

SPIS TREŚCI

WSTĘP	11
--------------------	-----------

Rozdział 1

Charakterystyka i właściwości lotniczego silnika odrzutowego	17
---	-----------

1.1. Charakterystyka eksploatacyjnych warunków pracy lotniczego silnika odrzutowego	17
1.2. Obciążenia i przeciążenia	22
1.3. Ogólna klasyfikacja uszkodzeń lotniczych silników odrzutowych oraz czynniki wpływające na ich powstanie.....	27
1.4. Charakterystyka turbiny gazowej lotniczego silnika odrzutowego	31
1.4.1. Analiza postaci uszkodzeń łopatek turbiny.....	31
Literatura do rozdziału 1	43

Rozdział 2

Metody diagnostyczne wykrywania uszkodzeń łopatek turbin gazowych ...	45
--	-----------

2.1. Wprowadzenie	45
2.2. Problematyka diagnozowania lotniczych silników turbinowych	47
2.3. Metody diagnostyczne wykrywania uszkodzeń łopatek turbin gazowych ...	52
2.3.1. Metoda wizualna	55
2.3.2. Metoda penetracyjna	57
2.3.3. Metoda termograficzna	59
2.3.4. Metoda ultradźwiękowa	60
2.3.5. Rentgenowska tomografia komputerowa (CT)	62

2.3.6. Metoda prądów wirowych (ET).....	64
2.3.7. Metoda ekspertowa	67
2.4. Wiarygodność badań nieniszczących	69
2.5. Wnioski.....	71
Literatura do rozdziału 2	72

Rozdział 3

Metodyka diagnozowania łopatek turbiny gazowej metodą tomografii komputerowej CT	75
3.1. Wstęp.....	75
3.2. Badane materiały i metodyka prowadzonych badań	81
3.2.1. Badane materiały	81
3.2.2. Metodyka badań.....	83
3.3. Dobór parametrów badań	88
3.3.1. Wpływ parametrów systemu kontroli rentgenowskiej na wyniki badań.....	88
3.4. Wykrywanie wad w eksploatowanych łopatkach turbiny gazowej	90
3.5. Omówienie wyników.....	93
3.6. Wnioski.....	95
Literatura do rozdziału 3	96

Rozdział 4

Metodyka diagnozowania łopatek turbiny gazowej metodą termografii impulsowej	99
4.1. Podstawy fizyczne	99
4.2. Metoda termografii impulsowej.....	106
4.3. Zastosowanie metody termograficznej do oceny stanu łopatek turbiny gazowej	111
4.4. Metoda i aparatura	112
4.4.1. Założenia do modelu laboratoryjnego.....	112
4.5. Podsumowanie	123
4.6. Wnioski z badań	124
Literatura do rozdziału 4	124

Rozdział 5

Model detekcji i analizy obrazów powierzchni	127
5.1. Podstawy fizyczne	127

5.2. Akwizycja obrazów powierzchni łopatki za pomocą układów optoelektronicznych.....	133
5.3. Systemy wizyjne wykorzystywane przy diagnozowaniu łopatek turbiny.....	136
5.4. Metoda analizy cyfrowych obrazów powierzchni łopatek turbiny gazowej.....	138
5.4.1. Model RGB.....	139
5.4.2. Histogram rozkładu jasności	140
5.5. Analiza kolorometryczna sygnałów uzyskanych z powierzchni łopatek – opis teoretyczny, założenia.....	142
5.6. Podsumowanie.....	145
Literatura do rozdziału 5	146

Rozdział 6

Ocena stanu technicznego łopatek turbiny gazowej na podstawie analizy ich obrazów pozyskanych urządzeniem optoelektronicznym

6.1. Kalibracja urządzenia optoelektronicznego – wideoskop Mentor.....	149
6.2. Analiza reprezentacji barwnej RGB powierzchni w obszarach krawędzi natarcia łopatek	158
6.3. Powierzchniowa analiza barwna obrazów w obszarach krawędzi natarcia łopatek.....	163
6.4. Metodyki przestrzennej 3D analizy barwnej obrazów w obszarach krawędzi natarcia łopatek wraz z algorytmem i programem komputerowym.....	170
Literatura do rozdziału 6	176

Rozdział 7

Wyznaczanie cech diagnostycznych optoelektronicznych obrazów eksploatowanych łopatek turbiny gazowej przetwarzanych w zbiorze przestrzeni barw.....

7.1. Wprowadzenie	177
7.2. Algorytm przetwarzania obrazów krawędzi natarcia łopatek	178
7.3. Wyznaczanie cech diagnostycznych obrazów łopatek w wybranych przestrzeniach barw	182
7.4. Wrażliwość składowych barw na zmianę iluminacji.....	194
7.5. Ocena zdolności łopatek do dalszej eksploatacji z wykorzystaniem cech diagnostycznych obrazów łopatek w wybranych przestrzeniach barw w funkcji uogólnionego czasu eksploatacji	208

7.6. Podsumowanie.....	211
Literatura do rozdziału 7	211

Rozdział 8

Model akwizycji oraz komputerowej analizy obrazów uzyskanych z powierzchni wygrzewanych łopatek

8.1. Charakterystyka stopu EI-867WD wygrzewanych łopatek.....	213
8.2. Wyznaczenie czasu wygrzewania łopatek.....	215
8.3. Laboratoryjny model akwizycji obrazów oraz komputerowej analizy obrazów uzyskanych z powierzchni łopatek.....	219
8.4. Analiza obrazów powierzchni wygrzewanych łopatek.....	220
8.5. Wnioski.....	229
Literatura do rozdziału 8	230

Rozdział 9

Badania struktury łopatek wygrzewanych w obecności nafty

9.1. Charakterystyka żaroodpornej aluminikowej powłoki	231
9.1.1. Wstęp	231
9.1.2. Badanie chropowatości powierzchni	232
9.1.3. Metodologia badań struktury powierzchni powłok.....	234
9.1.4. Udział pierwiastków oraz tlenków na powierzchni łopatek	244
9.1.5. Badania mikrostruktury powłok.....	246
9.1.6. Skład strukturalny powłok	248
9.1.7. Wnioski	253
9.2. Analiza mikrostruktury stopu wygrzewanych łopatek	253
9.2.1. Pomiar wielkości ziarna.....	253
9.2.2. Analiza wydzielenia węglików oraz umacniającej fazy γ'	255
9.2.3. Omówienie wyników	258
9.3. Wnioski.....	261
Literatura do rozdziału 9	261

Rozdział 10

Badania metalograficzne eksploatowanych łopatek turbiny lotniczego silnika odrzutowego

10.1. Wprowadzenie.....	263
10.2. Charakterystyka łopatek turbiny gazowej	267
10.3. Badania powłoki krawędzi natarcia łopatek	269

10.3.1. Badania metalograficzne powłoki krawędzi natarcia łopatek	269
10.3.2. Badania struktury i morfologii powierzchni na krawędzi natarcia.....	270
10.3.3. Wyniki badań – powłoka	272
10.4. Badania metalograficzne stopu na krawędzi natarcia łopatek	286
10.4.1. Badania mikrostrukturalne.....	286
10.5. Ocena zdatności eksploatowanych łopatek	300
10.5.1. Powłoka	300
10.5.2. Struktura.....	301
10.6. Podsumowanie	305
Literatura do rozdziału 10	306
 Rozdział 11	
Prognozowanie zdatności eksploatowanych łopatek turbiny gazowej	311
11.1. Nomogram do oceny stanu zdatności wygrzewanych łopatek turbiny gazowej ze stopu EI-867WD na podstawie zmiany zależności nasycenia R0 barwy powierzchni oraz wielkości wydzielania ze stopu umacniającej fazy γ'	311
11.2. Nomogram do oceny stanu zdatności wygrzewanych łopatek turbiny gazowej ze stopu EI-867WD na podstawie zmiany odpowiedzi termicznej łopatek w postaci zależności $\ln(T-T_0)$ w funkcji $\ln(t)$ oraz wielkości wydzielania umacniającej fazy γ'	314
11.3. Nomogram do oceny stanu zdatności eksploatowanych łopatek turbiny gazowej ze stopu ŻS-32 na podstawie zmiany zależności nasycenia R0 barwy powierzchni oraz wielkości wydzielania umacniającej fazy γ'	316
11.4. Omówienie wyników.....	319
Literatura do rozdziału 11	320
PODSUMOWANIE	323
SPIS RYSUNKÓW	329
SPIS TABEL	341
LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA	343