

Rīgas Tehniskā universitāte  
Mašīnzinību, transporta un aeronautikas fakultāte  
Aeronautikas institūts

**Aleksandrs Urbahs, Kristīne Carjova,  
Margarita Urbaha, Ilze Stelpa**

# **GAISA KUĢU KONSTRUKCIJU NESAGRAUJOŠĀ KONTROLE**

Zinātniskā monogrāfija

Apstiprinājusi RTU Zinātnes padome 2016. gadā.  
Apliecinājums Nr. 04000-3/7.

Recenzenti: *Jonas Stankūnas, Dr. habil. sc. ing.*  
*Rafal Chatys, Dr. habil. sc. ing.*

RTU Izdevniecība  
Rīga 2017

# Saturs

IEVADS .....	7
<b>1. MAŠĪNU KONSTRUKCIJU DEFEKTI .....</b>	<b>9</b>
1.1. Defektu vispārīgā klasifikācija .....	11
1.2. Defektu klasifikācija pēc bistamības pakāpes .....	14
1.3. Defektu klasifikācija pēc to izcelsmes.....	16
1.3.1. Liešanas defekti .....	17
1.3.2. Velmēšanas un kalšanas defekti .....	19
1.3.3. Defekti metināto šuvju zonās .....	20
1.3.4. Termiskās un mehāniskās apstrādes defekti .....	23
1.3.5. Defekti mašīnu ekspluatācijas laikā .....	24
1.3.6. Polimēru kompozītu materiāla defekti .....	30
<b>2. NESAGRAUJOŠĀS KONTROLES METODES UN TO TEHNISKIE RAKSTUROJUMI .....</b>	<b>34</b>
2.1. Tehniskās kontroles jēdziens .....	34
2.2. Nesagraujošās kontroles metožu klasifikācija .....	37
2.3. Nesagraujošās kontroles metožu galvenie tehniskie raksturojumi .....	42
2.4. Galvenie faktori, kas ietekmē nesagraujošās kontroles metožu izvēli .....	47
<b>3. VIZUĀLI OPTISKĀ NESAGRAUJOŠĀ KONTROLE .....</b>	<b>51</b>
3.1. Vizuāli optiskās nesagraujošās kontroles būtība .....	51
3.2. Vizuāli optiskās nesagraujošās kontroles metodes .....	52
3.3. Tiešās vizuāli optiskās kontroles metodes būtība .....	54
3.4. Netiešās vizuāli optiskās kontroles metožu būtība .....	55
3.4.1. Lāzera optiskās kontroles metožu būtība .....	55
3.4.2. Hologrāfiskās optiskās kontroles metožu būtība .....	55
3.5. Vizuāli optiskās nesagraujošās kontroles aprīkojums .....	57
3.5.1. Lupas .....	58
3.5.2. Mikroskopi .....	60
3.5.3. Endoskopi .....	62
3.5.4. Tālkontroles kompleksi .....	67
<b>4. KAPILĀRĀ NESAGRAUJOŠĀ KONTROLE .....</b>	<b>68</b>
4.1. Kapilārās nesagraujošās kontroles būtība .....	68
4.2. Kapilārās nesagraujošās kontroles fizikālā būtība .....	69
4.3. Kapilārās nesagraujošās kontroles metodes .....	73
4.3.1. Kapilārās nesagraujošās kontroles pamatmetodes .....	74
4.3.2. Kapilārās nesagraujošās kontroles kombinētās metodes .....	75
4.4. Kapilārās nesagraujošās kontroles defektoskopijas materiāli .....	76
4.4.1. Indikatora penetranti .....	77
4.4.2. Penetranta attīstītāji .....	79
4.4.3. Penetranta dzēsēji un attīrītāji .....	81
4.4.4. Paligmateriāli .....	81

4.5.	Kapilārās nesagraujošās kontroles defektoskopijas materiālu kvalitātes kontrole .....	82
4.6.	Kapilārās nesagraujošās kontroles tehnoloģija .....	84
4.6.1.	Objektu sagatavošana kontrolei .....	85
4.6.2.	Detaju apstrāde ar defektoskopijas materiāliem .....	88
4.6.2.1.	Indikatora penetranta uzklāšana .....	88
4.6.2.2.	Indikatora penetranta pārpalikumu likvidēšana .....	90
4.6.2.3.	Attīstītāja uzklāšana .....	92
4.6.3.	Defektu reģistrācija un kontroles rezultātu atšifrēšana .....	95
4.6.4.	Kontrolējamā objekta pilnīga attīrīšana .....	96
4.7.	Kapilārās kontroles jutība un tās pārbaude .....	97
4.8.	Krāsu nesagraujošās kontroles metodes tehnoloģiskā procesa apraksts .....	98
4.8.1.	Indikatora penetranta uzklāšana .....	99
4.8.2.	Penetranta pārpalikuma likvidēšana .....	99
4.8.3.	Attīstītāja uzklāšana .....	99
4.8.4.	Defektu reģistrācija, kontroles rezultātu atšifrēšana, kontrolējamā objekta pilnīga attīrīšana .....	100
4.9.	Kapilārās nesagraujošās kontroles aprīkojums .....	100
4.9.1.	Krāsu nesagraujošās kontroles metodes pārnēsājama aprīkojums .....	101
4.9.2.	Luminiscences nesagraujošās kontroles metodes pārnēsājama aprīkojums .....	101
4.9.3.	Luminiscences nesagraujošās kontroles metodes stacionārais aprīkojums .....	102
4.9.4.	Ultravioletā apgaismojuma sistēmas .....	103
4.9.5.	Izsmidzināšanas iekārtas .....	103
<b>5.</b>	<b>MAGNĒTISKĀ NESAGRAUJOŠĀ KONTROLE .....</b>	<b>105</b>
5.1.	Magnētiskās nesagraujošās kontroles būtība .....	105
5.2.	Magnētiskās nesagraujošās kontroles metodes .....	106
5.3.	Pulvermagnēta nesagraujošās kontroles metodes tehnoloģija .....	108
5.3.1.	Detaju sagatavošana kontrolei .....	110
5.3.2.	Detaju magnetizēšana .....	111
5.3.2.1.	Detaju magnetizēšanas paņēmieni .....	112
5.3.2.2.	Elektriskās magnetizējošās strāvas veidi un magnetizēšanas režīma parametri .....	118
5.3.3.	Magnētiskā pulvera vai suspensijas uzklāšana .....	121
5.3.4.	Defektu reģistrācija un kontroles rezultātu atšifrēšana .....	124
5.3.5.	Detaju atmagnetizēšana .....	126
5.3.6.	Kontroles paraugi un defektogrammas .....	129
5.3.7.	Pulvermagnēta nesagraujošās kontroles metodes jutība .....	130
5.4.	Magnetografiskās nesagraujošās kontroles metodes tehnoloģija .....	132
5.5.	Pulvermagnēta nesagraujošās kontroles metodes aprīkojums .....	134
<b>6.</b>	<b>RADIĀCIJAS NESAGRAUJOŠĀ KONTROLE .....</b>	<b>136</b>
6.1.	Radiācijas nesagraujošās kontroles būtība .....	136
6.2.	Radiācijas nesagraujošās kontroles fizikālā būtība .....	137
6.3.	Jonizējošā starojuma veidi un galvenās īpašības .....	139

6.4.	Radiācijas nesagraujošās kontroles metodes .....	142
6.5.	Radiogrāfijas nesagraujošās kontroles metodes tehnoloģija .....	144
6.5.1.	Caurstarošanas režīmu noteikšana un starojuma avota izvēle .....	144
6.5.2.	Darbavietas un detaļas sagatavošana caurstarošanai .....	145
6.5.3.	Radiogrāfijas filmas izvēle un kasešu uzpildīšana .....	146
6.5.4.	Sekundārā starojuma pārbaude un aizsardzības pasākumi .....	148
6.5.5.	Detaļas, kasešu, informācijas, jutības etalonu, filtru un svina lokšņu uzstādīšana .....	149
6.5.6.	Caurstarošana – filmiņu eksponēšana .....	152
6.5.7.	Eksponēto filmu apstrāde .....	152
6.5.8.	Attēlu atšifrēšana un caurstaroto detaļu kvalitātes novērtēšana ....	153
6.6.	Radiogrāfijas nesagraujošās kontroles metodes jutība .....	154
6.7.	Radiogrāfijas nesagraujošās kontroles metodes jonizējošā starojuma aprikojums .....	156
<b>7.</b>	<b>VIRPUĻSTRĀVAS NESAGRAUJOŠĀ KONTROLE .....</b>	<b>164</b>
7.1.	Virpuļstrāvas nesagraujošās kontroles būtība .....	164
7.2.	Virpuļstrāvas nesagraujošās kontroles fizikālā būtība .....	166
7.3.	Virpuļstrāvas nesagraujošās kontroles metodes .....	167
7.4.	Virpuļstrāvas nesagraujošās kontroles tehnoloģija .....	167
7.5.	Virpuļstrāvas nesagraujošās kontroles aprikojums .....	171
7.5.1.	Virpuļstrāvas pārveidotāju darbības princips .....	171
7.5.2.	Virpuļstrāvas pārveidotāju spoļu savienošanas princips .....	172
7.5.3.	Virpuļstrāvas pārveidotāju izvietojums attiecībā pret kontroles objektu .....	173
<b>8.</b>	<b>TERMISKĀ NESAGRAUJOŠĀ KONTROLE .....</b>	<b>176</b>
8.1.	Termiskās nesagraujošās kontroles būtība .....	176
8.2.	Termiskās nesagraujošās kontroles pamatmetodes .....	177
8.3.	Temperatūras skalas un temperatūras mērīšanas aprikojums .....	178
8.4.	Termiskās nesagraujošās kontroles aktīvā metode .....	181
8.4.1.	Galvenās siltuma slogojuma avotu īpašības un siltuma slogojuma avotu veidi .....	182
8.4.2.	Termiskās kontroles procedūras atkarībā no kontroles zonas un uzsildes veida .....	185
8.4.3.	Termiskās nesagraujošās kontroles aktīvās metodes galvenie etapi ..	186
8.5.	Termiskās nesagraujošās kontroles infrasarkanā termogrāfija .....	188
8.5.1.	Elektromagnētisko svārstību spektrs .....	188
8.5.2.	Siltuma izstarojuma likumi .....	189
8.5.3.	Attēla veidošanas sistēmas infrasarkanajā starojuma diapazonā ....	191
8.5.4.	Optiskā izstarojuma detektori .....	192
8.5.5.	Siltumvizoru klasifikācija .....	194
8.5.6.	Infrasarkanā izstarojuma termometri jeb pirometri .....	195
<b>9.</b>	<b>AKUSTISKĀ NESAGRAUJOŠĀ KONTROLE .....</b>	<b>197</b>
9.1.	Akustiskās nesagraujošās kontroles būtība .....	197
9.2.	Akustiskās nesagraujošās kontroles metodes .....	198

9.3. Akustisko viļņu veidi .....	199
9.4. Akustisko viļņu izstarošana un uztveršana .....	203
9.5. Akustisko viļņu atstarošanās un refrakcijas likumsakarības .....	205
9.6. Pjezoelektrisko sensoru veidi .....	207
9.7. Ultraskaņas ēnu nesagraujošās kontroles metodes fizikālā būtība .....	210
9.8. Ultraskaņas spoguļa ēnu nesagraujošās kontroles metodes fizikālā būtība ..	212
9.9. Ultraskaņas impulsu atbalss nesagraujošās kontroles metodes fizikālā būtība .....	213
9.10. Rezonanses nesagraujošās kontroles metodes fizikālā būtība .....	218
9.11. Velosimetriskās un brīvo svārstību nesagraujošās kontroles metožu fizikālā būtība .....	219
9.12. Impedances nesagraujošās kontroles metodes fizikālā būtība .....	219
<b>10. AKUSTISKĀS EMISIJAS NESAGRAUJOŠĀS KONTROLES METODE .....</b>	<b>221</b>
10.1. Akustiskās emisijas nesagraujošās kontroles metodes būtība .....	222
10.1.1. Akustiskās emisijas nesagraujošās kontroles metodes fizikālie pamati .....	226
10.1.2. Akustiskās emisijas nesagraujošās kontroles metodes reģistrējamie parametri .....	228
10.2. Akustiskās emisijas plastiskās deformācijas un plaisu attīstības process .....	230
10.3. Akustiskās emisijas nesagraujošās kontroles aprīkojums .....	238
10.3.1. Akustiskās emisijas iekārtu darbības princips .....	239
10.3.2. Akustiskās emisijas iekārtas un to sastāvdaļas .....	241
10.4. Akustiskās emisijas signālu reģistrācijas un apstrādes metodoloģija .....	245
10.5. Akustiskās emisijas defektu koordinātu noteikšanas metodes .....	248
10.5.1. Akustiskās emisijas defektu koordinātu noteikšana pēc pienākšanas laika starpības .....	248
10.5.2. Akustiskās emisijas defektu zonālā lokācija .....	251
10.6. Gaisa kuģa konstrukcijas stāvokļa novērtēšanas AE signāla amplitūdas teorētiskā modeļa izveide .....	253
10.6.1. Pētījuma objekts un kontroles metodoloģija .....	256
10.6.2. Pētījuma rezultāti .....	258
<b>11. GAISA KUĢA KONSTRUKCIJU NESAGRAUJOŠĀ KONTROLE AR AKUSTISKĀS EMISIJAS METODI .....</b>	<b>261</b>
11.1. Gaisa kuģa šasijas nesagraujošā kontrole ar akustiskās emisijas metodi .....	261
11.1.1. Pētījuma objekts un izmēģinājumu procedūra .....	261
11.1.2. Akustiskās emisijas kontroles rezultāti .....	264
11.1.3. Lūzuma fraktografiskās analīzes rezultāti .....	270
11.1.4. Akustiskās emisijas kontroles un lūzuma fraktografisko datu salīdzinošā analīze .....	278
11.1.5. Atlikušās stiprības pārbaude .....	281
11.2. Gaisa kuģa gāzturbīnas dzinēja lāpstiņu nesagraujošā kontrole ar akustiskās emisijas metodi .....	283
11.2.1. Pētījuma objekts un izmēģinājumu procedūra .....	283
11.2.2. Akustiskās emisijas kontroles rezultāti .....	285
Summary .....	394
Literatūra .....	395