

Wykorzystanie interferometrii do zapewnienia najwyższej jakości złącz światłowodowych typu PC.

Jakość złącz światłowodowych oceniana jest na podstawie parametrów transmisyjnych takich jak np. tłumienność wtrąceniowa czy strata sygnału odbitego. Nie wszyscy wiedzą że te wielkości zależne są przede wszystkim od parametrów geometrycznych ferruli czyli wyniku procesu polerowania. Specjaliści z firmy LANSTER – dystrybutora systemów sieciowych AMP, odsłaniają w niniejszym artykule tajniki interferometrii.

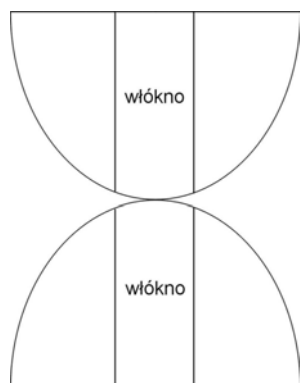
Parametry geometryczne światłowodowych złącz polerowanych typu PC spełniają bardzo ważną rolę dla wydajności i wysokiej jakości jednomodowych połączeń światłowodowych. Kontrola parametrów złącza podczas procesu polerowania takich jak: promień krzywizny, przesunięcie szczytu oraz wysokość włókna prowadzi do lepszego działania złącza, co w końcowym efekcie objawia się redukcją tłumienności wtrąceniowej i wzrostem straty sygnału odbitego. Polepszenie tych parametrów obserwuje się zarówno przy kontroli natychmiastowej, jak i w długotrwałym użytkowaniu i testowaniu.

W związku z powyższym interferometr szybko staje się wiodącym narzędziem służącym do pomiarów geometrycznych polerowanych powierzchni złącz światłowodowych. W tym opracowaniu przedstawimy koncepcję polerowania złącz PC oraz opiszemy budowę i działanie mikroskopu interferometrycznego. Na koniec przedstawimy aktualne standardy i wyjaśnimy definicje zapewniające zgodność i możliwość współpracy pomiędzy różnymi producentami oraz użytkownikami końcowymi złącz światłowodowych.

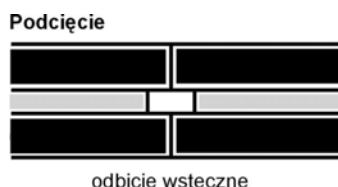
Zasada polerowania PC (kontakt fizyczny)

Polerowanie typu PC wymaga fizycznego kontaktu pomiędzy dwoma włóknami światłowodowymi umieszczonymi w złączach. Aby tego dokonać, złącza muszą być wypolerowane tak aby ich powierzchnie były sferyczne, a włókno znajdowało się w najwyższym punkcie tulei osiujującej. Połączenie włókien powinno być zrealizowane w taki sposób, by włókna się dotykały, zapewniając tym samym dokładny optyczny kontakt (Rys.1). Poprzez wyeliminowanie szczeliny powietrznej uzyskuje się lepsze parametry odbicia wstecznego i tłumienia. Włókna delikatnie uginają się aż do momentu kontaktu tulei osiujujących. Zapewnia to docisk sprężyny złącza. Dodatkowo dzięki tej sprężynie dobry kontakt włókien pozostaje zachowany nawet podczas częstych skoków temperaturowych.

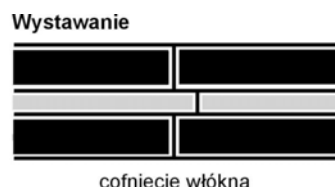
Jeżeli włókno zostanie wypolerowane poniżej poziomu tulei osiujującej to jest to sytuacja taka zdefiniowana jest jako *podcięcie*. Wynikiem podcięcia jest szczelina powietrzna, a tym samym duże odbicie wsteczne. W przypadku gdy po polerowaniu włókno wystaje ponad czoło ferruli, to siły działające na nie są znacznie większe - w trakcie pracy włókno to może zostać cofnięte. Zjawisko to nazywane jest *cofnięciem włókna wstecz*. Jeżeli złącze z cofniętym włóknem współpracuje z innym złączem to efekt jest podobny jak w przypadku zjawiska podcięcia (Rys.2).



Rys.1



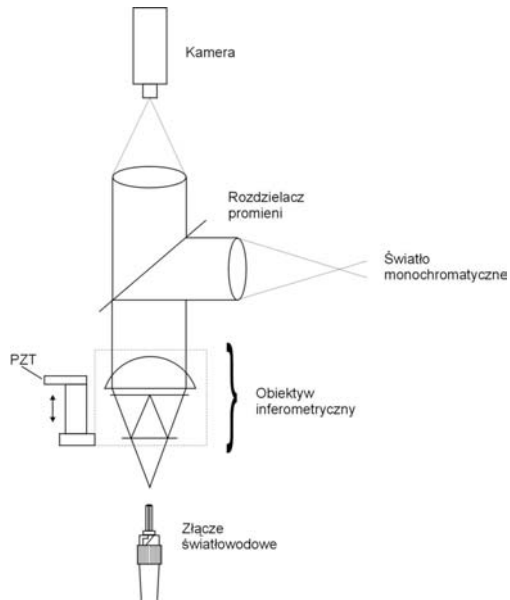
Rys.2



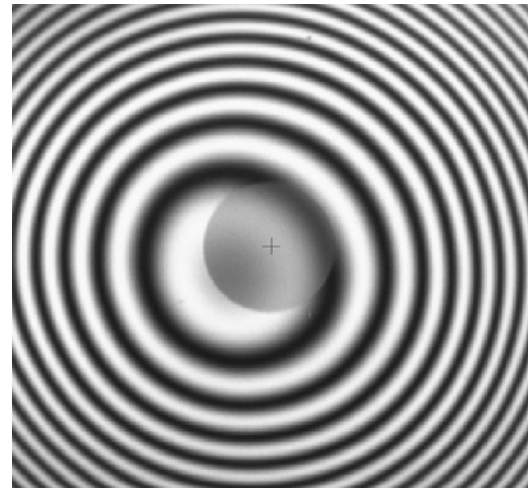
Powyższe rozważania zwracają szczególną uwagę na istotę poprawności polerowania, a tym samym uzyskania dobrych parametrów geometrycznych co zapewnić ma poprawne działanie złącz w długim okresie czasu. Kontakt fizyczny pomiędzy złączami musi być utrzymany w czasie, niezależnie od zmian temperatury, nacisku czy też wibracji. Konieczne jest więc, aby wypolerowane włókno znajdowało się zawsze w punkcie najwyższym ferruli, jak również by było dopasowane do sferycznej krzywizny tulei osiujującej.

Interferometria

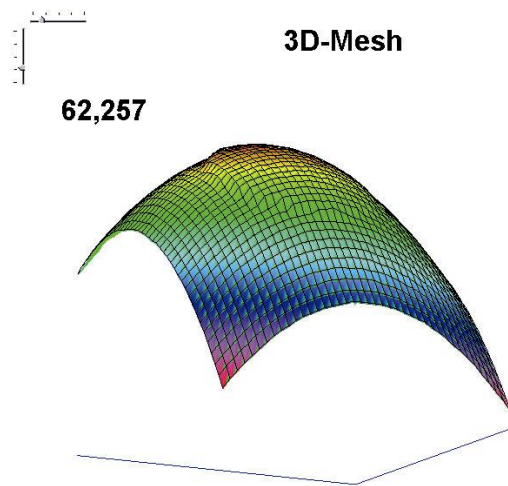
Ze względu na trójwymiarowy charakter prezentacji danych, mikroskop interferometryczny stał się podstawowym narzędziem służącym do analizy złączy typu PC. Światło spójne generowane przez źródło jest skierowane na powierzchnię złącza w celu uzyskania jego odbicia. Światło to następnie łączone jest ze światłem odbitym od powierzchni referencyjnej. W ten sposób zostają uformowane konstruktywne i destruktywne fale interferencyjne. Otrzymany wzór interferencyjny może być poddany wizualizacji jako mapa konturowa powierzchni złącza, gdzie każda ciemna prążka identyfikuje określoną wysokość na powierzchni (Rys.3). W przypadku złącza PC, krzywizna powierzchni zostaje przedstawiona jako seria centrycznych prążków interferencyjnych odchodzących od środka złącza.



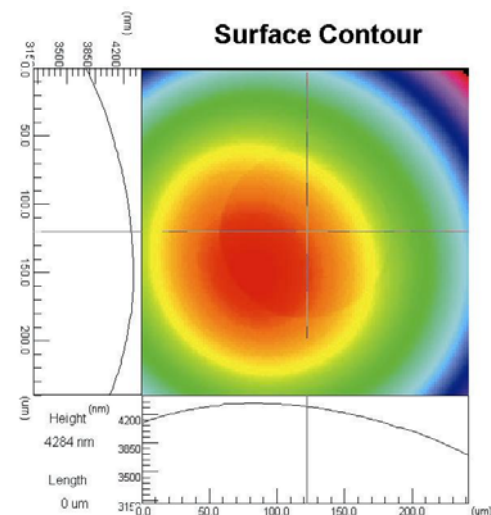
Rys.3



Live Image



Rys.4



Mikroskopy interferometryczne najnowszej generacji umożliwiają przesunięcie wzoru interferencyjnego - wykorzystują do tego celu komputer i urządzenie piezoelektryczne. Dzięki temu możliwe jest porównanie zmiany obrazów w stosunku do początkowego wzoru prążków, a to z kolei pozwala określić fizyczne współrzędne dla każdego punktu powierzchni. Wynikiem jest możliwość pomiaru odległości i kierunku pomiędzy dowolnymi punktami na powierzchni. Informacje następnie mogą zostać wyświetlone w postaci trójwymiarowej siatki obrazującej całą powierzchnię czoła ferruli lub w prostszej postaci - krzyżowych sekcji profili.

Parametry fizyczne

Międzynarodowe organizacje standaryzujące wybrały do pomiaru trzy kluczowe wielkości fizyczne pozwalające scharakteryzować wypolerowane powierzchnie:

1. Promień krzywizny
2. Wysokość włókna (określane również jako: podcięcie i wystawanie)
3. Przesunięcie najwyższego szczytu (określany również jako: przesunięcie polerowania, przesunięcie wierzchołka, niecentryczność polerowania, niecentryczność wierzchołka).

Większość osób zajmujących się złączami światłowodowymi zna ogólne definicje powyżej podanych parametrów. *Promieniem krzywizny* nazywa się promień sfery uformowany na wypolerowanej tulei osiującej. *Przesunięciem szczytu* określa się odległość od najwyższego szczytu wypolerowanej powierzchni do centrum tulei osiującej. *Podcięcie* określa odległość wystawania lub cofnięcia włókna w stosunku do tulei osiującej po wypolerowaniu.

Typowe parametry dla złącz PC

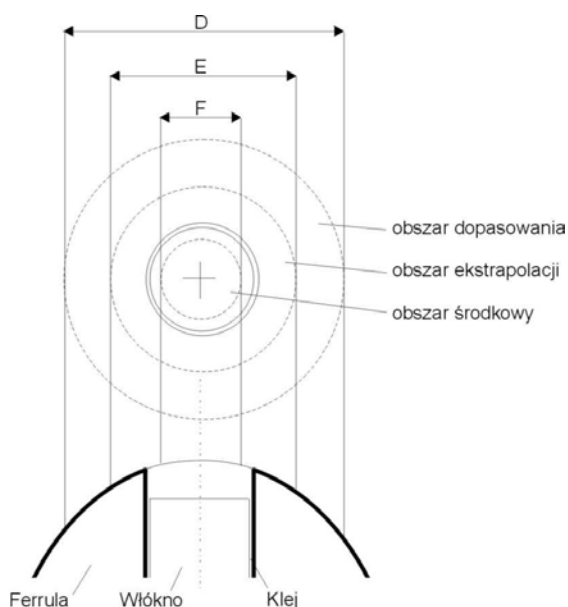
	Bellcore GR236CORE	IEC 86B/1300-3-23
Promień krzywizny	10 do 30mm	10 do 25mm
Przesunięcie szczytu	$\leq 50\mu\text{m}$	$\leq 50\mu\text{m}$
Podcięcie	$\pm 0.05\mu\text{m}^*$	ROC 10-12mm -0.100 do $0.100\mu\text{m}^*$
		ROC 13-17mm -0.100 do $0.075\mu\text{m}^*$
		ROC 18-25mm -0.100 do $0.050\mu\text{m}^*$

*Dla Bellcore ujemne wartości to podcięcie, natomiast dla IEC ujemne wartości to wystawanie.

Ważne obszary pomiarowe

Obserwując pod mikroskopem interferometrycznym czoła obecnie produkowanych złącz, szybko staje się oczywiste, że nie są to idealne powierzchnie sferyczne. Promień ich krzywizny zmienia się wraz ze zmianą odległości od osi symetrii złącza. Bardzo często promień krzywizny włókna znajduje się poniżej lub powyżej powierzchni tulei osiującej.

Aby zminimalizować całe zamieszanie związane z lokalizacją obszarów pomiarowych, komisja IEC (International Electrotechnical Commission) podała ich definicje oraz wyjaśniła najważniejsze parametry. Następujące trzy obszary zostały zasugerowane przez IEC:



Rys.5

(Uwaga: Rysunek nie zachowuje skali, służy tylko przedstawieniu obszarów pomiarowych)

1. Obszar dopasowania

Umieszczony na środku powierzchni tulei osiującej, zdefiniowany został jako obszar koła o średnicy D z mniejszym obszarem ekstrapolacji E odjętym od jego centrum. $D = 250\mu\text{m}$

2. Obszar ekstrapolacji

Obszar ten obejmuje czoło włókna jak również „pole kleju” i jest zdefiniowany jako koło o średnicy E, gdzie $E = 140\mu\text{m}$

3. Obszar środkowy

Umieszczony on jest na czole złącza i zdefiniowany jako koło o średnicy F, gdzie $F = 50\mu\text{m}$.

Powyższe trzy obszary powinny zostać umieszczone w osi symetrii tulei osiującej, która pokrywa się z środkiem włókna. Po zdefiniowaniu obszarów pomiarowych znacznie łatwiej jest określić co tak naprawdę jest mierzone.

Definicje

Promień krzywizny:

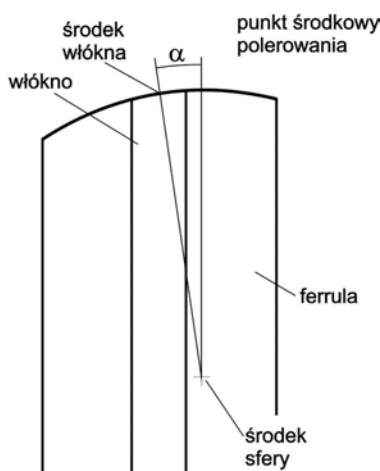
Promień krzywizny zdefiniowany jest jako promień najlepiej dopasowanej sfery poprzez obszar uformowany przez różnicę pomiędzy obszarem dopasowania i obszarem ekstrapolacji. Najlepszy promień można obliczyć wykorzystując metodę najmniejszych kwadratów. Ze względu na fakt, że jest to pomiar sferyczny wykorzystujący wszystkie dostępne dane o powierzchni czoła tulei osiującej, to jest to najdokładniejsza możliwa reprezentacja tego obszaru. Możliwa jest również dwuwymiarowa metoda obliczania tego promienia, jakkolwiek jest ona mniej powtarzalna ze względu na wykorzystanie tylko niektórych danych o powierzchni. Z tych względów otrzymany promień może zależeć od obliczeń bazujących na danych pobranych z odpowiedniej sekcji powierzchni czoła złącza.

Przesunięcie szczytu

Pomiar przesunięcia szczytu (przesunięcia szczytu powierzchni wypolerowanej w stosunku do włókna) wymaga zdefiniowania najwyższego punktu lub wierzchołka powierzchni wypolerowanej. Ze względu na to że włókno może być cofnięte lub może wystawać, w celu obliczenia wierzchołka wykorzystuje się sferyczność czoła tulei osiującej zdefiniowaną przez obszar dopasowania.

Przesunięcie szczytu zdefiniowane jest jako odległość od wierzchołka na sferze tulei osiującej do środka włókna. Interferometria ze względu na trójwymiarowy charakter pomiaru, ukazuje wierzchołek jako centrum kołowych obwódek definiujących sferę. Prostą kwestią pozostaje obliczenie liniowej odległości od tego punktu do środka włókna.

Przesunięcie szczytu może również być określone jako przesunięcie kątowe. Przesunięcie kątowe zdefiniowane jest jako kąt pomiędzy promieniem przechodzącym przez najwyższy punkt powierzchni polerowanej, a promieniem przechodzącym przez środek włókna (Rys.6).



Zarówno przesunięcie kątowe jak i liniowe może zostać rozłożone na współrzędne X i Y. Jeżeli złącza są kodowane w celu kontroli położenia, to wówczas producent może wykorzystać współrzędne X i Y do zidentyfikowania tendencyjnie pojawiającego się niedopasowania złącza, co jest przyczyną nieodpowiedniego procesu polerowania. Sugerowane są dwa sposoby zdefiniowania wysokości włókna, a mianowicie wysokość sferyczna i wysokość planarna. Obecnie preferowaną przez komitety normalizacyjne jest definicja wysokości sferycznej.

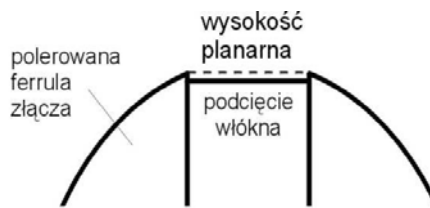
Rys.6

1. *Wysokość sferyczna* jest użyteczna wtedy, gdy idealne czoło złącza (tuleja osiująca i włókno) rozpatrywane jest jako ciągła sfera. Zdefiniowana jest ona jako różnica wysokości pomiędzy środkiem czoła włókna i teoretyczną wysokością w centrum złącza opartą na promieniu tulei osiującej (Rys. 7).

2. *Wysokość planarna* jest użyteczna gdy idealne złącze określone jest jako złącze z płaskim włóknem umieszczonym w środku sferycznej tulei osiującej. Definiuje się ją wówczas jako różnicę wysokości pomiędzy środkiem czoła włókna a wysokością teoretycznie uformowanej płaszczyzny łączącej najwyższe punkty na tulei osiującej z każdej strony włókna. (Rys.8).



Rys.7



Rys.8

IEC wykorzystuje skalę przesuwczą w celu określenia dopuszczalnego podcięcia w funkcji promienia krzywizny. Podcięcie opisane zostało następującą formułą:

$$U = -0,02R^3 + 1,3R^2 - 31R + 325$$

Podsumowanie

Przemysł optyczny udoskonala jakość złącz poprzez kontrolę kluczowych fizycznych parametrów czoła złącza. Stosowanie interferometrii jest idealną metodą pozwalającą uzyskać szczegółowe informacji 3D o parametrach geometrycznych złącz, a tym samym jest niezastąpiona w procesie kontroli jakości procesów polerskich. Dostarcza dokładne wyniki, aby zapewnić i utrzymać najwyższą jakość, a tym samym niezawodność złącz w długim procesie użytkowania.

**Opracowanie:
Dział techniczny firmy
LANSTER Kraków**