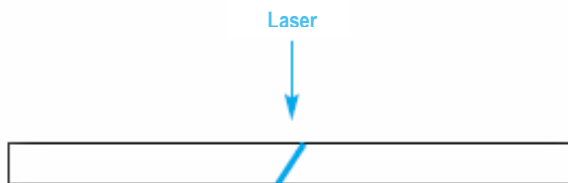
Laser 1: spawane są górne i dolne powierzchnie
Laser 2: spoina czołowa jest także spawana
(laser musi być ustawiony pod kątem)

Laser 1: spawane są tylko górne powierzchnie
Laser 2: spoina czołowa jest także spawana
(laser musi być ustawiony pod kątem)

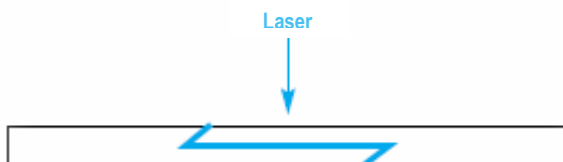
8. Podwójna Nakładka



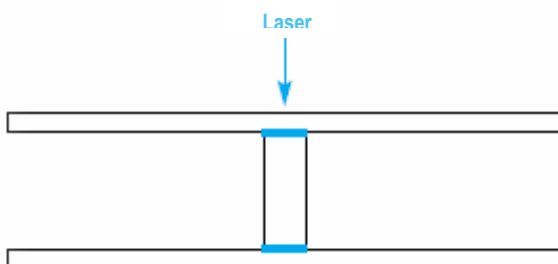
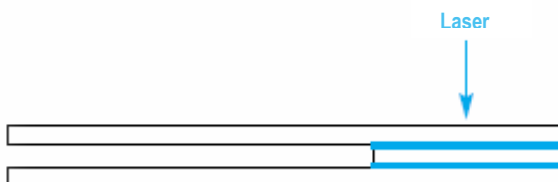
9. Spoina z Ukosowaniem Krawędzi



10. Podwójna zakładka z ukosowaniem



11. Spoiny wielowarstwowe



Przygotowanie powierzchni:

Wymagane są czyste powierzchnie w strefie spawania i powierzchnie, przez które przechodzi laser (mogą być pewne wyjątki, takie jak ciecze). Kurz lub inne zanieczyszczenia mogą spowodować zapalenie.

- Preferowane są gładkie kształtowane powierzchnie. Im lepszy styk pomiędzy dwoma podłożami, tym mocniejsza spoina.
- Chropowate lub matowe powierzchnie mogą być spawane, ale wytrzymałość spoin może być gorsza.

Względy materiałowe przy projektowaniu spoin:

- Górne podłoża z tworzyw sztucznych o słabej przepuszczalności promieni podczerwonych są ograniczone pod względem grubości.
- Spawanie przez grube górne podłoża będzie wymagało większej gęstości energii.

UWAGA: Opadanie materiału jest w metodzie Clearweld małe w porównaniu z opadaniem obserwowanym w innych procesach spawania. Należy to uwzględnić przy projektowaniu spoiny dla spawania laserowego metodą Clearweld. ■

PODSUMOWANIE BADAŃ CYTOTOKSYCZNOŚCI NA PRÓBKACH CLEARWELD

ZASTRZEŻENIE: Te informacje są podawane tylko dla celów informacyjnych. FDA (amerykańska Federalna Administracja Leków) lub inne instytucje wydające przepisy dla określonych obszarów zastosowań mogą wymagać dalszych badań.

UWAGA: Materiał Clearweld składa się z barwnika pochłaniającego NIR, rozpuszczonego w substancjach transportowych (rozpuszczalnik lub kombinacja rozpuszczalników).

PRÓBA 1

Badanie cytotoxycznosci przy zastosowaniu metody nakładania agarozы (w stanie stałym).

Próbka badawcza: Stały (w postaci proszku) barwnik pochłaniający NIR używany w materiale Clearweld.

WYNIK	OBSERWACJE
Nietoksyczne (N)	Normalna morfologia komórki w pobliżu próbki
Toksyczne (T)	Śmierć i degeneracja komórek związana z obszarem poniżej próbki i przypuszczalnie sięgającym poza obwód próbki. Tam gdzie zaobserwowano strefę rozpadu, odległość od krawędzi próbki do krawędzi strefy była mierzona w milimetrach (mm).

ARTYKUŁY	WYNIK	STREFA ROZPADU (MM)
Próbka Badawcza	N	0
Badanie Ujemne	N	0
Badanie Dodatnie	T	6

Wnioski

W warunkach, w jakich przeprowadzone były Te badania, nie uzyskano dowodów, że badany artykuł wywołuje rozpad komórek lub toksyczność. Badany artykuł nie jest uznany za toksyczny dla komórek zarodkowych włóknistych L-929 myszy. Badanie ujemne i badanie dodatnie przeprowadzone zgodnie z przewidywaniami.

WYNIK	OBSERWACJE
Nietoksyczne (N)	Jednorodna zlewająca się warstwa monomolekularna z wydłużonymi komórkami i oddzielnymi śródcytoplazmowymi granulakami obecna przy 24-godzinnej obserwacji. Niewielka obecność lub brak wodniczek, karbowania lub nabrzmienia.
Pośrednie (I)	Komórki mogą wykazywać wyraźną obecność wodniczek, karbowania lub nabrzmienia. Może wystąpić rozpad (1 – 50%) komórek, który wywołuje obecność komórek i resztek pływających w pożywce. Pozostałe komórki są nadal powiązane z powierzchnią gniazda.
Toksyczne (T)	Ponad 50% wszystkich komórek uległo rozpadowi. W komórkach pozostałych na powierzchni gniazda występuje znaczna obecność wodniczek, nabrzmienia lub karbowania.

PRÓBA 2

Badanie cytotoxycznosci metodaą wymywania MEM (ekstrakt IX MEM – ekspozycja 24-godzinna)

Próbka badawcza: Jednowarstwowy arkusz poliwęglanu z nałożonym materiałem Clearweld, wystawiony na działanie światła laserowego. (Ta próbka reprezentuje wypadek kiedy na część została nadrukowany materiał Clearweld i została ona wystawiona na działanie lasera, ale spoina nie powstała).

WYNIKI: 24-Godzinne Badanie, Ekstrakt

ZLEWAJĄCA SIĘ WARSTWA MONOMOLEKULARNA	WODNICZKI	NABRZMIENIE
(+)	(-)	(-)
ZĄBKOWANIE	PROCENT ROZPADU	WYNIK CTE
(-)	0	N

Obserwacje

- pH – po 24 godzinach pożywka badawcza była podobna do pożywki kontrolnej.
- Badanie ujemne było nietoksyczne.
- Badanie dodatnie było toksyczne po 24 godzinach przy rozcieńczeniu 1:4.

Wniosek

W warunkach, w jakich przeprowadzone były te badania, ekstrakt badawczy IX MEM nie jest uznany za toksyczny dla komórek zarodkowych włóknistych L-929 myszy.

WYNIK	OBSERWACJE
Nietoksyczne (N)	Jednorodna zlewająca się warstwa monomolekularna z wydłużonymi komórkami i oddzielnymi śródcytoplazmowymi granulkami obecna przy 24-godzinnej obserwacji. Niewielka obecność lub brak wodniczek, karbowania lub nabrzmienia.
Pośrednie (I)	Komórki mogą wykazywać wyraźną obecność wodniczek, karbowania lub nabrzmienia. Może wystąpić rozpad (1 – 50%) komórek, który wywołuje obecność komórek i resztek pływających w pożywce. Pozostałe komórki są nadal powiązane z powierzchnią gniazda.
Toksyczne (T)	Ponad 50% wszystkich komórek uległo rozpadowi. W komórkach pozostałych na powierzchni gniazda występuje znaczna obecność wodniczek, nabrzmienia lub karbowania.

PRÓBA 3

Badanie cytotoxycznosci metoda wymywania MEM (ekstrakt IX MEM – ekspozycja 24-godzinna)

Próbka badawcza: pochłaniacz NIR rozproszony w folii poliwęglanowej. (Ta próbka reprezentuje wypadek kiedy na część został nałożony materiał Clearweld, ale nie została ona wystawiona na działanie światła lasera i spoina nie powstała).

WYNIKI: 24-Godzinne Badanie, Ekstrakt

ZLEWAJĄCA SIĘ WARSTWA MONOMOLEKULARNA	WODNICZKI	NABRZMIENIE
(+)	(-)	(-)
ZĄBKOWANIE	PROCENT ROZPADU	WYNIK CTE
(-)	0	N

Obserwacje

- pH – po 24 godzinach pożywka badawcza była podobna do pożywki kontrolnej.
- Badanie ujemne było nietoksyczne.
- Badanie dodatnie było toksyczne po 24 godzinach przy rozcieńczeniu 1:4.

Wniosek

W warunkach, w jakich przeprowadzone były te badania, ekstrakt badawczy IX MEM nie jest uznany za toksyczny dla komórek zarodkowych włóknistych L-929 myszy. ■

USUWANIE DEFECTÓW - PROCES SPAWANIA

PROBLEM	POWÓD	ROZWIĄZANIE
Kolor resztkowy	Nadmierny poziom pochłaniania dla zastosowanej energii lasera.	<ol style="list-style-type: none"> Zmniejszyć ilość nałożonego materiału Clearweld lub wypróbować inny produkt Clearweld o mniejszej absorpcji. Zwiększyć energię lasera.
Palenie	Zanieczyszczenie powierzchni, szorstkość powierzchni zanieczyszczenie wewnętrzne tworzywa.	<ol style="list-style-type: none"> Wyczyścić powierzchnię na styku spoiny i powierzchnię, przez którą wiązka laserowa wchodzi do materiału. Usunąć szkodliwe dodatki. Wypolerować powierzchnię lub zastosować powierzchnie formowane.
	Uszkodzenie spowodowane przez laser – skutek osiągnięcia progowej gęstości energii, przy której tworzywo sztuczne zmienia się z silnie przepuszczalnego w silnie pochłaniające.	<ol style="list-style-type: none"> Zmniejszyć energię lasera. Usunąć powietrze z powierzchni stykowych lub z powierzchni wejścia wiązki <ul style="list-style-type: none"> nakładając na powierzchnię taśmę z folii lub innego przepuszczalnego tworzywa (PMMA) przedmuchać powierzchnię lub styk spoiny gazem obojętnym.
Topienie powierzchni	Zanieczyszczenie powierzchni	Wyczyścić powierzchnię
	Pochłanianie lub rozpraszanie lasera na powierzchni – bardziej prawdopodobne wystąpienie przy tworzywach skrytokrytalicznych. Przy dostatecznej gęstości energii wiązka laserowa zostaje rozproszona lub pochłonięta na powierzchni i powoduje topienie.	Zmniejszyć energię lasera
Pęcherzyki	Przegrzanie	<ol style="list-style-type: none"> Zmniejszyć energię lasera Zmniejszyć ilość nałożonego materiału Clearweld lub wypróbować inny produkt Clearweld o mniejszej absorpcji.
	Niewystarczający docisk kłamrą	<ol style="list-style-type: none"> Zwiększyć docisk kłamrą Zapewnić równomierny docisk (zwłaszcza jeżeli pęcherzyki występują zawsze w tym samym miejscu).
	Uwięziona wilgoć	Wysuszyć części przed spawaniem
Nierówna spoina	Nierównomierny docisk kłamrą	Zapewnić równomierny docisk kłamrą.
	Projekt połączenia / tolerancja połączenia	Zapewnić, żeby konstrukcja spoiny była dostosowana do spawania laserowego.
	Nierówna warstwa pochłaniacza	Sprawdzić nałożenie systemu materiałowego.
	Złe przechodzenie – niektóre elementy kształtu części, takie jak skrzydełka, grubsze miejsca, mogą zmniejszyć przechodzenie w określonych miejscach. Najczęściej występuje w tworzywach skrytokrytalicznych.	<ol style="list-style-type: none"> Przeprojektować część Nachylić część pod kątem w celu uniknięcia przechodzenia wiązki laserowej przez taki element kształtu Zwiększyć energię lasera w trudnym rejonie Nałożyć więcej materiału Clearweld w trudnym rejonie.
Za mała wytrzymałość spoiny	Niewystarczający docisk	<ol style="list-style-type: none"> Zwiększyć docisk Zwiększyć energię lasera
	Niewystarczająca energia lasera do zastosowanych parametrów	<ol style="list-style-type: none"> Zwiększyć energię lasera Zmniejszyć prędkość spawania Zwiększyć stężenie pochłaniacza Zwiększyć docisk
	Niski poziom pochłaniania energii	<ol style="list-style-type: none"> Zwiększyć ilość nałożonego materiału Clearweld lub wypróbować inny produkt Clearweld o większej absorpcji. Zwiększyć energię lasera Zmniejszyć prędkość spawania
	Słabe przechodzenie lasera przez górne podłoże	<ol style="list-style-type: none"> Zmienić materiał Zmniejszyć grubość górnego podłoża Zwiększyć ilość nałożonego materiału Clearweld lub wypróbować inny produkt Clearweld o większej absorpcji.

Usuwanie Defektów – Proces Spawania (c.d.)

PROBLEM	POWÓD	ROZWIĄZANIE
Za mała wytrzymałość spoiny (c.d.)	Nadmierny poziom absorpcji energii — zwłaszcza w cienkich foliach	1. Zmniejszyć ilość nałożonego materiału Clearweld lub wypróbować inny produkt Clearweld o mniejszej absorpcji.
	Nadmierny docisk	1. Zmniejszyć docisk 2. Zmniejszyć energię lasera 3. Zwiększyć prędkość spawania
	Nadmierna energia lasera do zastosowanych parametrów	1. Zmniejszyć energię lasera 2. Zwiększyć prędkość spawania 3. Zmniejszyć docisk 4. Zmniejszyć ilość nałożonego materiału Clearweld lub wypróbować inny produkt Clearweld o mniejszej absorpcji.
	Niezgodność materiałów podłoża (niepodobne materiały)	Zastosować inne materiały
	Zbyt duża różnica temperatur topienia	Zastosować inne materiały
	Kompatybilność podłoża / rozpuszczalnik — rozpuszczalnik użyty w systemie materiałowym uszkadza powierzchnię podłoża	Zastosować materiał Clearweld z innymi rozpuszczalnikami
	Chropowate powierzchnie	1. Wypolerować powierzchnie 2. Używać części formowanych

USUWANIE DEFECTÓW - DOZOWANIE

PROBLEM	MOŻLIWA PRZYCZYNA	NAPRAWA
Brak przepływu cieczy	Ciśnienie robocze powietrza może być niskie	Zwiększyć ciśnienie powietrza do 4.8 bar (70 psi)
	Ciśnienie powietrza w zasobniku może być niewystarczające	Zwiększyć docisk
	Regulacja skoku końcówki może być	Jeżeli zamknięty, obrócić o jeden pełny obrót przeciwnie do ruchu wskazówek zegara
	Materiał mógł zatkać głowicę zaworu lub końcówkę wylotową	Wyczyścić, przepłukać lub wymienić końcówkę i/lub zawór
	Sterownik może nie być nastawiony na właściwe warunki działania	Sprawdzić ustawienia sterownika
	Nakrętka zabezpieczająca końcówkę dozującą niedostatecznie dokręcona, żeby uwolnić iglicę z gniazda teflonowego (zawór 741MD)	Dokręcić nakrętkę zabezpieczającą
Ciągłe kapanie	Zużyta końcówka i gniazdo	Wyjąć zespół złączka/gniazdo końcówki, wyczyścić i sprawdzić czy iglica i gniazdo nie są zużyte
	Stała cząstka nie wpuszczająca końcówki do gniazda	Wymienić zużyte lub uszkodzone części
	Końcówka może być za duża (zawór 741MD)	Upewnić się, że końcówka nie jest większa niż 22
Sporadyczne kapanie	Bąbel powietrza uwięziony w końcówce dozującej (zawór 740V-SS)	Przepłukać końcówkę roztworem w celu usunięcia
	Końcówka nieprawidłowo zamocowana	Zdjąć i ponownie założyć końcówkę dozującą
Ciecz wycieka z otworu spustowego	Ciecz wyciekająca z otworu spustowego na boku zaworu wskazuje, że uszczelnienie końcówki	Wymienić uszczelnienie końcówki
Niezgodne nałożone materiały	Jest zużyte. Ciśnienie powietrza sterującego zawór waha się	Sprawdzić czy ciśnienie powietrza jest stałe
	Ciśnienie powietrza zasilającego zasobnik waha się	Sprawdzić czy ciśnienie powietrza jest stałe
	Ciśnienie powietrza sterującego zawór jest niższe niż 70 psi	Upewnić się, że ciśnienie zaworu wynosi 70 psi
	Czas otwarcia zaworu nie jest stały	Sprawdzić czy wyjście ze sterownika jest zgodne
	Końcówka dozująca może być częściowo zablokowana	Wyczyścić lub wymienić końcówkę
	Wysokość szczeliny może być zmienna	Sprawdzić odległość pomiędzy końcówką dozującą a pokrywana powierzchnią w kłopotliwym obszarze
Nieprawidłowa szerokość nakładanego materiału lub nierówne krawędzie	Nieprawidłowa ilość dozowanej cieczy	Wyregulować ustawienie zaworu dozującego i ustawienie ciśnienia w zasobniku
		Sprawdzić grubość końcówki dozującej
		Wyregulować prędkość nakładania
		Wyregulować odległość pomiędzy końcówką dozującą a pokrywana powierzchnią
		Sprawdzić wartość regulatora czasowego dozowania
		Zastosować suszenie wspomagające do szybszego odparowania rozpuszczalnika
	Zanieczyszczenie lub szorstkość powierzchni	Wyczyścić powierzchnię, albo stosować powierzchnie polerowane lub formowane
Przerwy w dozowanej linii	Nieprawidłowa ilość dozowanej cieczy	Wyregulować ustawienie zaworu dozującego i ustawienie ciśnienia w zasobniku
	Wysokość szczeliny jest nieprawidłowa	Wyregulować odległość pomiędzy końcówką dozującą a pokrywana powierzchnią

DEFINICJE OKREŚLEŃ

Pochłaniacz NIR — substancja zdolna do pochłaniania energii laserowej, wywołująca w ten sposób reakcję fizyczną i/lub chemiczną wytwarzającą ciepło przez rozpraszanie pochłoniętej energii. Jest to składnik systemów materiałowych metody Clearweld.

System materiałowy metody Clearweld — materiał na bazie rozpuszczalnika, o małej lepkości, używany do wykonywania procesu spawania laserowego metodą Clearweld.

Prawo Beera-Lamberta — pokazuje zależność pomiędzy wartością absorpcji a stężeniem próbki absorbującej.

$A_\lambda = \epsilon_\lambda bc$, gdzie A_λ oznacza wartość absorpcji, ϵ_λ oznacza współczynnik absorpcji zależny od długości fali, b oznacza długość drogi przez próbkę, a c oznacza stężenie.

Sadze — zasadniczo pierwiastkowy węgiel w postaci drobnych cząstek stałych. Sadze pochłaniają przy wszystkich długościach fali w widmie elektromagnetycznym.

Cytotoksyczność — próba, w której stosuje się oznaczanie kultur komórkowych w celu zbadania zgodności biologicznej materiału lub ekstraktu poprzez izolowanie komórek w próbówce. Ocenia toksyczność lub właściwości drażniące materiału lub substancji chemicznej.

Laser diodowy — znany także jako laser półprzewodnikowy. Dioda elektroluminescencyjna, w której stosuje się wymuszoną emisję do wytworzenia światła spójnego.

Współczynnik zaniku — stała proporcjonalności w równaniu Beera-Lamberta, która jest miarą skuteczności absorpcji światła o danej długości fali przez daną próbkę absorbującą.

$\epsilon = A/(c*t)$, gdzie ϵ oznacza współczynnik zaniku, A oznacza wartość absorpcji, c oznacza stężenie, a t oznacza grubość (wszystkie wielkości odniesione do danej długości fali).

Strefa oddziaływania ciepła (HAZ) — rejon materiału w pobliżu stopionego materiału spoiny, gdzie ciepło zmieniło strukturę polimeru. Granice strefy oddziaływania ciepła są trudne do określenia, ponieważ temperatura topienia lub temperatura zeszklenia nie występuje jako jedna wartość, lecz jako pewien przedział temperatur.

Laser Nd:YAG — laser stanu stałego, w którym stosuje się pręt ze stopu itru, aluminium i granatu z dodatkiem neodymu jako środka laserującego. Wytwarzane światło laserowe ma długość fali 1064 nm.

Światło bliskiej podczerwieni (NIR) — obszar widma elektromagnetycznego pomiędzy 780 nm a 1500 nm.

Termoplast — polimer, który mięknie pod wpływem podgrzewania i twardnieje pod wpływem chłodzenia. Te procesy są odwracalne i powtarzalne.

Materiał termoutwardzalny — polimer, który jest utwardzany przez ciepło i nie mięknie ani nie topi się kiedy zostanie podgrzany, lecz zaczyna ulegać rozkładowi przy podgrzaniu do dostatecznie wysokiej temperatury.

Spawanie laserowe z pełnym przechodzeniem — proces spawania tworzyw sztucznych, w którym laser jest źródłem energii. Energia lasera przechodzi przez jedno podłoże i zostaje pochłonięta w strefie przejściowej, która ma zostać zespawana. Materiałem pochłaniającym mogą być sadze, inne materiały nieorganiczne, jak dwutlenek tytanu, albo materiały organiczne.