

### 3. Nieniszczące metody badań polimerów

Zaletą metod badań nieniszczących jest określenie stanu materiału (obiektu) bez pogorszenia jego własności użytkowych. Stosuje się je zarówno do badań jakości wytworzonych elementów, jak również w czasie eksploatacji. Głównym celem metod nieniszczących jest wykrywanie ukrytych wad, w wypadku kompozytów, dotyczy to pęknięć, pęcherzy, delaminacji oraz właściwego ułożenia włókien.

W badaniach konstrukcji z kompozytów najczęściej stosowane są metody: ultradźwiękowe, optyczne (holograficzne, optyczne i akustyczne elastooptyczne, rastrów), radiograficzne, drgań rezonansowych, emisji akustycznej, termograficzna i penetracyjna [38,98,175,191]. Każda z metod posiada możliwości i ograniczenia, dlatego badania obiektu prowadzone są kilkoma metodami [40,69,105,90,125,128]. Poniżej zostaną omówione nieniszczące metody badań ze szczególnym uwzględnieniem metody ultradźwiękowej i termograficznej, które Autor wykorzystał przy realizacji pracy.

#### 3.1. Metoda ultradźwiękowa

Obecnie coraz powszechniej do wykrywania wad w procesie przetwórstwa jak i będących wynikiem eksploatacji kompozytów konstrukcyjnych (degradacji i zmęczenia materiału) stosowana jest metoda ultradźwiękowa [92,106,121,134,178,197].

Metoda ultradźwiękowa należy do metod „badań objętościowych”. Umożliwia, zależnie od stosowanych rodzajów fal, wykrywanie przede wszystkim wad wewnętrznych, ale także powierzchniowych i podpowierzchniowych nieciągłości obiektów [78,100,111,143]. Tą metodą jest możliwe wykrywanie najbardziej niebezpiecznych nieciągłości: płaskich, wąskoszczelinowych, a także innych nieciągłości obiektów. Podstawy defektoskopii ultradźwiękowej opisano w rozdziale 6. Metody badań materiałów konstrukcyjnych opisano obszernie w literaturze [16,25,45,78,79,80-84,89,93,107,108,182,193].

#### 3.2. Metoda termowizyjna

Zasadą pomiaru w metodzie termograficznej jest wykorzystanie przewodnictwa ciepła materiału, które jest różne w obszarze defektów takich jak delaminacje, pustki i wtrącenia. Jeżeli obiekt (próbka) zawiera wewnętrzny defekt i poddany został działaniu jednorodnego

źródła ciepła, wówczas następuje przepływ ciepła w kierunku grubości. Szybkość przepływu ciepła jest różna w obszarach z defektami i w obszarach bez defektów. Delaminacja hamuje przepływ ciepła, co powoduje, że po przeciwnej stronie próbki wystąpi niejednorodny rozkład temperatury. W obszarze defektów wystąpi obniżenie temperatury. W razie pęknięcia na powierzchni próbki w rozkładzie mierzonej temperatury nastąpi ostry skok na powierzchni przeciwnej do powierzchni ogrzewanej [56,96]. W technice termograficznej szerokie zastosowanie znajduje metoda zewnętrznego pola temperatur (EATF – Externally Applied Thermal Field) z jednorodnym źródłem ciepła, oddziaływającym na jedną powierzchnię próbki. W metodzie tej zapis rozkładu temperatury na drugiej powierzchni próbki dokonywany jest przez radiometr (miernik promieniowania) lub ciekłe kryształy (monitor). Radiometrami mogą być kamery podczerwieni, które zapisują rozkłady temperatur. Otrzymane rozkłady przedstawiane są w postaci izoterm.

Inną metodą termograficzną jest wibrotermografia, polegająca na nadaniu obiektowi (próbce) drgań mechanicznych o małej amplitudzie, w wyniku czego następuje wydzielanie ciepła (wzrost temperatury) w obszarze defektu. W badaniach tych stosuje się także niskie częstotliwości przy dużej amplitudzie, jak w przypadku badań zmęczenia.

Technika ta rozwinęła się w ostatnich latach poprzez zastosowanie przenośnych źródeł ciepła takich jak lasery i lampy wyładowcze o dużej mocy.

Termografia stosowana jest od wielu lat, między innymi do diagnozowania kompozytowych konstrukcji lotniczych. Podstawy diagnostyki cieplnej – termowizyjnej opisano w rozdziale 8.

### 3.3. Metoda radiologiczna

Metoda radiologiczna należy do metod badań objętościowych. Umożliwia wykrywanie wewnętrznych oraz powierzchniowych i podpowierzchniowych nieciągłości obiektów [18,34,90,145].

W metodzie tej wykorzystuje się zjawiska towarzyszące promieniowaniu jonizującemu, a przede wszystkim zjawisko fotochemiczne. Promieniowanie jonizujące posiada zdolność przenikania przez różne materiały oraz zdolność naświetlania błony fotograficznej. Ilość promieniowania przenikającego przez materiał zmienia się dla różnych materiałów wraz ze zmianą gęstości, grubości lub obecności wad [37,57,58,140,172]. Stosuje się promieniowanie rentgenowskie – X (radiografia) lub promieniowanie gamma -  $\gamma$  (gammagrafia).

W materiałach kompozytowych stosowanych w przemyśle, np. lotniczym, metody radiograficzne mają ograniczone zastosowanie. Wynika to z faktu, że kompozyty na bazie włókna węglowego lub szklanego oraz żywicy epoksydowej są niemal przezroczyste dla promieniowania rentgenowskiego. Najlepiej tą metodą wykrywa się nieciągłości wewnętrzne i powierzchniowe korzystnie zorientowane względem kierunku rozchodzenia się promieniowania. Czułość wykrywania nieciągłości ogranicza się do nieciągłości o wielkości zwykle ok. 0,5-2% grubości obiektów. Dodatkowe ograniczenia to: maksymalna grubość obiektów oraz niebezpieczeństwo narażenia personelu i środowiska na napromieniowanie.

Do największych zalet należy możliwość zobrazowania nieciągłości w widoku zgodnym z kierunkiem promieniowania na radiogramach. Ogólne zastosowanie metod radiograficznych polega na wykrywaniu nieciągłości wprowadzanych w procesach wytwarzania i podczas eksploatacji obiektów, wykrywanie nieciągłości przestrzennych, pęcherzy, pozostałości jamy skurczowej oraz nieciągłości płaskich, pęknięć skurczowych, wtrąceń, wykrywanie i ocena zmian grubości obiektów i powłok [95,114,169,186].

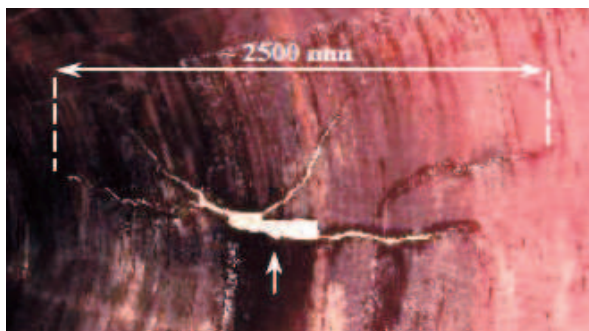
### 3.4. Badania wizualne

Badania wizualne należą do metod badań powierzchniowych i umożliwiają wykrywanie najbardziej niebezpiecznych nieciągłości, jakimi są nieciągłości powierzchniowe, np. płaskie, wąskoszczelinowe.

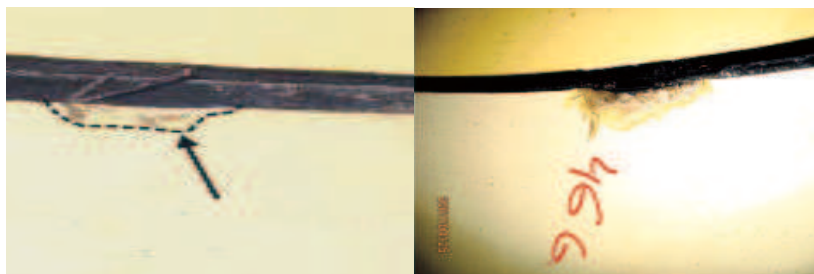
Badania wizualne mają na celu wykrycie ewidentnych wad i wyeliminowanie z dalszych badań elementów lub obszarów wadliwych oraz wytypowanie elementów lub obszarów o wątpliwej jakości do dalszych badań szczegółowych. Badania wizualne umożliwiają kontrolę obiektów wykonanych z różnorodnych materiałów [13]. Umożliwiają one wykrywanie nieciągłości powierzchniowych materiału. Możliwe jest wykrywanie pęknięć o głębokości od ok. 0,1 mm, szerokości od ok. 0,01 mm. Badania wizualne dzielą się na:

- bezpośrednie - umożliwiają badanie powierzchni, bezpośrednio dostępnych, do oględzin. Badania te są prowadzone nieuzbrojonym okiem lub za pomocą lupów, o powiększeniach do 20x i mikroskopów,
- pośrednie - są to badania optyczne, umożliwiające badanie powierzchni niedostępnych bezpośrednio do oględzin. Badania te są prowadzone za pomocą endoskopów, wideoskopów, peryskopów i zestawów lusterek.

Na rysunkach 3.1. i 3.2. przedstawiono przykładowe wady zdiagnozowane metodą wizualną zbiornika do magazynowania kwasu solnego oraz wadliwego montażu rur poliestrowo – szklanych.



**Rysunek 3.1.** Przykłady uszkodzeń i nieciągłości materiałowych. Powierzchnia wewnętrzna zbiornika używanego do magazynowania stężonego kwasu solnego [13]



**Rysunek 3.2.** Przykłady uszkodzeń i nieciągłości materiałowych. Uszkodzenia powstałe podczas montażu rurociągu z rur poliestrowo-szklanych [13]

Stosowane są też zestawy kontrolne składające się z endoskopów, kamer, monitorów i magnetowidów oraz wideoskopy i wideoanalizatory. Najbardziej zaawansowaną odmianą badań wizualnych jest widzenie maszynowe, tj. automatyczne rozpoznawanie obrazów i przedmiotów [13].

Nieciągłości materiałowe obiektów, jakie są wykrywane za pomocą badań wizualnych, to przede wszystkim:

- pęknięcia powierzchniowe,
- nieszczelności,
- pustki,
- nierównomierny układ włókien wzmacniających,
- zmiany kolorystyki.

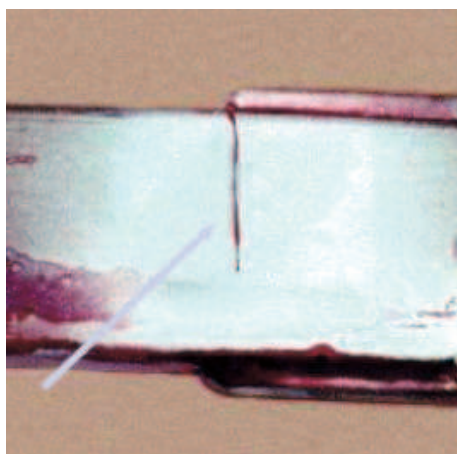
### 3.5. Metoda penetracyjna

Metoda penetracyjna stosowana jest w celu wykrycia przede wszystkim wad powierzchniowych. Badania penetracyjne dzieli się na dwa podstawowe rodzaje: badania w świetle dziennym oraz w świetle ultrafioletowym. W tych metodach stosuje się podstawowe odmiany z wykorzystaniem penetrantów wodnych, wodno-zmywalnych jak również bardziej złożone systemy z penetrantami emulgowanymi (rys. 3.3). Badania penetracyjne przeprowadzane w świetle UV zapewniają uzyskanie wyższych czułości, co pozwala wykrywać bardzo delikatne wady. Zasadniczo bada się materiały metaliczne, ale także tworzywa sztuczne oraz materiały ceramiczne. Metoda ta jest bardzo czuła, typowe pęknięcia posiadają szerokość od 0,5  $\mu\text{m}$  do 10  $\mu\text{m}$ , a głębokość od 20 do 200  $\mu\text{m}$  [90,91,132,174]. Przykładowe wady zdiagnozowane metodą penetracyjną przedstawiono na rysunku 3.3.

a)



b)



*Rysunek 3.3. Wady zdiagnozowane a) techniką fluorescencyjną , b) techniką barwną [91]*

### 3.6. Metoda prądów wirowych

Metoda prądów wirowych należy do metod badań powierzchniowych. Umożliwia wykrywanie najbardziej niebezpiecznych nieciągłości: powierzchniowych nieciągłości płaskich, wąskoszczelinowych, a także stosunkowo dużych, położonych blisko powierzchni nieciągłości podpowierzchniowych. Nie należy jednak przeceniać możliwości wykrywania tych ostatnich nieciągłości [90,91].

Prądy wirowe mogą płynąć jedynie w obiektach wykonanych z materiałów przewodzących prąd elektryczny. Nazwa prądy wirowe wynika z ich torów.

Zasada wykrywania nieciągłości polega na indukowaniu prądów wirowych pod wpływem zmiennego pola elektromagnetycznego. Głównym ograniczeniem tej metody jest brak możliwości zastosowania do materiałów nieprzewodzących prądu elektrycznego, a zaletą - możliwość prowadzenia badań obiektów z dużą prędkością, on-line i off-line.

Metodą prądów wirowych są kontrolowane obiekty wykonane z materiałów przewodzących prąd elektryczny, zarówno dobrze, jak i słabo przewodzących: metalowych ferromagnetycznych i nieferromagnetycznych, a także niektórych kompozytowych. Metoda prądów wirowych jest stosowana w:

- defektoskopii obiektów,
- badaniu własności obiektów (strukturokopii),
- kontroli wymiarów obiektów, szczególnie grubości taśm, folii, warstw i powłok.

Ważnymi obszarami zastosowania metody prądów wirowych są badania półwyrobów i wyrobów końcowych podczas procesów ich wytwarzania. Wykrywane są pęknięcia o głębokości od ok. 0,1 mm szerokości od ok. 0,0005 mm i długości od ok. 0,4 mm [95,132].

Metoda prądów wirowych umożliwia wykrywanie nieciągłości, „zaciągniętych”, znajdujących się pod warstwą pokrycia malarskiego lub galwanicznego oraz nieciągłości znajdujących się w poszczególnych warstwach obiektów wielowarstwowych.