

# Wybrane problemy materiałowych badań uszkodzeń tarcz sprężarkowych wykonanych ze stopu tytanu

## Selected problems of material testing of damaged compressor disks made of titanium alloys



**Anna Krupińska**

Mgr inż.

Institut Techniczny Wojsk Lotniczych

anna.krupinska@itwl.pl;

**Streszczenie:** Realizacja materiałowych badań uszkodzeń elementów konstrukcji lotniczych niejednokrotnie wiąże się z rozpatrywaniem analogicznych problemów dotyczących określonych elementów konstrukcji. W artykule omówiono dwa podobne przypadki uszkodzenia tarcz sprężarkowych wykonanych ze stopu tytanu. W treści artykułu przedstawiono badane elementy oraz opisano charakter ich uszkodzeń. Ponadto, omówiono zastosowane metody badawcze oraz sposób realizacji badań. Zawarta w artykule analiza wyników badań prowadzi do określenia przyczyn powstania uszkodzeń badanych elementów.

**Słowa kluczowe:** *Badania materiałowe; Uszkodzenia; Tarcze sprężarkowe; Stopy tytanu*

**Abstract:** In many cases, performing material tests of damages in aviation structure elements requires analysing similar problems in specific construction elements. This article describes two similar cases of damages in compressor disks made of titanium alloys. In the article examined elements are presented, as well as nature of their damages. Moreover, the article discusses applied test methods and how tests were performed. Included in the article test results analysis leads to identification of the causes of the damages.

**Keywords:** *Material testing; Damages; Compressor blades; Titanium alloys*

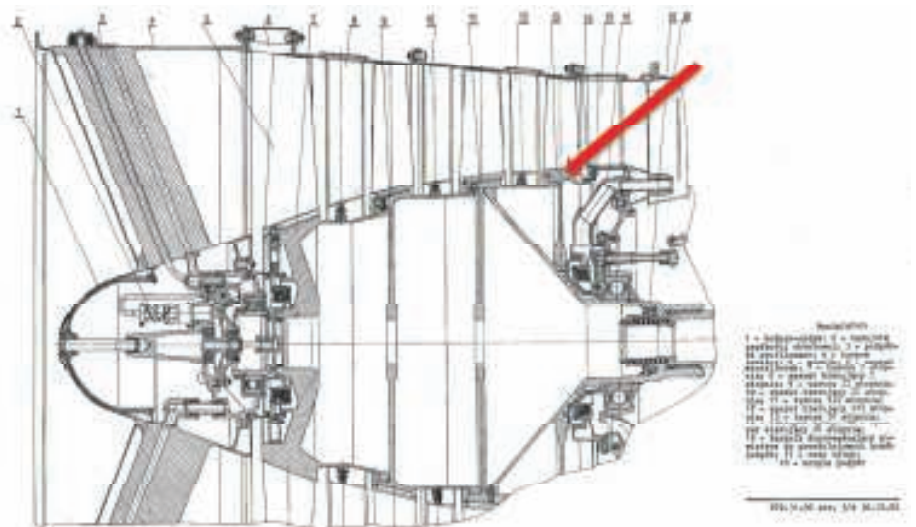
Każdy uszkodzony podczas eksploatacji element konstrukcji lotniczych (statków powietrznych lub naziemnego sprzętu niezbędnego do ich eksploatacji) podlega badaniom, mającym na celu ustalenie przyczyny powstania tego uszkodzenia. Związane jest to przede wszystkim z koniecznością utrzymania sprawności techniki lotniczej oraz koniecznością zapewnienia bezpieczeństwa lotów. Analiza wyników tych badań pozwala określić, czy badane uszkodzenie ma charakter przypadkowy, jednorazowy czy istnieją czynniki mogące przyczynić się do powstawania podobnych uszkodzeń podczas eksploatacji analogicznych elementów konstrukcji lotniczych. Realizując materiałowe badania tych elementów niejednokrotnie analizuje się przyczyny postania podobnych uszkodzeń tożsamyh elementów. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań dwóch przypadków analogicznego uszkodzenia tarcz

sprężarkowych wykonanych ze stopu tytanu.

### Przedmiot badań – tarcza IV stopnia sprężarki niskiego ciśnienia

Na ilustracji 1 pokazano schemat budowy sprężarki niskiego ciśnienia

(wentylatora) silnika RD-33, na którym strzałką zaznaczono tarczę IV stopnia. Jak już wcześniej wspomniano w niniejszym artykule zostaną przedstawione wyniki badań dwóch przypadków uszkodzenia tarczy IV stopnia sprężarki niskiego ciśnienia silników RD-33. Z analizowanej dokumentacji



1. Schemat budowy sprężarki niskiego ciśnienia (wentylatora) silnika RD-33 z zaznaczoną tarczą IV stopnia

[1], [2] wynika, że na silnikach RD-33 montowane były trzy typy wirników (części składowych) wentylatora. W każdym z nich Producent zastosował inne rozwiązania konstrukcyjne. W przypadku obu wentylatorów, których tarcze IV stopnia uległy uszkodzeniom zamontowane były wirniki typu II-go. Zgodnie z dokumentacją techniczną [2] całkowity resurs godzinowy zespołu wentylatora typu II jest nie mniejszy niż 1200 h. Na podstawie metryk omawianych wentylatorów stwierdzono, że posiadają one zwiększone rezerwy godzinowe z 1200 h do 1600 h – zmiany dokonano w Zakładach Producenta silnika. Uszkodzenie omawianych tarcz nastąpiło odpowiednio po 1323 i niecałych 1325 godzinach pracy. W celach porządkowych oznaczono przypadki uszkodzenia tarczy IV stopnia wentylatora jako: „1” i „2”, zgodnie z chronologią wystąpienia uszkodzenia. Pełen opis badań wszystkich uszkodzonych elementów silników RD-33, na których pracowały opisywane tarcze IV stopnia, przedstawiono w Protokołach Pracowni Materiałoznawstwa Lotniczego Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych nr 1/36/2014 i 2/36/2014.

## Wyniki badań makroskopowych - identyfikacja uszkodzeń tarcz IV stopnia sprężarek niskiego ciśnienia

Badania makroskopowe przeprowadzono okiem nie uzbrojonym, a ich wyniki zarejestrowano za pomocą aparatu fotograficznego CANON Power Shot G5 nr 6934113437 oraz za

pomocą mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ 800 nr 1015651. Stosowana w opracowaniu numeracja gniazd łopatek obu tarcz IV stopnia sprężarki została wprowadzona podczas komisyjnych demontaży obu silników. Na ilustracji 2 pokazano wirnik wentylatora silnika RD-33 z uszkodzoną tarczą IV stopnia, oznaczoną jako „1” w stanie dostarczenia do badań. Natomiast ilustracja 3 przedstawia tarczę IV stopnia wentylatora silnika RD-33 stopnia, oznaczoną jako „2” również w stanie dostarczenia do badań. Szczegółowe wyniki tych badań zamieszczono w Tabeli 1.

Głównym uszkodzeniem obu badanych tarcz IV stopnia wirnika wentylatora silników RD-33 były pęknięcia tarcz w gnieździe łopatki nr 4, w przypadku tarczy oznaczonej jako „1” i gnieździe łopatki nr 26, w przypadku tarczy oznaczonej jako „2”. Są to pęknięcia na wskroś. Pęknięcie tarczy oznaczonej jako „1” propagowało wzdłuż promienia tarczy od strony krawędzi natarcia i krawędzi spływu, a tarczy „2” wzdłuż promienia tarczy od strony wlotu powietrza i od strony sprężarki wysokiego ciśnienia. W wyniku badań makroskopowych, badań przeprowadzonych metodą tomografii komputerowej (wykonane w Zakładzie Silników Lotniczych Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych) oraz badań nieniszczących, przeprowadzonych metodą wizualną, metodą penetracyjną oraz metodą prądów wirujących (wykonane w Pracowni Badań Nieniszczących Zakładu Zdatości do Lotów Statków Powietrznych Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych)

określono wymiary pęknięcia tarczy „1” na: długość 38 mm, a rozwarcie 0,8 mm, a tarczy „2” na: długość 35 mm, rozwarcie około 1 mm. Poza tym, w wyniku wyżej wymienionych badań nie stwierdzono występowania zarówno wewnętrznych jak i zewnętrznych defektów tarcz mogących zainicjować omawiane pęknięcia. W gnieździe łopatki nr 4, gdzie występuje pęknięcie tarczy „1” odnotowano brak łopatki roboczej. Na krawędzi zamka tarczy IV stopnia w gnieździe łopatki nr 4, w jego górnej części zaobserwowano dwa wykruszenia, ubytki materiału tarczy, które powstały od strony grzbietu łopatki. Długości wykruszeń wynoszą odpowiednio: 14 mm i 4,5 mm. Wykruszenia powstały prawdopodobnie w wyniku uderzeń o powierzchnię zamka luźnej (na skutek pęknięcia tarczy) łopatki nr 4.

Ponadto, w wyniku przeprowadzonych badań makroskopowych i defektoskopowych, w przypadku tarczy „1”, w rejonach gniazd łopatek od strony koryt łopatek wykryto 14 pęknięć o wymiarach odpowiednio od 2,5 do 8 mm i zidentyfikowano 2 rejony wskazań uszkodzeń. Natomiast w przypadku tarczy „2” wykryto 26 pęknięć o wymiarach odpowiednio od 1,5 do 8 mm. Trzy z nich, pęknięcia w gniazdach łopatek nr 1, 19 i 24 są pęknięciami na wskroś.

## Makroskopowe badania fraktograficzne

Badania fraktograficzne przeprowadzono okiem nie uzbrojonym, a ich wyniki zarejestrowano za pomocą



pow. 0,17 x

2. Wirnik wentylatora silnika RD-33 z uszkodzoną tarczą IV stopnia oznaczoną jako „1” w stanie dostarczenia do badań, na rysunku zaznaczono widoczne pęknięcia tarczy IV stopnia






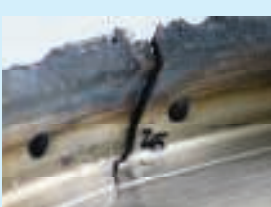
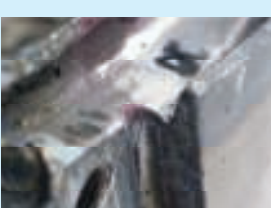
pow. 0,22 x

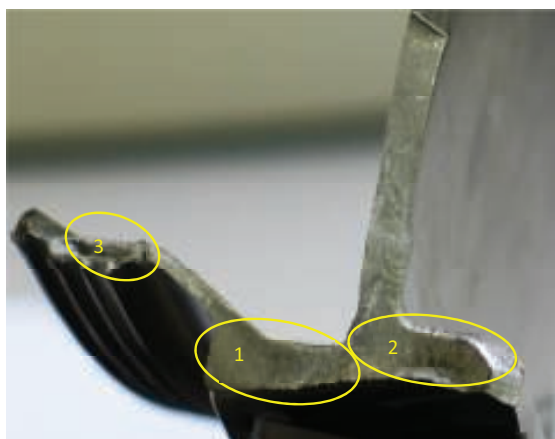
3. Tarcza IV stopnia wentylatora silnika RD-33 stopnia oznaczona jako „2” w stanie dostarczenia do badań

aparatu fotograficznego CANON Power Shot G5 nr 6934113437 oraz za pomocą mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ 800 nr 1015651. W przypadku tarczy „1” badaniom poddano dwa złomy pęknięć tarczy IV stopnia wirnika wentylatora: pęknięcia z gniazda łopatki nr 4 i pęknięcia z gniazda łopatki nr 5 (losowo wybrany spośród 14 pęknięć wykrytych w badaniach makroskopowych i badaniach nieniszczących). W przypadku tarczy „2” badaniom poddano pięć złomów pęknięć tarczy: pęknięcia z gniazda łopatki nr 26, 24, 29, 30 i 31 pęknięcia z gniazda łopatki nr 5 (losowo wybrany spośród 14 pęknięć wykrytych w badaniach makroskopowych i badaniach nieniszczących).

Na rysunku 4 przedstawiono makrobudowę złomu tarczy IV stopnia w gnieździe łopatki nr 4 w rejonie oznaczonym jako „1”. W trakcie przeprowadzonych badań stwierdzono występowanie trzech stref złomu o charakterystycznej budowie i barwie. Pierwsza z nich to rejon o charakterystycznym kształcie muszli przy zewnętrznej powierzchni tarczy – strefa przyogniskowa. Powierzchnia złomu w tej strefie ma barwę żółto-żółtą. Druga, to strefa wzrostu pęknięcia charakteryzująca się niewielką chropowatością powierzchni i jej szarą barwą. Budowa złomu w obu wyżej wymienionych strefach wykazuje makroskopowe cechy pęknięcia zmęczeniowego. Trzecia ze stref to dołom (strefa o największej chropowatości powierzchni). Zmiana barwy w strefie przyogniskowej tego rejonu - „1” złomu tarczy „1” w gnieździe łopatki nr 4 oraz budowa tego rejonu złomu sugerują, że ten fragment złomu powstał wcześniej od pozostałych, w obrębie których zmian barwy nie zaobserwowano. Ilustracja 5 przedstawia makrobudowę złomu tarczy IV stopnia oznaczonej jako „2” w gnieździe łopatki nr 26”. W trakcie przeprowadzonych badań stwierdzono występowanie trzech stref złomu o charakterystycznej budowie. Pierwsza z nich to rejon o charakterystycznym kształcie muszli przy zewnętrznej powierzchni kołnierza tarczy – strefa przyogniskowa. Druga, to strefa wzro-

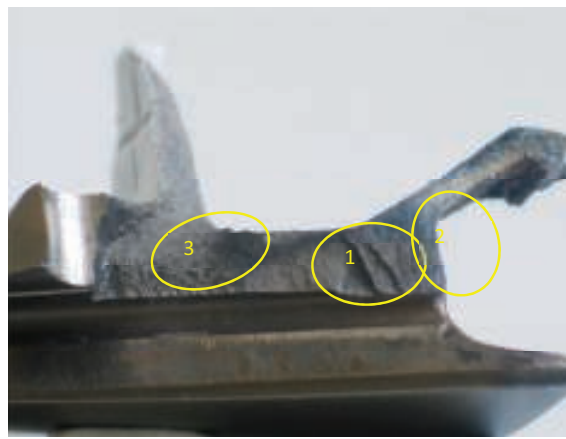
**Tab. 1.** Makroskopowy opis stanu obu badanych tarcz IV stopnia wentylatora silników RD-33

Element	Opis stanu badanego elementu	Zdjęcie
Tarcza IV stopnia sprężarki niskiego ciśnienia. Rejon gniazda łopatki nr 4. Widok od strony wlotu powietrza.	Pęknięcie tarczy na wskroś, biegnące na długości ok. 35 mm (licząc od kołnierza tarczy), propagujące od gniazda łopatki nr 4 wzdłuż promienia tarczy od strony krawędzi natarcia i krawędzi spływu łopatek. Pow. 2,3 x.	
Tarcza IV stopnia sprężarki niskiego ciśnienia oznaczona jako „1”. Rejon gniazda łopatki nr 4. Widok od zewnętrznej strony wirnika.	Pęknięcie tarczy z przesunięciem biegnące przez całą grubość kołnierza tarczy, propagujące od gniazda łopatki nr 4 wzdłuż promienia tarczy od strony krawędzi natarcia i spływu. Rozwarcie pęknięcia na krawędzi tarczy wynosi około 1 mm. Pow. 0,6 x.	
Tarcza IV stopnia sprężarki niskiego ciśnienia oznaczona jako „1”. Rejon gniazda łopatki nr 5. Widok od strony sprężarki wysokiego ciśnienia po wycięciu fragmentu tarczy.	Pęknięcie tarczy na promieniu gniazda łopatki nr 5, powstałe od strony koryta łopatki. Pęknięcie biegnie na powierzchni tarczy od strony sprężarki oraz na jej powierzchni bocznej (w gnieździe łopatki). Pęknięcie ma długość 5 mm licząc od krawędzi tarczy. Podczas komisyjnego demontażu zidentyfikowano istnienie 14 takich pęknięć (o długości od 1,5 do 7 mm), a ich weryfikacja przeprowadzona zostanie podczas badań nieniszczących. Pow. 1,8 x.	
Tarcza IV stopnia sprężarki niskiego ciśnienia oznaczona jako „2”. Rejon gniazda łopatki nr 26. Widok od strony sprężarki wysokiego ciśnienia.	Pęknięcie tarczy na wskroś, biegnące na długości ok. 35 mm (licząc od kołnierza tarczy), propagujące od gniazda łopatki nr 26 wzdłuż promienia tarczy, od strony koryta łopatki. Widok po usunięciu zgorzeliny. Pow. 2 x.	
Tarcza IV stopnia sprężarki niskiego ciśnienia oznaczona jako „2”. Rejon gniazda łopatek nr 24, 25 i 26. Widok od zewnętrznej strony wirnika.	Na zewnętrznych powierzchniach gniazd łopatek IV stopnia, przy ich górnych krawędziach obserwuje się zmiany barwy materiału gniazd od żółtej przez żółtą, fioletową do granatowej będące wynikiem działania wysokiej temperatury, poza tym na około 2/3 z nich obserwuje się występowanie zgorzeliny. Pow. 1,4 x.	
Tarcza IV stopnia sprężarki niskiego ciśnienia oznaczona jako „2”. Widok od zewnętrznej strony wirnika.	Na pierścieniu tarczy IV stopnia obserwuje się silne deformacje kształtu. Na obwodzie pierścienia, na długość 10 gniazd łopatek (od gniazda nr 18 do 28) rant tarczy uległ odgięciu. Poza tym widoczne są znaczne ubytki jego materiału. Na powierzchni pierścienia od strony sprężarki wysokiego ciśnienia obserwuje się występowanie bardzo dużej ilości zgorzeliny – pokrywa ona około 80 % powierzchni pierścienia. Pow. 1,1 x	
Tarcza IV stopnia sprężarki niskiego ciśnienia oznaczona jako „2”. Rejon gniazda łopatki nr 19. Widok od strony sprężarki wysokiego ciśnienia (od wewnętrznej stronie wirnika), po wycięciu fragmentu tarczy.	Pęknięcie tarczy na promieniu gniazda łopatki nr 19, powstałe od strony koryta łopatki. Pęknięcie biegnie od strony sprężarki wysokiego ciśnienia oraz na jej powierzchni bocznej (w gnieździe łopatki). Pęknięcie ma długość 9 mm licząc od krawędzi tarczy i jest pęknięciem na wskroś. Pow. 5,5 x.	
Tarcza IV stopnia sprężarki niskiego ciśnienia oznaczona jako „2”. Rejon gniazda łopatki nr 29. Widok od strony sprężarki wysokiego ciśnienia po wycięciu fragmentu tarczy.	Pęknięcie tarczy na promieniu gniazda łopatki nr 29, powstałe od strony koryta łopatki. Pęknięcie biegnie na powierzchni tarczy od strony sprężarki oraz na jej powierzchni bocznej (w gnieździe łopatki). Pęknięcie zaobserwowano po oczyszczeniu tarczy ze zgorzeliny, w trakcie przygotowywania tarczy do badań nieniszczących, tak jak 22 podobne pęknięcia (o orientacyjnej długości od 1,5 do 10 mm). Ich weryfikacja przeprowadzona zostanie podczas badań nieniszczących. Pow. 2,5 x.	



pow. 2,8 x

4. Makrobudowa złomu tarczy IV stopnia oznaczonej jako „1” w gnieździe łopatki nr 4 z zaznaczonymi charakterystycznymi obszarami złomu opis w tekście



pow. 2,8 x

5. Makrobudowa złomu tarczy IV stopnia oznaczonej jako „2” w gnieździe łopatki nr 26 z zaznaczonymi charakterystycznymi obszarami złomu opis w tekście

stu pęknięcia charakteryzująca się niewielką chropowatością powierzchni. Budowa złomu w obu wyżej wymienionych strefach wykazuje makroskopowe cechy pęknięcia zmęczeniowego. Trzecia ze stref to dołom (strefa o największej chropowatości powierzchni).

Źródłem obciążeń tarczy IV stopnia wirnika wentylatora silników RD-33 w omawianym rejonie są naprężenia obwodowe wynikające ze sposobu montażu tarczy („na wcisk”) i drgania łopatki w gnieździe tarczy. Poza tym opisywany obszar jest rejonem dna karbu. W wyniku przeprowadzonych badań ocenia się, że ogniska zmęczenia w rejonach złomów oznaczonych jako „1” były miejscami inicjacji pęknięcia obu omawianych tarcz IV stopnia w gnieździe łopatki nr 4 dla tarczy „1” i gnieździe łopatki 26 dla tarczy „2”. Pęknięcia omawianych tarcz IV stopnia wirników wentylatorów zapoczątkowało proces niszczenia silników RD-

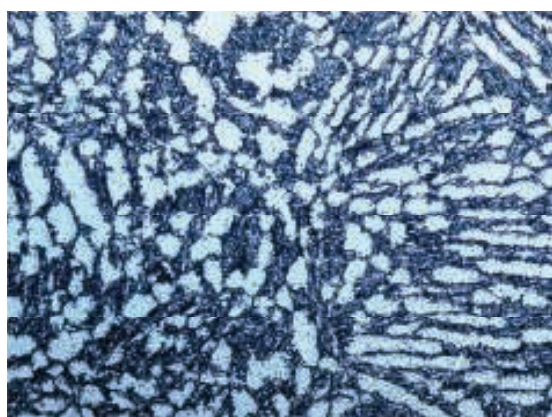
33, na których pracowały.

Makrobudowa złomu tarczy „1” w gnieździe łopatki nr 5 nie wykazywała cech pęknięcia zmęczeniowego. Jednak wyniki elektronomikroskopowych badań mikrobudowy złomu (wykonane w Laboratorium Materiałowych Badań Konstrukcji Lotniczych akredytowanym w Polskim Centrum Akredytacji - certyfikat nr AB-431) przeprowadzone w celu określenia mechanizmów pęknięcia obu badanych tarcz IV stopnia wykazały, że było ono pęknięciem zmęczeniowym. W przypadku tarczy „2” badaniom poddano budowę złomu tarczy z gniazda łopatki nr 29. Badaniom poddano dwie strefy złomu o charakterystycznej budowie: strefę występowania uskoków oraz strefę dołomu. Wyniki analizy przeprowadzonych badań elektronomikroskopowych potwierdzają zmęczeniowy charakter 1/10 złomu. Mikrobudowa złomu wskazuje na propagację pęk-

nięcia pod wpływem cyklicznych obciążeń o względnie wysokiej częstotliwości i niewielkiej amplitudzie – wibracje.

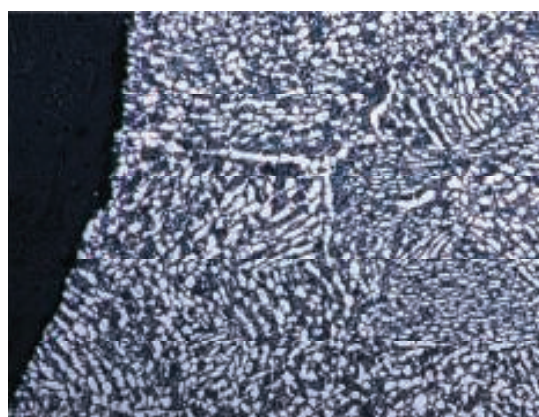
## Badania metalograficzne

W celu oceny jakości i weryfikacji materiałów obu badanych tarcz IV sprężarki niskiego ciśnienia oraz weryfikacji wyników wykonanych badań makroskopowych wykonano badania metalograficzne. Badania wykonano za pomocą mikroskopu metalograficznego Nikon Eclipse MA 200 nr 730042. Obserwację struktury prowadzono na przygotowanych do tego celu, trawionych szlifach metalograficznych. Z przeprowadzonych obserwacji wynika, że struktura materiału obu badanych tarcz IV stopnia wirnika wentylatora w rdzeniu, to dwufazowa, ukierunkowana struktura  $\alpha + \beta$  płytkowa i globularno-płytkowa o różnym



pow. 540 x

6. Trawiony szlif 1/36/14-2 – przekrój osiowy przez tarczę IV stopnia sprężarki niskiego ciśnienia oznaczoną jako „1”, z dala od miejsc inicjacji pęknięcia i zaobserwowanych uszkodzeń. Obraz mikrostruktury materiału, charakterystyczny dla obu badanych tarcz dla obszarów położonych z dala od uszkodzeń.



b) pow. 280 x

7. Trawiony szlif 1/36/14-5 – przekrój prostopadły do powierzchni złomu w rejonie oznaczonym jako „1”, w gnieździe nr 4 tarczy „1”. Obraz mikrostruktury w strefie przyłomowej charakterystyczny dla obu badanych tarcz

stopniu dyspersji płytek fazy  $\alpha$  (patrz rys. 6). Tarcze IV stopnia wirnika wentylatora wykonane są z dwufazowego stopu tytanu WT9, należącego do grupy martenzytycznych stopów tytanu  $\alpha + \beta$ . Stop WT9 to żarowytrzymały stop przeznaczony do obróbki plastycznej, oparty na układzie Ti-Al-Mo-Zr-Si [4]. Struktura przedstawiona na ilustracji 6 jest odpowiednia dla stopu tytanu WT9.

Na rysunku 7 pokazano strukturę materiału tarczy IV oznaczonej jako „1” w gnieździe łopatki nr 4, w rejonie złomu tarczy oznaczonym jako „1”, w strefie przyłomowej, przy krawędzi próbki. Podczas badań nie stwierdzono żadnych wad ani niejednorodności strukturalnych mogących przyczynić się do niszczenia tarczy. W przypadku tarczy „2” również nie zaobserwowano występowania wad i niejednorodności strukturalnych materiału w gnieździe łopatki nr 26, w rejonie złomu tarczy.

## Pomiary twardości

Na trawionych i nie trawionych szlifach wykonano pomiary twardości jako uzupełnienie badań mikrostruktury w celu weryfikacji materiału obu tarcz IV stopnia. Pomiary twardości wykonano w Laboratorium Materiałowych Badań Konstrukcji Lotniczych akredytowanym przez Polskie Centrum Akredytacji (nr certyfikatu akredytacyjnego: AB 431).

Tarcze IV stopnia wirnika wentylatora wykonane są ze stopu tytanu WT9. W wyniku przeprowadzonych pomiarów twardości nie stwierdzono znaczących różnic twardości w rdzeniach badanych przekrojów obu tarcz. Średnia twardość materiału tarczy „1” w rdzeniu wynosi  $358 \pm 9$  HV 10, co w orientacyjnym przeliczeniu odpowiada wytrzymałości na rozciąganie - Rm od 1130 do 1200 MPa [3]. Natomiast tarczy „2” wynosi  $350 \pm 5$  HV 10, co w orientacyjnym przeliczeniu odpowiada wytrzymałości Rm od 1130 do 1150 MPa [3]. Zgodnie z wymaganiami podanymi w literaturze [4] wytrzymałość na rozciąganie dla stopu tytanu WT9 po obróbce cieplno-

-mechanicznej powinna wynosić Rm minimum 1100 MPa, co oznacza, że właściwości materiału badanej tarczy są zgodne z danymi literaturowymi. W strefach przyłomowych, przy krawędziach próbek średnia twardość materiału tarczy „1” wzrasta do  $391 \pm 12$  HV 0,2 (poza próbką 1/36/14-4 – przekrój prostopadły do powierzchni złomu w rejonie oznaczonym jako „2”, w gnieździe nr 4 tarczy IV stopnia sprężarki niskiego ciśnienia, gdzie nie odnotowano wzrostu twardości materiału w strefie przyłomowej. Średnia wartość twardości dla tej próbki wynosi  $345 \pm 6$  HV 0,2). Natomiast dla tarczy „2” wzrasta do  $375 \pm 10$  HV 0,2. Obserwowany, niewielki wzrost twardości materiału w strefach przyłomowych jest naturalnym, nie budzącym zastrzeżeń zjawiskiem.

## Podsumowanie wyników badań

Pierwotnym uszkodzeniem obu badanych tarcz IV stopnia wirników wentylatorów silników RD-33 było ich zmęczeniowe pękanie, zainicjowane w rejonie gniazda łopatki nr 4 w przypadku tarczy oznaczonej jako „1” i w rejonie gniazda łopatki nr 26 w przypadku tarczy oznaczonej jako „2”

Wszystkie pozostałe uszkodzenia badanych tarcz mają charakter wtórny.

Nie stwierdzono obecności wad materiałowych ani niejednorodności struktury i własności materiału, które mogłyby sprzyjać inicjacji i rozwojowi pęknięcia zmęczeniowego badanych tarcz.

Uszkodzenie tarczy „1” nastąpiło po 1323 godzinach pracy silnika, natomiast tarczy „2” po niecałych 1325. Ocenia się, że prawdopodobnie obie tarcze całkowicie wyczerpały zapas trwałości zmęczeniowej. ◀

## Materiały źródłowe

- [1] Dokumentacja 88-TR-12 „Demontaż, remont i montaż wirnika wentylatora”.
- [2] Dokumentacja techniczna nr TT-285 „Instrukcja resursów zespołów i silnika RD 33”.

[3] Mały Poradnik Mechanika, tom 1, Nauki Matematyczno-Fizyczne, Materiałoznawstwo, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1994 r.

[4] Bylica A., Sieniawski J., Tytan i jego stopy, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1985 r.

## W Zabrzu chcą zbudować centrum przesiadkowe, ale gotowej koncepcji jeszcze nie ma

Arkadiusz Nauka, Dziennik Zachodni, 4.07.2018

Dzisiaj, 3 lipca w Urzędzie Miejskim w Zabrzu władze miasta podpisały umowę z firmą AnArchi Group na utworzenie koncepcji centrum przesiadkowego. Spółka, która jest autorem koncepcji na podobne centra w Gliwicach i Bytomiu ma 24 miesiące na to, aby wymyślić, w jaki sposób usprawnić transport publiczny na terenie miasta (...).

## Rusza budowa centrum przesiadkowego w Brynowie. Będą duże zmiany w ruchu

Iota, Dziennik Zachodni, 5.08.2018

W poniedziałek, 6 sierpnia, rozpoczną się zasadnicze prace na budowie centrum przesiadkowego w Brynowie. Wykonawca przystąpi do wykonania muru oporowego wzdłuż ulicy Kościuszki. W związku z pracami mocno zmieni się organizacja ruchu w rejonie pętli w Brynowie. Zamknięty zostanie m.in. fragment ulicy Jankego, a zwężona ulica Kościuszki (...).

## W Łodzi powstaną nowe przystanki kolejowe Łódź Retkinia, Łódź Warszawska i Łódź Radogoszcz Wschód

Marcin Bereszczynski, Dziennik Łódzki, 1.06.2018

Rozpoczęła się procedura przetargowa, która wyłoni wykonawcę przebudowy trzech przystanków kolejowych i budowę trzech nowych. Termin składania ofert mija 5 lipca. Łódź Retkinia, Łódź Warszawska i Łódź Radogoszcz Wschód to przystanki, które zostaną zbudowane. Przebudowa obejmie Łódź Arturówek, Łódź Stoki i Łódź Marysin. Przy ostatnim z nich powstanie tzw. mijanka, czyli drugi tor. Obecnie jest to linia jednotorowa. Mijanka poprawi przepustowość odcinka między Łodzią Widzewem i Zgierzem. W ostatnich dniach spółka PKP Polskie Linie Kolejowe wydała ogłoszenie o zamówieniu tych prac budowlanych.

W ramach zamówienia położony zostanie również kabel światłowodowy między stacjami Łódź Widzew i Zgierz. Wartość inwestycji to 26,5 mln zł. Prace mają trwać 20 miesięcy od podpisania umowy z wyłonionym wykonawcą (...).