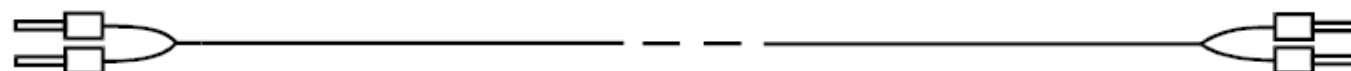


METODY ŁĄCZENIA ŚWIATŁOWODÓW

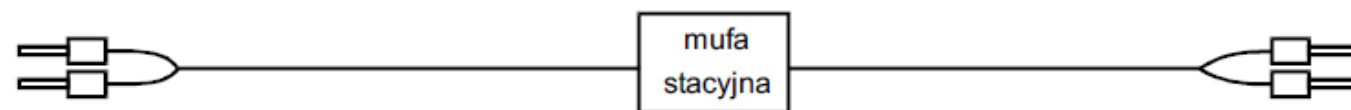
KABLE ŚWIATŁOWODOWE PRODUKOWANE SĄ W ODCINKACH FABRYKACYJNYCH O OGRANICZONEJ DŁUGOŚCI...

...stąd, a także z racji, że często była konieczność stosowania różnego rodzaju typów kabli, wynika konieczność stosowania połączeń zarówno kabli jak i samych światłowodów...

a) połączenie bezpośrednie wewnątrzobiektywne



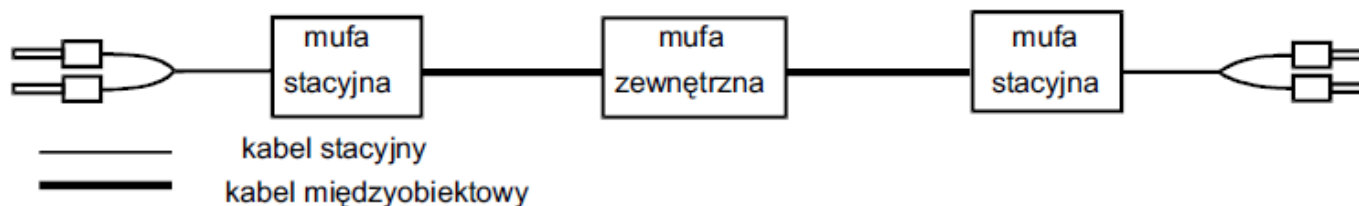
b) połączenie dzielone wewnątrzobiektywne



c) połączenie międzyobiektywne



d) połączenie międzyobiektywne z łączeniem odcinków fabrykacyjnych na zewnątrz budynków



Rys.2 Podstawowe konfiguracje połączeń światłowodowych

POŁĄCZENIA ŚWIATŁOWODÓW WŁÓKNISTYCH

w celu połączenia dwu światłowodów należy zapewnić między nimi kontakt optyczny - umożliwić przekazywanie mocy optycznej między rdzeniami łączonych światłowodów – sprzężenie czołowe.

RODZAJE POŁĄCZEŃ MIĘDZY ŚWIATŁOWODAMI:

1. **POŁĄCZENIA ROZŁĄCZNE** : złącza standardów ST, FC, S.C., E2000 (stosowane do podłączeń źródeł światła, detektorów przyrządów pomiarowych w liniach światłowodowych).
2. **POŁĄCZENIA STAŁE** : klejone, spawane (stosowane np. podczas montażu długich odcinków linii światłowodowych).

ŁĄCZENIE ŚWIATŁOWODÓW

Łączenie światłowodów ze szkła kwarcowego odbywa się dwoma podstawowymi sposobami: za pomocą złączek mechanicznych lub za pomocą spawarki fuzyjnej. Wybór metody łączenia światłowodów w głównej mierze zależy od usługi docelowej, która ma być uruchomiona na danej linii. W przypadku połączenia komputerowego nie jest wymagana wysoka dokładność wykonania połączeń i wówczas dopuszcza się zastosowanie złączek. Natomiast w przypadku wszelkiego rodzaju usług telekomunikacyjnych na dalsze odległości wymagane są jak najmniejsze straty na połączeniach. Wymusza to dokonanie połączenia światłowodów za pomocą spawarki.

Łączenie włókien światłowodowych

- Złączki 0,2 – 1 dB
- Spawy mechaniczne 0,05 – 0,2 dB
- Spawanie 0,05 – 0,1 dB



FUJIKURA FSM-100Mi FSM-100P

MECHANIZMY STRAT NA ZŁĄCZACH ŚWIATŁOWODOWYCH

(Klasyfikacja)

1. STRATY ZEWNĘTRZNE (niesamoistne – związane z niedokładnościami pozycjonowania włókien światłowodowych)

a) jakość powierzchni łączonych światłowodów

b) przemieszczenia poprzeczne światłowodów (w kierunkach prostopadłych do osi światłowodów x , y)

c) rozseparowanie światłowodów wzdłuż osi

d) przemieszczenia kątowe (kąt między osiami światłowodów

2. STRATY WEWNĘTRZNE (samoistne - związane z jakością technologii wykonania włókna)

a) różnice wymiarów geometrycznych (różnice promieni, rdzeni i płaszczy, łączonych światłowodów)

b) różnice apertur numerycznych łączonych światłowodów

c) różnice profilu współczynnika załamania łączonych światłowodów

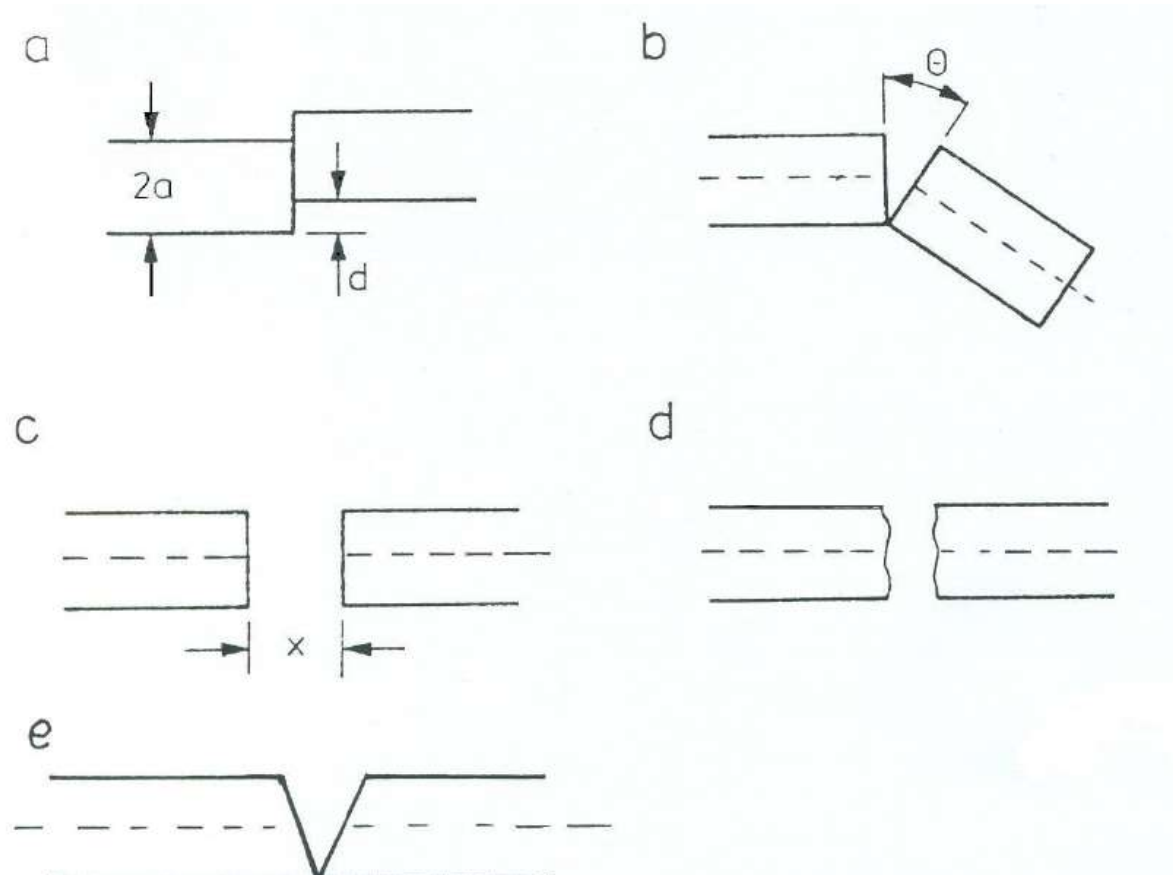
3. STRATY ZWIĄZANE Z RODZAJEM POŁĄCZEŃ

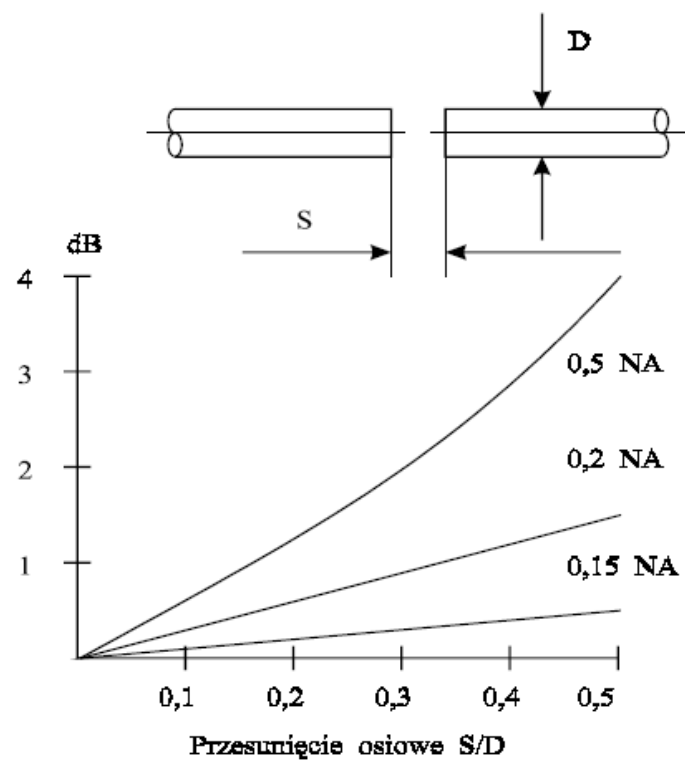
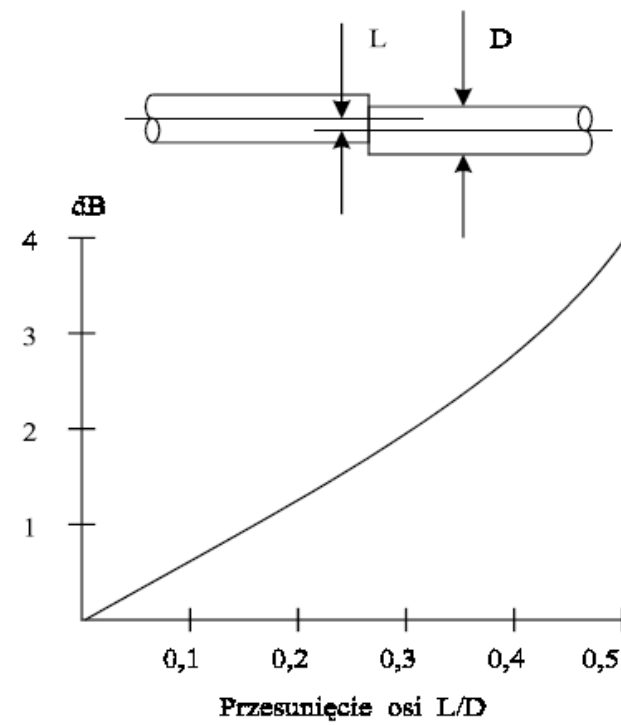
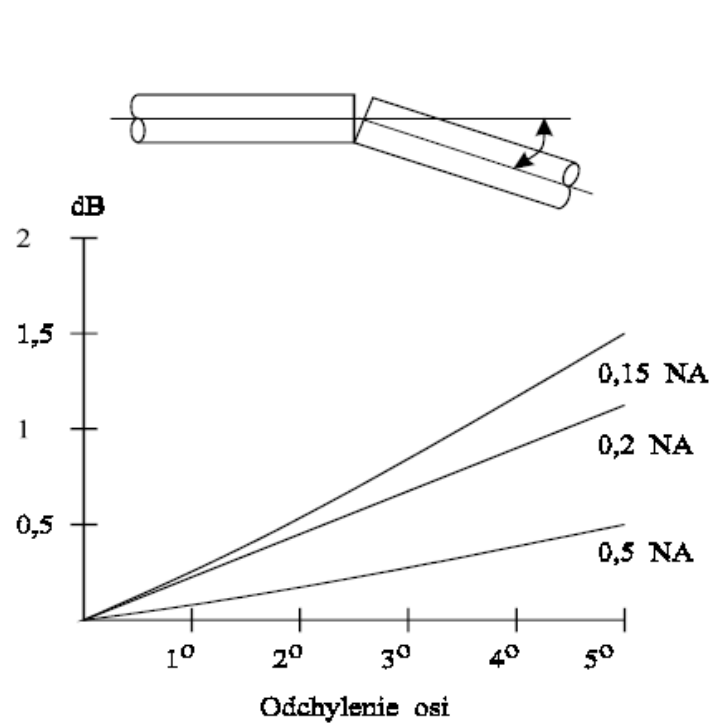
STRATY ODBICIOWE – Fresnela – połączenia rozłączne,

STRATY ROZPROSZENIOWE – połączenia stałe (spawane, klejone)

AD.1 CZYNNIKI ZEWNĘTRZNE WPŁYWAJĄCE NA STRATY MOCY OPTYCZNEJ NA ZŁĄCZACH ŚWIATŁOWODOWYCH

- a) przesunięcie w kierunkach poprzecznych względem osi światłowodów
- b) przemieszczenie kątowe osi łączonych światłowodów
- c) przesunięcie wzdłuż osi światłowodów (przerwa między światłowodami)
- d) jakość powierzchni czołowych (nierówności powierzchni czołowych i pochylenie kątowe powierzchni czołowych)
- e) odchylenie kątowe powierzchni czołowych

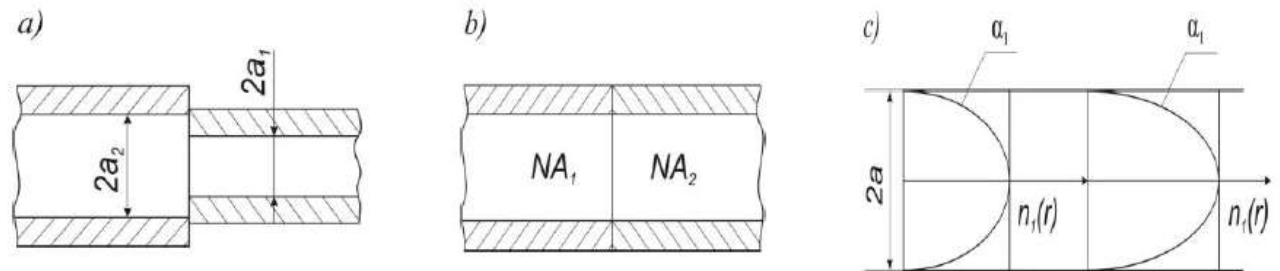




AD.2 CZYNNIKI WEWNĘTRZNE WPŁYWAJĄCE NA STRATY MOCY OPTYCZNEJ NA ZŁĄCZACH ŚWIATŁOWODOWYCH

Są to straty wynikające z niedopasowania struktury i właściwości optycznych łączonych światłowodów:

- a) niedopasowanie średnic rdzeni łączonych światłowodów
- b) niedopasowanie apertur numerycznych światłowodów
- c) niedopasowanie profili rozkładu współczynników załamania w rdzeniach światłowodów



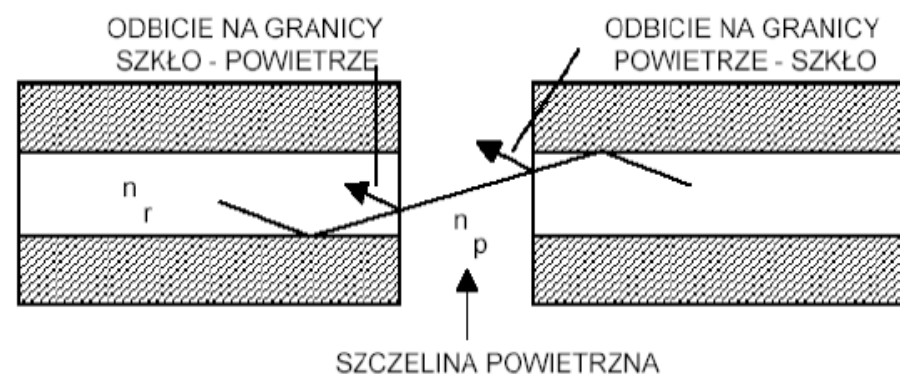
AD.3 STRATY ZWIAZANE Z RODZAJEM POŁĄCZEŃ

- STRATY FRESNELA

występują w połączeniach rozłącznych światłowodów

n_r – współczynnik załamania rdzenia

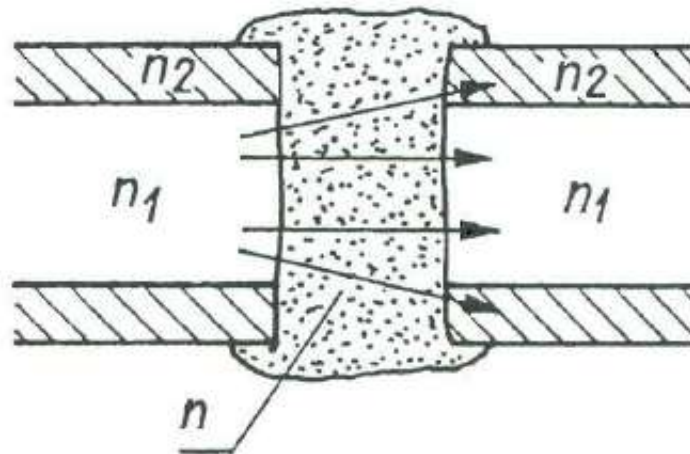
n_p – współczynnik załamania ośrodka wypełniającego przestrzeń między światłowodami (powietrze, lub ciecz immersyjna)



Dla przerwy powietrznej między dwoma światłowodami kwarcowymi $n = 1,456$ straty Fresnela wynoszą
0,32 dB

- STRATY ROZPROSZENIOWE

występują w połączeniach stałych – rozproszenia na niejednorodnościach połączenia; tłumienie rzędu od 0,001 dB do 0,01dB



ZŁĄCZKI – zasada działania i schemat budowy



Prosta złączka
światłowodowa, z otworkiem
dla cieczy immersyjnej

Konstrukcja współczesnej złączki
światłowodowej, z ferrulą ustalającą
położenie światłowodów

ZŁĄCZKA ŚWIATŁOWODOWA

Złączka światłowodowa łączy dwa włókna tak, że światło może przechodzić z jednego do drugiego. Jest ona jednym z najważniejszych elementów traktu światłowodowego.

Podstawowe wymagania konstrukcji złączki:

- minimalizacja strat i odbić.**
- realizacja połączenia stabilnego mechanicznie i optycznie.**

Straty typowych złączy zawierają się w granicach od 0.25 do 1.5dB.

WYBÓR ZŁĄCZKI ŚWIATŁOWODOWEJ

Wybierając złączkę projektant systemu powinien uwzględnić:

- **typ włókna,**
- **wymaganą jakość optyczną,**
- **środowisko pracy,**
- **sposób instalacji i utrzymania systemu oraz**
- **koszty.**

Przy rozbudowie lub modyfikacji systemu należy wziąć pod uwagę:

- **zagadnienia kompatybilności wstecznej.**

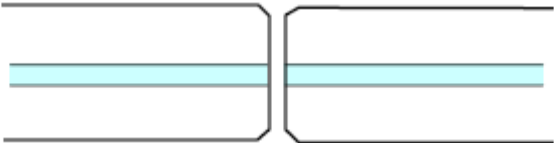
KLASYFIKACJA/SELEKCJA ZŁĄCZEK ŚWIATŁOWODOWYCH

Procedura wyboru powinna uwzględniać następujące czynniki:

1. Typ kontaktu włókien (NC, PC, SPC, APC)
2. Sposób bazowania światłowodów
3. Rodzaj złączki (n.p., SMA, Biconic, ST, FC, SC, DIN, itd.)
4. Technologię wykonania (n.p., żywica termoutwardzalna/polerowanie, techn. bezklejowa, itd.)
5. Rodzaj materiału (n.p. materiał ferruli i obudowy)

TYP KONTAKTU WŁÓKIEN

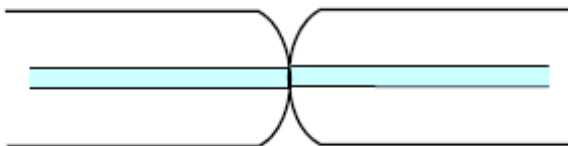
Kształt czoła ferruli i światłowodu

		Straty własne [dB]	Tłumienność odbiciowa [dB]
Szczelina powietrzna. <i>NC - Non Contact</i>		0.5 - 2	15 - 25
<i>Nie zalecane do zastosowań laserowych</i>			

Kontakt fizyczny,
płaski. *Flat PC*



PC
SPC



0.2 - 1

30 - 35

>40

APC



>60

Pochylenie ~ 8°

SPOSÓB BAZOWANIA ZŁĄCZEK

Złącza kluczowane i niekluczowane (Keyed and non-keyed connectors)

Inne tłumaczenia: zatraskowe, klinowane, strojone:

- Złączki bez zatrasku charakteryzuje duży rozrzut strat własnych, ponieważ włókno znajduje się w innej pozycji (względem osi) przy każdym połączeniu.

- Złączki z zatraskiem przy każdym połączeniu znajdują w tej samej pozycji.

W ten sposób poprawia się parametry i zmniejsza ich rozrzut.

Dodatkowo, w konstrukcjach współczesnych, wyróżnia się złącza strojone i niestrojone

...strojenie (tuning) polegające na selekcji ferrul pod kątem średnicy otworu i jego położenia w poszczególnych ćwiartkach czoła ferruli...

Złączki światłowodowe - standard TIA-604-XX

Złączki FOCIS

(Fiber Optic Connector Intermateability Standard)

Biconic: FOCIS 1

ST: FOCIS 2

S.C.: FOCIS 3

FC: FOCIS 4

MTP[®]/MPO: FOCIS 5

Panduit FJ: FOCIS 6

3M Volition: FOCIS 7

Mini-MAC: FOCIS 8 (Wycofany)

Mini MPO: FOCIS 9 (Wycofany)

Lucent LC: FOCIS 10

Siecor SCDC/SCQC: FOCIS 11:(jeszcze nie zatwierdzony)

Siecor/Amp MT-RJ: FOCIS 12:

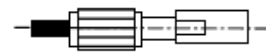
MF: FOCIS 15

LSH (LX-5): FOCIS 16

Wybrane złączki światłowodowe dla standardowych światłowodów szklanych



SMA 905



DIN 47256



SMA 906



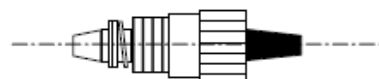
D-4



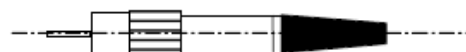
ST



FC, FC/PC



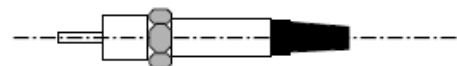
Biconic



HMS-10/HP



SC



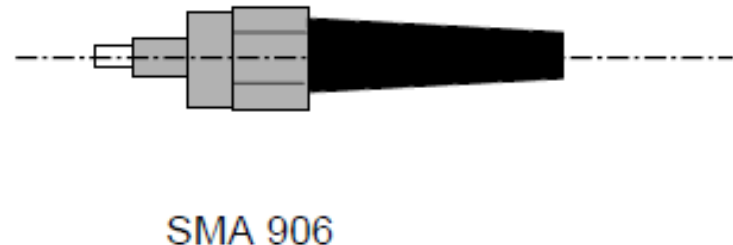
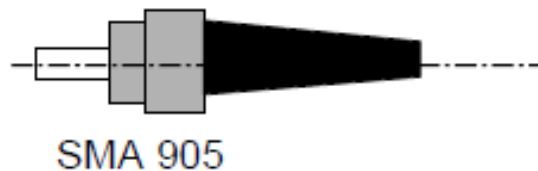
Diamond



FDDI

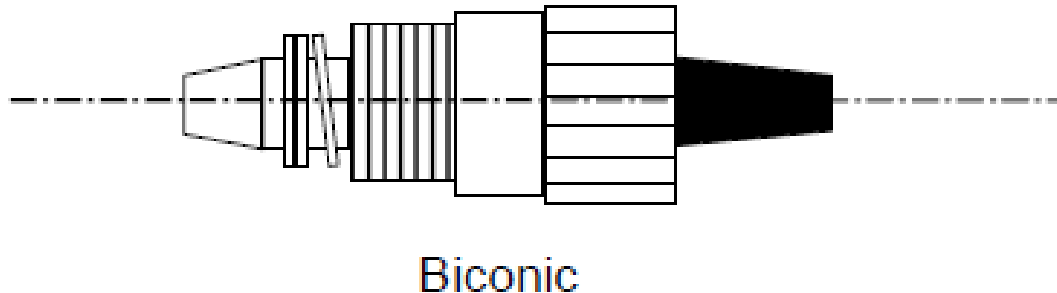
Złącze SMA

- Pierwszy znormalizowany konektor światłowodowy
- Opracowany w firmie Amphenol jako adaptacja popularnego złącza mikrofalowego
- Złącze niekluczowane, gwintowane, światłowody nie kontaktują się (polerowane płasko), wielomodowe
- Dwa typy: 905 - ferrula prosta, 906 ferrula skokowa (preferowana, większa precyzja)
- Najnowsza wersja - FSMA, spotykana w systemach militarnych, pomiarowych i starszych sieciowych



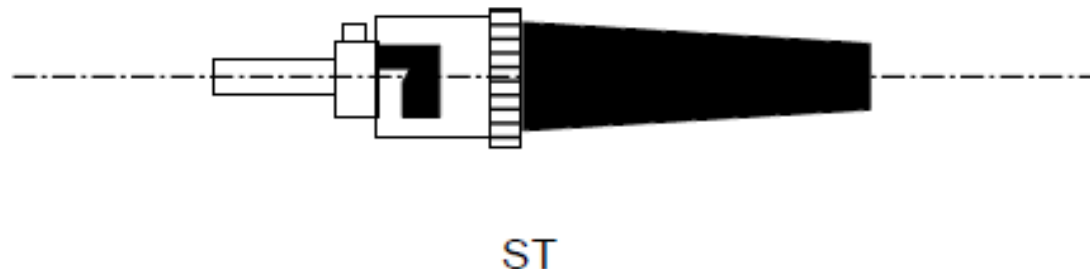
Złącze „BICONIC”

- Opracowany przez AT&T dla telekomunikacji
- Włókna w kontakcie, dociskane przez sprężynki
- Podstawowy problem to zachowanie długości stożka w procesie wykonania złączki
- Duży rozrzut tłumienności 0,3 - 2 dB, tłumienność odbiciowa 15 - 30dB



Złącze ST – PC

- Opracowane przez AT&T jako następcę złącza Biconic
- Łączenie bagnetowe (podobnie jak w złączu BNC)
- Złącze zatrzaskowe, dające lepszą powtarzalność połączeń
- Prosta ferrula wykonana z polimeru, ceramiki, brązu fosforowego, miedzi, węgla wolframu - parametry złącza zależą od materiału
- Powtarzalny docisk określony przez sprężynki (długość ferruli i czas polerowania nie są tak krytyczne jak w złączu Biconic)
- Tanie złącza ST są wrażliwe na wibracje



Złącze D4

- Opracowanie przez NEC (Japonia)
- Ferrula 2mm
- Poprzednik złącza FC-PC, gorsza izolacja mechaniczna
- Spotykana wyłącznie w sprzęcie telekomunikacyjnym dostarczanym przez NEC



D-4

Złącze FC i FC/PC

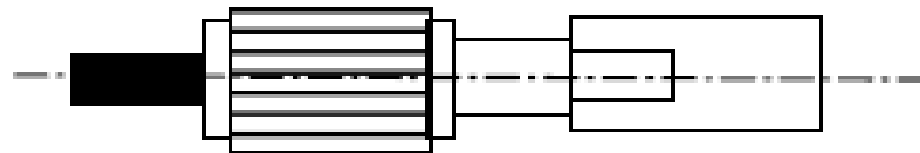
- Opracowane przez NTT (Japonia) jako następcę złącza D3
- Łączenie gwintowane, konstrukcja mechaniczna zapewnia dobrą mechaniczną izolację ferruli i światłowodu od płyty mocującej i kabla
- Bardzo dobra powtarzalność parametrów
- Wewnętrzna sprężynka kontroluje docisk światłowodów
- Dostępna wersja APC dla zastosowań wymagających małych tłumienności odbiciowych
- Jedna z najlepszych dostępnych konstrukcji



FC, FC/PC

Złączka DIN 47256 (DIN-PC)

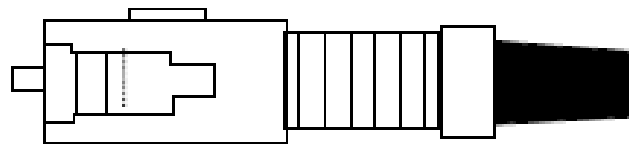
- **Opracowanie Siemens dla zastosowań telekomunikacyjnych**
- **Norma niemiecka (DIN) i europejska (IEC)**
- **Połączenie gwintowane**
- **Jakość podobna do FC-PC**
- **Posiada wersje standardową, militarną-lotniczą i back-plane**
- **Najmniejsza wśród typowych złączek telekomunikacyjnych**



DIN 47256

Złączka SC-PC

- Opracowanie NTT
- Połączenie zatrzaskowe „na wcisk”
- Prostokątny przekrój poprzeczny umożliwia gęste upakowanie na panelu
- Konstrukcja plastikowa (za wyjątkiem ferruli i sprężynki dociskowej)
- Posiada standardy ISO i IEC
- Istnieje wersja APC



SC

MATERIAŁY

Jakość złączki określona jest w znacznej mierze przez dobór materiału ferruli i tulei łączącej Ferrula:

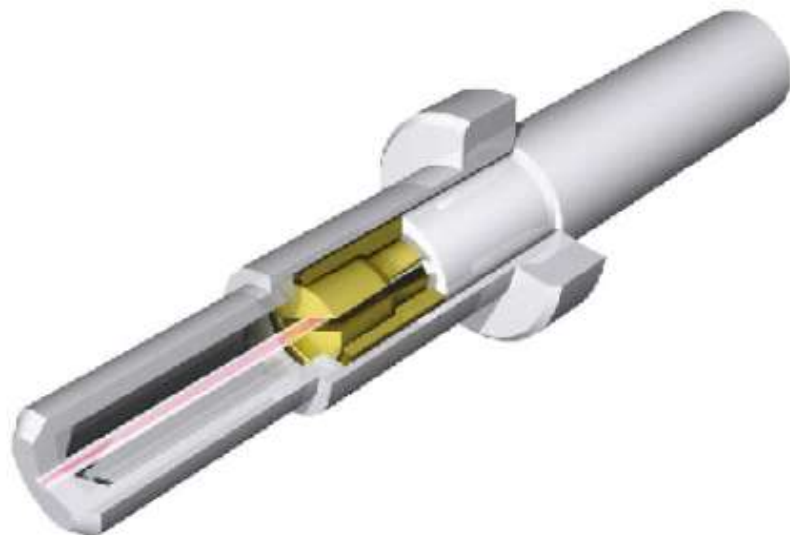
- łączy wysokiej jakości: ceramika alundowa (100-200 połączeń) ceramika cyrkonowa (200 połączeń), węgiel wolframu (ponad 1000 połączeń)**
- łączy średniej i niskiej jakości: polimery, mosiądz, stal nierdzewna,**

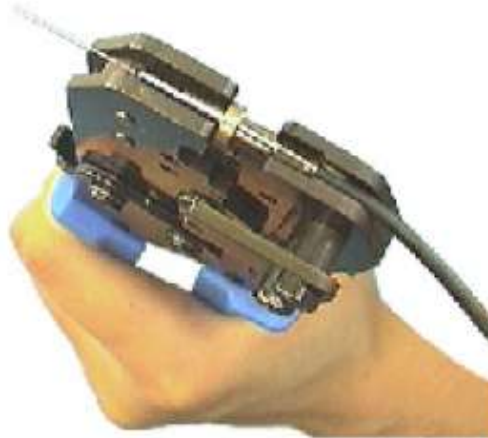
Tuleja łącząca: polimery, ceramika, ceramika cyrkonowa, brąz fosforowy, miedź, węgiel wolframu

TECHNOLOGIA WYKONANIA ZŁĄCZKI

- 1. Złączki klejone przy pomocy żywic epoksydowych utwardzanych na gorąco**
- 2. Złączki klejone technologią HotMelt (3M)**
- 3. Złączki wstępnie zarabiane - bez kleju, bez polerowania (UniCam[®], LithtCrimp+ - AMP)**
- 4. Złączki zaciskane - technika bez kleju (np. LightCrimp - AMP)**

Technologia złączki - złącza zaciskane



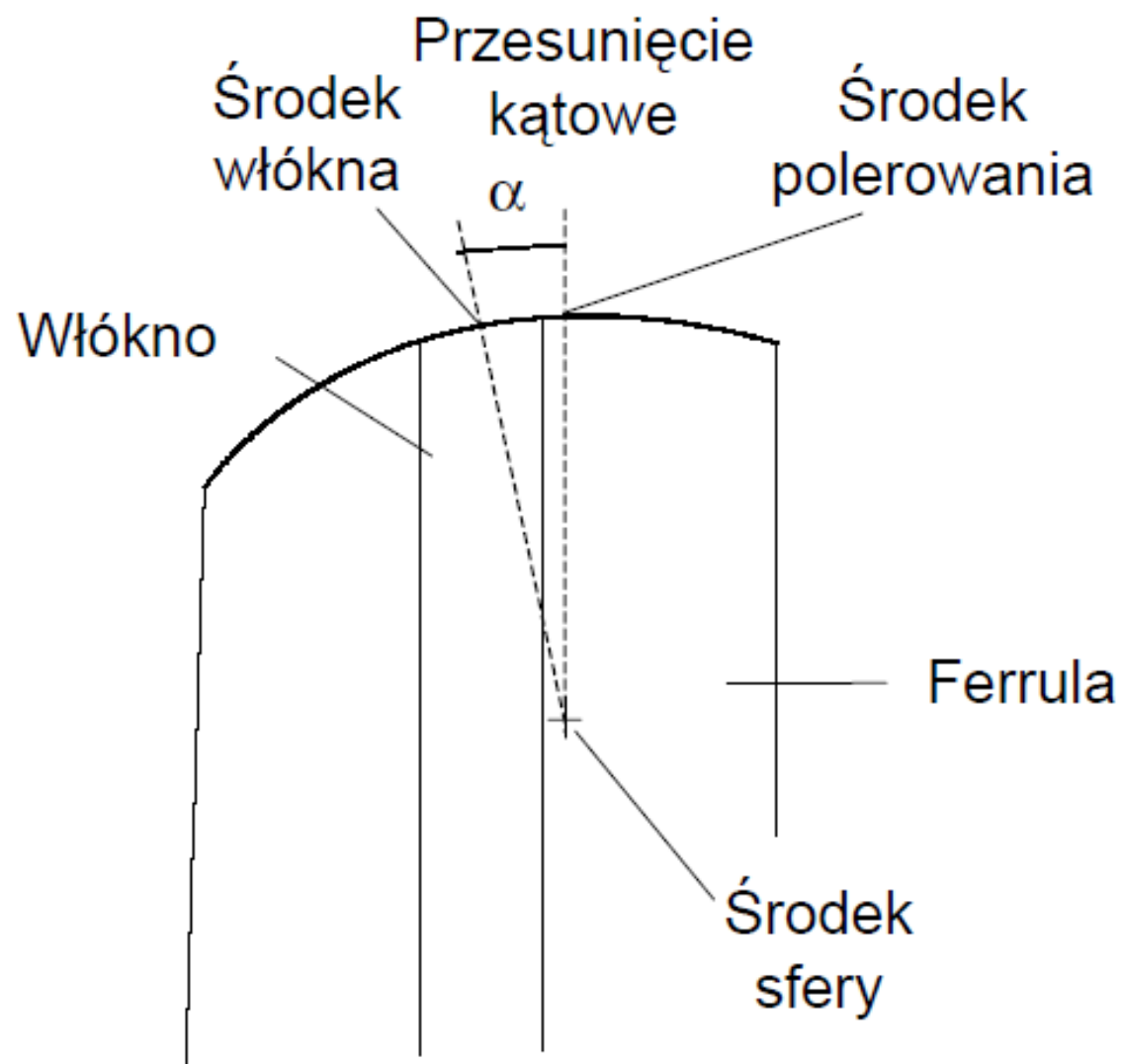
Strip the cord jacket	Squeeze the ferrule	Cleave the fiber
 A hand is shown using a black and blue stripping tool to remove the outer jacket of a black fiber optic cable. The tool has a sharp blade that is being used to cut through the jacket.	 A hand is shown using a blue and black crimping tool to squeeze a metal ferrule onto the end of a fiber optic cable. The tool has a blue handle and a black head with a metal die.	 A hand is shown using a black fiber cleaver to cleave the end of a fiber optic cable. The cleaver has a black handle and a metal head with a sharp blade.

Pomiar i parametry złącza PC i APC

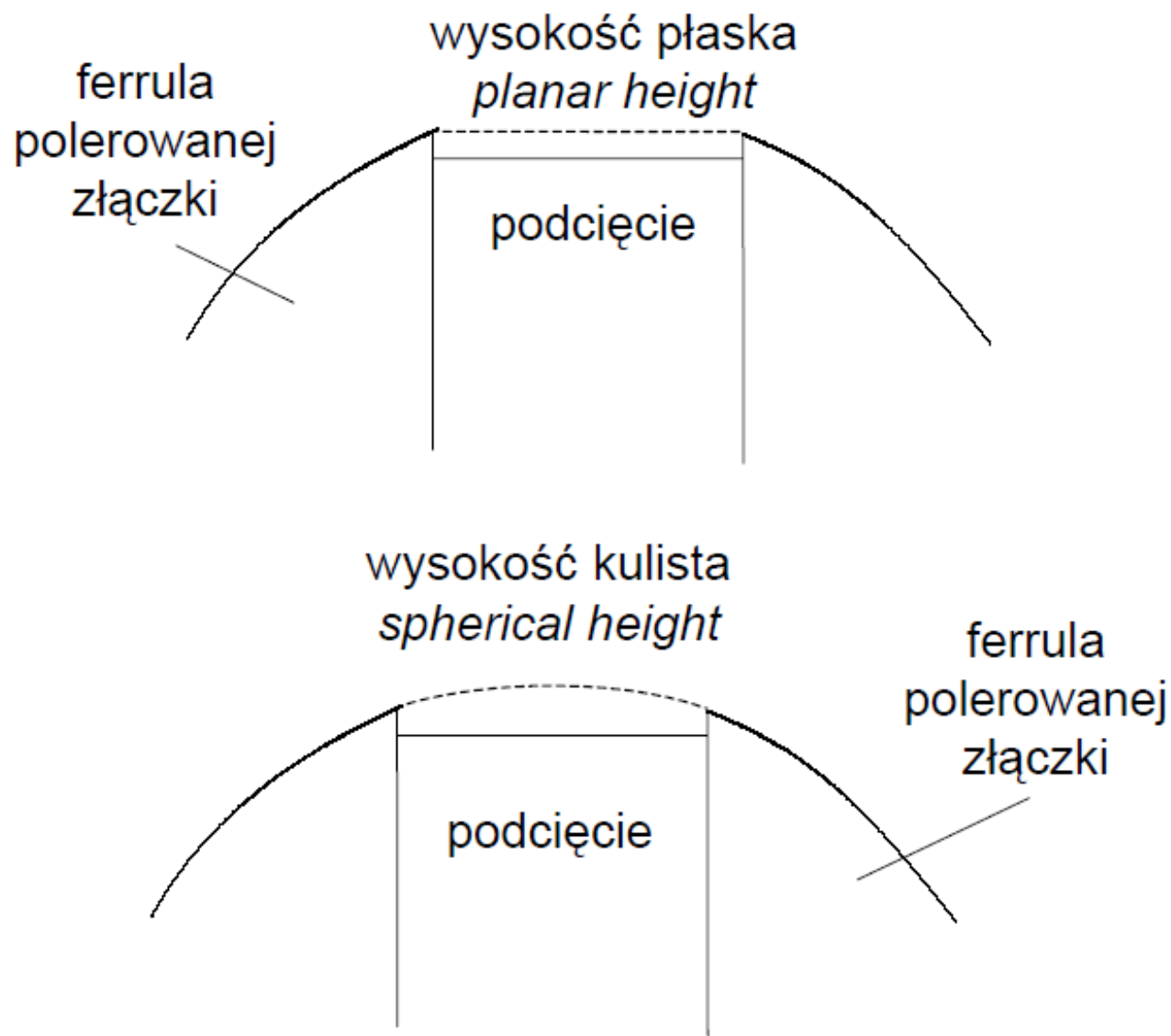
Definicje podstawowych parametrów:

- 1. Promień krzywizny - krzywizna sfery uformowanej na ferruli**
- 2. Wysokość włókna (podcięcie - undercut, nadmiar - protrusion) - odległość na jaką włókno wystaje lub jest zagłębione w ferruli**
- 3. Przesunięcie wierzchołka (Apex offset, offset of the polish, vertex eccentricity) - odległość od najwyższego punktu po polerowaniu do środka włókna**

Przesunięcie - ilustracja



Wysokość włókna - ilustracja



Nowe technologie i konstrukcje złączek światłowodowych

Nowe technologie i rozwiązania konstrukcyjne złączek pojawiają się jako wynik zapotrzebowania na połączenia o większej gęstości upakowania (mniejszy wymiar poprzeczny) i niższej cenie. Zwraca się również uwagę na zwiększenie szybkości wytwarzania złączek.

Pożądana jest również zgodność z istniejącymi technologiami światłowodowymi i sieciowymi. Wyraźnie można zauważyć tendencję do opierania się na standardzie złącza RJ-45.

Prezentowane rozwiązania określane są jako Small Form Factor (SFF)
Connectors

Small Form Factor (SFF) connectors

Porównanie
wielkości złączki
FC i LC (SFF)



SPAWANIE ŚWIATŁOWODÓW

**Spawanie – podstawowa metoda trwałego łączenia
światłowodów.**

Jakość spawów określają:

- **tłumienność własna**
- **wytrzymałość mechaniczna na rozciąganie**

Tłumienność spawu

Tłumienność spawu określona jest przez czynniki:

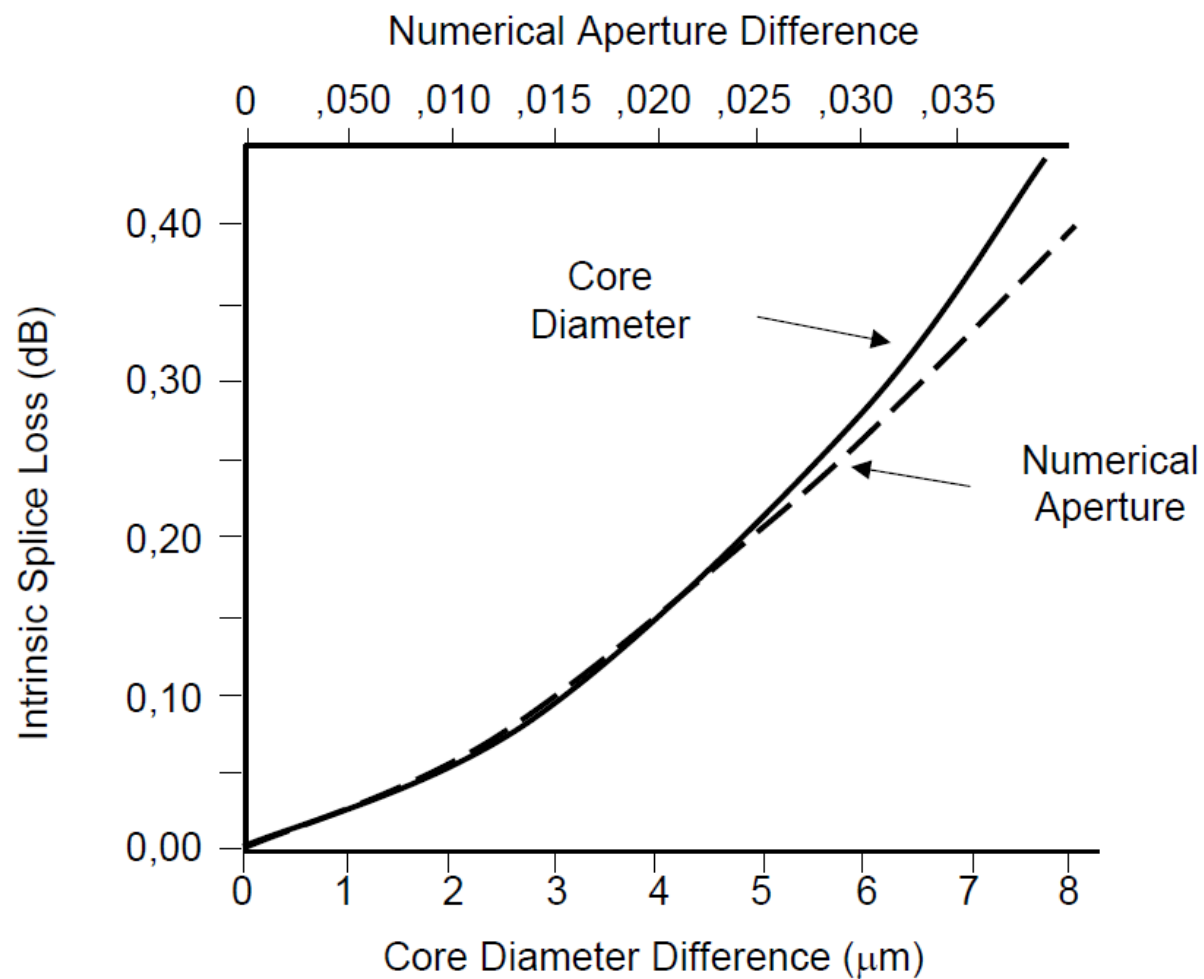
- wewnętrzne (określone jakością światłowodu, związane z wytwórcą światłowodu, użytkownik nie ma wpływu na powstałe straty)**
- zewnętrzne (związane z jakością procesu spawania, mogą być minimalizowane przez dobór sprzętu i kontrolę procesu)**

Wewnętrzne czynniki tłumienia – gradientowe włókna wielomodowe

- 1. niedopasowanie średnicy rdzenia**
- 2. niedopasowanie apertury numerycznej (NA)**
- 3. niedopasowanie profilu współczynnika załamania**
- 4. błędy koncentryczności rdzenia względem płaszcza (błąd koncentryczności może być kompensowany w spawarce zgrywającej światłowody względem średnicy rdzenia)**

Tłumienie światłowodów MM jest kierunkowe względem powyższych czynników, to znaczy tłumienie wystąpi tylko przy transmisji z włókna o większej średnicy rdzenia do mniejszej, większej NA do mniejszej.

Wpływ niedopasowania NA i średnicy rdzeni na tłumienie spawu włókien MM (teoria)



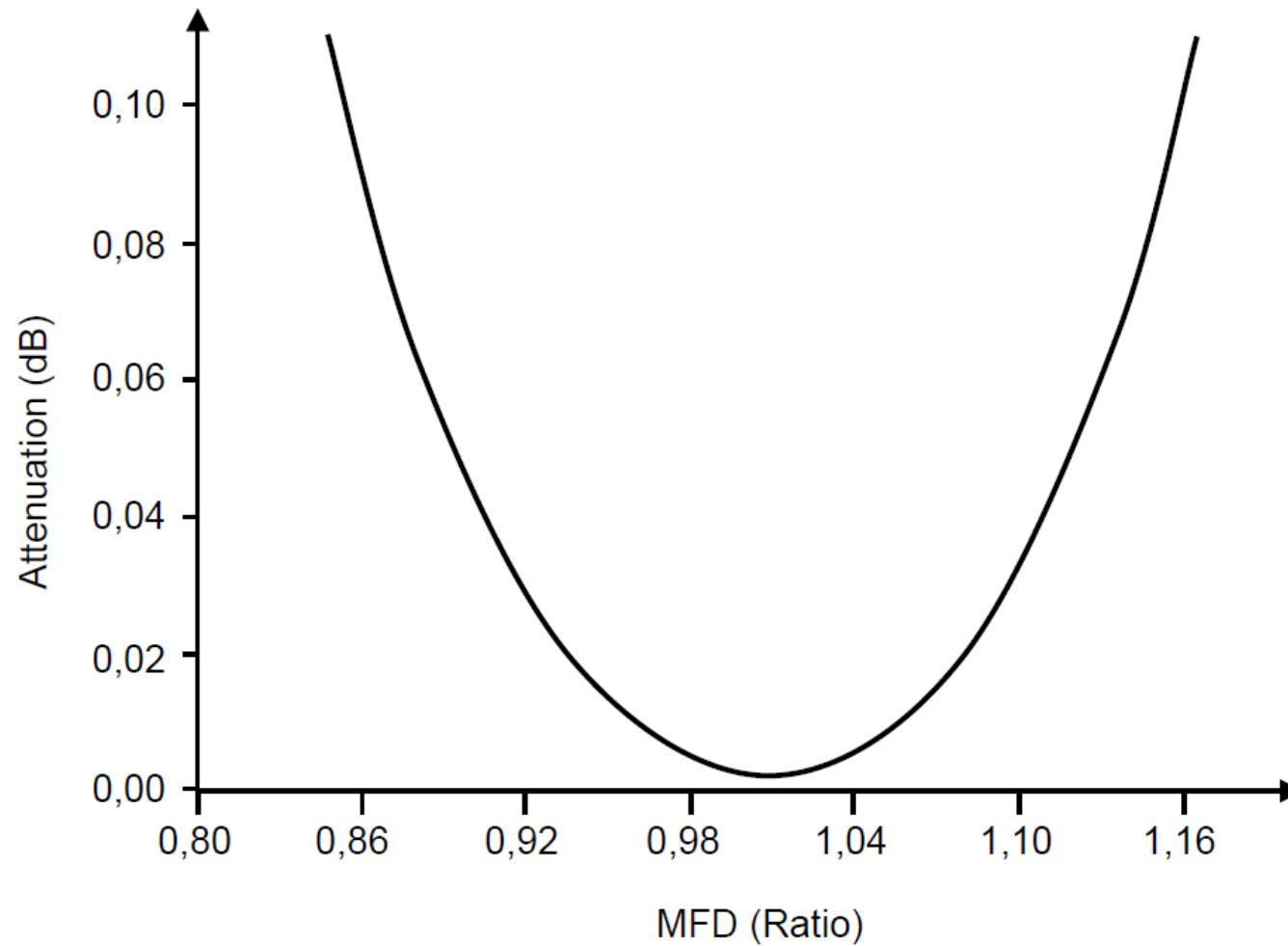
Wewnętrzne czynniki tłumienia – standardowe włókna jednomodowe

Podstawową przyczyną tłumienia jest niedopasowanie średnicy pola modów (MFD) łączonych włókien.

Straty są bezkierunkowe (takie same dla obu kierunków propagacji).

Dla włókien spełniających wymogi normy straty wywołane niedopasowaniem MFD są niewielkie ($<0,04\text{dB}$).

Wpływ niedopasowania MFD na tłumienie spawu włókien SM (teoria)



Zewnętrzne składniki tłumienia złącza

- Przemieszczenie wzdluzne. Separacja prowadzi do zmniejszenie natężenia wiązki prowadzonej do drugiego światłowodu; w szczelinie tworzą się pasożytnicze rezonatory.
- Przemieszczenie poprzeczne. $1\text{ }\mu\text{m} \rightarrow 0,2\text{ dB}$, $2,5\text{ }\mu\text{m} \rightarrow 1\text{ dB}$
- Nie-prostopadłe końcówki włókien. $1\text{ deg} \rightarrow 0,2\text{ dB}$, $2\text{ deg} \rightarrow 1\text{ dB}$
- Niedopasowanie katowe
- Niedoskonałości powierzchni czołowych (porowatość, nierównomierność)



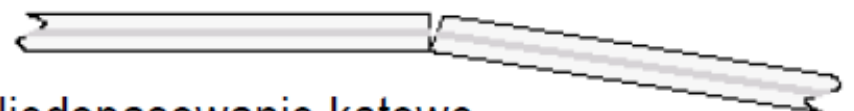
Przemieszczenie wzdluzne



Przemieszczenie poprzeczne



Nieprostopadłe końcówki włókien



Niedopasowanie katowe



Niedoskonałości powierzchni

SPAWANIE ŚWIATŁOWODU – ASPEKTY TECHNICZNE

Metoda spawania światłowodów daje nam najlepsze rezultaty związane z jakością połączenia. W tym przypadku jakość wykonanego spawu zależy od jakości spawarki i procesu przygotowania spawu, ale najczęściej uzyskiwane wyniki tłumienności mieszczą się w przedziale od 0,01dB do 0,1dB.

Jest to najdoskonalsza z metod łączenia światłowodów wymagająca dużej dokładności ze strony operatora.

WYPOSAŻENIE STANOWISKA DO SPAWANIA ŚWIATŁOWODÓW

Aby zespawać światłowód wyposażenie montera powinno posiadać:

- **Spawarka światłowodowa**
- **Strippers – cążki do zdejmowania warstwy ochronnej światłowodu**
- **Zestaw do czyszczenia światłowodu**
- **Obcinarka włókien światłowodowych**
- **Zestaw osłonek termokurczliwych do zabezpieczania wykonanego spawu**

SPAWARKA ŚWIATŁOWODOWA – KRYTERIA WYBORU

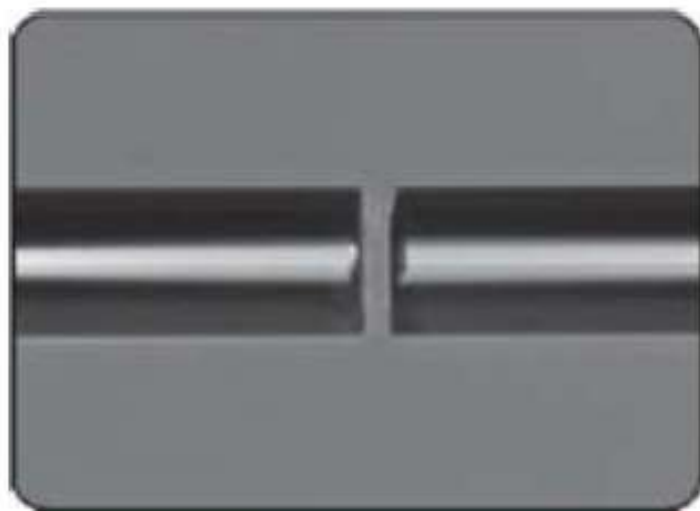
Jedną z najpopularniejszych spawarek światłowodowych na rynku są spawarki Ericssona, który rozpoczął i opatentował ponad 25 lat temu pierwszą spawarkę światłowodową serii FSU. Obecnie w produkcji znajdują się spawarki serii FSU 15FI charakteryzujące się imponującymi parametrami wykonywanego spawu.

Wybierając spawarkę światłowodową należy kierować się:

- Dokładnością wykonywania spawu (0.01dB)**
- Szybkością wykonywania spawu (15s)**
- Szybkością zgrzewania rurki termokurczliwej (30s)**
- Typem centrowania –centrowanie w osi X,Y,Z**
- Wagą i wymiarami.**

SPAWARKA ŚWIATŁOWODOWA – SZACOWANIE TŁUMIENNOŚCI SPAWU

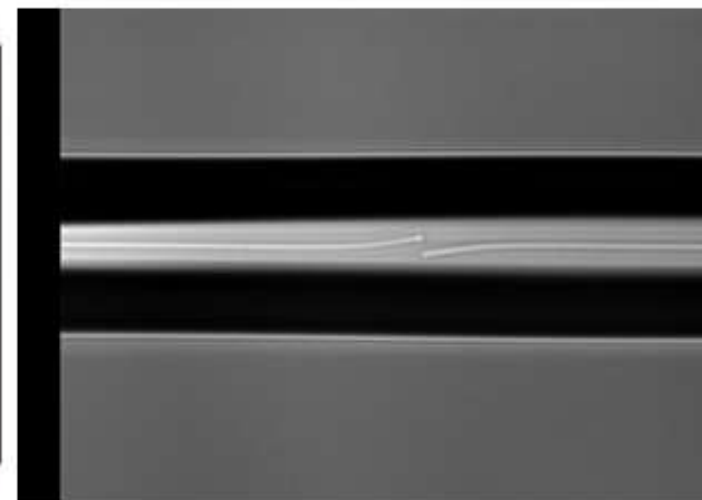
Szacowanie tłumienności wykonanego spawu odbywa się zazwyczaj za pomocą analizy tzw. "Gorących obrazów". Podczas wykonywania spawu (przy włączonym łuku) spawarka wykonuje szereg zdjęć połączenia i automatycznie porównuje je z obrazami zapamiętanymi w pamięci wewnętrznej. Na tej podstawie szacowana jest tłumienność wykonywanego spawu.



Obraz „zimny” przed wykonaniem spawu.



Obraz „gorący”.



Obraz „gorący” po wykonaniu spawu.

Gorące obrazy pokazują światło generowane przez światłowody, które jest efektem podgrzewania łukiem elektrycznym. Zazwyczaj obrazy te dają bardzo dobrą informację o rdzeniu, ponieważ rdzeń światłowodu zbudowany jest z materiału generującego silniejsze promieniowanie termiczne niż płaszcz światłowodu, co sprawia, że na ekranie monitora jest on znacznie jaśniejszy. Zimne obrazy prezentują słabe światło przenikające przez światłowód, pochodzące z tła. Zimne obrazy również zawierają informacje o rdzeniu, które są automatycznie pobierane i analizowane przez spawarkę.

STRIPPERY

Na rynku jest bardzo dużo producentów oferujących różnego rodzaju strippery do zdejmowania powłoki ochronnej światłowodów.

Najlepiej jest posiadać kilka stripperów regulowanych, dopasowanych ręcznie do szerokości tulei ochronnej.



ZESTAW DO CZYSZCZENIA ŚWIATŁOWODU

Tego typu zestawy można nabyć bezpośrednio u przedstawiciela firmy, w której kupowaliśmy spawarkę, niemniej jednak w celach oszczędnościowych można stosować zwykłe waciki higieniczne namoczone w roztworze alkoholowym.



OBCINARKA WŁÓKIEN ŚWIATŁOWODOWYCH

Po samej spawarce światłowodowej, obcinarka jest jednym z najważniejszych punktów wyposażenia stanowiska do spawania

światłowodów. Lata obcinarki stosowano światłowodowe. Jednak światłowodowe wraz z wykonywania spawu przycięcia i oczyszczenia



Noże światłowodowe

czoła światłowodu z dokładnością do 0,5 stopnia, co z kolei jest jednym z głównych czynników wpływających na poprawność wykonywanego spawu.

temu zamiast noże- tzw. łamacze dzisiejsze spawarki poprawą poziomu wymagają dokładnego czoła światłowodu. umożliwiają obcinanie

PROCES WYKONYWANIA SPAWU

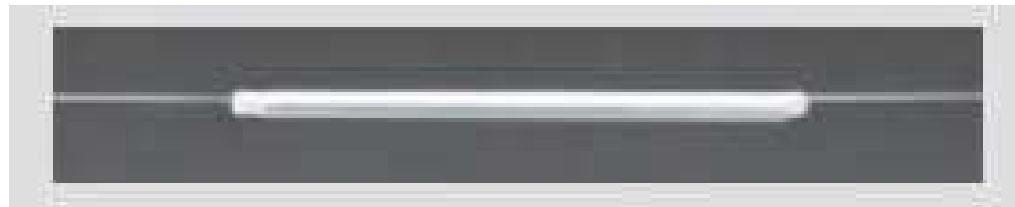
Proces wykonywania spawu składa się z następujących czynności:

- **Nałożenie rurki termokurczliwej**
- **Przygotowanie włókna**
- **Umieszczenie włókna w v-rowkach spawarki i wstępne oględziny czoła światłowodów**
- **Spawanie**
- **Zgrzewanie rurki termokurczliwej**

Ważne jest zachowanie kolejności wymienionych czynności w celu wykonania poprawnego spawu.

NAŁOŻENIE RURKI TERMOKURCZLIWEJ

W pierwszej kolejności należy pamiętać o zabezpieczeniu spawu po jego wykonaniu. W tym celu należy na jedno włókno nałożyć rurkę termokurczliwą, która po wykonaniu spawu zostanie zgrzana i tym sposobem zabezpieczy wykonane połączenie. Rurki termokurczliwe posiadają dodatkowo wtopiony drucik, którego zadaniem jest zwiększenie wytrzymałości połączenia. W przypadku, gdy użytkownik zapomni umieścić rurkę termokurczliwą przed przygotowaniem włókna, można ją umieścić po procesie przygotowania nie zapominając o ponownym czyszczeniu włókien.



PRZYGOTOWANIE WŁÓKNA

Są trzy podstawowe kroki, które należy wykonać, zanim włókno światłowodowe zostanie umieszczone w spawarce.

- stripping (zdjęcie izolacji)**
- cleaning (czyszczenie włókna)**
- cleaving (przycięcie włókna)**

Stripping- zdjęcie izolacji światłowodu

- Za pomocą odpowiedniego narzędzia (stripper) usuń conajmniej 50mm zewnętrznej powłoki światłowodu (rys. A i B)
- Usuń około 30mm powłoki wewnętrznej (rys. C)



Cleaning- czyszczenie włókna

- **Pozbawione izolacji włókno oczyścić za pomocą chusteczki lub bawełnianego tamponu nasączonego propanolem lub etanolem.**

Najprostszym sposobem oczyszczenia włókna jest zastosowanie nasączonych pałeczek higienicznych.

- **Po oczyszczeniu włókna sprawdź czy v-rowki w spawarce są także oczyszczone.**



Cleaving- przycinanie włókna

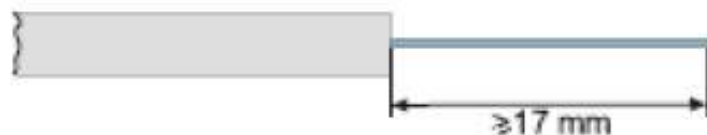
Przycinaj włókna za pomocą specjalnego narzędzia- obcinarki włókien światłowodowych z nożem diamentowym(zobacz zdjęcie obok). Postępuj zgodnie z instrukcją producenta przycinarki.



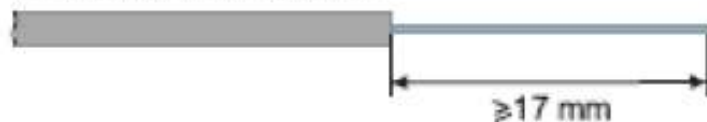
Przycinarka do włókien światłowodowych EFC 20

Aby spawanie przebiegło pomyślnie, należy upewnić się, czy zachowane zostały poniższe parametry obciętego włókna:

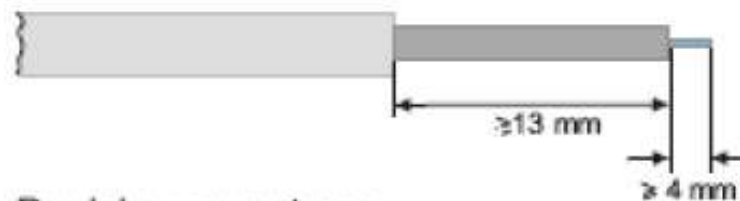
Ścisła powłoka zewnętrzna



Powłoka wewnętrzna



Luźna powłoka zewnętrzna



Powłoka wewnętrzna



SPRAWDZENIE LISTY PRZYGOTOWANIA WŁÓKNA

Jak wcześniej wspomniano, przygotowanie włókna światłowodu do spawania jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na jakość i wytrzymałość spawu. Dlatego niniejsza lista powinna pomóc upewnić się, czy wszystkie konieczne operacje zostały wykonane:

- **Wybrano odpowiednie v-rowki**

Należy wspomnieć, że spawarki światłowodowe posiadają dwa rodzaje v-rowków: jednodomowe oraz wielodomowe. Różnica między tymi v-rowkami polega tylko i wyłącznie na ich szerokości.

- **Mocowania światłowodów i v-rowki są czyste**
- **Termokurczliwa osłonka spawu została założona na światłowód**
- **Ze światłowodów zdjęta jest izolacja**
- **Światłowody zostały oczyszczone**
- **Końcówki światłowodów zostały odpowiednio i dokładnie przycięte**
- **Długość włókien pozbawionych powłok są zgodne z wymaganiami z rysunku powyżej**

WSTĘPNE OGŁĘDZINY CZOŁA WŁÓKNA ŚWIATŁOWODOWEGO

Po umieszczeniu włókien światłowodowych w v-rowkach spawarki należy dokonać oceny czoła światłowodu za pomocą zimnych obrazów (zdjęcie obok). Obrazy tego typu tworzone są przy wykorzystaniu dwóch lub trzech kamer skierowanych na światłowód pod kątem 45°.



Obok przedstawiono wizualizację potencjalnych uszkodzeń czoła spawanych włókien przy pomocy zimnych obrazów.



UWAGA

Większość spawarek mimo wstępnej oceny czoła przez użytkownika, dokonuje automatycznego ich sprawdzenia pod względem dokładności przycięcia i czystości włókna. Co więcej, w przypadku niedużych zanieczyszczeń spawarki umożliwiają automatyczne czyszczenie poprzez tzw. wstępny łuk spawania. W wyniku wykrycia któryś z przedstawionych przykładów nieprawidłowości należy ponownie przeprowadzić proces przygotowania włókna.

SPAWANIE WŁÓKIEN

Po przygotowaniu włókien i umieszczeniu ich w v-rowkach spawarki światłowodowej należy sięgnąć do instrukcji obsługi spawarki aby wybrać odpowiedni program spawania (w zależności od typu spawanego światłowodu).

Dodatkowo niektóre spawarki światłowodowe umożliwiają tworzenie własnych programów spawania. Jest to istotne w przypadku, gdy dokonujemy spawania światłowodów różnych producentów - lecz nie jest to regułą. W takim przypadku spawając włókna jednodomowe spawarka „przepala” lub powoduje zniekształcenia włókien uniemożliwiając uzyskanie poprawnej tłumienności spawu. Wówczas najlepszym rozwiązaniem problemu jest stworzenie nowego programu z własnymi ustawieniami prądów spawania.

Po wyborze odpowiedniego programu spawania przystępujemy do wykonania spawu. Po zakończeniu procesu spawania spawarka automatycznie dokona szacowania wykonanego połączenia informując użytkownika o jego tłumienności.

Warto przypomnieć, że wartości dobrze wykonanego spawu powinny mieścić się w granicach od 0,01dB do 0,05dB.

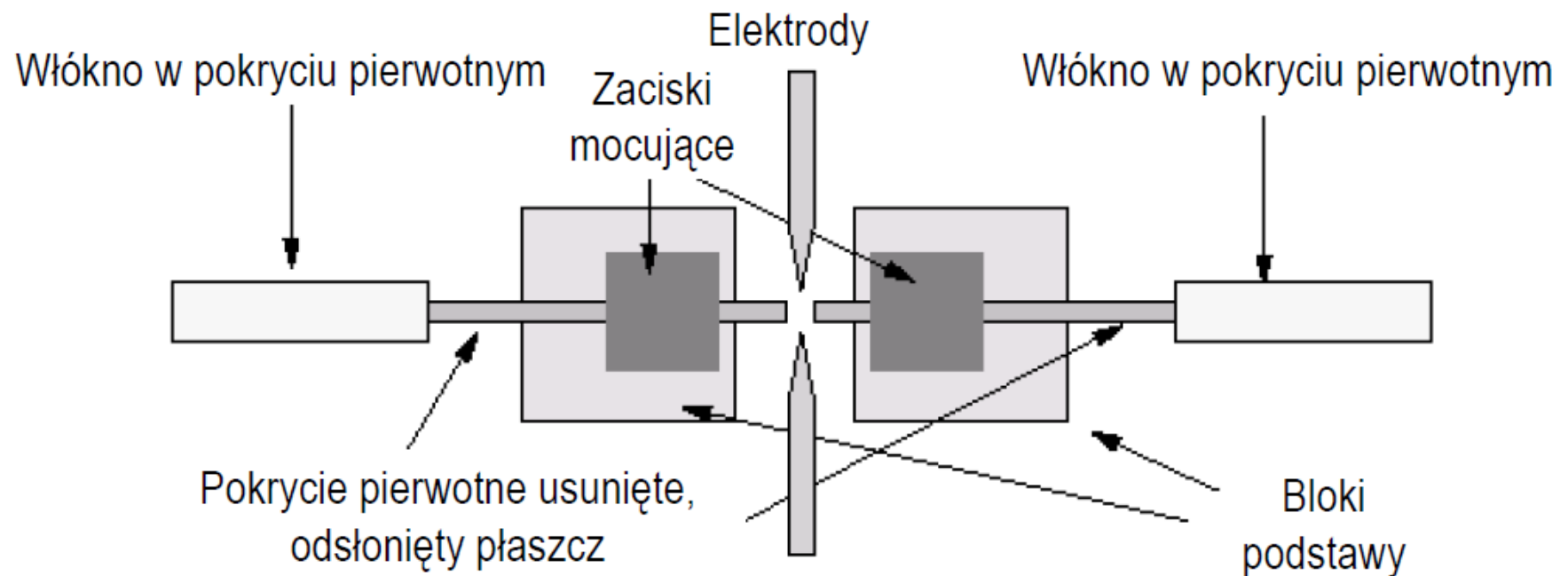
SPAWANIE W ŁUKU ELEKTRYCZNYM –SCHEMAT

1. Z każdego włókna usuwa się pokrycie pierwotne, następnie włókna są cięte pod kątem prostym

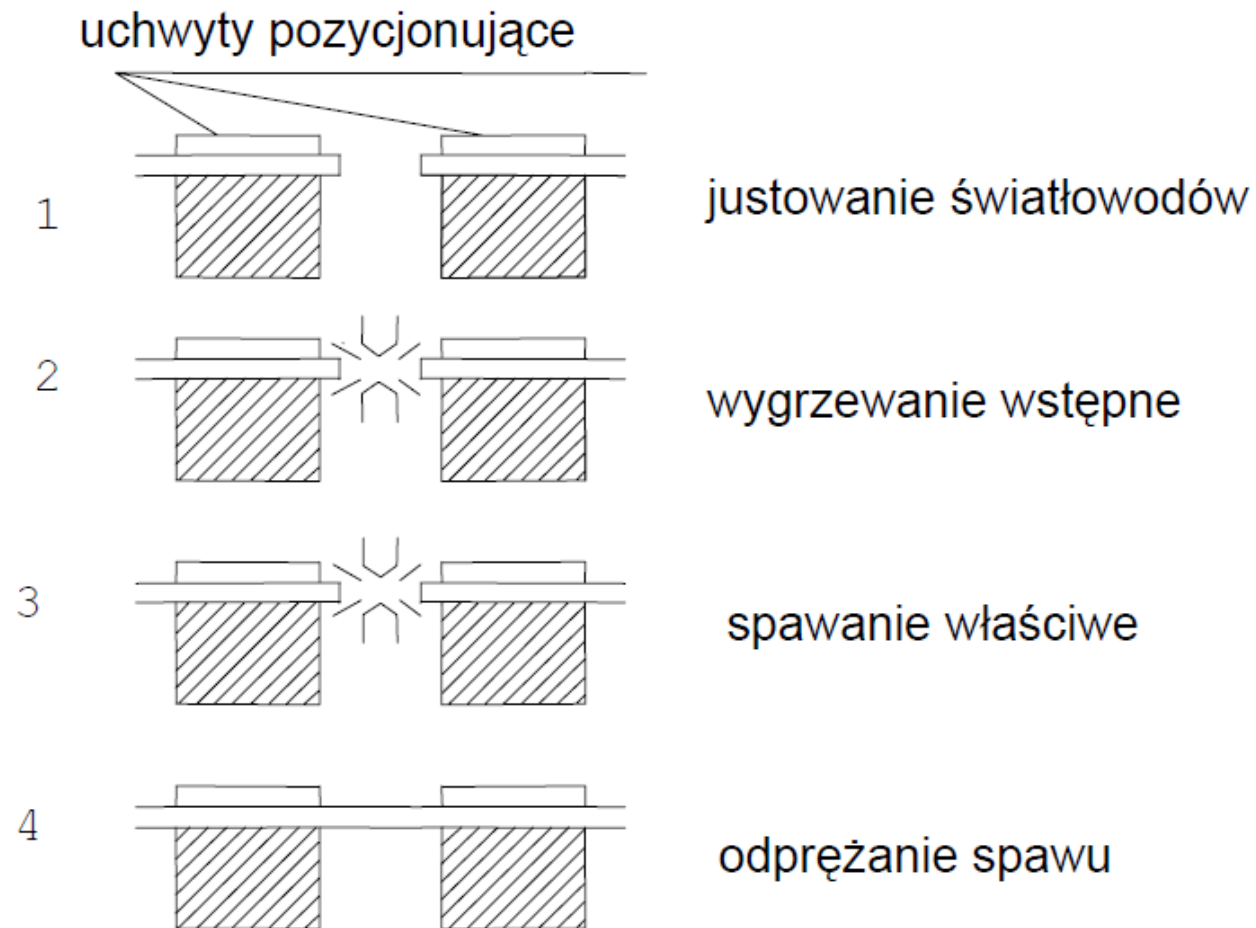
2. Końce włókien są umieszczane w odległości kilku mm od siebie i mocowane za pomocą zacisków

3. Włókna są pozycjonowane automatycznie i zbliżane do siebie na odległość $\sim \mu\text{m}$

4. Po wyjustowaniu włókien włączany jest łuk elektryczny, a włókna zbliżane aż do wzajemnego kontaktu. Ciepło łuku topi szkło i tworzy się stałe połączenia światłowodów.



SPAWANIE W ŁUKU ELEKTRYCZNYM – ETAPY



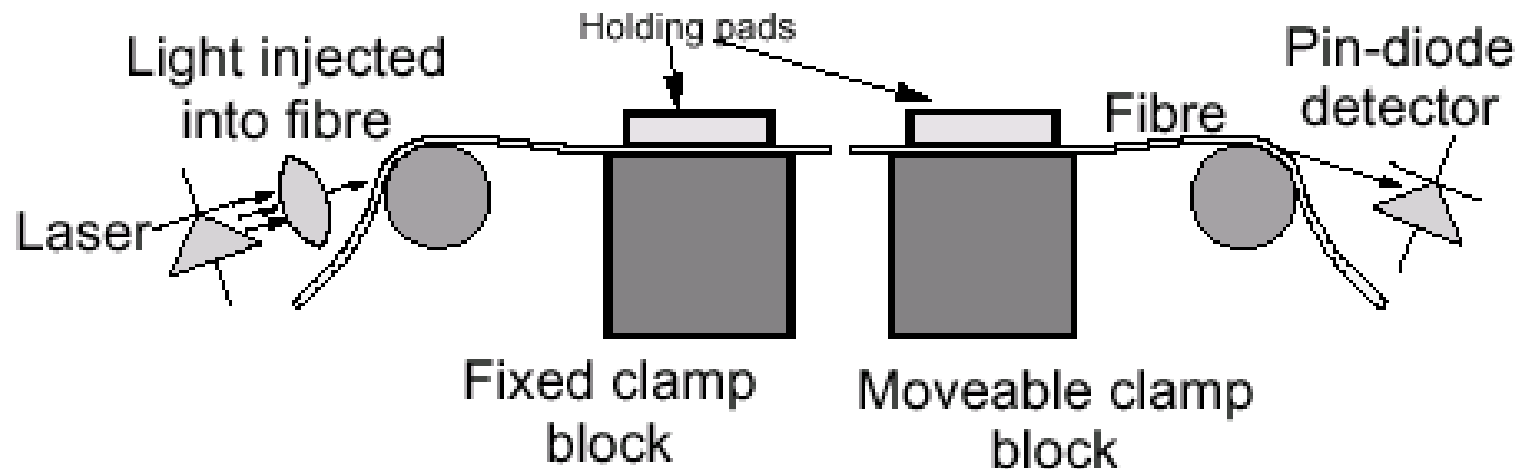
ZGRYWANIE ŚWIATŁOWODÓW

ZGRYWANIE ŚWIATŁOWODÓW

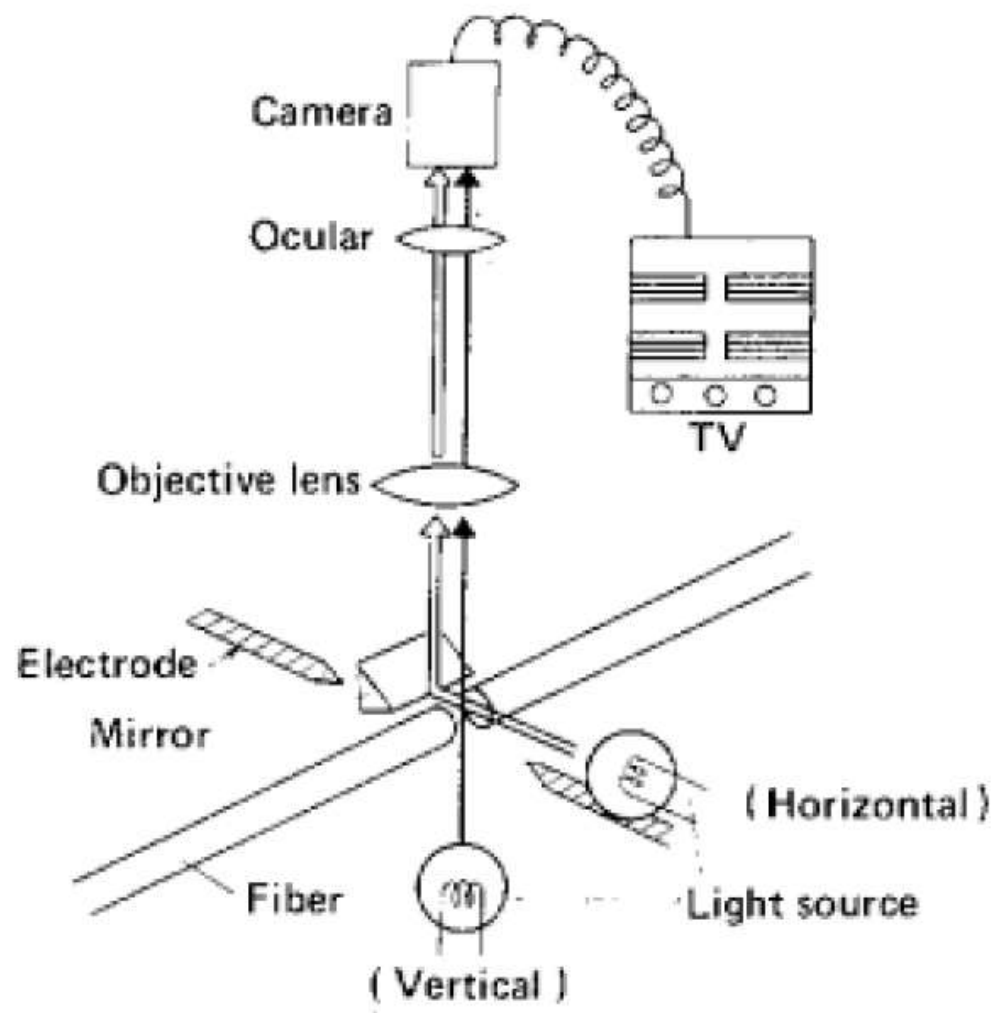
- **Metoda ręczna –po zbliżeniu światłowodów ustalenie położenia światłowodów w kierunku poprzecznym**
- **Metody automatyczne:**
 - 1.kontrola mocy transmitowanej z wykorzystaniem źródła i detektora(niezbędny dostęp do obu końców światłowodu)
 - 2.pomiar za pomocą reflektometru optycznego
 - 3.pomiar metodą LID (Local injection and detection)
 - 4.dopasowanie na podstawie obserwacji profilu (rdzenia lub płaszczu, obraz wideo lub „gorący” obraz)
 - 5.dopasowanie pasywne wg. położenia V-rowków (dokładność zależy od koncentryczności rdzenia i płaszczu)

Zgrywanie światłowodów –metoda LID

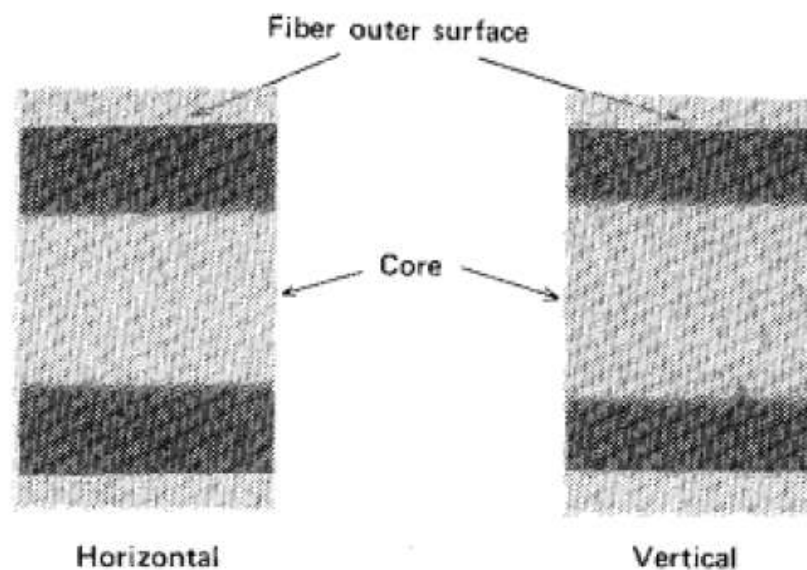
- Usuwamy pokrycie pierwotne na długości kilku cm.
- Po zamocowaniu w spawarce włókno jest zginane na walcach.
- Światło lasera (lub diody LED) jest ogniskowane na zgięciu. Część energii ulega konwersji w mody prowadzone.
- Na drugim walcu następuje wypromieniowanie części energii.
- Jedno z włókien jest przemieszczane tak, aby moc rejestrowana przez detektor była największa.



Zgrywanie światłowodów – obserwacja mikroskopowa profilu rdzenia



Schemat urządzenia
do zgrywania światłowodów



Rejestrowany obraz
mikroskopowy

CENTROWANIE ŚWIATŁOWODÓW – funkcjonalność spawarki.

Centrowanie światłowodów wiąże z funkcjonalnością spawarki światłowodowej.

Istnieją dwa typy centrowania: V-groove oraz centrowanie według osi X,Y,Z.

Same metody centrowania włókna stosowane w spawarkach o typie centrowania X,Y,Z można podzielić na:

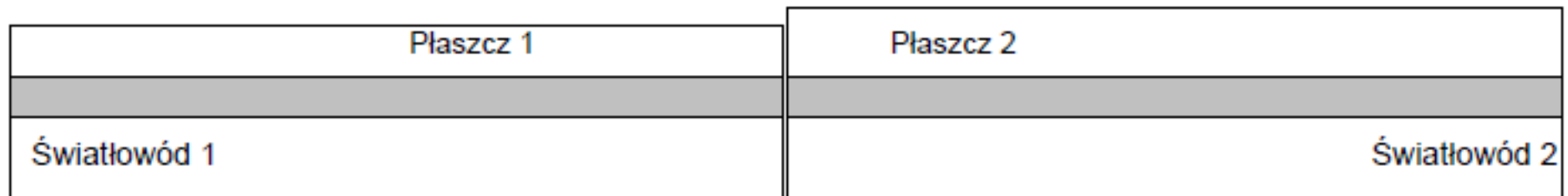
- Centrowanie do rdzenia**
- Centrowanie do płaszcza**

Wybór metody centrowania wiąże się przede wszystkim z dokładnością wykonania spawu jak i z jego wytrzymałością.

CENTROWANIE DO RDZENIA

Daje bardzo dobre wyniki tłumienności wykonanego spawu, ale może być przyczyną słabej jego wytrzymałości.

Metoda ta polega na idealnym ustawieniu i wyrównaniu rdzeni spawanych światłowodów (poniższy rysunek). W wyniku tego rodzaju centrowania w miejscu wykonania spawu widoczna jest cienka linia.



Obecnie stosuje się tą metodę spawania tylko i wyłącznie w przypadku dużej niecentryczności światłowodów.

CENTROWANIE DO PŁASZCZA

Płaszcz 1	Płaszcz 2
Światłowod 1	Światłowod 2

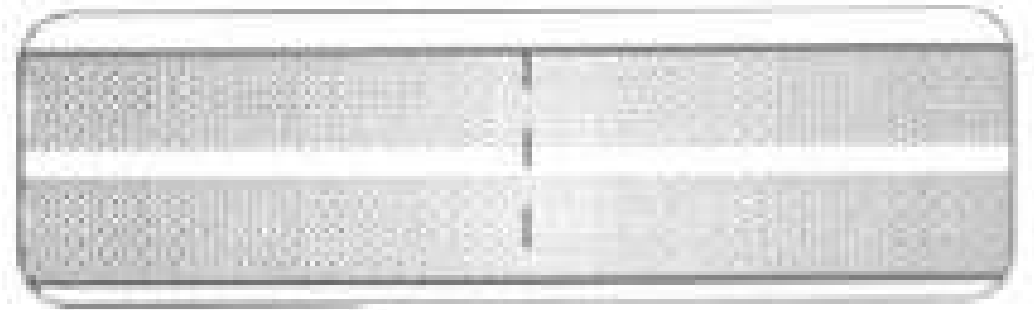
Umożliwia wykonanie spawu o dobrej wytrzymałości jednocześnie zapewniając niską jego tłumienność. Należy zaznaczyć, że przy centrowaniu do płaszcza należy zwrócić szczególną uwagę na centryczność spawanych światłowodów.

Przy dużej różnicy w średnicy płaszcza może się okazać, że wynik tłumienności nie będzie satysfakcjonujący mimo bardzo dobrej wytrzymałości spawu.

W starych spawarkach światłowodowych wybór metody centrowania odbywał się ręcznie. Obecnie spawarki same dobierają metodę centrowania dla której uzyskany rezultat tłumienności spawu będzie najlepszy.

PROBLEMY WYKRYTE PODCZAS SPAWANIA

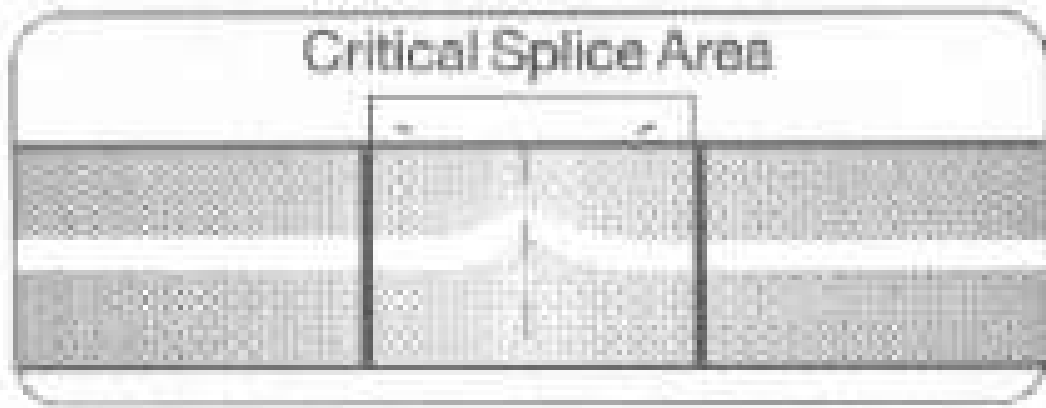
Po zakończeniu procesu łączenia światłowodów, spawarki umożliwiają użytkownikowi dokonanie oględzin wykonanego spawu za pomocą tzw. Gorących obrazów. Na ich podstawie użytkownik jest w stanie stwierdzić, czy wykonany spaw jest prawidłowy.



Przy prawidłowym spawie, rdzeń oraz płaszcz światłowodu powinny tworzyć prostą linię (zobacz obok). Jeżeli tak nie jest, może to oznaczać, iż wystąpił jeden z opisanych poniżej problemów, typowych dla krytycznego obszaru spawu.

Wygięcie rdzenia

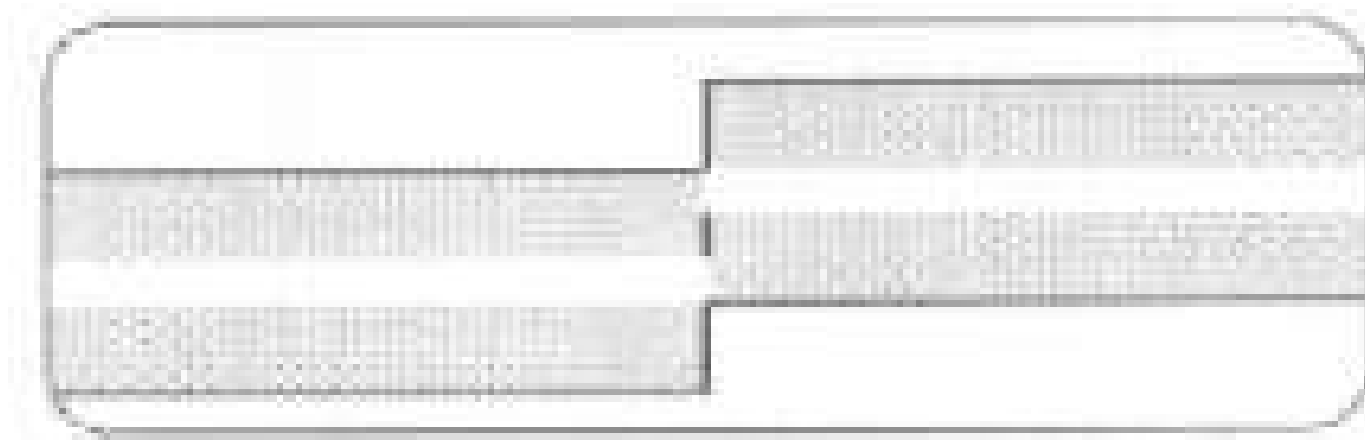
Czy rdzeń światłowodu jest prosty? (biała linia pośrodku włókna) Wygięcie rdzenia powodowane jest zazwyczaj złym przycięciem światłowodu. Skutkuje to zwiększeniem straty sygnału na połączeniu. W najnowszych spawarkach spawarka dokonuje automatycznego sprawdzenia cięcia włókna i przy dużych odchyłkach natychmiast informuje o tym użytkownika.



Spaw niecentryczny

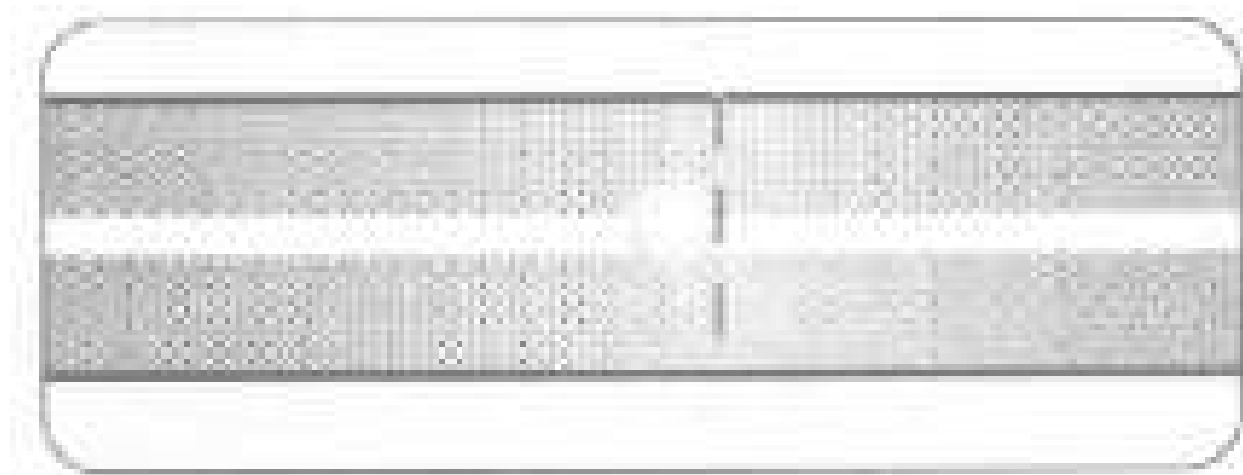
Niecentryczne spawanie zachodzi, gdy włókna zostaną źle ułożone. Niemniej, podczas spawania sytuacja ta nie powinna mieć miejsca.

Dlatego należy upewnić się, czy włókno nie poruszyło się podczas centrowania lub w chwili spawania. Problem ten może oznaczać także uszkodzenie spawarki.



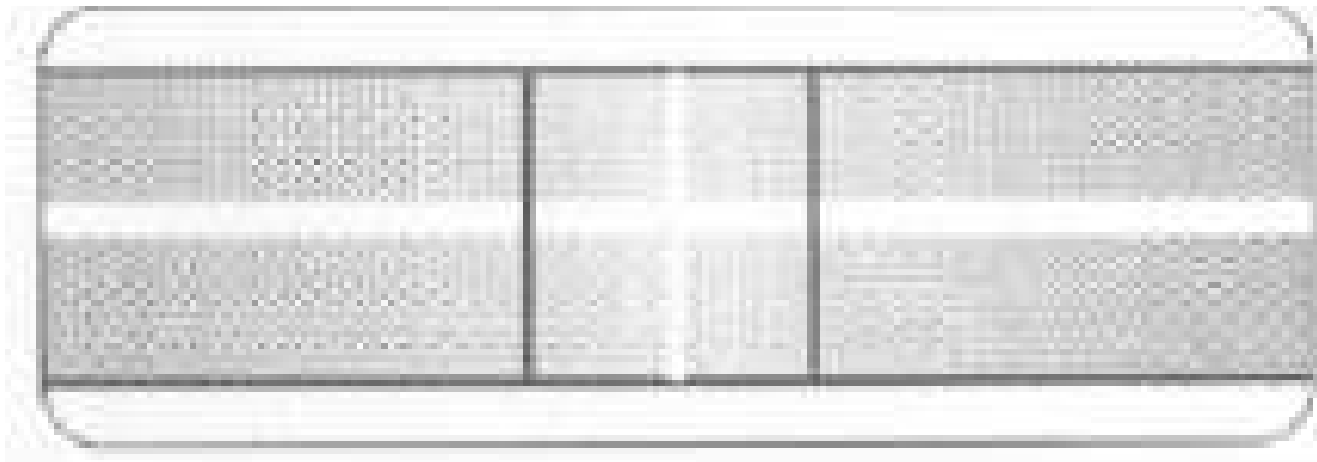
Gorące plamki

Gorąca plamka to skaza spowodowana zanieczyszczeniem na włóknie, złym przycięciem, lub pęcherzykiem powietrza w wadliwym światłowodzie. Gdy gorąca plamka zlokalizowana jest na zewnątrz włókna, moc spawania jest zmniejszana, a jeśli wewnątrz, to taki spaw powoduje zwiększenie straty na złączu. Poza tym w przypadku wykrycia gorącej plamki w płaszczu światłowodu powoduje utratę jego właściwości wytrzymałościowych - mimo dobrej jakości tłumienia połączenia.



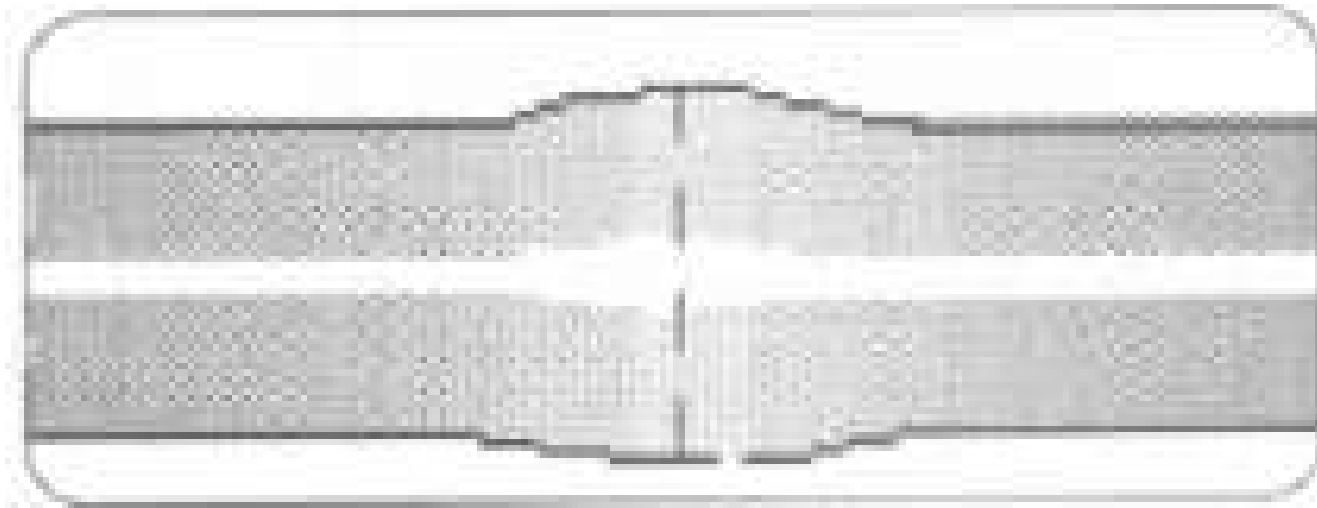
Biała pionowa linia

Biała pionowa linia na końcach spawanych włókien pojawia się zazwyczaj wówczas, gdy nie zostały one dokładnie oczyszczone. Może być to spowodowane czyszczeniem za pomocą zanieczyszczonego rozpuszczalnika, złym przycięciem włókna, lub zbyt niskim prądem spawania. Problem ten może spowodować dodatkową stratę na spawie oraz redukcją jego wytrzymałości.



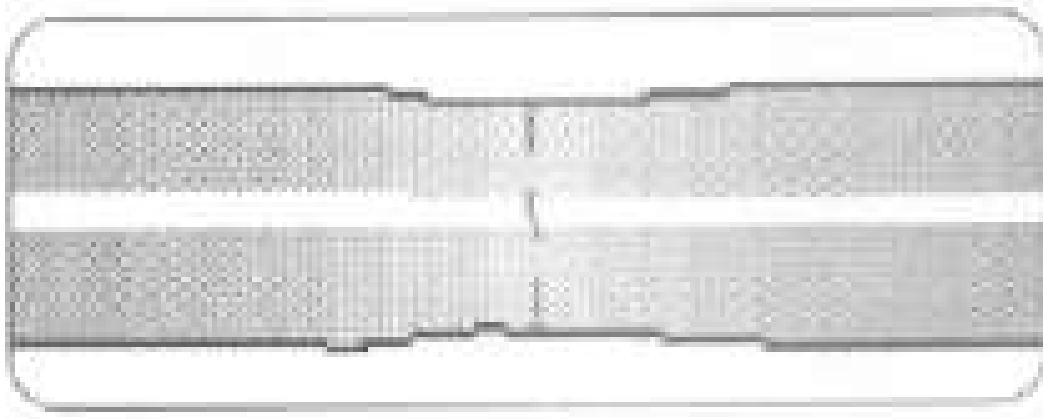
Zgrubienie na złączy

Zgrubienie jest zazwyczaj efektem użycia złych parametrów spawania, dlatego należy sprawdzić program przed powtórным spawaniem.



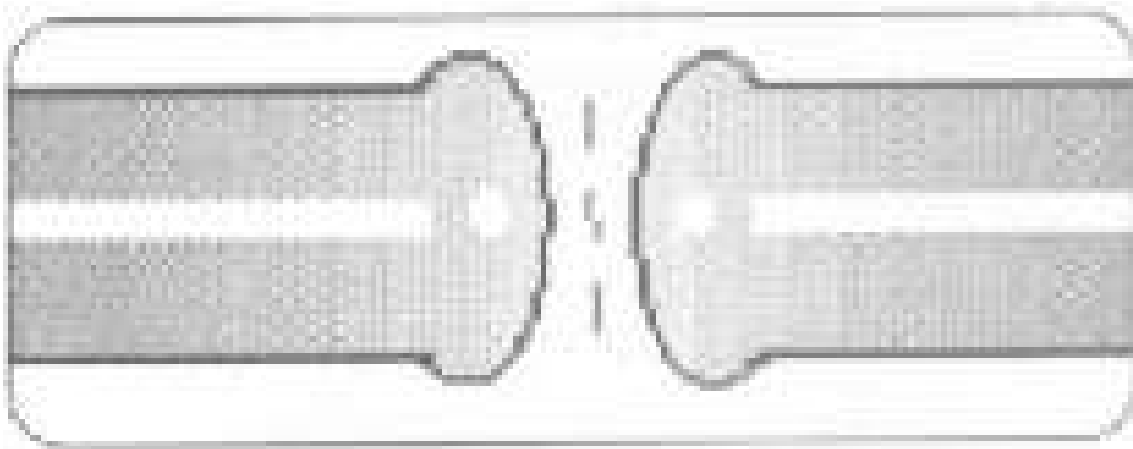
Zwężenie na złączu

Jeżeli obszar spawania jest cieńszy niż średnica światłowodu, oznacza to, że albo prąd spawania był za wysoki, albo włókna nie zaszły na siebie prawidłowo. Sprawdź parametry spawania przed jego powtórzeniem.



Przerwa

Najczęstszą przyczyną braku połączenia spawanych włókien są zazwyczaj brudne elektrody, za wysoki prąd spawania, lub pozostałości po niedokładnie usuniętym po płaszczu światłowodu. Sprawdź te problemy przed ponownym przystąpieniem do spawania.



SPRAWDZANIE WYTRZYMAŁOŚCI SPAWU – CZY UŻYĆ?

Najnowsze spawarki światłowodowe wyposażone są w funkcję badania wytrzymałości połączenia dostępną tuż po wykonaniu spawu.

Badanie wytrzymałości połączenia wiąże się z rozciąganiem zespawanych światłowodów. Warto więc zadać sobie pierwsze pytanie- z jaką siłą je rozciągać aby stwierdzić, że spaw jest wytrzymały? Tu opinie były podzielone, ale założono że siła 2N jest w pełni wystarczająca i z tą właśnie wartością rozciągane są światłowody we wszystkich spawarkach na rynku.

Wracamy jednak do pytania głównego - czy stosować badanie wytrzymałości spawu?

Przed chwilą wykonaliśmy cały proces przygotowania włókien i ich spawania w wyniku czego uzyskaliśmy określoną tłumienność spawu-zakładamy że wynosiła ona 0,01dB. W tej chwili mamy niemal 100% pewność, że wykonany spaw jest poprawny a przy certyfikacji linii nie będziemy mieli problemu z jej oddaniem.

Co się stanie jeżeli w tej właśnie chwili wykorzystamy funkcję badania wytrzymałości spawu?

Czy rozciągając spaw i narażając go na mikrouszkodzenia będziemy mogli stwierdzić, że jego tłumienność jest nadal na poziomie 0,01dB? (Należy tu zaznaczyć, że spawarka nie ma możliwości dokonania ponownego szacowania tego samego spawu.) Jak widać odpowiedź nasuwa się sama, niemniej jednak ma ona dużo zwolenników.

ZABEZPIECZENIE WYKONANEGO SPAWU

Po wykonaniu procesu spawania i wstępnych oględzinach wykonanego spawu czas na jego zabezpieczenie. W tym celu wykorzystuje się wcześniej założoną rurkę termokurczliwą, którą nasuwa się na miejsce spawu i umieszcza się w piecyku. Piecyk do zgrzewania rurek termokurczliwych jest standardowym wyposażeniem spawarki światłowodowej a sam proces zgrzewania trwa około 30 sekund.

OPTIMALIZACJA PROCESU SPAWANIA

Parametry procesu spawania wpływające na jakość spawu

- **Temperatura spawania (określana np. przez prąd łuku)**
- **Czas spawania**

Procesy fizyczne występujące w trakcie spawania

- **Przepływ materiału pomiędzy łączonymi włóknami**
- **Dyfuzja domieszki (zmiana profilu współczynnika załamania)**

KONIEC

