



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Netinkamo naudoti orlaivio rato geometrinių parametru
atkūrimas ir kokybės kontrolė**

Baigiamasis magistro studijų projektas

Lukas Jakubonis
Projekto autorius

Prof. Dr. Elena Jasiūnienė
Vadovė

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Netinkamo naudoti orlaivio rato geometrinių parametru atkūrimas ir kokybės kontrolė

Baigiamasis magistro studijų projektas
Studijų programa 621H40001

Lukas Jakubonis
Projekto autorius

Prof. Dr. Elena Jasiūnienė
Vadovė

Doc. Saulius Japertas
Recenzentas / Recenzentė

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Lukas Jakubonis

Netinkamo naudoti orlaivio rato geometrinių parametrų atkūrimas ir kokybės kontrolė

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Luko Jakubonio, baigiamasis projektas tema „Netinkamo naudoti orlaivio rato geometrinių parametrų atkūrimas ir kokybės kontrolė“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Studijų programa – Aeronautikos inžinerija 6211EX024

Magistrantūros studijų baigiamojo projekto užduotis

Studentui Lukui Jakuboniui

1. Baigiamojo projekto tema:

Netinkamo naudoti orlaivio rato geometrinių parametrų atkūrimas ir kokybės kontrolė

Recovery of unserviceable aircraft wheel geometrical parameters and quality control

2. Projekto tikslas:

Atstatyti netinkamo naudoti pagrindinės važiuoklės 2014-T61 lydinio rato geometrinius parametrus, atlikti kokybės kontrolę ir išsiaiškinti tinkamiausia metodą.

3. Projekto uždaviniai:

1. Išanalizuoti važiuoklės rato atkūrimo galimybes;
2. Išanalizuoti važiuoklės rato atkūrimo tyrimų problematiką;
3. Apžvelgti tyrimus, kurie bus atliekami su 2014-T61 lydinio važiuoklės ratu;
4. Atlikti tyrimus ir išsiaiškinti esamus 2014-T61 lydinio važiuoklės rato pažeidimus;
5. Atlikti pakartotines viso rato neardomas kontrolės inspekcijas;
6. Pateikti išvadas ir rekomendacijas dėl rato geometrinių parametrų atkurimo, pažeidimų prevencijai;
7. Nustatyti galimus neardomos kontrolės metodus remonto kokybei tikrinti.

4. Projekto aprašomosios dalies struktūra:

Įvadas, literatūros analizė, geometrinių parametrų atstatymas, bandinių tyrimas

5. Projekto konsultantai:

Baigiamojo projekto autorius Lukas Jakubonis

(vardas, pavardė, parašas, data)

Baigiamojo projekto vadovas Prof. Dr. Elena Jasiūnienė

(vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programos vadovas Janina Jablonskytė

(vardas, pavardė, parašas, data)

Jakubonis, Lukas. Netinkamo naudoti orlaivio rato geometrinių parametų atkūrimas ir kokybės kontrolė. Magistro krypties studijų baigiamasis projektas vadovė doc. Elena Jasiūnienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Aeronautikos inžinerija (E14), Inžinerijos mokslai

Reikšminiai žodžiai: orlaivio ratas, geometrinis atstatymas, neardomoji kontrolė, sūkurinių srovių tyrimas, ultragarsinis tyrimas, rentgenografija.

Kaunas, 2019. 65 p.

Santrauka

Netinkamo naudoti orlaivio rato geometrinių parametų atkūrimas ir kokybės kontrolė yra aktuali tema, ATR 42 orlaivius eksploatuojančioms ir jų ratus remontuojančioms bendrovėms, kadangi ganėtina dažna orlaivio rato brokavimo priežastis yra korozija ir padangos išdylimas, ratlankio kontakto zonoje. Komponento techninės priežiūros vadovas, kuriuo vadovaujama atliekant techninę rato priežiūrą, nepateikia jokių šios zonos remonto galimybių. Ratas brokuojamas, vadovaujantis MABS, komponento techninės priežiūros vadove, aprašytai išdylimo ar korozijos gylio tolerancijai viršijus 1,27mm.

Darbo tikslas - atstatyti netinkamo naudojimui rato geometrinius parametrus. Pateikti tinkamiausią neardomos kontrolės metodą, atstatymo kokybei kontroliuoti.

Rato geometrija atstatyta lankiniu užpurškimu, dangai formuoti naudojant siluminą. Ratas supjaustytas į bandinius. Vienam iš bandinių atliktas dalinis silumino dangos suliejimas, volframo elektrodu, inertinių dujų aplinkoje. Suliejimas atliktas dalinai dėl to, kad proceso metu pastebėtas dujų išsiskyrimas, sukiantis porėtumą. Belaukiant kol dujų išsiskyrimas baigsis, dalis bandinio sugadinta įvykus perkaitimui, perkaitinta zona pasiekė skystą fazę ir susmego. Taip pat buvo atrinktas bandinys dangos pašalinimui. Pašalinimas buvo reikalingas, norint gauti suformuotos dangos gabalėlį, garso greičio silumino dangoje matavimui, bei nustatyti signalo silpimą. Likęs bandinys, be dangos, panaudotas dar vienai naujai dangai suformuoti, užlydant kitokį aliuminio lydinį, volframo elektrodu, inertinių dujų aplinkoje. Šis procesas atliktas labai greitai, norint neperkaitinti bandinio, taip buvo padengtas minimalus plotas, reikalingas tolimesniems tyrimams atlikti.

Sūkurinių srovių metodas parodė porėtumą abiejuose bandiniuose, su silumino danga, tačiau neparodė defektų, inertinių dujų aplinkoje, užlietoje dangoje. Padarius pjūvius bandiniuose ir pakartojus tyrimą, buvo rastas skylimas dangos ir pagrindo sąlyčio zonoje bandiniuose, su silumino danga, tiek užpurkšta, tiek sulieta. Tačiau tikrinant bandinį, su užlieta danga, sūkurinių srovių metodu, defektų nerasta.

Atlikti, ultragarso metodu, neardomos kontrolės tyrimai parodė, signalo slopinimą abiejuose bandiniuose su silumino danga. Bei parodė tik pradinį signalo slopinimą bandinyje su, inertinių dujų aplinkoje, užlieta danga.

Penetranto tyrimai atlikti bandinių pjūviuose parodė skylimus, bei jų kelių bandiniuose su silumino danga. Skylimas šiuo atveju atkartojė nepadengto rato geometriją. Penetranto tyrimas skylimo

neparodė bandinyje, su volframo elektrodu, inertinių dujų aplinkoje, užlydyta danga. Čia išryškėjo dvi paviršinės poros, atsiradusios padengimo metu arba dėl mechaninio pažeidimo.

Rentgenografijos tyrimas atliktas tik, elektrolankiniu užpurškimu ir inertinių dujų aplinkoje užlydytos dangos, bandiniams. Tyrimo rezultatai buvo analogiški penetranto patikrai bandinio, su silumino danga, pjūviui. Užlietos dangos bandinio rentgenografijos tyrimas parodė, nedidelį priemaišų egzistavimą dangoje.

Jakubonis, Lukas. Recovery of unserviceable aircraft wheel geometrical parameters and quality control. Master's Final Degree Project supervisor doc. Elena Jasiūnienė; Mechanical engineering and design Faculty, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Aeronautics engineering (E14), Engineering studies.

Keywords: aircraft wheel, geometrical parameters recovery, nondestructive testing, Eddy current testing, ultrasonic testing, x-ray testing.

Kaunas, 2019. 65 p.

Summary

Recovery of unserviceable aircraft wheel geometrical parameters and quality control is relative topic for companies operating ATR 42 aircrafts and organizations that perform wheel maintenance. Issue is that wheels are being commonly canceled from service due to corrosion and wear at tire to wheel contact area.

Component maintenance manual, which is being referred at when performing wheel maintenance, does not provide any options for recovery of such damage. In accordance with "MABS" component maintenance manual damage tolerance, if wear or corrosion found deeper than 1,27mm, component is canceled from service.

The purpose of this project is to recover geometry parameters and to provide most preferred non destructible means of quality control

Wheel geometry recovered by arc spray of siluminum coating. Coated wheel was divided into testing pieces. One of testing pieces was subjugated to partial re-melting of its siluminum coating by tungsten inert gas welding method. Tungsten inert gas re-melting of siluminum was performed only partially due to release of gas when process is started, this occurrence left cavities inside the coating. When trying to close these cavities prolonged arc heating applied, during this heating area of test piece reached liquid phase and deformed, resulting in partial destruction of test piece. One more testing piece was chosen for mechanical removal of siluminum coating. Removal of coating was necessary to acquire example of the siluminum coating itself, for measuring of speed of sound inside the coating and to investigate signal attenuation. A left over non coated test piece was used to form one more coating, by applying different aluminum alloy in method of tungsten inert gas welding. This process was performed in an urgent pace pass, that should not overheat the test piece. Minimal, necessary for testing, area was coated using TIG welding method.

The results of Eddy current testing showed that both arc spray and re-melted siluminum coatings were porous. While coating applied by TIG welding showed no such issues. After test pieces cutouts were finished, Eddy current testing was repeated. Cross section area testing resulted in crack indications on both arc spray and re-melted siluminum coating test pieces. Although no such damage was found on coating applied by tungsten inert gas welding.

Ultrasound testing resulted in signal attenuation on both arc spray and re-melted siluminum coating test pieces. This time it also showed an initial signal attenuation on TIG coated test piece.

Dye penetrant testing on test pieces cross sections once again resulted in crack indications on both arc spray and re-melted siluminum coating test pieces, inspection also provided crack propagation

view that resembled non coated wheel surface geometry. Penetrant inspection results showed no crack indication on tungsten inert gas method coated test piece, however few surface cavities were indicated that were a result of mechanical damage or appeared during TIG coating application.

X-ray testing performed on arc spray siluminum coated and tungsten inert gas coated test pieces. The results of x-ray testing revealed analogic results as penetrant inspection on siluminum coated test piece. However, the test piece coated by TIG welding method revealed to have few foreign particles inside the coating.

Turinys

Paveikslų sąrašas	10
Lentelių sąrašas.....	12
Įvadas	13
1. Literatūros analizė.....	15
2. Rato problematika ir patikros metodai.....	21
2.1 Sūkurinių srovių metodas	22
2.2 Ultragarsinis metodas	23
2.3 Rentgenografija.....	24
3. Rato patikra rentgeno aparatu.....	25
4. Pasiruošimas ultragarsiniui tyrimui.....	28
4.1. Bandinio modeliavimas.....	28
4.2. Keitiklio aprašymas.....	29
4.3. Inspekcijos aprašymas.....	29
4.4. Idėtiniai defektai	30
4.5. Simuliacija ir rezultatai	30
4.6. Matavimai prieš padengimą.....	33
5. Lankinis metalizavimas	40
5.1 Rato kanto išdirbio remontas	40
5.2. Matavimai po padengimo	41
5.3. Atspindžio silpimas	42
5.4. Penetranto tyrimas.....	44
6. Silumino dangos pašalinimas.....	47
6.1. Silumino dangos tyrimas	49
6.2. Silumino dangos perlydimas inertinių dujų aplinkoje	50
7. Silumino dangos rentgeno tyrimas	52
8. TIG suvirinimo būdu užnešta aliuminio danga	55
8.1. TIG suvirinimo būdu užneštos dangos penetranto tyrimas	56
8.2. TIG suvirinimo būdu, užneštos dangos ultragarsinis tyrimas	57
8.3. TIG suvirinimo būdu užneštos dangos rentgeno tyrimas.....	57
9. Mikrošlifas.....	60
9.2. Bandinio, su silumino danga, mikrostuktūra	60
9.3. Bandinio, su silumino danga, perlydyta, inertinių dujų aplinkoje, mikrostuktūra	63
9.4. Bandinio, suvirinto, inertinių dujų aplinkoje, padengta danga mikrostuktūra	65
Rezultatų apibendrinimas	69
Išvados.....	70
Literatūros sąrašas	71

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Suvirinimo siūlės įtrūkimas	15
1.2 pav. Orlaivio AMX rato defektas [19-2]	18
1.3 pav. Orlaivio rato pagaminto iš Aliuminio lydinio 2014-T6 defektai [23-2].....	19
1.4 pav. Rato atsparumo nuovargiui diagrama (x - ašyje bandinio simbolis, y - ašyje apskaičiuotas resursas [20-5]	19
2.1 pav. Orlaivio ATR 42-300 rato surinkimo schema [15-182]	21
2.2 pav. Sukūrinių srovių patikros jutiklių pavyzdys [17-75].....	22
2.3 pav. Sukūrinių srovių patikros metodu atliekamos inspekcijos jutiklio, judėjimo kelio pavyzdžiai [17-86]	22
2.4 pav. Ultragarso metodo neardomos kontrolės inspekcijai naudojama įranga [17-51].....	23
3.1 pav. Tyrimo rentgenų gauta nuotrauka su matomais detalės defektais.....	25
3.2 pav. Remonto dirbtuvių pažymeto skilimo vieta	26
3.3 pav. Dirbtuvėse pažymėtos įtrūkimo vietos rentgeno nuotrauka.....	26
4.1 pav. Neardomos kontrolės patikros vadove nurodytos tikrintinos zonos.....	28
4.2 pav. CIVA 2017 programoje nubraižytas bandinio pjūvio modelis	28
4.3 pav. Bandinio modelis, 3D vaizdas.....	29
4.4 pav. Parodomas keitiklio kelias tiriamuoju objektu. Matomas siunčiamas ir atsispindėjęs signalas, bei kelias, kuriuo vyksta pastūma.....	30
4.5 pav. Rezultatai parinkus rodyti tik priekinės sienelės atspindį.....	31
4.6 pav. Rezultatai parinkus tik apatinės sienelės atspindį	31
4.7 pav. Rezultatai parinkus tiek priekinės, tiek galinės sienelės atspindį.....	32
4.8 pav. Rezultatai neparinkus nei vieno atspindžio.....	32
4.9 pav. „Ascan“ simuliuoto defekto vaizdas, CIVA programoje.....	33
4.10 pav. Rato varžto skylė	34
4.11 pav. Garso greičio matavimo schema	34
4.12 pav. Tyrimo rezultatai	35
4.13 pav. Tyrimo schema	36
4.14 pav. Likutinio medžiagos storio matavimas ultragarsu rezultatai	36
4.15 pav. Storio matuoklis.....	37
4.16 pav. Matavimas storio matuokliu.....	38
4.17 pav. Matavimas sukūrinių srovėmis	38
5.1 pav. Detalė prieš padengimą (kairėje) ir po padengimo (dešinėje)	40
5.2 pav. Bandinio matavimas ultragarsu, po padengimo siluminu, rezultatai	42
5.3 pav. Rato šono tyrimas atspindžiams stebėti.....	43
5.4 pav. Tyrimas, padengtos zonos perėjimas į nedengtą zoną.....	43
5.5 pav. Signalų silpimas	44
5.6 pav. Bandinys ultravioletinėje šviesoje.....	45
5.7 pav. Papildoma inspekcija sukūrinių srovių metodu.	46
6.1 pav. Dirbtinis silumino dangos skilimo formavimas	47
6.2 pav. Dirbtinio įtrūkimo tyrimas ultragarsu.....	48
6.3 pav. Nuo bandinio pašalinta danga	48
6.4 pav. Atskeltas silumino dangos gabalėlis.....	49
6.5 pav. Silumino dangos gabalėlis profiliu.....	49
6.6 pav. Tyrimo ultragarsu rezultatai.....	50
6.7 pav. Perlydyta silumino danga.....	51

6.8 pav. Dangos perlydymo metu, matoma perkaitimo deformacija.....	51
7.1 pav. Peršviesto bandinio vaizdas iš šono.....	52
7.2 pav. Silumino dangos rentgeno tyrimo vaizdai iš viršaus (kairėje) ir priekio (dešinėje).....	53
7.3 pav. Rentgeno tyrimu gautas 3D vaizdas	53
8.1 pav. TIG suvirinimo būdu užnešta 5356 danga	55
8.2 pav. Inertinių dujų aplinkoje užlydytos dangos penetranto tyrimas	56
8.3 pav. Inertinių dujų aplinkoje užlydytos dangos tyrimas	57
8.4 pav. Rentgeno vaizdas iš priekio	58
8.5 pav. Rentgeno vaizdas iš dešinės pusės	58
8.6 pav. Rentgeno vaizdas iš viršaus	59
8.7 pav. Visi keturi rentgenogramos vaizdai.....	59
9.1 pav. 2024 serijos aliuminio lydinio mikrošlifo vaizdas padidinus 200 kartų	60
9.2 pav. Bandinys, su silumino danga, padidinus 2,5 karto	61
9.3 pav. Bandinys, su silumino danga, padidinus 5 kartus	61
9.4 pav. Bandinys, su silumino danga, padidinus 20 kartų.....	62
9.5 pav. Bandinys, su silumino danga, padidinus 50 kartų.....	62
9.6 pav. Bandinys, su silumino danga, perlydyta, inertinėse dujose, padidinus 2,5 karto.....	63
9.7 pav. Bandinys, su silumino danga, perlydyta, inertinėse dujose, padidinus 5 kartus.....	63
9.8 pav. Bandinys, su silumino danga, perlydyta, inertinėse dujose, padidinus 20 kartų.....	64
9.9 pav. Bandinys, su silumino danga, perlydyta, inertinėse dujose, padidinus 50 kartų.....	64
9.10 pav. Bandinys su danga, suformuota inertinėse dujose, padidinus 2,5 karto	65
9.11 pav. Bandinys su danga, suformuota inertinėse dujose, padidinus 5 kartus.....	65
9.12 pav. Bandinys su danga, suformuota inertinėse dujose, padidinus 20 kartų.....	66
9.13 pav. Bandinys su danga, suformuota inertinėse dujose, padidinus 50 kartų.....	66
9.14 pav. Bandinys su danga, suformuota inertinėse dujose, padidinus 5 kartus, po cheminio išryškinimo	67
9.15 pav. Bandinys su danga, suformuota inertinėse dujose, padidinus 5 kartus, po cheminio išryškinimo	67
9.16 pav. Bandinys su danga, suformuota inertinėse dujose, padidinus 20 kartų, po cheminio išryškinimo	68
9.17 pav. Bandinys su danga, suformuota inertinėse dujose, padidinus 50 kartų, po chemnio išryškinimo	68

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Lydinio sudėtis [2]	16
1.2 lentelė. Fizikinių savybių lentelė [2-188].....	17
4.1. lentelė. Matavimai garso greičiui nustatyti	35
4.2 lentelė. Tyrimo rezultatai.....	37
4.3 lentelė. Matavimų, storio matuokliu, rezultatai.	38
5.1 lentelė. Lydinio 4043 fizikinės savybės.	40
5.2 lentelė. Lydinio sudėtis.....	41
6 lentelė. Aliuminio lydinio 5356 cheminė sudėtis	55

Ivadas

Temos aktualumas. Kiekvieno padangos keitimo metu, orlaivio ratams daroma rato kanto neardomos kontrolės inspekcija, ieškant įtrūkimų. Ratas, tarp kapitalinio remonto, turi penkis padangos keitimus (didesniuose orlaiviuose kapitalinis rato remontas daromas dažniau). Kapitalinio remonto metu nuo detalės nuimami dažai ir atliekama neardomos kontrolės inspekcija sūkurinių srovių metodu. Inspektuojamas rato kantas, varžtų skylės. Neardomos kontrolės inspekcijos metu radus skylimą arba ant rato kanto radus gilesnį nei 1,27 mm išdilimą – ratas brokuojamas. Neegzistuoja joks rato įtrūkimų, išdilimo remonto vadovas ar technologija, galinti pratęsti rato tarnavimo laikotarpį arba leisti remontuoti pažeidimus. Naujo komponento rinkos kaina yra 8000 eurų, naudoto rato rinkos kaina yra 5000 eurų.

Problema. Skaitydamas įvairią literatūrą apie orlaivių rato pagrindines savybes, suradau labai skirtingų nuomonių apie 2XXX aliuminio grupės suvirinimo galimybes. Pavyzdžiui knygoje „Bell Laboratory Report Fusion Welding of 2014 Aluminum Alloy“ (1962 m) BELL - AEROSYSTEMS COMPANY teigiama, jog 2014-T61 ratų lydinys linkęs įtrūkti virinimo arba terminio apdirbimo metu. Tačiau, kituose literatūros šaltiniuose susiduriama su skirtinga nuomone, teigiančia, jog galima naudoti termiškai apdorotą pridėtinį metalą ir net gi tokį patį, kaip bazinis. Kartu yra teigiama, jog naudodami mažai pasiduodantį terminiam apdorojimui pridėtinį metalą, galima suvirinti, suliejant bazę ir pridėtinį metalą taip, jog mišinys tampa termiškai apdorotinu. Tai gi pagrindinė problema – ar netinkamo naudoti pagrindinės važiuoklės 2014-T61 lydinio rato savybės gali būti atsakytos.

Kalbant apie rato ir padangos kontakto zoną, reikia paminėti itin opią problemą, jog šiai vietai labai būdinga oksidacija ir išdilimas. Dėl bendros žalos poveikio, laikui bėgant formuojasi įtrūkimai. Tyrimai rodo, jog aplink porėtos korozijos paveiktą vietą, pradeda formuotis įtrūkimai, o oksidacija prasideda tuomet, kai eksploatacijos metu pažeidžiama apsauginė detalės danga. Remonto dirbtuvėse, atliekant padangos keitimą arba kapitalinį rato remontą, dažnai randama oksidacija ar išdilimas, ko pasekoje atlikus įvertinimą ratas gali keliauti į karantiną ir vėliau gali būti pripažintas metalo laužu. Šiame darbe bus aiškinamasi ar galima atstatyti dylimo ir oksidacijos paveiktas zonas. Kaip atstymas gali nulemti rato tvirtumą, atsparumą tolimesniam dylimui ir oksidacijai. Neardomos kontrolės metodais bus aiškinamasi ar atstatant komponento matmenį, išdylimo zonoje, remontinėje dangoje neatsiranda porėtumo, ar užpildomos dėl oksidacijos atsiradusios poros.

Antikorozinės dangos pažeidimus bandoma sustabdyti dedant specialų dangtelį, padangos kontakto zonoje. Šis dangtelis pagamintas iš nerūdijančio plieno yra hermetiko pagalba klijuojamas ant nudažyto, eksploatacijai paruošto ratlankio. Šio apsauginio intarpo pagalba, padangos – ratlankio kontakto zona, tarsi aptveriamas nuo mechaninio pažeidimo. Nerūdijantis plienas nesioksiduoja ir pats savaime yra atsparus mechaniniams pažeidimams, todėl problema tampa išspręsta. Tačiau orlaivio ratų remonto praktika iškelia atsiradusias problemas:

- Nerūdijančio plieno apvadas kaupia nuovargį ir per laiką skyla, taip atverdamas porą, kurioje kaupiasi druskos bei drėgmė. Per laiką tai sukelia elektrocheminę koroziją ir laiku neaptikus problemos komponentas gali tapti neremontuojamu.
- Klijuojant dangtelį ne visada įmanoma užtikrinti gerą adheziją ir visišką oro kišenių pašalinimą. Juolab laikui bėgant hermetikas praranda elastingumą ir atkimba nuo vieno iš paviršių, palikdamas padarinius – formuojasi sąlygos elektrocheminei korozijai.

- Apsauginių apvadėlių gamyba nutraukta, rinkoje šiuo metu jų labai ribotas kiekis, naujų apvadėlių gamybai leidimo neišduoda.

Tyrimo objektas – netinkamo naudoti pagrindinės važiuoklės 2014-T61 lydinio ratlankio vidinė dalis.

Tyrimo tikslas – atstatyti netinkamo naudoti pagrindinės važiuoklės 2014-T61 lydinio rato geometrinius parametrus, atlikti kokybės kontrolę ir išsiaiškinti tinkamiausią metodą.

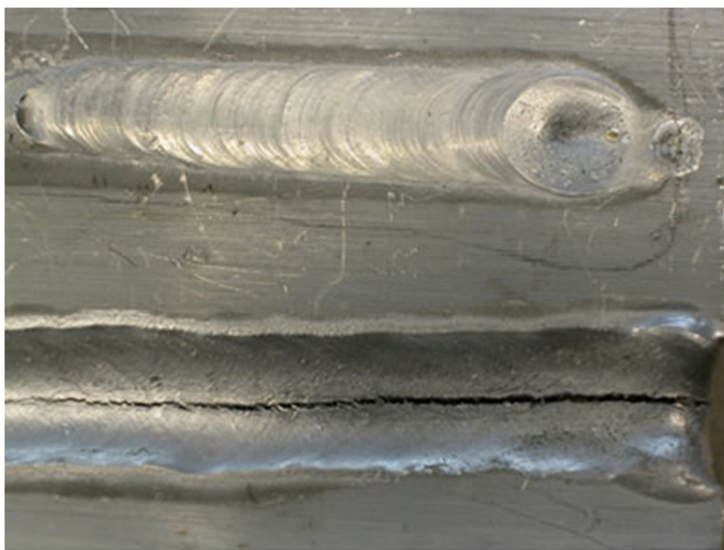
Uždaviniai:

8. Išanalizuoti važiuoklės rato atkūrimo galimybes;
9. Išanalizuoti važiuoklės rato atkūrimo tyrimų problematiką;
10. Apžvelgti tyrimus, kurie bus atliekami su 2014-T61 lydinio važiuoklės ratu;
11. Atlikti tyrimus ir išsiaiškinti esamus 2014-T61 lydinio važiuoklės rato pažeidimus;
12. Atlikti pakartotines viso rato neardomas kontrolės inspekcijas;
13. Pateikti išvadas ir rekomendacijas dėl 2014-T61 lydinio važiuoklės rato geometrinių parametru atkūrimo, pažeidimų prevencijai;
14. Nustatyti galimus neardomos kontrolės metodus remonto kokybei tikrinti.

1. Literatūros analizė

Remiantis „Meggit Aircraft Braking Systems“ išleistu komponentų techninės priežiūros vadovu, vizualinės apžiūros, prieš padangos montavimą, metu arba kapitalinio remonto metu radus skylimą ar susidėvėjimą virš gamintojo nustatytos ribos, komponentas laikomas netinkamu naudoti. MABS komponentų tech. priežiūros vadove, nurodoma kuriose zonose yra labiau linkę formuotis skylimai. Taip pat aprašomi leistini susidėvėjimai padangos ir rato kontakto zonoje, aprašyti leidžiami defektuotos zonos pašalinimo matmenys. Nurodyti korozijos pažeidimų limitai, pašalinant korozijos paveiktą vietą. Techninės priežiūros vadovas nurodo neardomos kontrolės metodus. Gamintojo literatūroje yra nurodyta medžiaga, panaudota rato gamyboje, tai yra aliuminio lydinys 2014-T61 (atlaja nurodanti rato lydinį taip pat yra ant pačios detalės). Reikia pabrėžti, jog MABS komponentų tech. priežiūros vadove taip pat yra aprašytas ratlankio guoliavietės atstatymas, naudojant lankinį apipurškimą, nurodytos adhezinės ir geometrijos atstatymo medžiagų grupės. Tai leidžia suprasti, jog šio tipo procedūra gaminiui yra numatyta ir yra galimybė įrodyti gamintojui, jog lankinio nupurškimo procedūra būtų galima taikyti ir kitose ratlankio zonose. Atliekant komponentų techninę priežiūrą ar remontą, licenziją turinčios dirbtuvės, privalo remtis tik gamintojo ar jo nurodyta literatūra, atsižvelgiant į tai, jog privaloma naudoti naujausią išleistą literatūros reviziją. Literatūrą yra įsigyjama iš komponento gamintojo, kuris privalo pranešti apie naujai išleidžiamas dokumentų revizijas.

Atsižvelgiant į „Bell AeroSystems“ laboratorinę ataskaitą [16-14], 2014-T61 lankinio suvirinimo metu atsiranda įtrūkimai aplink karščio paveiktą zoną, o auštant galimi įtrūkimai pačioje siūlėje. Įtrūkimų atsiradimo galimybę galima sumažinti, keičiant pridėtinę medžiagą, kuri nurodoma, kaip aliuminio lydinys 4043. Atlikus bandymus, suvirinant lankiniu būdu, inertinių dujų aplinkoje, jie padarė išvadą, jog nurodytos grupės medžiaga įgauna polinkį įtrūkimams formuotis, kai po suvirinimo yra termiškai apdorojama, stiprumui gauti. Varis, kaip legiruojantis elementas lydinyje, palengvina suvirinimą. Dėl šios prižasties rato atkūrimas suvirinant, dėl sumažėjusio atsparumo nuovargiui, yra nerekomenduojamas ir komercinių orlaivių techninės priežiūros praktikoje netaikomas.



1.1 pav. Suvirinimo siūlės įtrūkimas

Nagrinėjant „ASM Handbook, Volume 6, Welding, Brazing and Soldering”, bei „ASM Handbook, Volume 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials” randama aprašyta priešinga informacija. Čia rašoma, jog tiramosios detalės lydinys yra laikomas gerai suvirinamu, jei jis nėra termiškai apdorotas. Literatūroje nurodomas šiek tiek kitoks pridėtinis metalas ir nurodoma, jog galima naudoti bazinį lydinį kaip pridėtinį. Bendras lydinio suvirinamumas apibūdinamas kaip geras. Nurodoma keli galimi pridėtiniai lydiniai, bei suvirinimo būdai. Numatoma galimybė grūdinti suvirinimo siūlę kalimu.

Čia taip pat išskiriama, jog nerūdyjančio plieno ir aliuminio lydinių paviršiai, prieš suvirinimą, turi būti itin kruopščiai paruošti. Priešingu atveju, suvirinimo proceso metu, lydinys gali sugerti pašalines medžiagas į save, taip neigiamai įtakodamas siūlės kokybę.

Orlaivių ratai dažniausiai gaminami iš skirtingų grupių aliuminio ir magnio lydinių, kartais titano. Aliuminiai ratai yra labiau paplitę, dėl jų paprastos gamybos ir nebrangaus metalo. Šie ratai yra atsparesni korozijai, tačiau sunkesni, nei ratai pagaminti iš magnio lydinių. Nepaisant svorio pranašumo, magnio lydinių panaudojimas lėktuvų ratų gamyboje, tampa vis retesnis reiškinys. Medžiagos kaina ir apdirbimo sudėtingumas lėmė tai, jog magnį iš rinkos išstūmė aliuminio lydiniai.

Tuo tarpu titanas, orlaivio ratų gamybai, panaudojamas tik tada, kai tikrai to reikia. Titano lydinių liejimas sudėtingas, o gaminto mechaninis apdirbimas, dėl šio metalo fizikinių savybių, apie dešimt kartų brangesnis, nei pavyzdžiui aliuminio lydinių. Todėl titano lydiniai šioje srityje sutinkami retai.

Tiriamasis objektas yra dviejų dalių komponentas, jis montuojamas ant pagrindinės ATR 42 – 300 važiuoklės. Pagamintas iš aliuminio lydinio 2014 – T61. Šios medžiagos cheminė sudėtis matoma lentelėje.

1.1 lentelė. Lydinio sudėtis [2]

Cu	Si	Fe	Mn	Cr	Mg	Zn	Ti	Kiti elementai	Bendrai ne Al
3,9-5,0%	0,50-1,2%	iki 0,70%	0,40-1,2%	Iki 0,1%	0,20-0,80%	iki 0,25%	iki 0,15%	iki 0,05%	iki 0,15%

Aliuminio 2XXX serijos lydiniai, kurių pagrindinis komponentas varis, turi aukštus stiprumo parametrus. Tačiau, dėl įvesto vario, jie kenčia nuo didesnės korozijos, lyginant su kitais aliuminio lydiniais. Daugelis šių metalų taip pat turi gerus stiprumo parametrus, aukštesnėse temperatūrose.

Magnis dedamas į 2XXX lydinius, siekiant pagerinti stiprumo parametrus, tačiau jis taip pat padidina tikimybę, formotis įtrūkimams suvirinimo metu. Lydinys 2024 yra vienas iš stipriausių 2XXX serijoje ir yra paplitęs aviacijos srityje. Tačiau nominalus 1.5% Cu priedas, 2024 lydinyje apsunkina galimybes jį suvirinti, dėl išaugusio jautrumo įtrūkimams formotis. Manoma, jog minėtasis aliuminio lydinys yra vienas iš stipriausių ir labiausiai aviacijos srityje paplitusių, antrosios serijos lydinių.

Lydiniai, turintys ribotą magnio kiekį, tokie kaip 2014, 2219 ir 2519, yra naudojami esant poreikiui suvirinti. Bendrai šie lydiniai yra gerai mechaniškai apdirbami, tačiau prasčiau, nei kiti termiškai apdirbami aliuminio lydiniai.[4-1341]

Medžiaga naudojama orlaivių tvirtinimo detalių gamyboje, taip pat ratams ir pagrindiniams struktūriniais komponentams gaminti, kosmoso aparatų stuktūros komponentams, sunkvėžimių rėmams ir važiuoklės komponentams. Tinka didelio stiprumo ir kietumo, bei darbo aukštesnės temperatūros reikalaujančiose vietose.[2-249]

Pagal suvirinimo katalogą, aliuminio lydinio – 2014-T6, suvirinimo siūlei, rekomenduojama naudoti 4043, 2319 lydinio užpildą. Termiškai apdorotinas suvirinimo užpildas 2319, suteiks geriausią stiprumą 2014 ir 2219, pagrindo lydiniams. Termiškai apdorotini aliuminio lydiniai, dažniausiai suvirinami naudojant tokį patį užpildą, kaip ir pagrindinė medžiaga ir suvirinimus galima atlikti terminį apdirbimą iki norimo stiprumo. Jeigu naudojamas užpildas nereaguoja arba mažai reaguoja į grūdinimą termiškai apdirbant, tada suvirinimo metu būtina užpildą praskiesti, pagrindo metalu, norint gauti termiškai apdirbtiną lydinį. [4-1799]

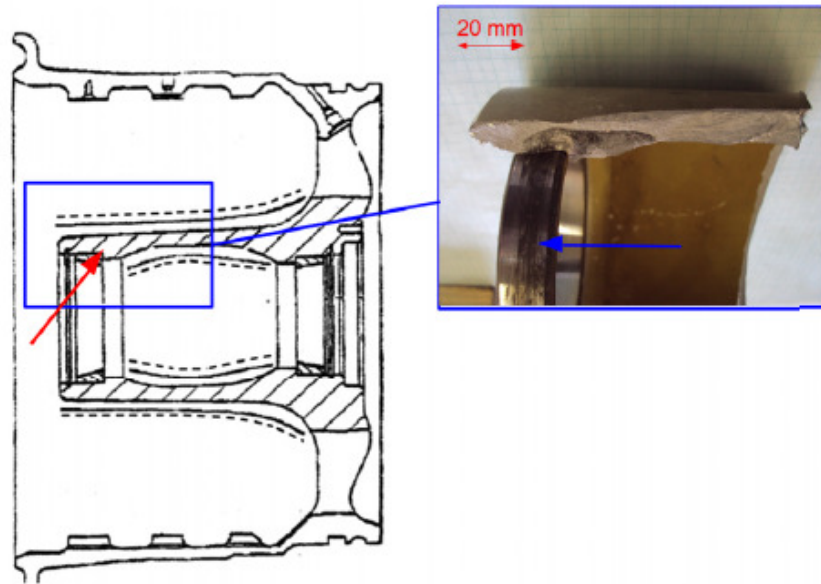
Lydinys 2014 grūdinamas 420 - 460 °C temperatūrose. Grūdinama dažniausiai uždaru presu, tačiau naudojamas grūdinimas ir atvirai presuojant, sukant, ridenant. [2-141]

1.2 lentelė. Fizikinių savybių lentelė [2-188]

Fizikinės savybės	Metrinė sistema	Imperinė sistema	Komentarai
Tankis	2.78 g/cc	0.1 lb/in	
Mechaninės savybės			
Kietumas, Brinell	125	125	500 kg apkrova/10 mm skersmens sfera
Kietumas, Knoop	157	157	Išskaičiuotas pagal Brinell
Kietumas, Rockwell A	48	48	Išskaičiuotas pagal Brinell
Kietumas, Rockwell B	78	78	Išskaičiuotas pagal Brinell
Kietumas, Vickers	142	142	Išskaičiuotas pagal Brinell
Atsparumas tempimui, Galutinis	Min 427 MPa	Min 61900 psi	
Atsparumas tempimui, Takumo riba	Min 345 MPa	Min 50000 psi	
Pailgėjimas ties trūkumu	5%	5%	
Tamprumo modulis	72.4 GPa	10500 ksi	Išskaičiuotas iš kitų terminių apdirbimų
Poissono modulis	0.33	0.33	Išskaičiuotas iš kitų terminių apdirbimų
Atsparumas nuovargiui	124 MPa	18000 psi	500,000,000 ciklų; visiškai reversinių; R. R. Moore
Šlyties modulis	27 GPa	3920 ksi	Išskaičiuota iš panašių aliuminio lydinių
Šlyties atsparumas	283 MPa	41000 psi	

Šioje lentelė apbūdinama gaminio medžiaga. Pateikti duomenys rodo, kad tai neeilinis aliuminio lidinys, fizikinės šios medžiagos savybės parodo, kodėl jis taip paplitęs aviacijoje, tai vienas stipriausių antros serijos aliuminio lydinių, grūdintas ir sendintas.

Egzistuoja nevienas mokslinis straipsnis apie orlaivio važiuoklės ratų defektų tyrimus. Šioje literatūroje nagrinėjami perkelti į karantiną ar incidentą sukėlę ir valstybinių tarnybų dėmesio sulaukę komponentai. Dažniausiai tyrinėjama žala yra įtrūkimai. Nagrinėtuose straipsniuose kritinę žalą komponentui sukelia nuovargis, atsiradęs per ilgą eksploatavimo laiką.



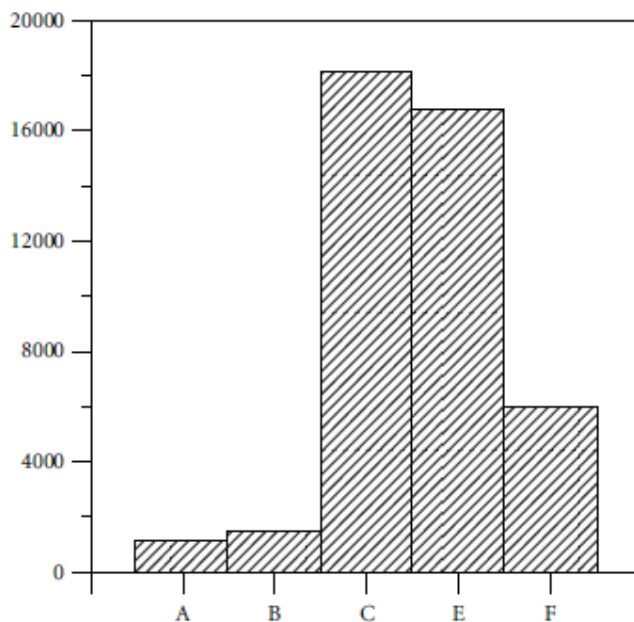
1.2 pav. Orlaivio AMX rato defektas [19-2]

Straipsnyje „Cracks in Forged Aircraft Wheel Halves That Originated From Forging Defects“ tirtas orlaivio ratas, kurio struktūroje, sukurinių srovių patikros metu, rastas įtrūkimas. Tyrimo rezultatai parodė, jog dėl atsiradusio defekto, kaltas defektas, atsiradęs komponento grūdinimo metu. Straipsnyje „Fatigue fracture of an AMX aircraft main wheel“ analizuotas pagrindinės orlaivio važiuoklės rato lūžio priežastys, bei ieškota galimų prevencinių veikslių, leidžiančių anksčiau pastebėti skylimą, taip užtikrinant saugesnį orlaivio eksploatavimą. Tyrimų objektas lūžo orlaiviui riedant iki pakylimo tako. Skylio židinys, detalėje, rastas guoliavietėje. Incidentas įvyko komponentui atlikus 299 leidimosi ciklus, padangos keitimas ir sukurinių srovių patikra, atlikta komponentui surinkus 241 leidimosi ciklą. Tyrimo metu pagrindinė lūžio priežastis įvardinta, kaip sukauptas didelis rato nuovargis, bei papildomas guoliavietės apkrovimas guolio presavimo metu. Straipsnyje taip pat pastebėta, jog atlikus papildomą neardomos kontrolės patikrą, ultragarsiniu metodu, atsiradusį mikro įtrūkimą buvo galima pastebėti, komponento apsilankymo dirbtuvėse, surinkus 241 leidimosi ciklą, metu. Po šios išvados buvo siūloma keisti komponento remonto vadove nurodytus neardomos kontrolės metodus, įvedant būtinybę atlikti patikrą ultragarsu.



1.3 pav. Orlaivio rato pagaminto iš Aliuminio lydinio 2014-T6 defektai [23-2]

Nagrinėjant straipsnį „Fatigue cracking of an aircraft wheel“ apie orlaivio ratą, pagamintą iš 2014 - T6 aliuminio lydinio, nuovargio sukkelto trūkio tyrimą, matomos kiek kitokios aplinkybės. Čia komponento planuotos patikros metu, rato ir padangos kontakto zonoje, atliekant inspekciją, sūkurinių srovių metodu, rastas įtrūkimas. Tyrimo metu rasta, jog įtrūkimas formavosi keliaudamas per poras, susidariusias oksidacijos metu. Straipsnyje pateiktos išvados trūkio priežastį nurodo, būtent oksidacijos metu susidariusias poras, šios poros apkrautoje rato vietoje sudarė įtempių koncentracijas ir viena iš šių porų tapo įtūkimo formavimosi pradiniu tašku.



1.4 pav. Rato atsparumo nuovargiui diagrama (x - ašyje bandinio simbolis, y - ašyje apskaičiuotas resursas [20-5])

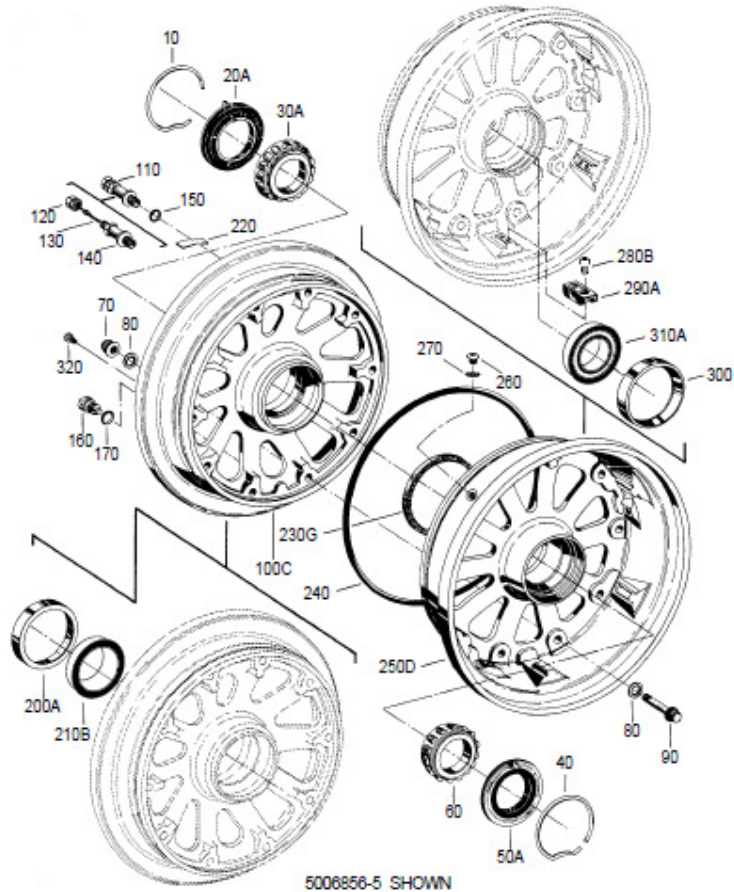
Paveikslėlyje 1.4 rezultatų lentelė rodo:

- A- Negrūditas bandinys;
- B- Bandinys A grūditas 475°C temperatūroje, greitai ataušintas vandenyje, sendintas 120°C temperatūroje 12val.;
- C- Bandinys A apšaudytas plieninėmis granulėmis;
- E- Bandinys A grūditas 475°C temperatūroje, greitas ataušintas vandenyje, sendintas 107°C temperatūroje 6val., sendintas 177°C temperatūroje 9val., apšaudytas plieninėmis granulėmis;
- D- Bandinys A grūditas 475°C temperatūroje, greitas aušintas vandenyje, apšaudytas plieninėmis granulėmis, sendintas 120°C temperatūroje 12val.

Moksliniam tyrimo „Life Assessment and Life Extension of an Aircraft Wheel“ atliktas labai įdomus, orlaivių ratų remontų ir priežiūrą atliekančioms organizacijoms padedantis tyrimas. Straipsnyje kaip pagrindinė įtrūkimų priežastis įvardijama porėtoji korozija, kadangi jos sukurtos poros koncentruoja įtempius ir sukuria sąlygas įtrūkimui formuotis. Tyrimas atliktas norint išsiaiškinti ar pakartotinis rato terminis atleidimas, bei apšaudymas metalo granulėmis, gali sutvirtinti komponentą, taip pagerinant jo atsparumą nuovargiui. Atliekant tyrimą buvo pagamintas bandinys iš 7XXX aliuminio lydinių šeimos ir atlikti bandymai, atliekant pakartotinį terminį apdirbimą, bei apšaudant plieno granulėmis. Išvado pateiktos, atlikus eksperimentus teigia, jog apšaudymas plieninėmis granulėmis yra gerokai efektyvesnis būdas pagerinti detalės atsparumą nuovargiui, nei paprastas terminis apdirbimas. Skaičiavimais nustatyta, jog rato tarnavimą, plieno granulių apšaudymo procedūros pagalba, pavyko pagerinti 14 kartų.

2. Rato problematika ir patikros metodai

Kiekvienos padangos keitimo metu, orlaivio ratams daroma detalioji vizualinė inspekcija, neaptikus pažeidimų daroma rato kanto neardomos kontrolės inspekcija, ieškant įtrūkimų. Naudojamas sūkurinių srovių metodas, radus įtrūkimą detalės eksploatavimas nutraukiamas ir ji keliauja į karantiną.



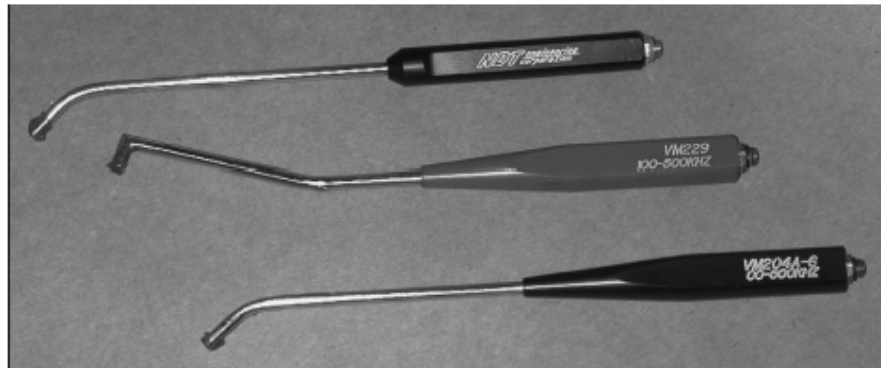
2.1 pav. Orlaivio ATR 42-300 rato surinkimo schema [15-182]

Ratas tarp kapitalinio remonto turi penkis padangos keitimus (didesniuose orlaiviuose, tokiuose kaip Boeing 737, Airbus A320 ir panašiuose, kapitalinis rato remontas daromas dažniau). Kapitalinio remonto metu nuo detalės nuimami dažai, naudojant smėliavimą ar plaunant tirpikliais. Atliekama neardomos kontrolės inspekcija sūkurinių srovių metodu, ieškoma įtrūkimų ir korozijos židinių. Inspektuojamas rato kantas, taip pat varžtų skylės, šios zonos yra nurodytos komponento remonto vadove, kaip labiausiai linkusios įtrūkti ir koroduoti.

Neardomos kontrolės inspekcijos metu radus skilimą arba ant rato kanto radus gilesnį, nei 1,27 mm išdilimą – ratas žymimas, kaip skraidyti netinkamas. Ruošiant komponento patikimumo raportą, gamintojas informuojamas apie komponento skraidytus ciklus ir valandas iki išbrokavimo, bei nurodoma defekto vieta. Neegzistuoja joks rato įtrūkimų, ar kontakto su padanga, zonos išdylimo remonto vadovas, ar technologija. Nepaisant to, suvirinimo vadovuose yra pateikta suvirinimo užpildo medžiaga aliuminio lydiniui 2014-T6 ir šio lydinio suvirinamumas apibūdinamas kaip geras.

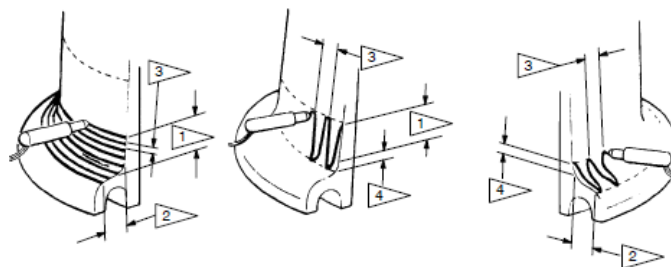
2.1 Sūkurinių srovių metodas

Dažniausiai naudojamas, paprasčiausias neardomos inspekcijos metodas yra Edi srovių ar kitaip vadinamas sūkurinių srovių metodas. Čia naudojami ploni jutikliai, kuriais reikia atlikti patikrą, einant inspekcijos vadove nurodytu keliu, t.y. tikrinamos detalės paviršiumi.



2.2 pav. Sūkurinių srovių patikros jutiklių pavyzdys [17-75]

Orlaivių fiuzeliažo, bei komponentų patikra, naudojant sūkurinių srovių neardomos kontrolės metodus, yra labiausiai paplitusi, kalbant apie bendrą lėktuvo ir jo komponentų techninę priežiūrą. Eksploatacijos metu, dėl išorinių veiksnių ant orlaivio fiuzeliažo atsiranda įbrėžimai, įmušimai, įlinkimai. Analogiškai eksploatacijos metu kenčia ir įvairūs išoriniai komponentai, jie dažniau keičiami į eksploatacijai tinkamus, senuosius siunčiant į dirbtuves patikrai ar remontui. Įtrūkimai megsta formuotis aplink tvirtinimo taškus, kniedžių skyles, detalės kampuose, perėjimuose iš vieno paviršiaus į kitą. Atsiradusios žalos įvertinimas aprašytas sruktūros remonto vadove, šiame dokumente dažnai prašoma atlikti neardomos kontrolės patikrą. Sūkurinių srovių metodas yra patogias ir pigias patikros metodas, ypač linijinėse stotyse, kuomet ne visada yra galimybė pašalinti dažus pažeistoje vietoje.



2.3 pav. Sūkurinių srovių patikros metodu atliekamos inspekcijos jutiklio, judėjimo kelio pavyzdžiai [17-86]

Sūkurinių srovių metodas pamėgtas, dėl nesudėtingos mobilios įrangos, įvairių formų ir dydžių jutiklių, kurie leidžia pasiekti sudėtingo priėjimo zonas (tai sutaupo laiko orlaivio ar komponento ardymui). Didelį privalumą šiam metodui suteikia ir tai, kad atlikti patikrą Edi srovėmis, nereikia ilgų sudėtingų kursų. Supažindinimas su inspekcijos įranga ir pačia inspekcija, palyginti nesudėtingas. Dažniausiai naudojama prie orlaivio paprasta, nebrangi testavimo įranga. Instrumentai, palyginti su kitais metodais mobilūs, laikomi vienoje rankoje. Aparatūra turi platų dažnių diapazoną, kuri turi galimybę filtruoti įeinantį signalą kelių tipų filtrais. Šio tipo įrankiu

lengva naudotis dirbant prie lėktuvo net ir nedaug patyrusiam specialistui, tokio tipo aparatai labai populiarūs dėl savo patogumo. Rinkoje labai platus jutiklių pasirinkimas.

Tačiau sukūrinių srovių metodas tinka tik paviršiniams defektams nustatyti, bei jų išsiplėtimą paviršiuje nustatyti. Taip pat šiuo metodu nėra galimybės nustatyti medžiagos storio ir jis tinkamas tik metalo gaminių kontrolei atlikti. Patikra įmanoma tik gaminiams iš metalo.

2.2 Ultragarsinis metodas

Ultragarsinis metodas vienas labiausiai pasaulyje paplitusių neardomos kontrolės metodų, kuris taikomas defektų paieškai ir jų išplitimo nustatymui. Šis metodas paplitęs tiek planinei, tiek neplaninei orlaivio ir jo komponentų inspekcijai atlikti. Jis yra tikslesnis nei sukūrinių srovių metodas, tačiau reikalauja daugiau pasiruošimo, technikos, bei labiau patyrusio ir mokyto specialisto.



2.4 pav. Ultragarso metodo neardomos kontrolės inspekcijai naudojama įranga [17-51]

Ultragarsinis metodas leidžia tikrinti bet kokios medžiagos detalę. Naudojant įvairius keitiklius, galima atlikti inspekciją didesniai plotui. Galima aptikti ir apibūdinti giliai medžiagoje esančius defektus, nustatyti medžiagos storį, tankį, aptikti svetimkūnius. Ultragarsinio metodo patikros technika, leidžia atlikti inspekcijas ir linijiniame aptarnavime. Įranga, dydžiu, nuo Edi srovių praktiškai nesiskiria.

Tačiau tokio tipo patikrai atlikti, reikalingas patyręs ir gerai apmokytas specialistas. Inspekcijai reikalinga nuo bandinio patikros zonos pašalinti dažus. Naudojami keitikliai turi būti pritaikyti pagal norimą inspektuoti zoną, dėl to priėjimas šiek tiek apsunkėja.

2.3 Rentgenografija

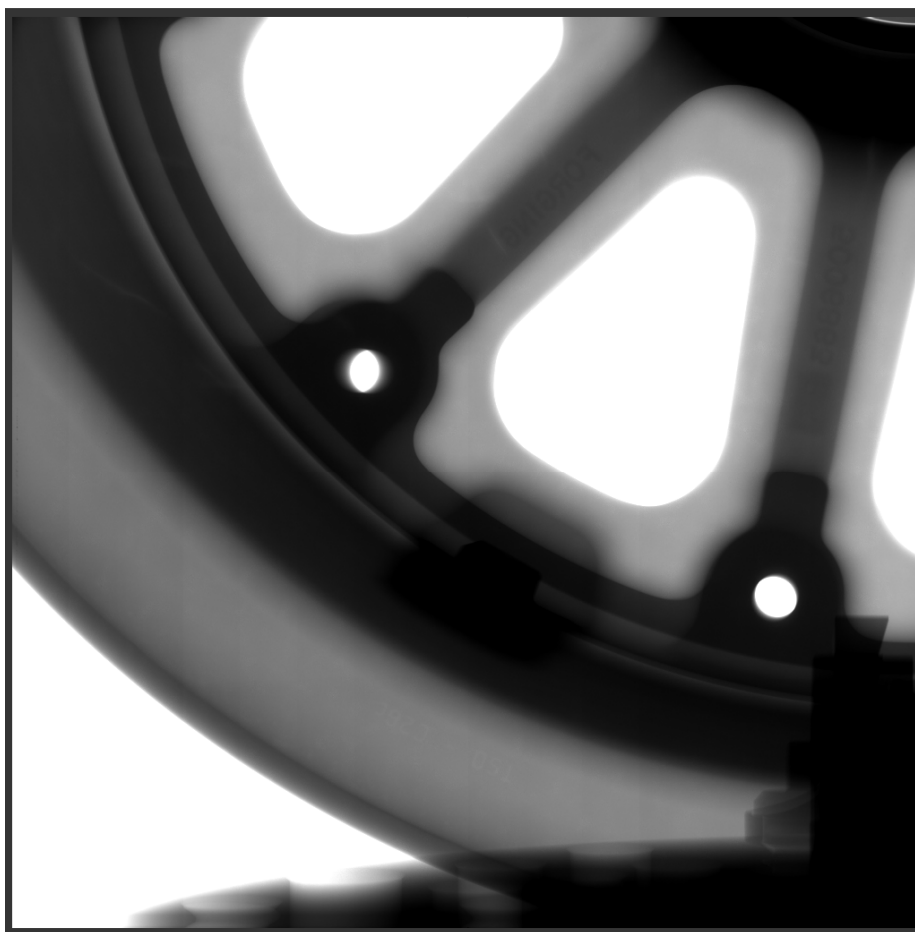
Rentgenografija dažniausiai taikoma didelio gabarito detalėms ar zonoms tikrinti. Tai mažai aviacijoje paplitęs neardomos kontrolės metodas, nors jis tikrai naudojamas. Rentgenografijos pagalba galima atlikti 3D patikrą, įvertinti defektų buvimo vietą ir juos apibūdinti. Patogu analizuoti gautus rezultatus, gaunami pakankamai aiškūs vaizdai.

Tačiau tai brangus ir daug laiko, bei resursų reikalaujantis metodas. Rentgenografijai atlikti reikalinga didelė laboratorija ir galinga įranga. Atliekant šią inspekciją skleidžiama sveikatai kenksminga spinduliuotė.

3. Rato patikra rentgeno aparatu

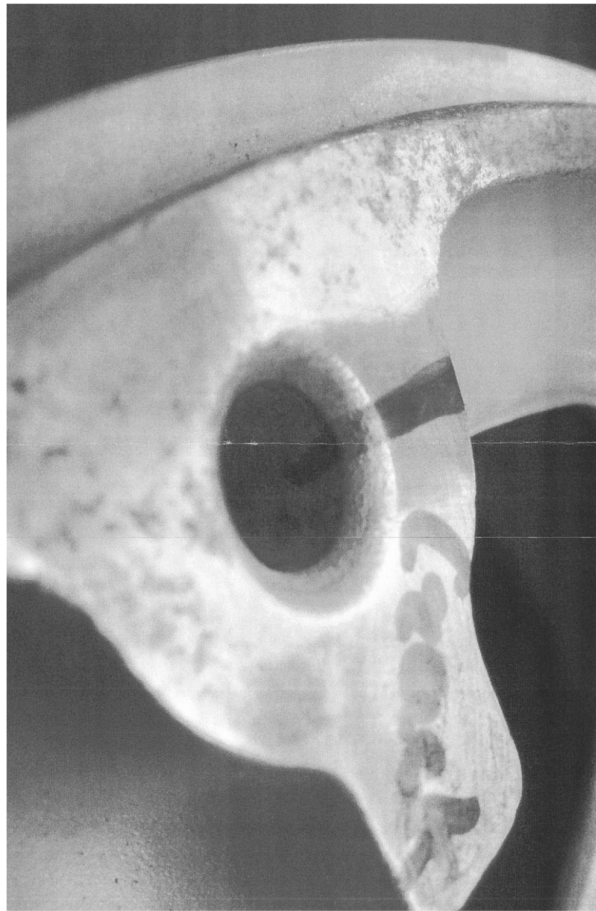
Gauta orlaivio detalė, remonto dirbtuvėse, buvo išbrokuota labai greitai. Ant rato tvirtinimo varžto šulinio briaunos, radus paviršinį įskilimą, bei išmatavus ratlankio ir padangos kontakto paviršiaus išdylimą paaiškėjo, jog žala viršija normas ir objektas buvo perkeltas į karantiną. Kadangi detalės defektų šalinimui būtina išsiaiškinti kiek imanoma tiksliau kur ir kokie defektai yra atsiradę, norėdamas nustatyti kiek įmanoma daugiau objekto struktūros trūkumų, nusprendžiau pasinaudoti kompiuterine tomografija.

Laboratorijoje, kompiuterinio tomografo pagalba, rentgeno spinduliuote, peršviestas bandinys, rasti rato medžiagos defektai. Norint gauti viso bandinio nuotrauką, ratą reikėjo bazuoti daug pozicijų, kadangi laboratorijos aparatūra nėra pritaikyta tokių gabaritų detalėms tikrinti. Gauta dvylika nuotraukų kurios padarytos su persidengimu, norint užtikrinti jog nebus praleista jokia detalė.



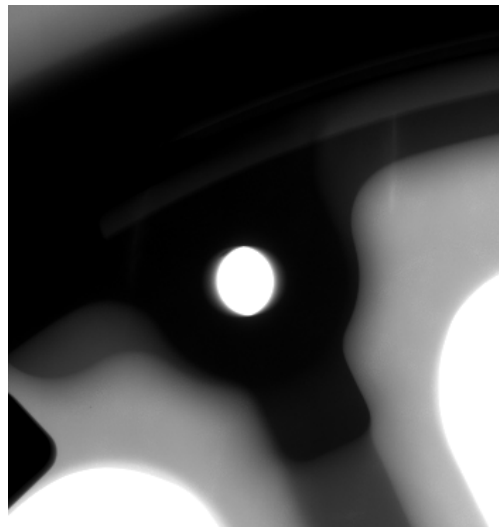
3.1 pav. Tyrimo rentgenu gauta nuotrauka su matomais detalės defektais

Rezultatai parodė, jog detalės struktūra turi ne vieną skilimą, o remonto dirbtuvėse atliktos apžiūros metu, nurodytas tik vienas skylimas, ties rato tvirtinimo varžto šulinio briauna. Aptikti papildomi du defektai šalia remonto dirbtuvių nurodyto skilimo. Remiantis dirbtuvių ataskaita, NDT patikra šiai detalei nebuvo daryta, nes ratas buvo išbrokuotas, dėl kontakto su padanga paviršiaus pažeidimų (ši zona yra tikrinama iš pat pradžių ratui patekus į remontą). Skilimas, ant detalės, buvo rastas detaliosios vizualinės inspekcijos metu.



3.2 pav. Remonto dirbtuvių pažymeto skilimo vieta

Nuotraukoje matomas markeriu pažymėtas rato defektas, kuris nurodomas kaip skilimas. Remonto dirbtuvių pažymeto skilimo vietoje, kompiuterinio tomografo tyrime, skilimo nesimatė. Reikia paminėti, jog nuotraukoje matomi metalo oksidacijos pažeidimai nebuvo vertinami, dėl anksčiau paminėto įtrūkimo. Iliustracijoje matoma negili oksidacija ir jei ratas nebūtų siunčiamas į karantiną, toks pažeidimas būtų apdorojamas chemiškai ir detalė nudažyta.



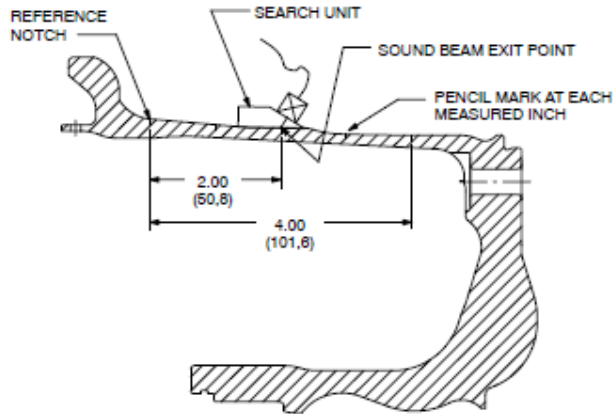
3.3 pav. Dirbtuvėse pažymėtos įtrūkimo vietos rentgeno nuotrauka

Aukščiau matomoje nuotraukoje yra dirbtuvėse pažymėto įtrūkimo zonos rentgeno patikros rezultatas, keliantis abėjonių tiek dėl markeriu pažymėto defekto buvimo, tiek dėl patikros rentgenu patikimumo.

Nuspręsta nepasikliauti vien kompiuterinio tomografo tyrimo rezultatais, dėl neatsispindėjusio rato tvirtinimo varžto šulinio briaunos skilimo rentgeno nuotraukoje. Priimtas sprendimas atlikti ultragarso tyrimą. Šiam tyrimui reikia atlikti pasiruošimą pagal gamintojo aprašytą neardomos kontrolės patikros vadovą, 32-42-04 dalį.

4. Pasiruošimas ultragarsiniui tyrimui

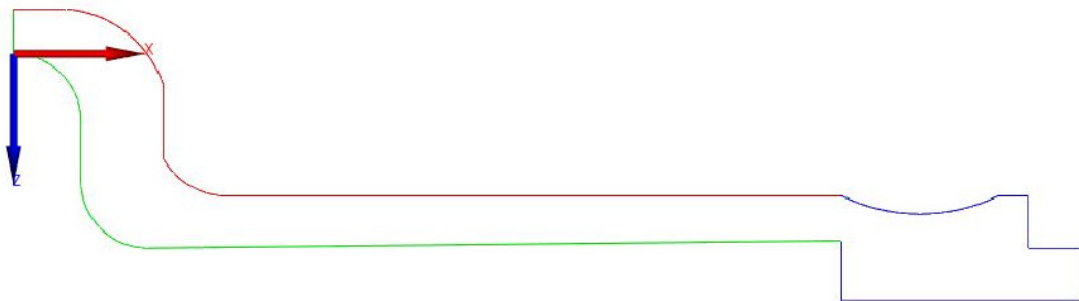
Neardomos kontrolės patikros vadove nurodytos tikrintinos zonos, patikros režimai ultragarsinės kontrolės patikrai atlikti. Nurodomas patikros dažnis minimaliai 2.25 MHz. Kritusios ir atsispindėjusios bangos kampas 90° . Keitiklio ir detalės kontaktui pagerinti, neardomos kontrolės vadove, siūloma naudojant skystą tepalą.



4.1 pav. Neardomos kontrolės patikros vadove nurodytos tikrintinos zonos

4.1. Bandinio modeliavimas

Prieš atliekant ultragarsinio metodo inspekciją, atliekama patikros simuliacija, gauti bent teorinius duomenis. Tai padės atliekant realų tyrimą, kadangi gauti simuliacijos rezultatai parodo, kokių duomenų galima tikėtis atliekant tyrimą. Neardomos kontrolės patikros, ultragarso metodu, simuliacija atliekama programa CIVA 2017. Programoje yra galimybė tiek įkelti 2D brėžinį, tiek nubraižyti bandinį pačioje programoje.

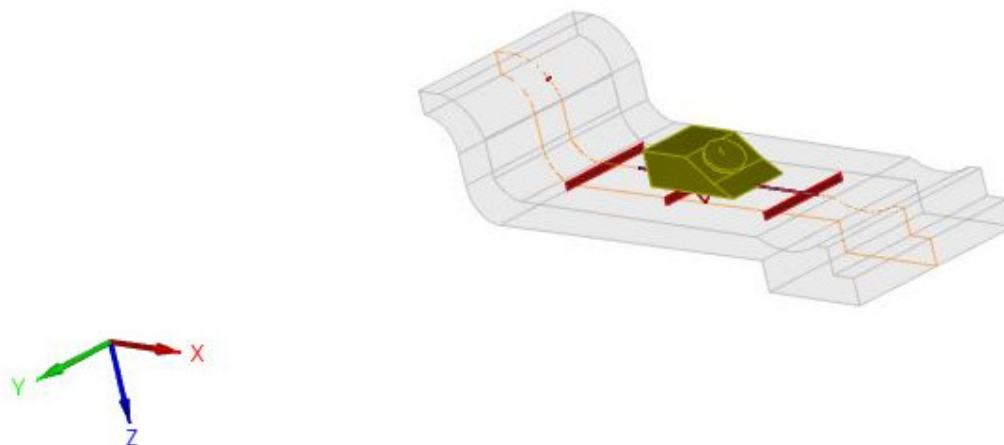


4.2 pav. CIVA 2017 programoje nubraižytas bandinio pjūvio modelis

Rato išorinės dalies pjūvis, simuliacijos programoje, nubraižytas pagal išmatuotus matmenis, kadangi gamintojas tikslaus detalės brėžinio nepateikia, nei komponento remonto vadove, nei iliustruotame detalių sąrašė. Bandinio brėžinio linijų spalvos skiriasi, nes modeliuojant reikia apibūdinti paviršiaus paskirtį.

Modeliuojant bandinį, apibūdinti paviršiai, skirstomi į spalvas pagal paskirtį. Žalia yra galinė sienelė, raudona priekinė sienelė ir mėlyna yra šoninė sienelė, kuri kaip pati programa paaiškina, pažymint elemento paskirtį, nedarys įtakos rezultatams. Braižymas vyksta segmentais, nurodant

pradžios ir pabaigos koordinatas. Modelis susideda iš septyniolikos segmentų. Taip pat modeliavimo skiltyje nurodomas brėžinio ištempimas „Extrusion“, šiuo atveju pasirinkta 50 mm.



4.3 pav. Bandinio modelis, 3D vaizdas

4.2. Keitiklio aprašymas

Atlikus geometrinį modeliavimą ir nurodžius segmentų paskirtį, medžiagos skiltyje parenkama bandinio medžiaga. Šiuo atveju parinktas aliuminio lydinys 2024, toks pasirinkimas padarytas todėl, kad tai artimiausias iš programoje esančių lydinų, originaliam detalės aliuminio lydiniai 2014 savo parametrais, įskaitant tokį patį garso sklaidimo greitį.

Sukūrus bandinio modelį ir apibūdinus medžiagą iš kurios jis pagamintas yra parenkamas ir apibūdinamas keitiklis. Keitiklis padarytas pagal realiai esantį laboratorijoje modelį. Tiriamojo ploto diametras 10 mm.

Ultragarsinio keitiklio apibūdinimas vyksta nedideliais žingsniukais, kaip šiuo atveju yra parenkamas kontaktinis ir pritaikytas tirti plokščiam paviršiui. Programoje aprašomi keitiklio matmenys išmatuojant laboratorijoje esantį pavizdį. Sekantis žingsnis yra keitiklio signalo aprašymas. Parenkamas 2Hz dažnis. Atlikus keitiklio apibūdinimą programa pavaizduoja keitiklį ant bandinio, išlaikant mastelio santykį.

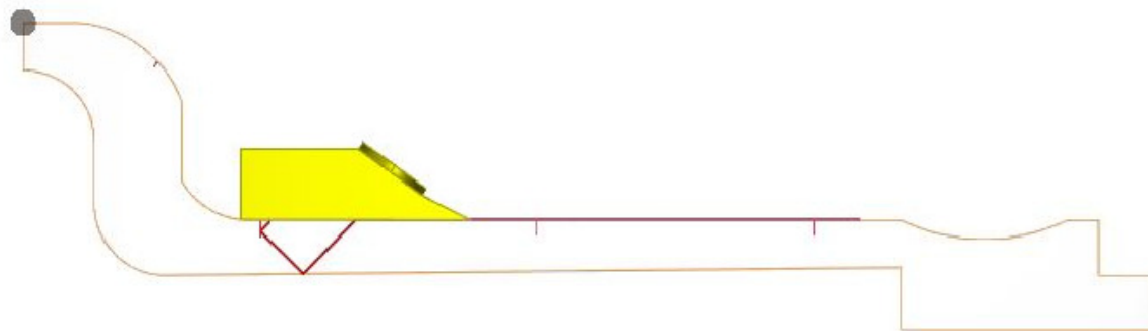
4.3. Inspekcijos aprašymas

Aprašius ultragarsinį keitiklį, aprašoma bandinio inspekcija, jos kelias žingsniais, programa sumodeliuoja keitiklio kelią ir parinkus tyrimo greitį bei keitiklio žingsnį, leidžia pasižiūrėti kaip vyks tiriamojo objekto patikra.

Parenkamas keitiklio kelias bandiniu. Nurodoma pagal ką judėti ir į kurią pusę vyks keitiklio pastūma. Šiuo atveju keitiklis keliaus pagal bandinio profilį, priešinga X ašiai kryptimi. Sekančiame žingsnyje „Reference coordinates“ koordinatėmis nurodoma keitiklio pradinė pozicija ant bandinio.

Inspekcijos skanavimo modulyje nurodomas keitiklio judėjimo greitis ir žingsnis. Judėjimo žingsniai skaičiuojami nuo nurodytų pirminės padėties koordinatė. Šiuo atveju žingsnis (step) parenkamas 1 mm, o žingsnių kiekis bus 64 ir tikrinamas 64 mm atstumas. Programa tai pat leidžia atlikti tyrimą Y ašies kryptimi. Įvedus duomenis „Scanning preview“ pagalba galima keitiklio kelio simuliacija, kas leidžia patikrinti ar keitiklis keliauja pagal bandinio profilį, ypač svarbu, jei aplink

yra nelygių paviršių. Reikia paminėti, jog mažinant pastūmos žingsnį, gaunamas daug tikslesnis ir patogesnis nagrinėti rezultatas, tačiau labai išauga simuliacijos laikas.



4.4 pav. Parodomas keitiklio kelias tiriamuoju objektu. Matomas siunčiamas ir atsispindėjęs signalas, bei kelias, kuriuo vyksta pastūma

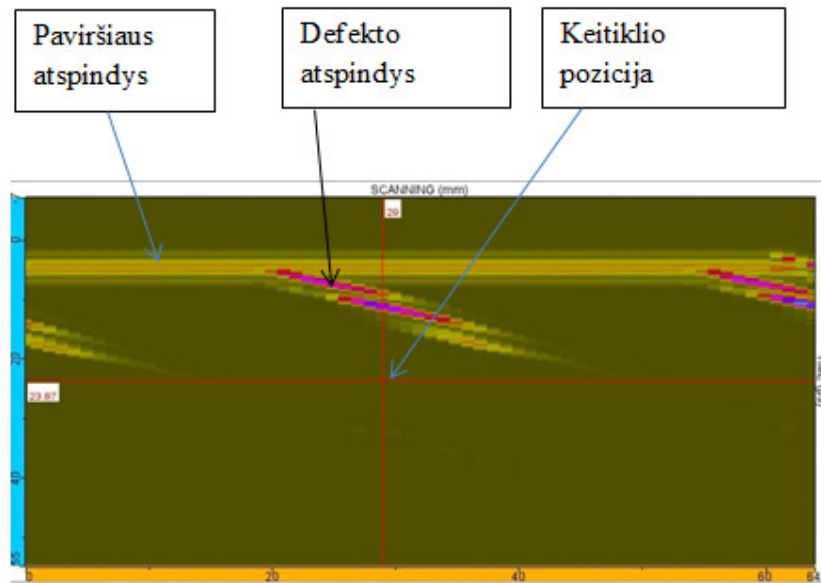
4.4. Idėtiniai defektai

Pagal Neardomos kontrolės patikros vadovą, prieš atliekant ultragarsinę patikrą, reikia kalibruoti aparatą ant specialaus kalibro, kuris turi plokščias įpjovas, nurodytu atstumu simuliuojančias įtrūkimus. Sudaromi trys defektai pagal Neardomos kontrolės patikros vadovą ir vienas ant rato kanto, simuliuojantis rato kanto pažeidimą, dėl kontakto su padanga.

Defektai numeruojami ir aprašomi pagal tipą. Nurodoma defekto orientacija, forma, gylis, aukštis arba diametras. Šiuo atveju, padangos kontakto zoną simuliuojantis defektas, parinktas elipsės formos, 0,75 mm aukščio ir 2 mm ilgio, kalibravimo defektai yra stačiakampio formos, 2 mm gylio. Sekantis žingsnis yra defektų pozicijų nurodymas koordinatėmis, jas pažymėjus programa defektus tuoj pat atvaizduoja 3D modelyje.

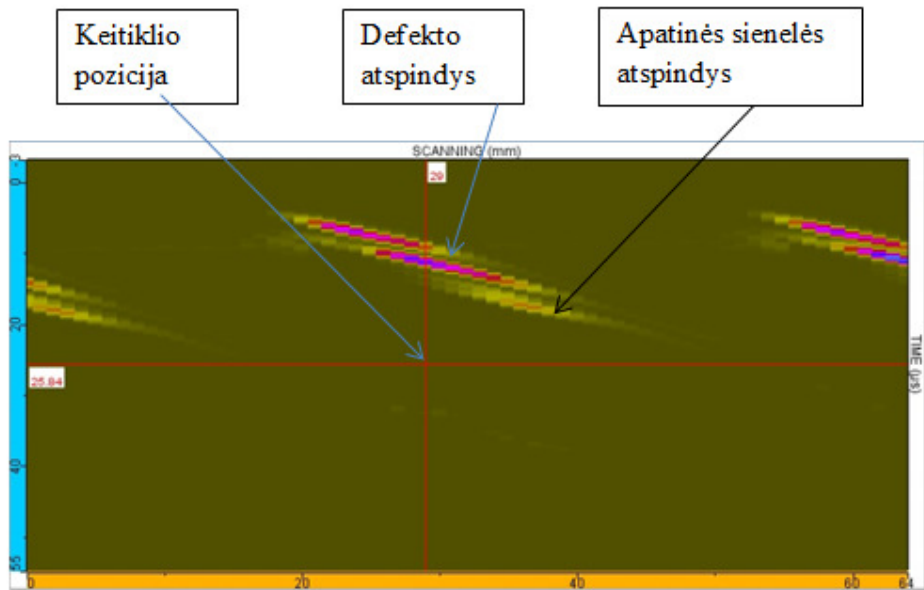
4.5. Simuliacija ir rezultatai

Simuliacijos modulyje nurodoma, kuriuos defektus rodyti, pažymima ar susimuliuoti atspindžius nuo priekinio ir nuo galinio paviršiaus. Atliekamos simuliacijos įvairiomis kombinacijomis, žymint tik vieną atspindį, visus arba nei vieno. Programa leidžia pasirinkti, kuriuos defektus norima rodyti ar ignoruoti.

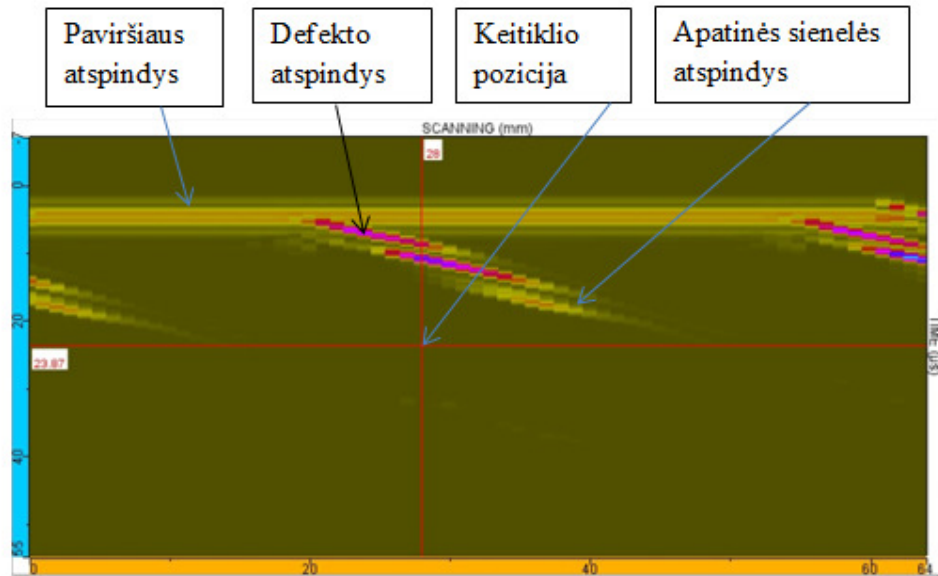


4.5 pav. Rezultatai parinkus rodyti tik priekinės sienelės atspindį

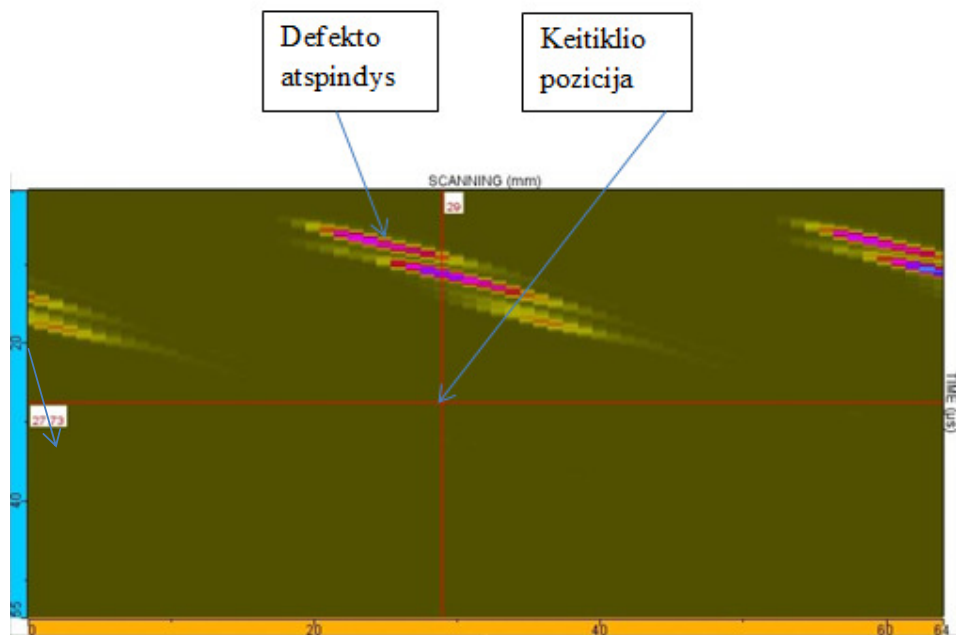
Gautuose rezultatuose matomas „Bscan“ vaizdas bei keitiklio pozicija ant bandinio. Matomi įdėtiniai defektai skirti kalibravimui, tačiau nesimato bandinio apačios rezultatų.



4.6 pav. Rezultatai parinkus tik apatinės sienelės atspindį

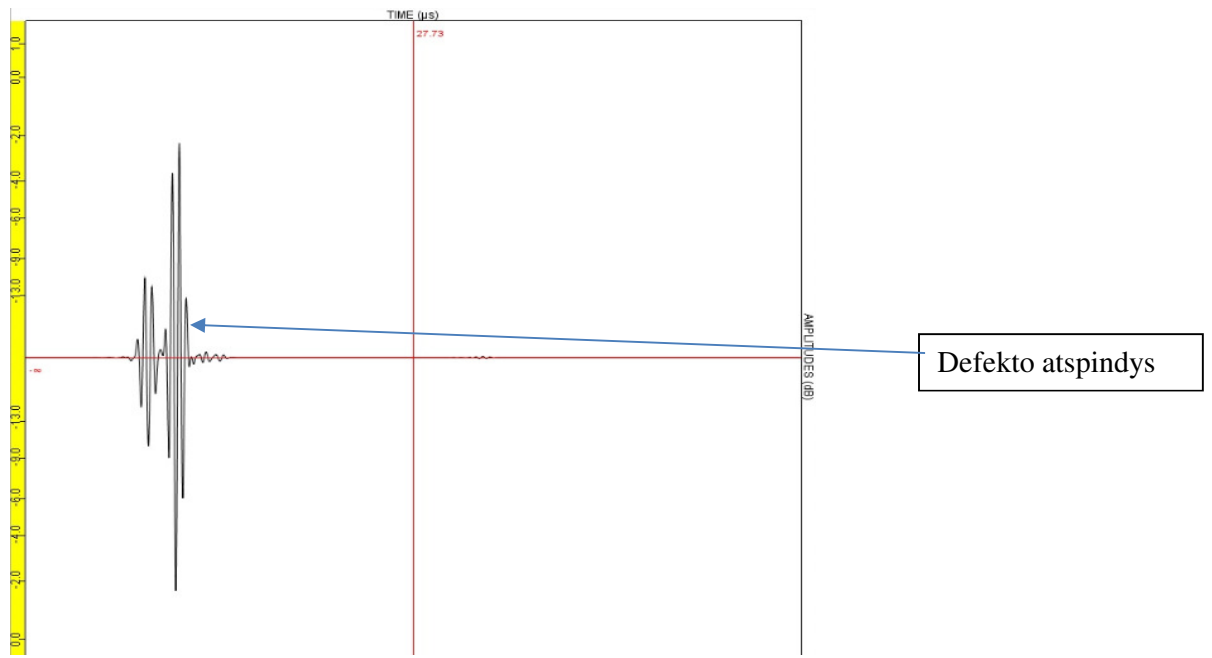


4.7 pav. Rezultatai parinkus tiek priekinės, tiek galinės sienelės atspindį



4.8 pav. Rezultatai neparinkus nei vieno atspindžio

Atlikto keturios simuliacijos, varijuojant skirtingų atspindžių pasirinkimais. Gautuose rezultatuose matomi atspindžiai, įdėtinių defektų, skirtų kalibravimui pagal Neardomos kontrolės patikros vadovą 32-42-04 dalį. Jie išsidėstę su tarpeliais, dėl pasirinkto žingsnio. Atspindžių amplitudės nustatytos pagal „Ascan“, kuriame matomos aukščiausios amplitudės yra vienodos, nepaisant pasirinktų paviršiaus ar dugno atspindžių stebėjimo ir yra -2, -1,8 dB (paveikslėlis žemiau). Visos simuliacijos atliktos 2 Hz dažniu, tuo pačiu davikliu, nekeičiant kelio ir žingsnio.



4.9 pav. „Ascan“ simuliuto defekto vaizdas, CIVA programoje

4.6. Matavimai prieš padengimą

Norint nustatyti pažeistos komponento zonos storį, reikia atlikti matavimus. Nuspręsta matuoti medžiagos storį ultragarsu, šiam tikslui panaudotas neardomos kontrolės testavimo aparatas OLYMPUS, bei ultragarsinis 5 MHz keitiklis. Kontaktui pagerinti naudojamas vanduo.

Norint išmatuoti medžiagos storį, reikia žinoti garso greitį medžiagoje. Nustatyti greitį, nuspręsta eksperimentiniu būdu, kadangi žinyuose pateikiamas garso greitis bendrai aliuminiui (6300 m/s). Šiam tyrimui buvo naudota iš tokios pat medžiagos pagaminta rato dalis, kuri yra perpjauta pusiau ir yra kur kas patogesnė garso greičio nustatymui, ultragarsiniu metodu.

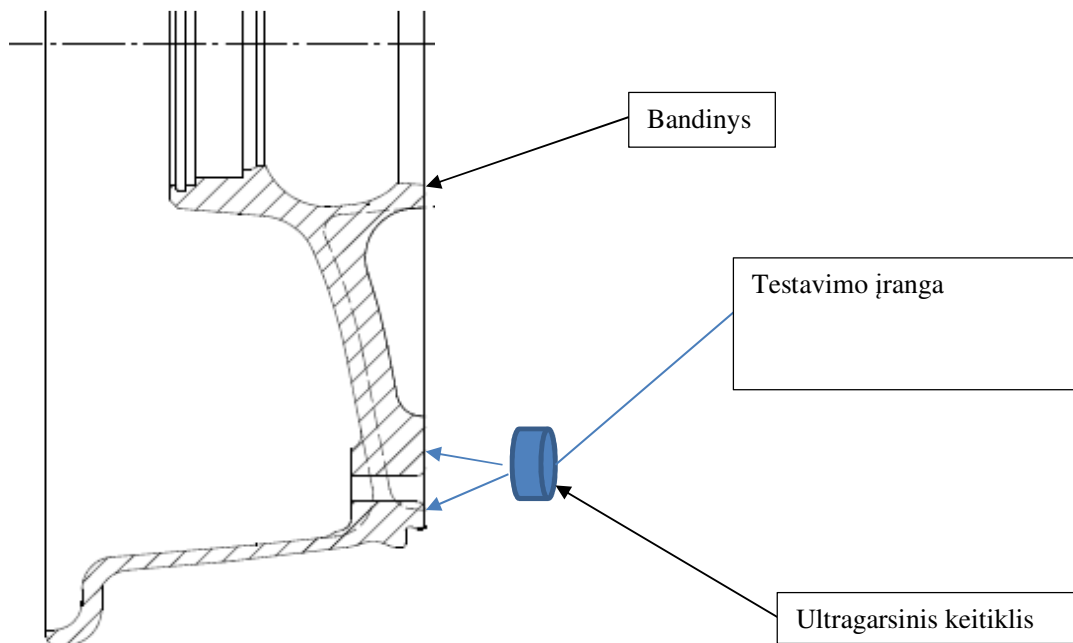
Garso greitis buvo matuojamas šalia rato varžto skylės kadangi, šioje vietoje yra lygiai nufrezuotas ir lengvai prieinamas paviršius. Išmatuotas rato dalies storis 27,6 mm.



4.10 pav. Rato varžto skylė

Panaudotas bandinys paveikslelyje viršuje leidžia matyti rato dalies profilį. Abiejų dalių sujungimuose matosi tipiškos korozijos žymės. Garsui nustatyti ši zona pasirinkta, nes tai storiausia ir plačiausia viso rato dalis, tai reiškia, jog garso banga sklis ilgiau ir bus mažiau jautresnė paviršiaus defektams, tai leis tiksliau nustatyti garso greitį medžiagoje.

Atliekamas tyrimas ultragarsu, gaunamas laikas nuo bangos įėjimo iki grįžimo.



4.11 pav. Garso greičio matavimo schema

Gauti tyrimo rezultatai rodo atspindžius, nuo tiriamojo objekto viršutinio ir apatinio paviršių. Norint išmatuoti laiką, per kurį garso banga nukeliauja ir grįžta, matuojamas laikas tarp atspindžio nuo viršutinio paviršiaus ir atspindžio iki apatinio paviršiaus. Pav. 4.11 matomas pirminis atspindys 9,05 μs, antrinis atspindys matomas 17,77 μs. Tarp šių atspindžių yra 8,74 μs. Vadinasi garso banga per šį laiką nukeliavo 27,6 mm ir grįžo atgal, garso greitis šiuo atveju yra 6315,8 m/s. V

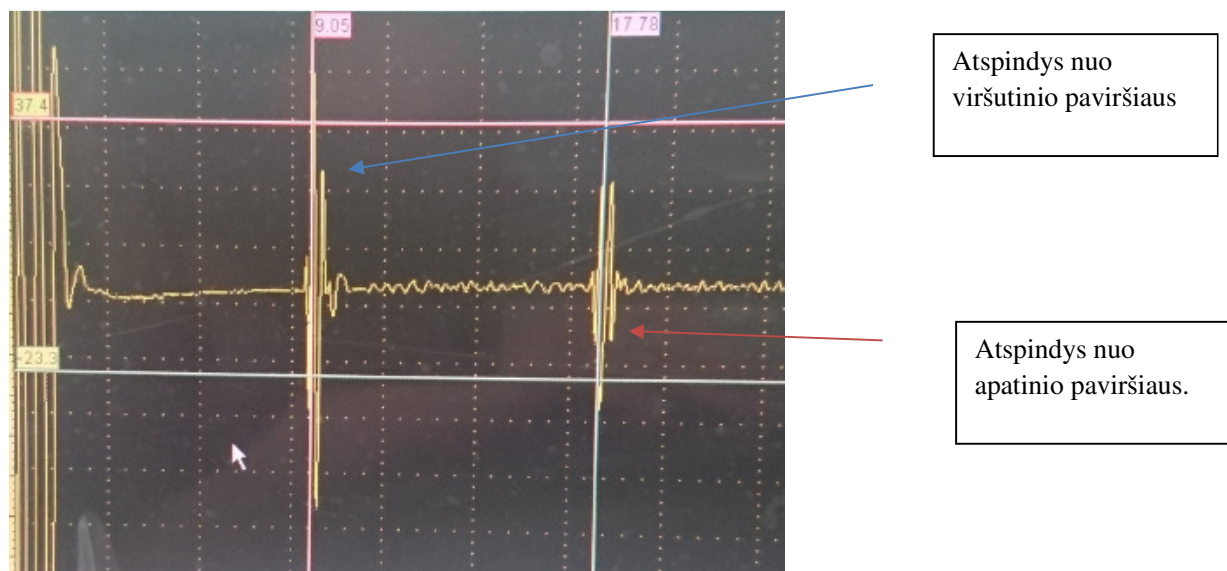
Žinant formulę medžiagos storiui H apskaičiuoti, galima išvesti formulę greičiui v apskaičiuoti.

$$H = \frac{v * t}{2}; v = \frac{H * 2}{t}$$

Atlikti trys matavimai, tarp atspindžių, nustatyti garso greitį medžiagoje.

4.1. lentelė. Matavimai garso greičiui nustatyti

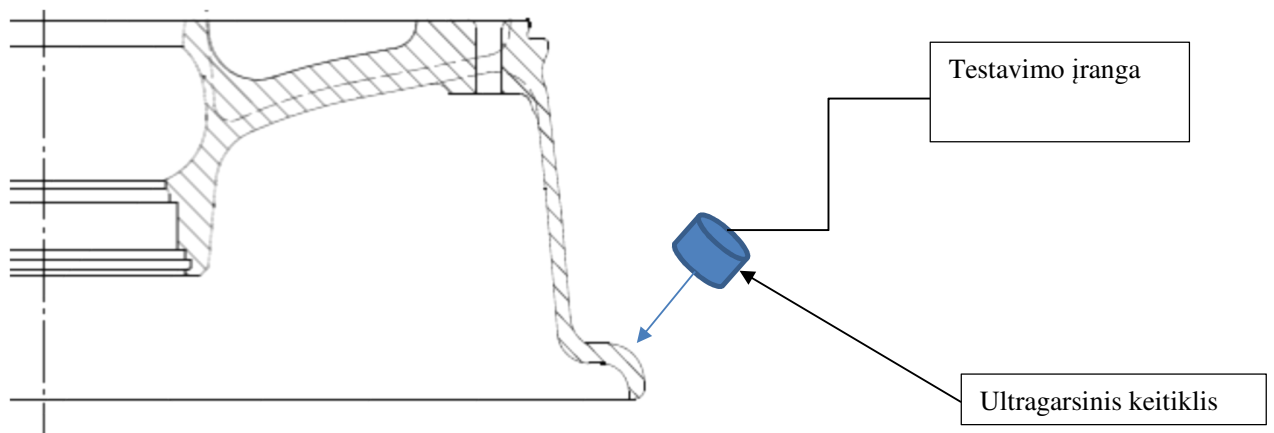
	Matavimas 1	Matavimas 2	Matavimas 3
Laikas tarp atspindžių	8,65 μs	8,73 μs	8,74 μs
Garso greitis	6381,5 m/s	6323 m/s	6315,8 m/s



4.12 pav. Tyrimo rezultatai

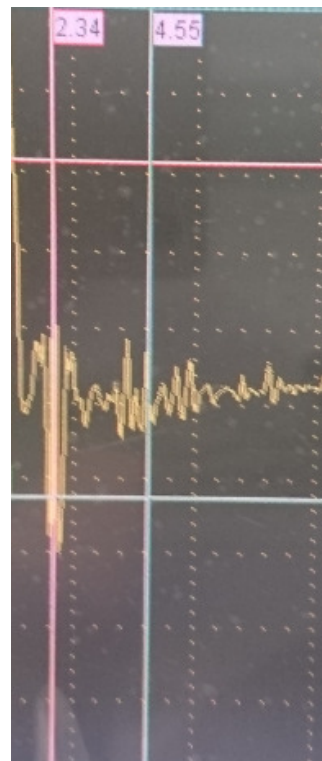
Tyrimo schemoje pavaizduota zona, kurioje buvo tiriamas garso greitis komponento medžiagoje. Visi trys tyrimai atlikti to pačio varžto skylės zonoje. Atlikus bandymus suskaičiuotas garso greičio vidurkis 6340 m/s.

Atlikus garso greičio eksperimentinius matavimus ir pasitelkus gautus rezultatus, bus matuojamas padangos ir ratlankio kontakto paviršiaus likutinis medžiagos storis keliuose vietose. Tyrimui atlikti bus pakartotinai naudojamas neardomos kontrolės testavimo aparatas OLYMPUS, bei kitas ultragarsinis 20 MHz keitiklis. Kontaktui pagerinti naudojamas vanduo.



4.13 pav. Tyrimo schema

Tyrimo schemoje pavaizduota kontakto zonos, likutinio medžiagos storio, matavimas ultragarsu. Kadangi matavimas vyksta ant apvalaus krašto, keitiklis ne visu plotu liečia bandinį, todėl ultragarso atspindys gaunamas tik tokiu atveju, jei jutiklio plokštuma yra tangente bandiniui. Taip yra, nes keitiklis ratlankį liečia labai mažu plotu ir grįžtanti garso banga, keitikliui nukrypus nuo tangentės krypties, nepataiko į kontakto zoną.



4.14 pav. Likutinio medžiagos storio matavimas ultragarsu rezultatai

Matavimo rezultatai pagal 4.14 pav. po trijų bandymų parodė kritusios ir atsispindėjusios garso bangos laiką, bei pagal anksčiau nustatytą garso greitį, apskaičiuotas likutinis medžiagos storis.

4.2 lentelė. Tyrimo rezultatai.

	Matavimas nr. 1	Matavimas nr. 2	Matavimas nr. 3
Laikas (μ s)	2,21	2,11	2,26
Garso greitis (m/s)	6340	6340	6340
Storis (mm)	7	6,7	7,2

Tyrimo rezultatų lentelėje nurodyti rezultatai atskleidžia, jog vidutiniškai kontakto zonoje likę 6,97 mm storio medžiagos. Norint užtikrinti, jog tyrimo rezultatai atitinka realybę, nuspręsta pakartoti tyrimą kitokiu metodu.

Atliekamas pakartotinis tyrimas, bandinio tiriamosios zonos medžiagos storiui nustatyti. Bandinys suskirstytas į 16 dalių. Bus matuojamas bandinio storis ties padangos kontakto zona, bei storis ties nepažeista zona.



4.15 pav. Storio matuoklis

Bandinys bus matuojamas specialiu storio matuokliu. Šis įrankis yra sekamas kasmetinės metrologinės patikros. Prietaisas matuoja 0,01 mm tikslumu, didžiausias matuojamojo bandinio storis 20 mm. Storio matuoklio galiukai puikiai tinka pamatuoti giliams, nedideliems pažeidimams.

Prieš atliekant matavimus, bandinys suskirstytas į šešiolika dalių, ties kuriomis, storio matuokliu, bus matuojamas likutinis ratlankio storis ties giliausiu pažeidimu, rato ir padangos kontakto zonoje.



4.16 pav. Matavimas storio matuokliu

Prietaisu atlikti matavimai ties pažymetu numerėliu. Matavimai atliekami paprastai, uždėdant matavimo prietaiso galiukus į griovelį ir ieškant prietaiso pozicijos, ties kuria rodoma mažiausia matmens reikšmė.

Gauti rezultatai aprašyti 4.3 lentelėje.

4.3 lentelė. Matavimų, storio matuokliu, rezultatai.

Dalies Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Matmuo (mm)	7,18	7,02	6,99	6,88	6,80	6,88	6,99	6,98	6,92	6,78	6,69	6,74	6,82	6,87	7,04	7,09

4.3 lentelėje galima matyti, jog pažeidimas, bandinio perimetru, varijuoja per 0,49 mm, nuo 6,69 mm iki 7,18 mm. Matavimų rezultatai leidžia teigti, jog storio matavimas ultragarsu yra pakankamai tikslus. Šie duomenys bus sulyginti su tokio pačio matavimo, jau metalizuotam paviršiui, rezultatais.



4.17 pav. Matavimas sukūrinėmis srovėmis

Matavimas sukūrinėmis srovėmis nerodo įtrūkimo, tačiau ryškiai matomi oksidacijos padariniai. Tai yra susidariusios poros. Šio defekto gražiai išvalyti gali nepavykti, norint pašalinti šį defektą, reikėtų nušlifuoti visą medžiagos sluoksnį, kol nebus vizualiai matomos oksidacijos „išgraužtos“ poros. Tokiu būdu, pagal aviacijos reikalavimus, šalinami oksidacijos padariniai. Deja šiuo metodu šalinant defektą, rato kantas suplonėtų daugiau nei leidžia gamintojo aprašyti limitai.

5. Lankinis metalizavimas

Lankinis metalizavimas arba lankinis purškimas, tai procesas, kuomet parinktos medžiagos, vielos pavidalu, paduodamos į purškimo pistoleto antgalį ir pantenka į kontaktą. Kontakto vietoje į abi vielas paduodama srovė, kuri jas išlydo kontakto vietoje. Išlydyta medžiaga skaidoma suspausto oro ar kitų dujų pagalba ir pernešama ant ruošinio. Tai yra nebrangus, patogus naudojime padengimo būdas. Padengimui naudojami nerudijančio plieno, nikelio, aliuminio, cinko, bronzos lydiniai.

Technologijai tobulėjant ruošinį galima dengti baigtiniu arba atstatymo būdu. Baigtinis būdas leidžia formuoti mažo paviršiaus šiurkštumo, labai tankias, plonas dangas, atstatymo būdas leidžia padengti storesniu, retesniu sluoksniu. Šiuo būdu atstatomas norimo paviršiaus matmuo arba suteikiamos reikalingos paviršiaus savybės (kietumas, mažesnis trinties koeficientas, atsparumas atmosferos poveikiams ir t.t.)

Komponento remonto vadove aprašomas rato guoliavietės remontas, metalizavimo būdu, pateikiant medžiagą sujungimui, tiek užpildui. Taip pat pateikiami temperatūriniai režimai remonto metu, bei laipsniškai išdėstyta procedūros eiga.

5.1 Rato kanto išdirbio remontas



5.1 pav. Detalė prieš padengimą (kairėje) ir po padengimo (dešinėje)

Tyrimų objektas buvo perkeltas į karantiną, ne tik dėl vizualinės inspekcijos metu rasto skylimo. Išmontavus orlaivio ratą, atliktos ir kitos numatytos remonto vadove procedūros, tokios kaip: sukūrinių srovių patikra, dažų pašalinimas, pažeidimų įvertinimas. Inspekcijų metu, rato kontakto su padanga vietoje, rastas griovelis, kuris buvo didesnis nei komponento remonto vadove numatyta maksimali reikšmė, 1,27 mm. Ši žala bus taisoma lankinio purškimo metalizavimo būdu, ant detalės užpurškiant aliuminio silicio lydinį (4043). Kadangi geometrijos atsaymas po padengimo yra menka problema, o ir šio darbo tikslas nėra atsatyti geometriją, po padengimo ratas nebus nutekintas ar kitaip mechaniškai apdirbtas siekiant sugrąžinti originalius matmenis. Tačiau po remonto operacijos paviršius liks labai šiurkštus, tai gali trukdyti vėlesniems tyrimams. Todėl bandinio paviršius bus nušlifuotas tik tiek, kad nekeltų trigdžių ir nebraižytų laboratorijos įrangos.

5.1 lentelė. Lydinio 4043 fizikinės savybės.

Fizikinės savybės	Metrinė sistema	Imperinė sistema	Komentarai
Tankis	2,69 g/cm ³	0,0972 lb/in ³	
Atsparumas tempimui	145 MPa	21000 psi	
Takumo riba	70 MPa	10200 psi	12,7 mm skersmens bandinio
Poissono koef.	0,34	0,34	
Pailgėjimas ties trūkumu	22%	22%	12,7 mm skersmens bandinio
Šlyties atsparumas	90 MPa	13100 psi	
Kietumas, Brinell	39	39	500 kg apkrova/10 mm skersmens sfera

Fizikines savybes aprašančioje lentelėje pateikti duomenys rodo, jog pasirinkta medžiaga yra tris kartus minkštesnė, už grūdinta 2024 lydinį. Tačiau šiais duomenimis remtis negalima, kadangi lankinio užpurškimo metu karštos metalo dalelės krenta ant santykinai vėsios detalės, todėl danga grūdinasi. Dangos kietumą galima nustatyti tik eksperimentiškai.

Silumino cheminė sudėtis yra nurodyta lentelėje.

5.2 lentelė. Lydinio sudėtis

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Be	Kiti
4,5-6,0%	iki 0,6%	iki 0,3%	iki 0,15%	iki 0,2%	iki 0,1 %	iki 0,15%	iki 0,0008%	iki 0,15%

Suvirinimui ir metalizacijai naudojamas lydinys, iš jo gaminami elektrodai ir milteliai dangoms, viela metalizacijai.

Tai pagrindinė medžiaga remontuojant gaminius iš aliuminio, 4043 tinka visiems aliuminio tipams, išskyrus aliuminio lydinius, kurių pagrindas magnis. Šiuo atveju detalės lydinio pagrindą sudaro varis.

5.2. Matavimai po padengimo

Atlikus bandinio padengimą 4043 aliuminio lydiniu, kitaip vadinamu siluminu, atliekamas tyrimas ultragarsu, naudojant 20 MHz keitiklį. Tikimasi išsiaiškinti ar nėra oro tarpelių, ar kitų pašalinių objektų silumino dangos ir rato sąlyčio plote, kadangi lankinio užpurškimo metu, danga ant objekto krenta smulkiomis dalelėmis. Gautas apvalkalas, dėl proceso specifikos, gali tapti šiek tiek porėtas.

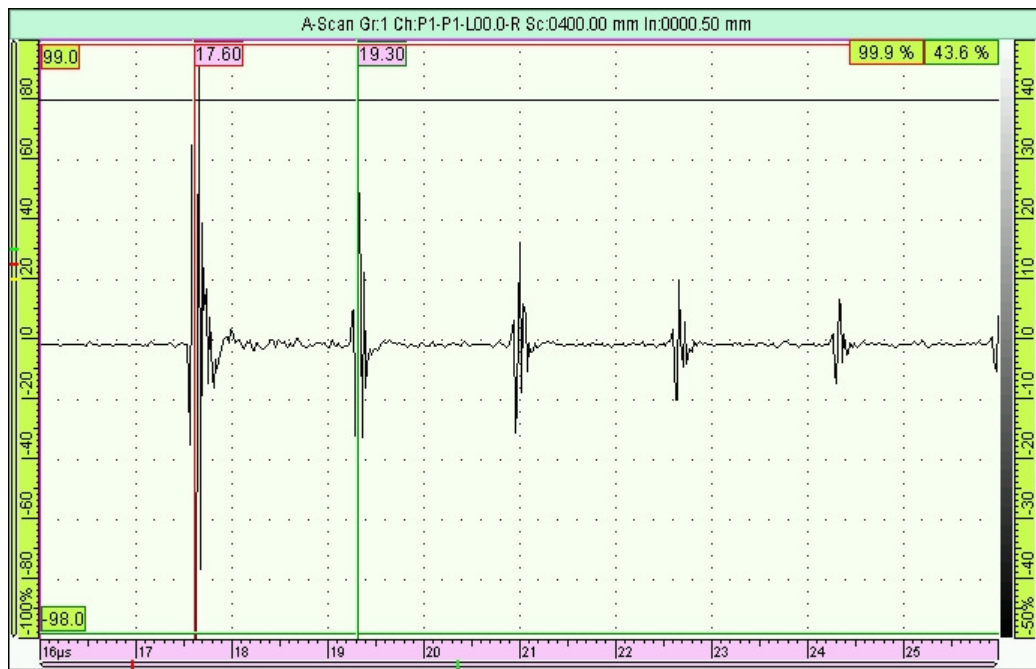


5.2 pav. Bandinio matavimas ultrgarsu, po padengimo siluminu, rezultatai

Paveikslėlyje viršuje matomi tyrimo ultrgarsu rezultatai, rodantys laiką, per kurį garsas perėjo per bandinį ir silumino dangą. Matavimai rodo 3,09 μ s. Pagal matavimus storio matuokliu žinoma, jog dangos storis patikros zonoje 1,88 mm, šį atstumą įveikti ir grįžti atgal, garso bangai, užtrunka 0,88 sekundės ilgiau. Šie duomenys leistų apskaičiuoti, jog garso greitis dangoje yra 4273 m/s. Tačiau kadangi perėjimo zonos ultrgarsu tyrime nesimato, tiksliai nustatyti dangos storio ultrgarsu nepavyktų, jei nėra žinomas detalės, bei dangos storis. Norint tiksliai pamatuoti garso greitį dangoje, reikėtų bandymą kartoti tikrai ant silumino dangos. Pastebimas atspindžių silpimas.

5.3. Atspindžio silpimas

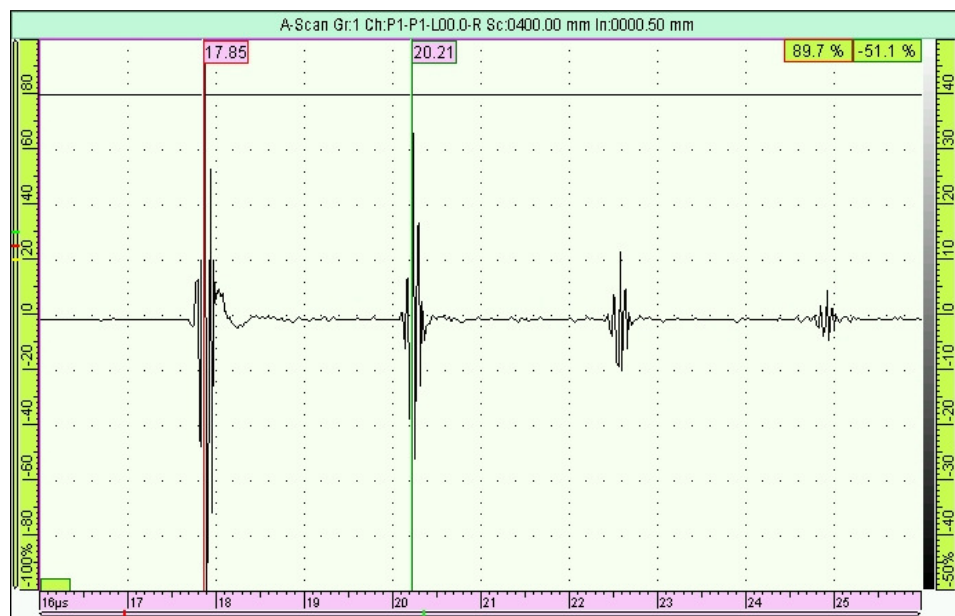
Arkinio padengimo rezultatas dažnai porėtas, kadangi garso bangą labai gerai slopina oras, to paties efekto tikimasi iš silumino dangos užpurkštos ant bandinio. Atliktuose tyrimuose pastebimas skirtumas, tarp atspindžio stiprumo, tyrime su danga ir be. Apie galimą porėtumą (kas įtakoja signalo silpimą) perspėjama literatūroje apie lankinę metalizacija.



5.3 pav. Rato šono tyrimas atspindžiams stebėti

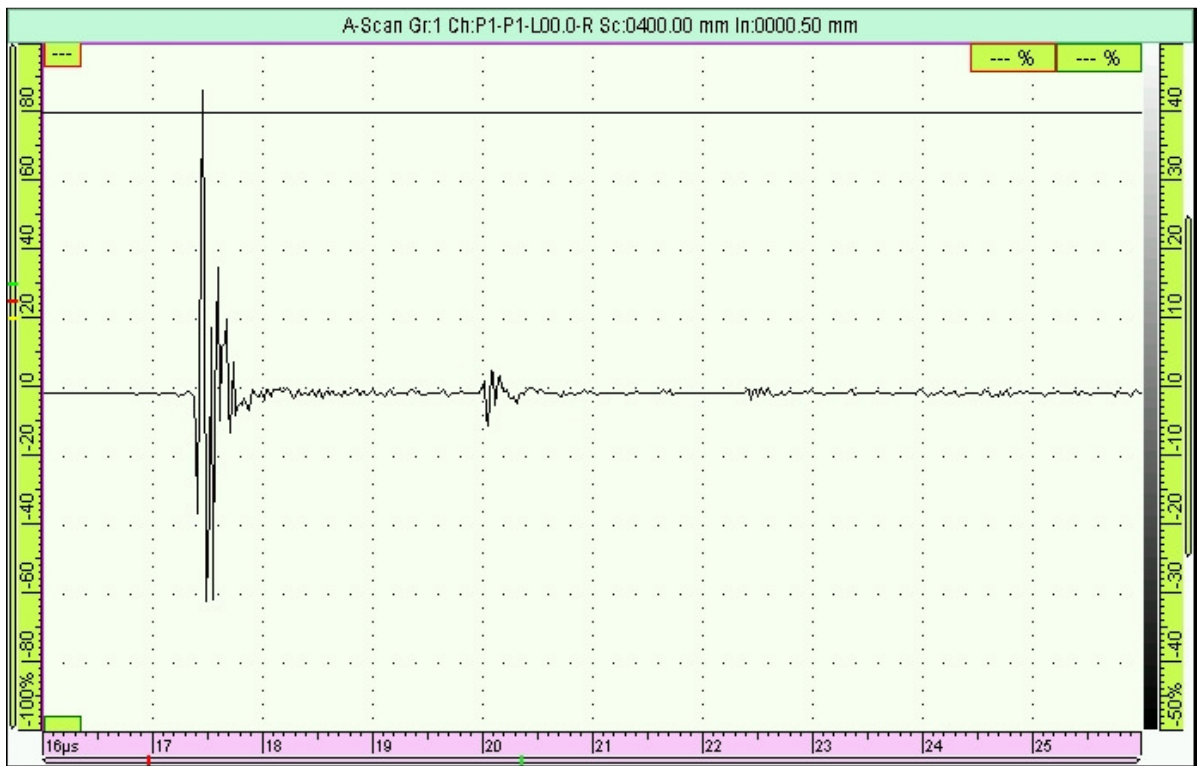
Pagal 5.3 paveikslėlį matome, jog aparatas pateikia šešis atspindžius, įskaitant paviršių per užduotą tyrimo diapazoną nuo 16 iki 26 μ s. Tyrimo zona nėra dengta. Atspindys pamažu natūraliai silpsta.

Tiesa šis silpimas vyksta palaipsniui ir padidinus diapazoną, bei jautrumą, būtų galima matyti dar kelis atspindžius. Žinoma prie tokio atspindžių skaičiaus prisidėjo ir bandinio storis tyrimo vietoje. Pagal remonto žinyne pateiktą brėžinį, turėtų būti 5 mm storio sienelė. Tai yra viena plonesnių bandinio vietų ir ultragarso signalui reikia nukelti nedidelį atstumą, todėl esamam tyrimo diapazone gali susidaryti daugiau atspindžių.



5.4 pav. Tyrimas, padengtos zonos perėjimas į nedengtą zoną

Tikrinant ultragarsu dangos kraštą, tik patraukus keitiklį nuo nedengto paviršiaus, pastebimas slopimas. Šis perėjimas yra apdirbtas ir švelnus, laiptelio nėra. Per užduotą tyrimo diapazoną matomi jau tik keturi atspindžiai ir pastebimas smarkus signalo silpimas. Nukeliant signalo kelias šiuo atveju taip pat turi įtaką, kadangi keičiasi bandinio geometrija ir signalui reikia nukelti didesnę atstumą. Šis nukeliant kelias, taip pat prisideda prie signalo slopinimo. Nepaisant tyrimo zonos sienelės pastorėjimo, padidinus aparato jautrumą ir tyrimo diapazoną, galimai būtų matomas dar vienas silpnas atspindys. Tačiau padidinus jautrumą, pirmasis atspindys būtų neadekvačiai smarkiai išreikštas. Slopinimui stebėti, esami nustatymai daugiau nei pakankami.



5.5 pav. Signalų silpimas

Atlikus tyrimą, vedant keitiklį ant padengto paviršiaus, matomas itin didelis signalo slopinimas. Gerai matomas tik paviršiaus atspindys, tuo tarpu grįžęs signalas, nepalyginamai silpnas. Paveikslėlyje taip pat matoma, jog antras atspindys vos matomas, labiau primena triukšmą, o likęs matomas diapazonas, tik triukšmas. Jei danga būtų storesnė, kyla abėjonių ar galima būtų išskirti pirmą, ne paviršiaus, atspindį iš triukšmo, smarkiai nepadidinus jautrumo. Ši silumino danga, pagal paskutinius tris tyrimus, veikia kaip garso izoliacija.

5.4. Penetranto tyrimas

Tyrimas penetrantu yra sąlyginai paprastas ir patikimas būdas aptikti paviršiaus įtrūkimus. Šiuo būdu randami pažeidimai, kurių negalima pastebėti detaliosios vizualinės inspekcijos metu.

Atidžiai parengus, nuvalius tiriamąją zoną, užtepamas penetrantas ir paliekamas tam tikram laiko tarpui, šis nusėdimo laikas reikalingas, penetrantui įsiskverbti į pažeidimus. Nusėdimo laikas yra nurodytas chemikalo naudojimo instrukcijoje, kuri nurodyta ant pakuotės ar pakuotėje.

Atlikus nusėdimo žingsnį, penetranto paviršius yra nuvalomas. Nuvalymui naudojamas būtent tam penetrantui priskirtas valiklis, kad nepalikti penetranto pėdsakų ant paviršiaus. Taip nenuvalomas tik tas penetrantas, kuris yra jau įsiskverbęs į įtrūkimą.

Nuvalius penetrantą, dedami labai smulkūs milteliai, vadinami ryškintoju. Milteliai tolygiai paskirstomi po tyrimo paviršių. Šie milteliai yra linkę sugerti penetrantą, penetrantas įsiskverbia į miltelius ir išryškėja vizualiai arba ultravioletinėje šviesoje, matoma įtrūkimo lokacija.

Penetranto patikros būdai yra du, vizualinis ir ultravioletinis. Aviacijoje naudojamas tik ultravioletinis patikros būdas. Išskyrus atvejus, kai atskirai nurodomas vizualinio metodo panaudojimas.

Pats penetrantas turi penkias skvarbumo kategorijas:

½ tai labai mažo jautrumo;

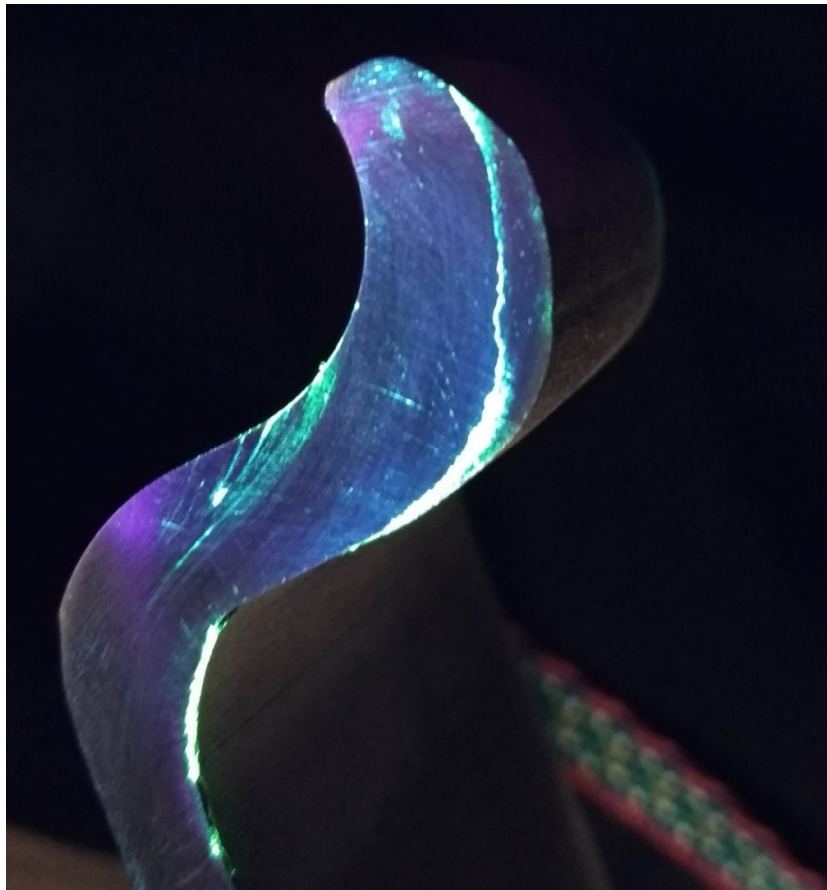
1 mažo jautrumo;

2 vidutinio jautrumo;

3 didelio jautrumo;

4 labai didelio jautrumo.

Jautrumas tiesiogiai proporcingas penetranto skvarbumui. Ketvirtos kategorijos penetrantas naudojamas kritinių konstrukcijų, dažniausiai pagamintų iš titano lydinių, tyrimui. Labiausiai paplitęs yra trečiosios kategorijos penetranto naudojimas.

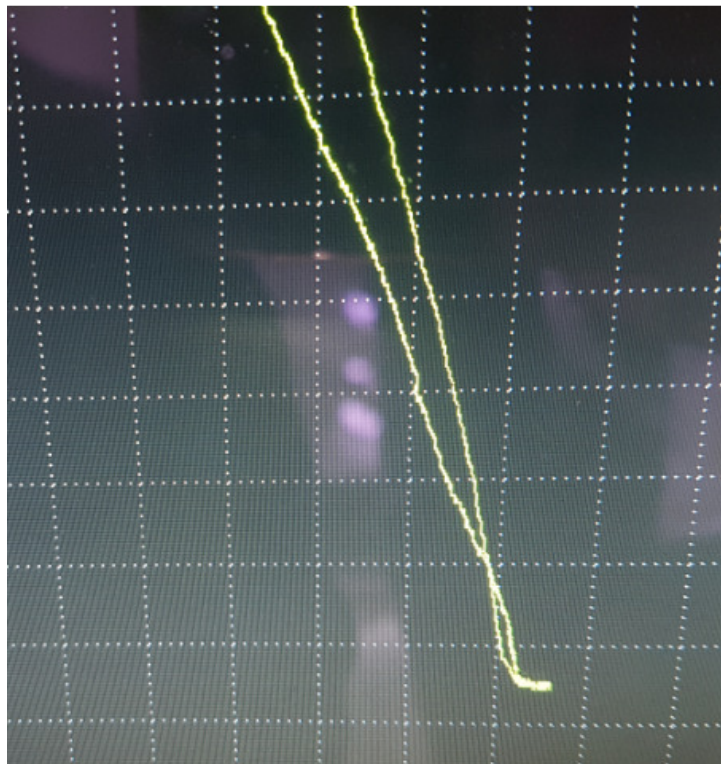


5.6 pav. Bandinys ultravioletinėje šviesoje

Paveikslėlyje matome bandinį, kuris padengtas silumino danga. Penetranto metodas aiškiai parodo paviršiaus ne tęstinumą, dangos ir pagrindo sąlyčio zonoje. Penetranto koncentracija didėja, artėjant prie kraštų. Nuotraukoje taip pat matomi grioveliai darant pjūvį. Reikalinga paminėti, jog nors tai ir netraktuojama kaip įtrūkimas, atsakingose konstrukcijose tokio tipo pažeidimai yra šlifuojami. Šiuo atveju mus domina tik dangos sąlytis su pagrindu.

Vizualiai apžiūrėjus, prieš ir po penetranto tyrimo, tarpelis tarp dangos ir pagrindo nėra matomas. Galima pastebėti tik skirtingą metališkąjį žvilgesį, kadangi dangos ir pagrindo metalai skiriasi, tai nėra netikėta.

Penetranto išryškintam defektui patvirtinti, atlikta papildoma sūkurinių srovių inspekcija. Tai yra normali praktika aptikus penetranto indikaciją. Edi srovių metodas padeda nustatyti ar ši indikacija yra tik įrėžimas, ar tai yra kur kas gilesnis pažeidimas. Kadangi penetranto metodas parodo tik pažeidimo egzistavimą, jis neparodo jo gylio ir atskirti įbrėžimą nuo įtrūkimo yra sudėtinga.



5.7 pav. Papildoma inspekcija sūkurinių srovių metodu.

Aukščiau esančiame paveikslėlyje matoma, penetranto išryškinto, defekto indikacija. Pagal tyrimui panaudotą įrangą matosi, jog tai įtrūkimas. Jei tai būtų įbrėžimas, aparato rodmenys neviršytų poros langelių. Šiuo atveju indikacija perlipa nustatytas ribas, indukuojant defektą, kaip begalinio gylio.

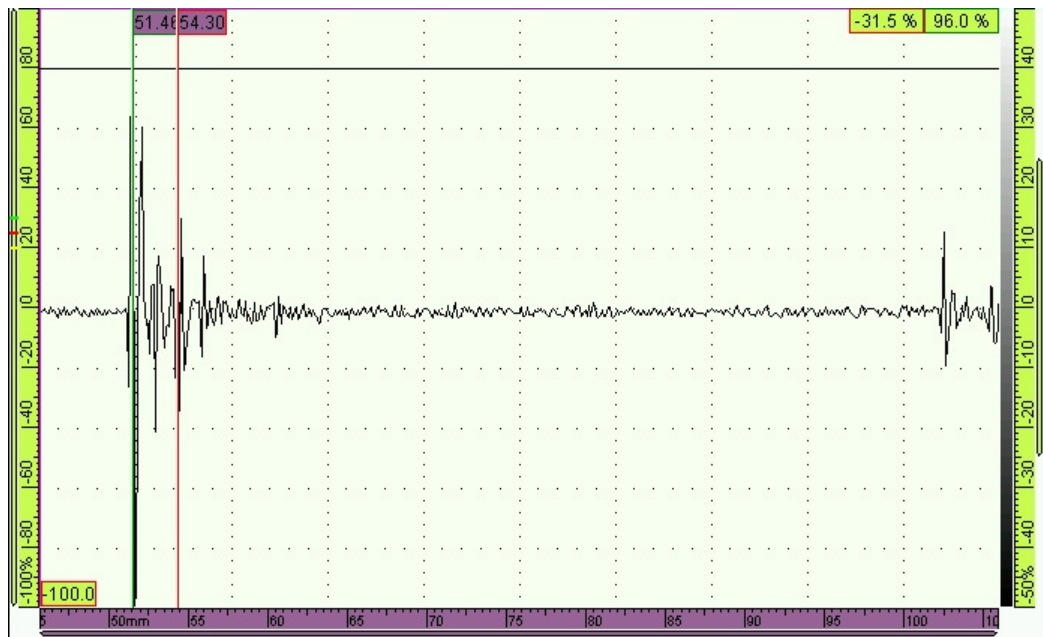
6. Silumino dangos pašalinimas

Silumino dangos pašalinimo darbai buvo skirti, gauti stambesni silumino gabalėlį, garso greičio tyrimui. Mechaninis dangos pašalinimas, atvėrė galimybę, išbandyti kitą dangą ir kitokį padengimo metodą, o taip pat iš dalies nustebino.



6.1 pav. Dirbtinis silumino dangos skilimo formavimas

Kaip matome 6.1 pav., suformuoti įtrūkima, net ir atpjautam bandiniui, prireikė penkių smūgių, aštriu kaltuku, tiesiai į dangos ir pagrindo kontakto juostą. Nepaisant to, jog tiek penetranto, tiek sukūrinių srovių metodais, atlikti tyrimai rodė ryškų abiejų medžiagu adhezijos nebuvimą. Vėliau danga buvo trupinama mechaniškai, deformuojant dangą ties kontakto juosta. Nuotraukoje matome, jog suduoti smūgiai sukėlė deformacijas, siluminui atskylant nuo pagrindo, tačiau neskylant kaip dangai.



6.2 pav. Dirbtinio įtrūkimo tyrimas ultragarsu

Tyrimo metu gautas vaizdas rodo garso kelią, nuo 51,45 iki 54,30 μs , per silumino dangą. Tuomet matomas oro tarpelis, kuris yra praktiškai per visą skalę ir tik tada matomas atspindys nuo sekančio paviršaus. Šio tyrimo rezultatai rodo, kad ryškų dangos atskilimą yra paprasta pastebėti, nepaisant to, kad tokio lygio defektą būtų galima pamatyti jau detaliosios vizualinės inspekcijos metu.



6.3 pav. Nuo bandinio pašalinta danga

Paveikslėlyje 6.3 matome pažeidimus, sukeltus kaltuko, rodančius, kad lankinio užpurškimo metodu užneštą medžiagą, mechaniškai pašalinti nėra paprasta. Atliekant procedūrą reikėjo stiprių smūgių, norint atskelti buvusį silumino sluoksnį. Bandinys vėliau paruoštas panaudoti papildomam tyrimui.



6.4 pav. Atskeltas silumino dangos gabalėlis

Paveikslėlyje matoma nuo bandinio atskelta silumino dangos skeveldra, sulyginata su pirštu. Paveikslėlis skirtas bendram vaizdui susidaryti. Čia puikiai matomas paviršiaus nelygumas, kuris yra veidrodinis atspindys paviršiaus, ant kurio ši danga buvo užpurkšta.

Skeveldros dydis yra apytiksliai vienas kvadratinis centimetras. Gautas naujas tyrimų objektas, padėsiantis tiksliau nustatyti, garso greitį medžiagoje.

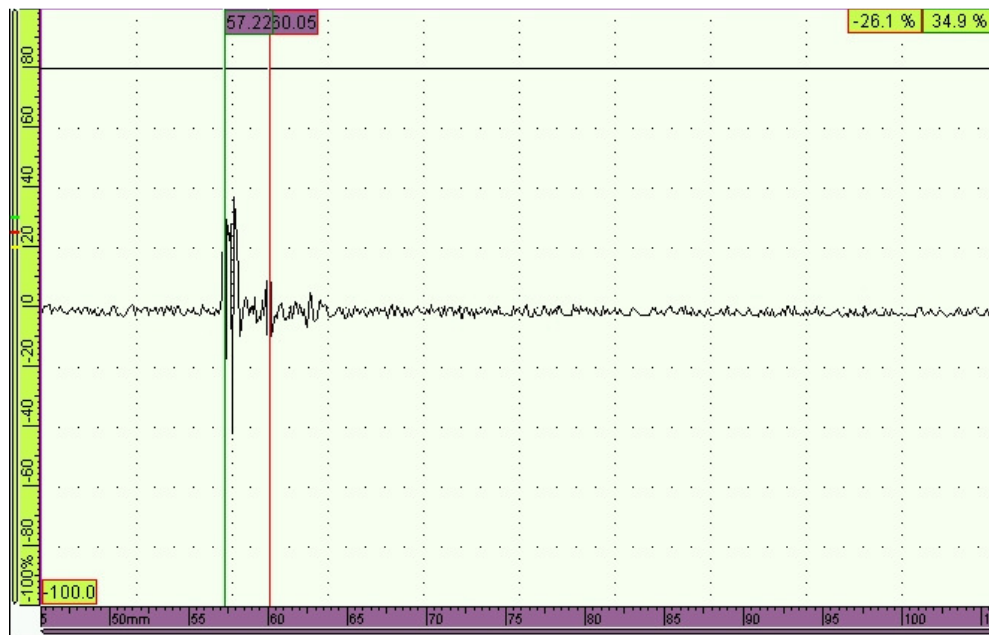
6.1. Silumino dangos tyrimas

Atliekant silumino dangos pašalinimą, pavyko atskelti pakankamai didelių gabalėlių, ultragarso tyrimui atlikti. Šiuo bandymu tikimasi nustatyti garso greitį ir pamatyti kokius parodymus rodo ultragarso tyrimo aparatas, garsui keliaujant per, lankiniu užpurškimu sudarytą, silumino dangą. Ištirti pačios dangos parametrus norėta ir anksčiau, tačiau manyta, jog nepavyks gražiai nuimti pakankamą kiekį dangos, bandymams atlikti. Atliekant kitus tyrimus, pavyko dirbtinai padaryti ryškų skylimą tarp dangos ir detalės (6.5 pav.), tai leido visiškai pašalinti dangą nuo vienos iš bandymams skirtų detalių.



6.5 pav. Silumino dangos gabalėlis profiliu

Paveikslėlyje parodytas silumino dangos gabalėlio dydis yra apytiksliai vienas kvadratinis centimetras. Ultragarso pagalba bus tiriamas garso greitis dangoje, tai leis kitaip pažvelgti į jau atliktų tyrimų rezultatus.

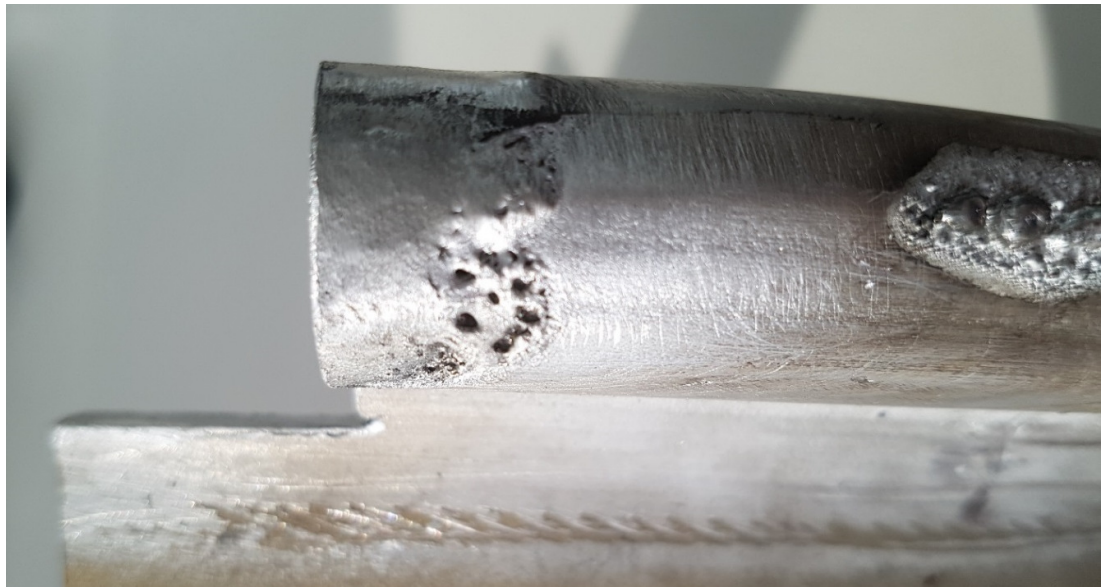


6.6 pav. Tyrimo ultragarsu rezultatai

Tyrimo ultragarsu rezultatai atlikti ties storiausia bandinio vieta, kuri yra 2,40 mm. Garso banga nukeliavo pirmyn ir atgal bandinio skerspjūviu per 2,82 μ s. Žinant kelia ir laiką, galima pasakyti, jog garso greitis silumine yra 1702 m/s. Tai sako, jog 4.7 skyrelyje paskaičiuotas garso greitis silumine yra neteisingas. Aukščiau pateiktame paveikslėlyje nėra matoma daugiau atspindžių, lyginant su rato tyrimu, kuriame dangos išviso nėra. Taip pat matosi ganėtinai daug triukšmo, tai gali atsirasti dėl medžiagos porėtumo. Žinoma dangos porėtumas ir forma įtakoja garso greitį ir dėl padengimo procese įvykusių veiksmų gali būti, jog užneštos dangos tankis, įvairiose vietose, gali skirtis.

6.2. Silumino dangos perlydimas inertinių dujų aplinkoje

Kadangi lankiniu būdu užpurkštos dangos tyrimai rodo prastą adheziją, tarp dangos ir pagrindo, nuspręsta pabandyti perlydinti siluminą, taip pagerinant adheziją. Perlydimas bus vykdomas suvirinimo volframinio elektrodu, inertinių dujų aplinkoje (TIG), aparatu.



6.7 pav. Perlydyta silumino danga

Perlydant dangą, buvo pastebėta, jog tik paleidus elektros srovės lanką, danga po kelių sekundžių pradėjo tarsi virti ir sušokinėti į gabalėlius. Kad nekaitinti, bandinio danga galutinai perlydyta tik vienam krašte. Gautam rezultate, vizualiai, matomos atsiverusios poros. Toks silumino dangos elgesys patvirtina, jog elektrolankiniu būdu užnešta danga yra porėta. Po perlydymo, išpjautas atskiras bandinukas mikrošlifui padaryti. Pjūvis padarytas, vizualiai, parinkus kokybiškiau perlydytą zoną.

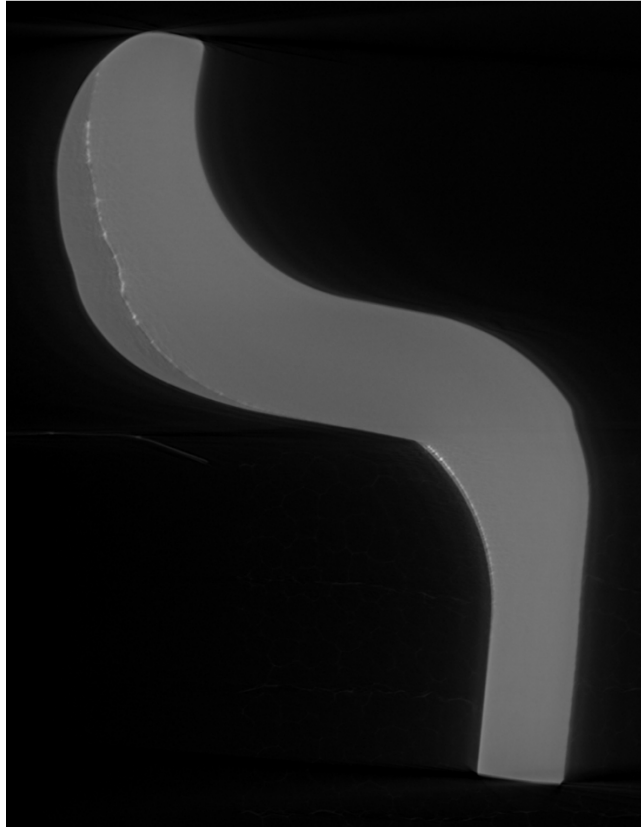


6.8 pav. Dangos perlydymo metu, matoma perkaitimo deformacija

Aukščiau esančiame paveikslėlyje, pavaizduota dėl perkaitinimo atsiradusi deformacija. Bandinys perkaitintas, bandant sumažinti porėtumą. Volframinį elektrodą judinant sukamaisiais judesiais, buvo mažinamas porėtumas ir kaip tik tuo momentu, kai skysto metalo vonelė pasidarė graži ir neporėta, toje vietoje, bandinys susmego. Kairėje pusėje matome vaizdą iš padengtos bandinio pusės, galima matyti duobutės kraštuose likusias poras. Dešinėje pusėje, matome bandinį iš kitos pusės, čia yra nedengta pusė ir nuo perkaitinimo susidaręs metalo nubėgimas. Po bandymo, perlieti lankinės metalizacijos dangą, buvo nuspręsta, jog šiuo būdu užšpurkštos dangos, tolimesnius bandymus nutraukti.

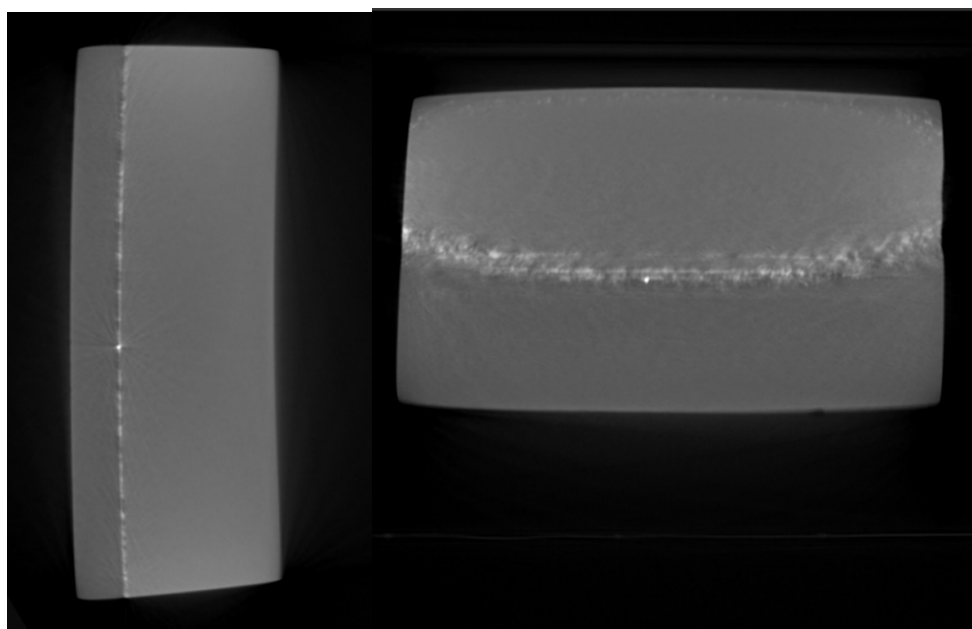
7. Silumino dangos rentgeno tyrimas

Aviacijoje retai paplitęs neardomos kontrolės metodas, peršviečiant tyrimo objektą rentgeno spinduliais. Šis metodas vengiamas dėl brangios, bei ganėtinai daug vietos užimančios įrangos, kenksmingų sąlygų, tiek specialistui, tiek aplink dirbantiems žmonėms. Tačiau atlikti patikrą rentgeno aparatu komponentui, kurį galima nesunkiai atgabenti į laboratoriją, didelių problemų nesukelia. Dėl šios priežasties bandinys su silumino danga, buvo atgabentas į laboratoriją ir peršviestas.



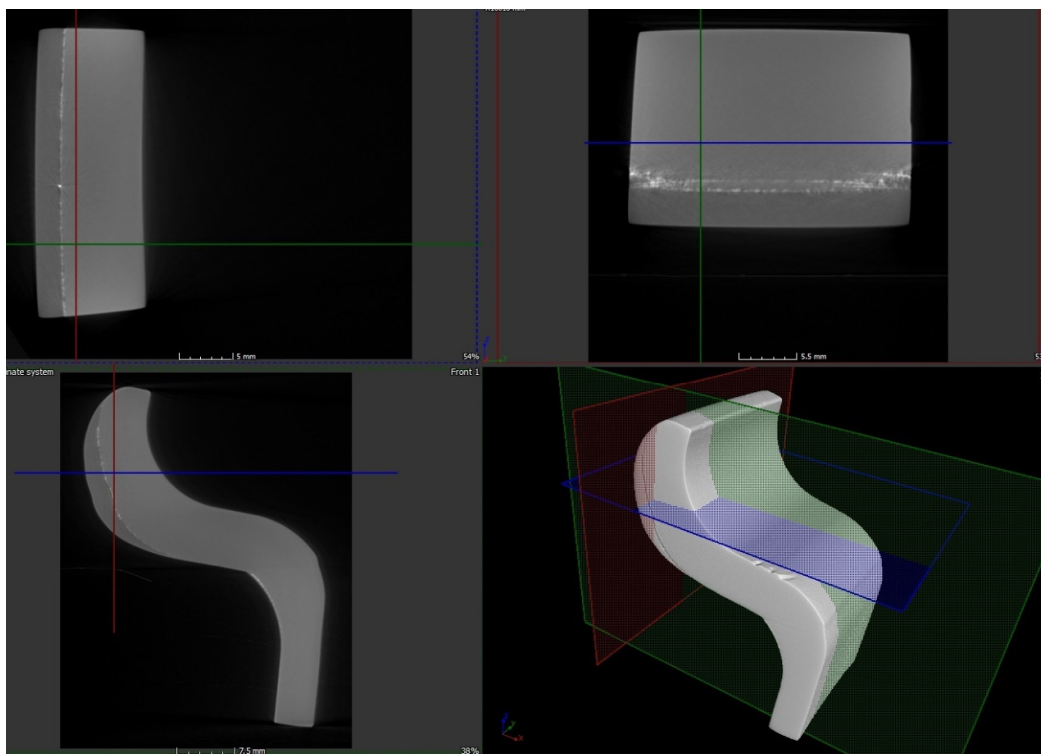
7.1 pav. Peršviesto bandinio vaizdas iš šono

Aukščiau matomas bandino vaizdas iš šono, patvirtina, jog užpurkšta silumino danga nėra tvirtai susiliejusi su pagrindu. Paveikslėlyje, tiek rato, tiek dangos spalvos šiek tiek skiriasi, dėl savo skirtingų tankio rodiklių. Taip pat puikiai matome sąlyčio paviršiaus kontūrą. Reikia paminėti, jog šio sąlyčio kontūro netolygus paviršius, padeda, nesusiliejusiai dangai, geriau laikytis ant detalės.



7.2 pav. Silumino dangos rentgeno tyrimo vaizdai iš viršaus (kairėje) ir priekio (dešinėje)

Atliktas tyrimas, taip pat leido pamatyti labiau dominančias vietas, pjūvio pavidalu, iš viršaus ir priekio. Pjūvio vaizde iš viršaus, matome, lenktu rato profiliu, einančią sąlyčio juostą. Ši juosta yra netolygi, bei galima pastebėti mažo tankio svetimkūnį arba porą, atsiradusią padengimo metu. Vaizde iš priekio, matome pjūvį ties sąlyčio zona. Ši zona, taip pat netolygi ir porėta.



7.3 pav. Rentgeno tyrimu gautas 3D vaizdas

Laboratorijoje atliktas tyrimas, programinės įrangos dėka, leidžia bandinį su silumino danga iširti visapusiškai. Programoje pateiktas trimatis peršviestos detalės vaizdas, suteikia galimybę matyti

visą situaciją iškart. Čia galima keisti plokštumų koordinates ir matyti medžiagos struktūrą bet kurioje bandinio vietoje. Šio tipo tyrimai trunka labai daug laiko, suvartoja didelį kiekį energijos ir yra labai didelės apimties. Būtent dėl didelės apimties, galimybių ištirti visą orlaivio ratą, nebuvo. Nedidelis bandinys išpjautas iš visos detalės, norimą informaciją atskleidė.

8. TIG suvirinimo būdu užnešta aliuminio danga

Naujas padengimas sugalvotas eigoje, kadangi nuo vieno iš bandinių buvo pašalinta danga, silumino tyrimui. Pasitaikius galimybei, buvo užnešta danga su pridėtinu 5356 aliuminio lydinio. Naujos dangos užnešimas vyko TIG suvirinimo aparatu. Įžiebus elektros lanką ir tik atsiradus nedidelei išlydyto metalo vonelei, skubiai užnešama danga. Skubėti šiuo atveju reikia, kadangi negalima perkaitinti bazinės detalės. Perkaitinimas sukeltų įtrūkimo riziką ir gali pakeisti metalo stuktūrą.

6 lentelė. Aliuminio lydinio 5356 cheminė sudėtis

Elementas	Al	Mg	Fe	Si	Cu	Zn	Ti	Cr	Mn	Be	Kiti
Kiekis %	92,9-95,3	4,50-5,50	0,40	0,25	0,10	0,10	0,060-0,20	0,050-0,20	0,050-0,20	0,000800	0,15

Lentelėje pateikta, cheminė, užneštos dangos sudėtis. Esminis dangos ir pagrindo medžiagų skirtumas yra tai, kad pagrindinio aliuminio lydinio esminis priedas yra varis, o užneštos dangos lydinio esminis priedas yra magnis. Aliuminio lydinys 5356 yra naudojamas suvirinimo elektrodams ir kaip pridėtinis metalas, aliuminio suvirinimo darbuose. Tai vienas labiausiai paplitusių užpildo metalų, kartu su 4043. Šis pridėtinis metalo lydinys, pagal katalogus, nėra priskirtas 2XXX šeimos aliuminio lydiniais kaip pridėtinis metalas, tačiau 5356 pagrindinis legiruojantis elementas yra magnis ir jo dėka siūlė tampa minkštesnė.



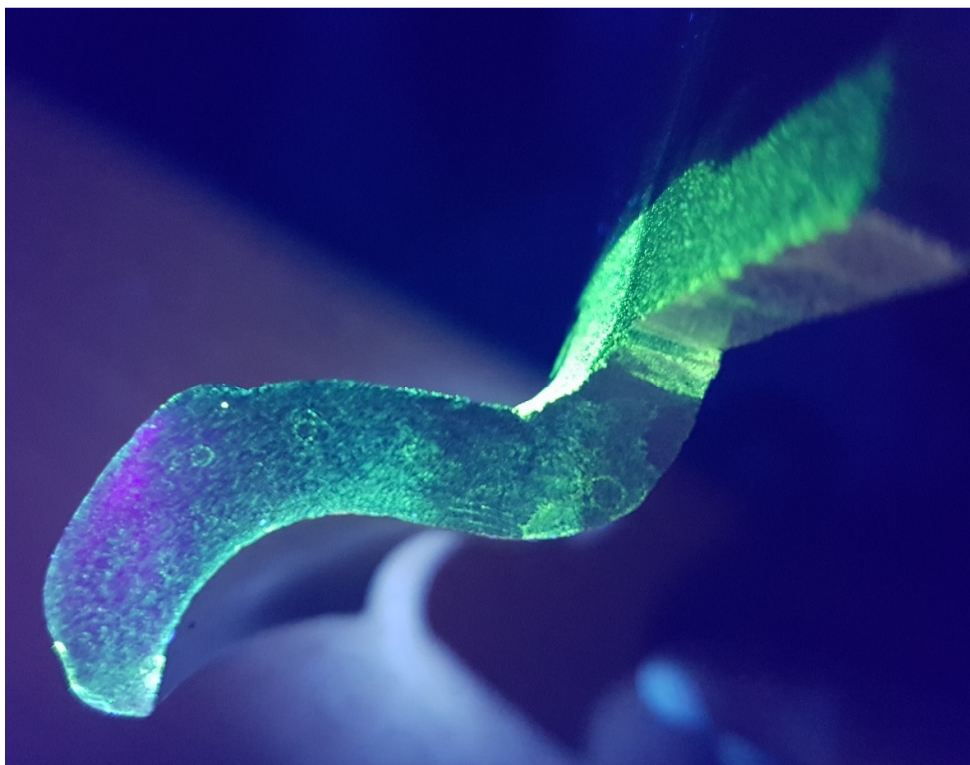
8.1 pav. TIG suvirinimo būdu užnešta 5356 danga

Aukščiau esančiame paveikslėlyje, parodyta, inertinių dujų aplinkoje, užnešta danga. Nauju bandymu atliktas remontas, padengė tik porą zonų, bandinio kraštuose. Vėliau iš vieno krašto bus išpjautas smulkesnis bandinukas, kuris leis atlikti mikrošlifo tyrimą. Išpjauto bandinuko pagalba, bus galima išsiaiškinti gautos dangos mikrostruktūrą, taip pat ar nepasikeitė bazinio metalo struktūra. Mikrošlifo tyrimo pagalba bus galima iširti, kaip susijungė danga ir pagrindas. Reikia paminėti, jog nuotraukoje matoma ne ta pusė, iš kurios buvo išpjautas bandinys, mikrošlifui. Pjūvio vietoje tai pat planuojama neardomosios kontrolės patikra penetranto metodu, o neaiškiai indikacijai atsiradus, numatoma ir sukūrinių srovių inspekcija.

Naujasis remontas atliktas ne ant visos bandinio briaunos dėl to, kad tai nebuvo planuota. Danga užima tik plotą, kuris reikalingas patikrai ultragarso metodu, bei jau minėtam mikrošlifo bandiniui.

8.1. TIG suvirinimo būdu užneštos dangos penetranto tyrimas

Gauta nauja detalė su kitokiu, nei praeitas bandinys, būdu atstatyta metalo danga. Išpjovus ruošinį mikrostuktūros tyrimui, detalės pjūvis paruoštas penetranto tyrimui. Paruošimas šiuo atveju reiškia paviršiaus šiurkštumo sumažinimą, tam kad neatsirastų klaidinančių indikacijų. Šios klaidingos indikacijos galimai nebūtų ryškios, tačiau dėl šiu „trugdžių“ gali nesimatyti, galimai taip pat neryškus dangos ir pagrindo atsiskyrimas.



8.2 pav. Inertinių dujų aplinkoje užlydytos dangos penetranto tyrimas

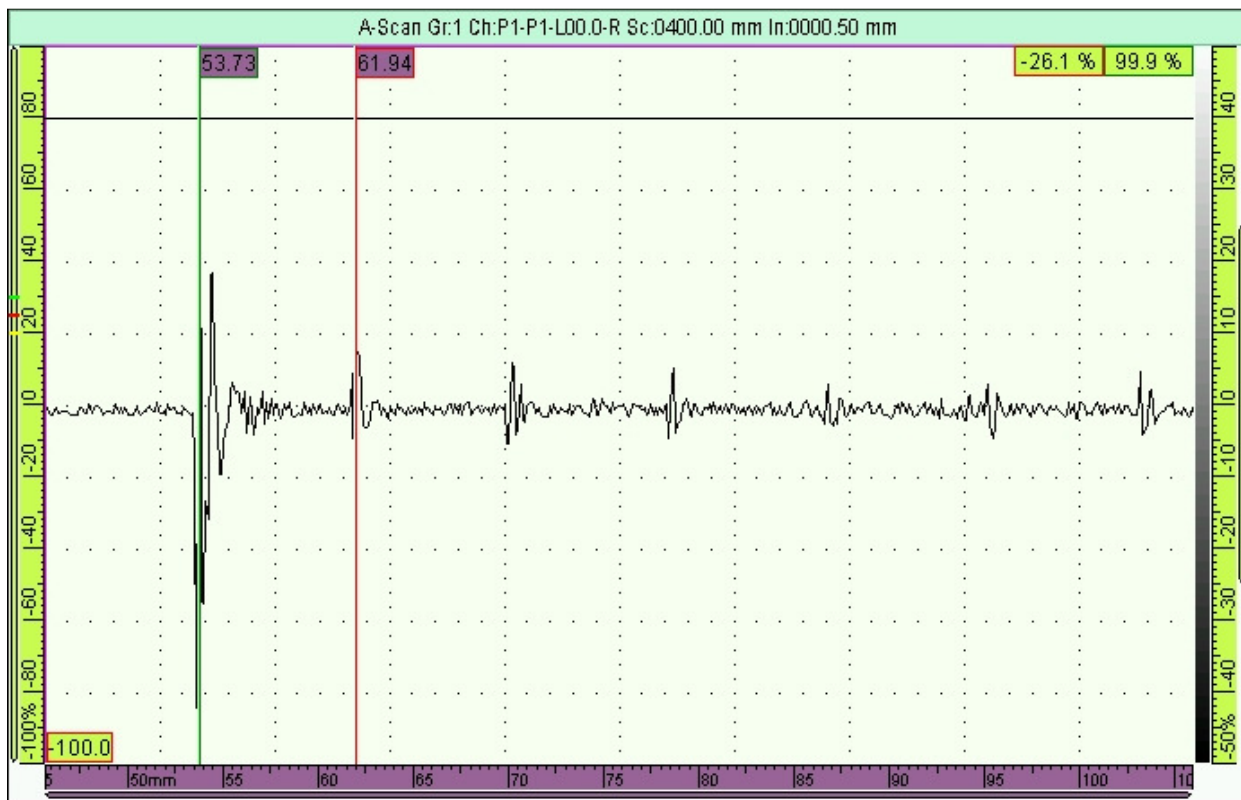
Ultravioletinėje šviesoje, padarytoje nuotraukoje matome penetranto metodo tyrimo rezultatus. Tyrimas atliktas bandinio mikrostuktūrai, pjūvio vietoje, tirti. Atliktas tyrimas parodė, jog ryškios perėjimo zonos, penetranto atžvilgiu, nematyti, taip pat nepastebima jokių porų. Išskyrus vieną mažą taškelį, kuris, tikėtina, ten yra tik dėl mechaninio pažeidimo. Tačiau, išvadas apie porėtumą daryti anksti, tai paaiškės mikrošlifo tyrimo metu.

Bandinio pjūvio kampe matome, kaip galėtų atrodyti šiurkštus, neparuoštas paviršius, penetranto metodu tiriant. Įšryškėjęs penetrantas, apatinėje tirimosios zonos dalyje, yra smulkių mechaninių pažeidimų pasekmė.

Kadangi 8.2 pav. parodyto tyrimo rezultatai jokių neaiškumų nepateikė, sūkurinių srovių metodo patikrai atlikti, būtinybės nėra.

8.2. TIG suvirinimo būdu, užneštos dangos ultragarsinis tyrimas

Po naujos dangos užlydymo, inertinių dujų aplinkoje, bandinio paviršius buvo šlifuotas, norint sumažinti paviršiaus šiurkštumą, paviršiaus šiurkštumas gali generuoti triukšmus tiriant ultragarsu.

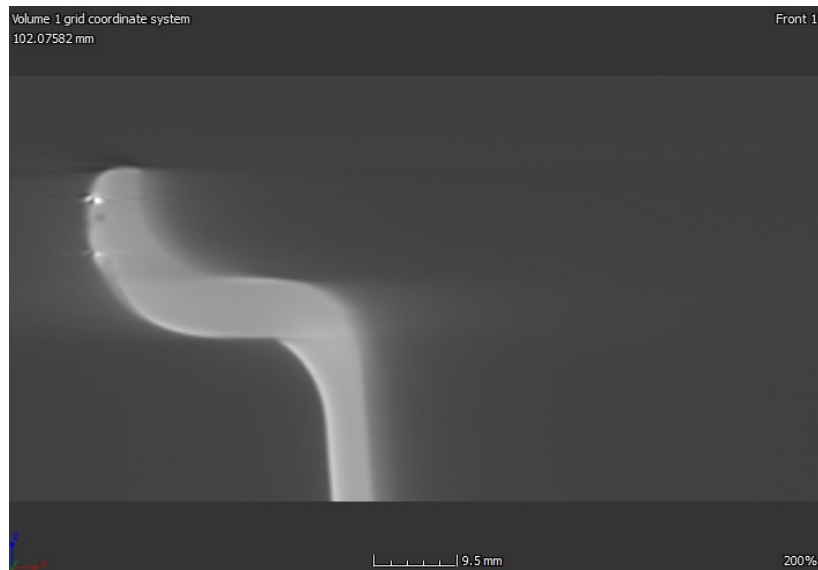


8.3 pav. Inertinių dujų aplinkoje užlydytos dangos tyrimas

Tyrimo rezultatai rodo šiek tiek triukšmo, tačiau jau galima matyti nemažai atspindžių (aido). Tai reiškia, kad užlydyta danga neslopina garso. Tačiau, dėl tyrimo zonos paviršiaus geometrijos, tirti šią dangą, nėra lengva. Pagal vaizdą paveikslėlyje, galima teigti, kad šio tipo dangos ultragarsinis tyrimas, yra atrimiausias, nedengtos detalės tyrimo rezultatams, visgi matomas nedidelis atspindžių silpimas, įvyksta tik pačioje pradžioje, vėliau silpimas nebevyksta.

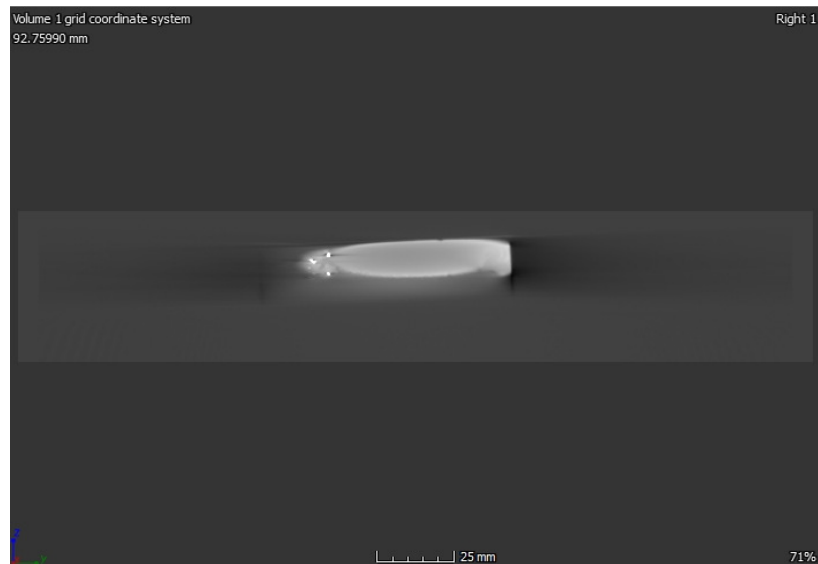
8.3. TIG suvirinimo būdu užneštos dangos rentgeno tyrimas

Rentgeno tyrimas atliktas, inertinių dujų aplinkoje, užlydytos dangos bandiniui. Šiuo tyrimu norima patikrinti ar nėra porų ir išsisluoksniavimų. Svarbiausia, ar padengimo operacijos metu, neatsirado įtrūkimų tarp dangos ir pagrindo, bei ar pačioje detalėje, dėl karščio perduoto į pagrindą, neatsirado įtrūkimų.



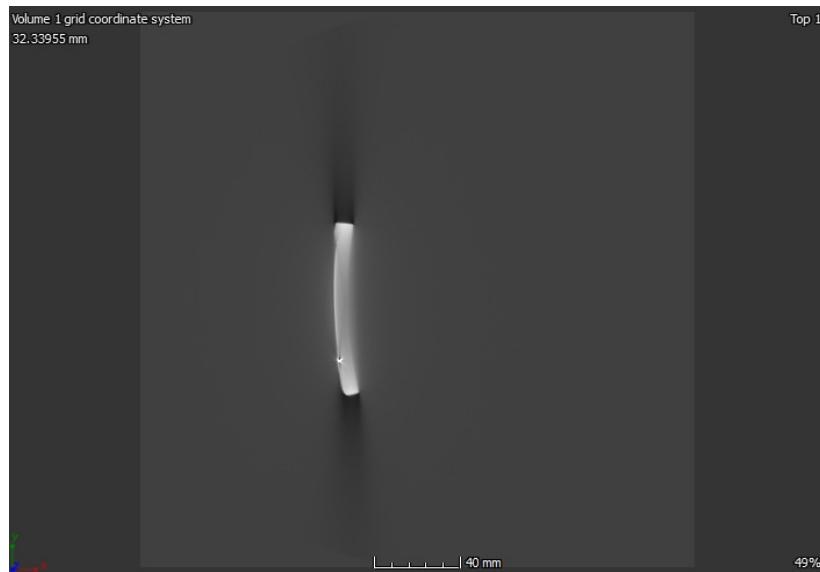
8.4 pav. Rentgeno vaizdas iš priekio

Rentgeno vaizdas, iš priekio, rodo kelias poras, matomas kaip šviesias dėmes ir neaiškia priemaiša, nuotraukoje išreikšta, kaip tamsesnė dėmė. Tačiau palyginus su lanku užpurkšta danga, čia nėra ryškaus tarpo tarp dangos ir pagrindo. Deja, dėl tirtos detalės dydžio, nuotraukoje yra daug tyrimo artefaktų, t.y. šešėlių ir atspindžių.



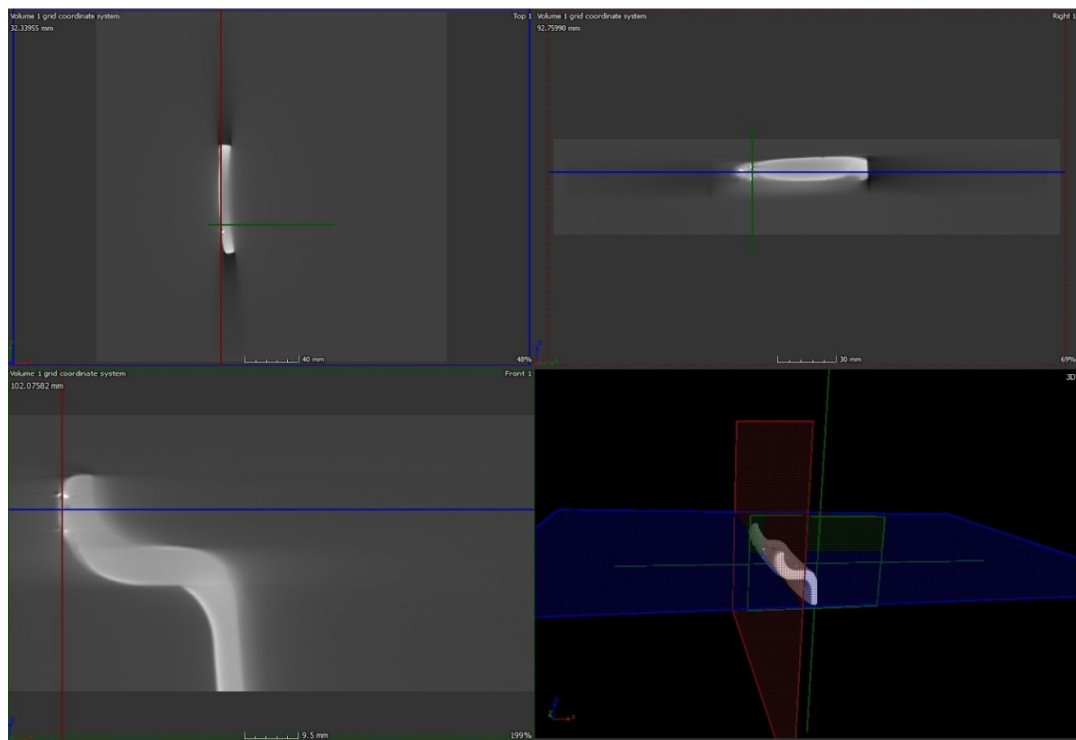
8.5 pav. Rentgeno vaizdas iš dešinės pusės

Vaizde, iš dešinės pusės, matosi kelios poros naujoje dangoje. Taip pat matomas didesnio tankio intarpas, kartu su pora. Matomos poros galimai atsiradusios dėl papuolusios priemaišos.



8.6 pav. Rentgeno vaizdas iš viršaus

Vaizde, iš viršaus, matoma nedidelė pora paviršiuje. Įtrūkimo, tarp dangos ir pagrindo, vaizde nesimato. Detalė atrodo homogeniška nepaisant šešėlių, danga nuo pagrindo rentgenogramoje nesiskiria.



8.7 pav. Visi keturi rentgenogramos vaizdai

Keturiuose rentgenogramos vaizduose matomas ir 3D detalės atvaizdas. Dėl to, kad bandinys ilgesnis, nei tyrime su silumino danga, vaizdas, iš viršaus, atodo neproporcingai. 8.7 pav. taip pat pavaizduotas plokštumų išsidėstymas ties ten, kur matomos likusios trys projekcijos, kaip ir rentgenogramoje su silumino danga. Iš visų, rentgeno tyrimo metu, gautų pjūvių vaizdų, inertinių dujų aplinkoje, sudarytos dangos, negalima atskirti nuo pagrindo.

9. Mikrošlifas

Mikrošlifas, tai bandinio, paruošto metalografiniam tyrimui, po mikroskopu, paviršius. Metalografija tyrinėja metalo kristalinę gardelę, mikroskopo pagalba. Paprasčiausiam metalografiniam tyrimui atlikti, pakanka mikroskopo didinančio iki 50 kartų. Tyrimo metu galima matyti bandinį sudarančių elementų daleles ir jų išsidėstymą. Taip pat šiuo tyrimo metodu galima aptikti nepageidaujamų medžiagų intarpus, netolygumus arba perėjimus iš vienos medžiagos į kitą, suvirinimo metu karščio paveiktą zoną ar paviršiaus grūdinimo gylį.

Mikrošlifo paruošimas, daug laiko reikalaujantis procesas. Bandinio paviršius turi būti švariai nuvalytas ir nupoliruotas. Tyrimo paviršiaus paruošimas vyksta apdirbant metalinį paviršių abrazyvinėmis medžiagomis. Pradedant nuo šlifavimo, tada pereinant prie grubaus švitrinio popieriaus, kurio grubumas palaipsniui mažinamas, kartu keičiant tiesiaegio judėjimo kampą 90 laipsnių. Paskutinis paruošimo žingsnis yra poliravimas, čia judesys keičiamas į sukamąjį ir operacija atliekama tol, kol pasiekiamas veidrodinis paviršius, be vizualiai matomų įbrėžimų. Poliravimo operacija atliekama nedideliais greičiais, kad neįkaintinti bandinio ir nepakeisti paviršiaus kristalinės gardelės. Perkaitinus tyrimui skirta plokštumą, ją dar galima poliruoti švelnese poliravimo pasta, tačiau pageidautina, jog visas procesas būtų pakartotas nuo pradžių.



9.1 pav. 2024 serijos aliuminio lydinio mikrošlifo vaizdas padidinus 200 kartų

Viršuje esančiame paveikslėlyje, pateikiamas pavidys, kaip atrodo 2024 serijos aliuminio lydinio mikrošlifas, padidintas 200 kartų. Šiuo atveju bandinys nėra grūdinto aliumio ir nėra padengtas jokia danga. Bandinys ruoštas laboratorijoje.

9.2. Bandinio, su silumino danga, mikrostuktūra

Iš padengtos detalės, atpjautas labai nedidelis gabalėlis. Šis detalės fragmentas įdedamas į specialią formą ir forma užpildoma polimerine derva. Bandiniai buvo paruošti specialiu aparatu, skirta mikrostruktūros ruošiniam šlifuoti-poliruoti. Paruošus bandinį, fotografuojami vaizdai didinant 2,5; 5; 20; 50 kartų.



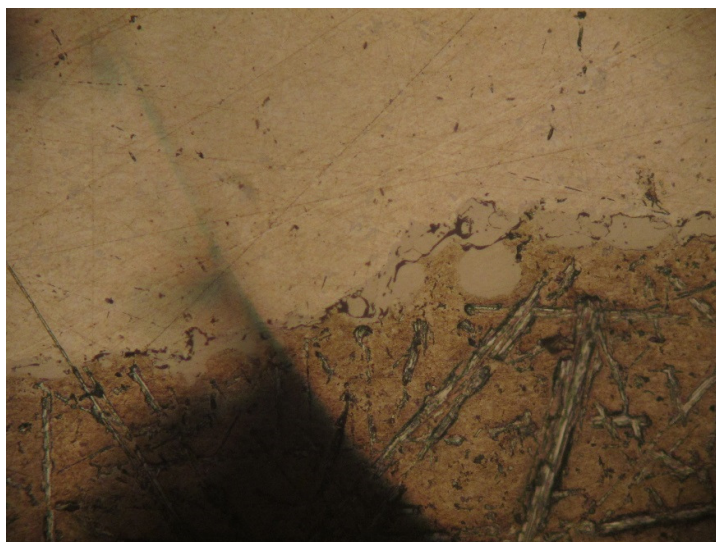
9.2 pav. Bandinys, su silumino danga, padidinus 2,5 karto

Paveikslėlyje matoma šviesesnė ir tamsesnė zonos. Šviesioji zona yra pagrindas, o tamsioji, silumino danga. Reikia paminėti, jog nuotraukoje matomi mechaniniai pažeidimai, ryškesni silumino dangos pusėje. Šešėlis paveikslėlio apačioje yra mikroskopo defektas, skilusi apšvietimo linzė.



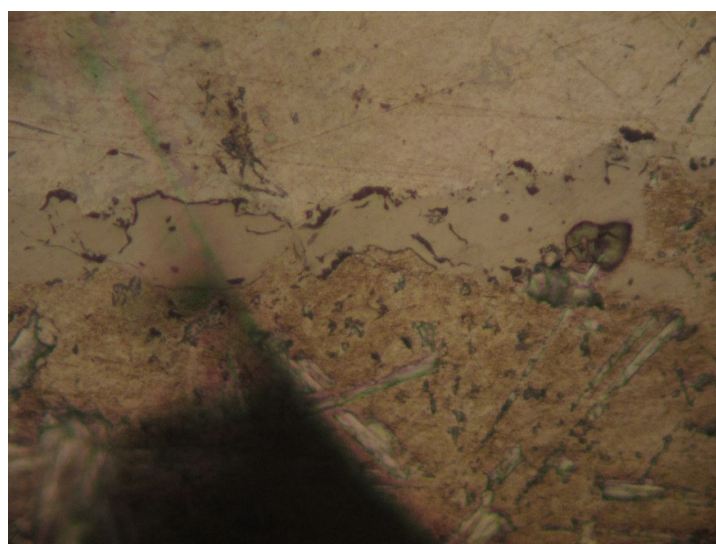
9.3 pav. Bandinys, su silumino danga, padidinus 5 kartus

Bandinio, padidinto 5 kartus, nuotrauka didelių skirtumų lyginant su ankstesne neturi. Tačiau po truputį ryškėja dangos ir pagrindo sąlyčio zona.



9.4 pav. Bandinys, su silumino danga, padidinus 20 kartų

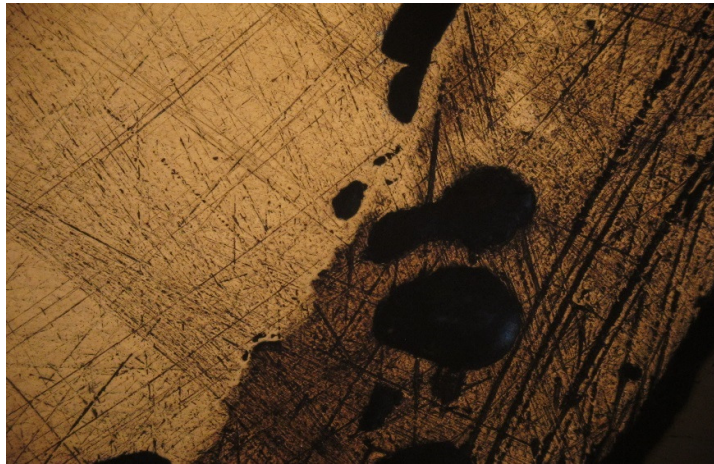
Paveikslėlyje aukščiau matyti bandinio vaizdas, padidinus 20 kartų. Nuotraukoje jau ryškiai matoma perėjimo zona, bei matomi, perėjimo zonos kontūru išsidėstę, tarpeliai.



9.5 pav. Bandinys, su silumino danga, padidinus 50 kartų

Bandinį padidinus 50 kartų, puikai matosi perėjimo zona ir tarpeliai išsidėstę joje. Paveikslėlyje taip pat pastebima, kaip smarkiai skiriasi danga nuo pagrindo. Reikalinga atkreipti dėmesį į tai, jog ir pačioje dangoje yra netolygumų.

9.3. Bandinio, su silumino danga, perlydyta, inertinių dujų aplinkoje, mikrostruktūra



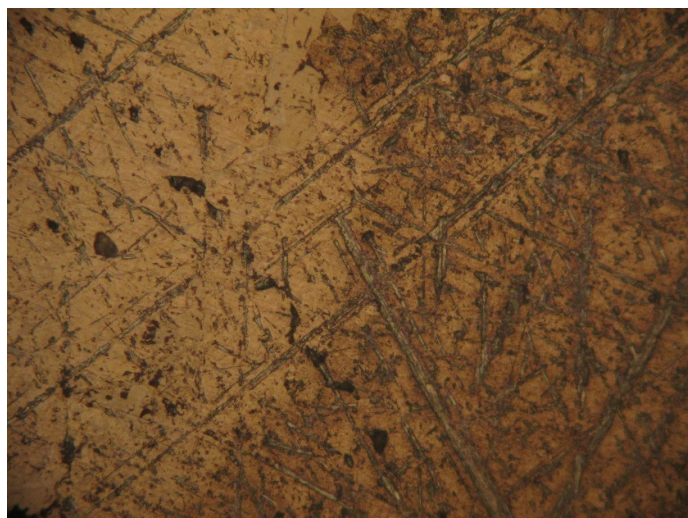
9.6 pav. Bandinys, su silumino danga, perlydyta, inertinėse dujose, padidinus 2,5 karto

Bandinio nuotraukoje matome silumino dangos, perlydytos argono aplinkoje, sąlyčio zona su pagrindu. Čia pastebimos ne tik poros sąlyčio zonoje, bet ir ertmės pačioje dangoje.



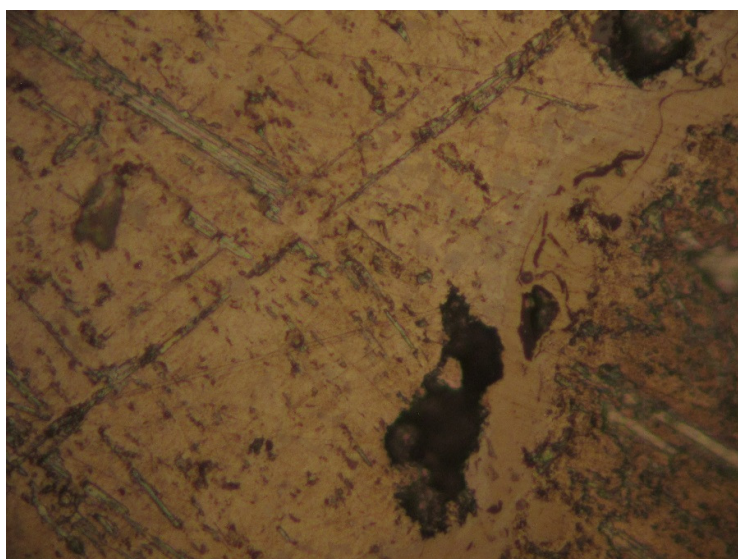
9.7 pav. Bandinys, su silumino danga, perlydyta, inertinėse dujose, padidinus 5 kartus

Paveikslėlyje 9.7, galima matyti ryškėjančią sąlyčio juostą. Čia matomos netik ertmės susidariusios perlydymo metu, bet ir į poras panašūs dariniai, sąlyčio zonoje.



9.8 pav. Bandinys, su silumino danga, perlydyta, inertinėse dujose, padidinus 20 kartų

Paveikslėlyje, viršuje, matome nebe taip ryškiai išreikštą sąlyčio zoną ir mažesnę porėtumą, ties ja. Čia vaizdui susidaryti trukdo, kiek tankus, mechaninių pažeidimų išsidėstymas.

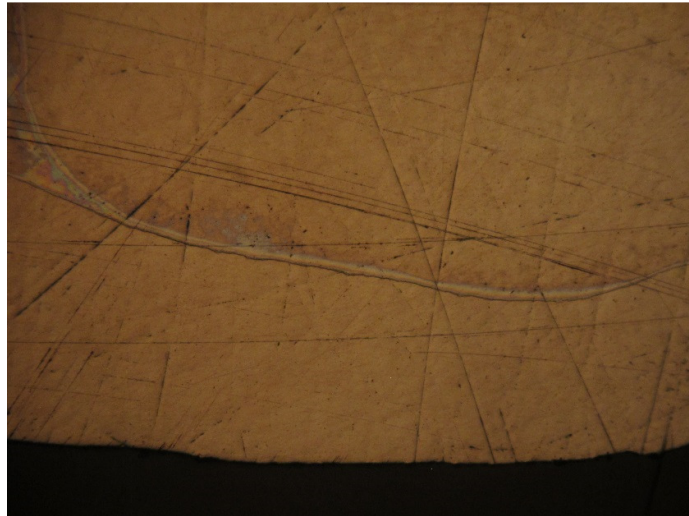


9.9 pav. Bandinys, su silumino danga, perlydyta, inertinėse dujose, padidinus 50 kartų

Bandinio mikrostruktūros nuotraukoje, matyti ryški sąlyčio zona, su keliomis poromis joje, bei dėmėmis panašiomis į magnį. Lyginant, su bandinio nuotrauka, kurioje silumino danga neperlydyta, galima teigti, kad sąlyčio juosta vizualiai atrodo mažiau porėta.

9.4. Bandinio, suvirinto, inertinių dujų aplinkoje, padengta danga mikrostuktūra

Šis tyrimas yra analogiškas bandiniui su silumino danga, tik skiriasi padengimo būdas, bei pati danga. Iš pirmo žvilgsnio ši danga yra kokybiškiausia, tačiau ši padengimo technologija reikalauja labai spartaus judėjimo.



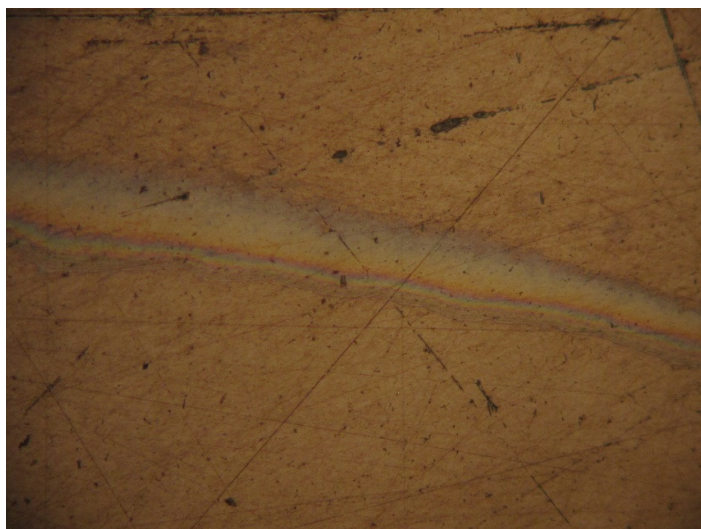
9.10 pav. Bandinys su danga, suformuota inertinėse dujose, padidinus 2,5 karto

Nuotraukoje matoma spalvota juosta, kartu su tamsia juosta, primenančia įtrūkimą. Spalvota juosta yra vandens lašo pėdsakas, kuris liko nuplovus poliravimo pastą. Šis bandinys buvo paskutinis tyrimo eilėje ir tikėtina, jog laiko pakako oksidacijai.



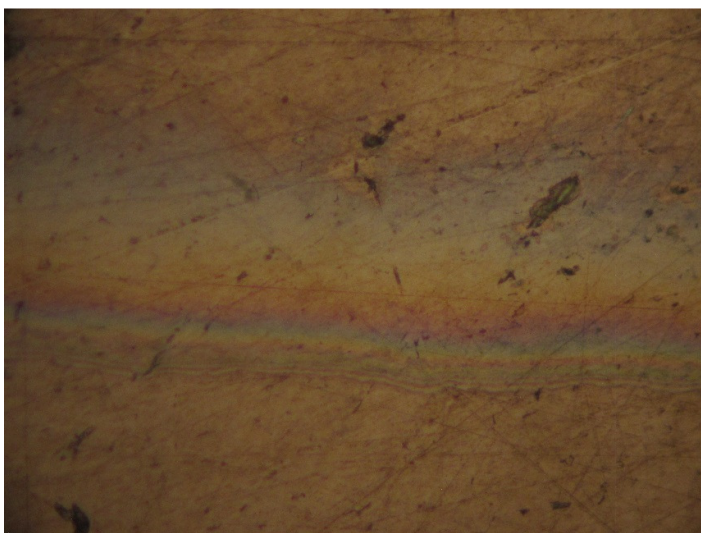
9.11 pav. Bandinys su danga, suformuota inertinėse dujose, padidinus 5 kartus

Šioje nuotraukoje vandens pėdsakas mažiau pastebimas, nei mechaninio apdirbimo pėdsakai. Į įtrūkimą panašus pėdsakas, vizualiai atrodo nebe toks ryškus, kaip ankstesnėje nuotraukoje.



9.12 pav. Bandinys su danga, suformuota inertinėse dujose, padidinus 20 kartų

Bandinio paviršiaus, padidinto 20 kartų, nuotraukoje jau šiek tiek matosi sąlyčio zona. Tačiau nebesimato žymės, panašios į įtrūkimą. Bazinė danga, nuotraukoje, vizualiai nesiskiria nuo dangos.



9.13 pav. Bandinys su danga, suformuota inertinėse dujose, padidinus 50 kartų

Bandinio struktūros, padidintos 50 kartų, nuotrauka jau ryškiau parodo sąlyčio zoną. Nuotraukoje, dalį vaizdo gadina vandens palikta vaivorykštė. Sąlyčio zonoje nepastebėta, perimetru išsibarsčiusių porų. Vizualiai skirtumų tarp dangos ir pagrindo, nepastebėta.



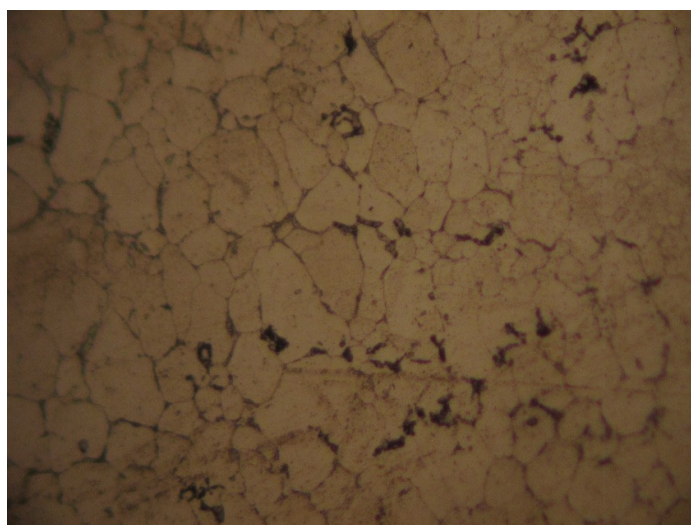
9.14 pav. Bandinys su danga, suformuota inertinėse dujose, padidinus 2,5 karto, po cheminio išryškavimo
Paryškintus bandinį, vaizdas gerokai įdomesnis. Perėjimo zona išsiskiria jau padidinus 2,5 karto. Dangos ir pagrindo vaizdas jau atrodo skirtingai, bandinio pagrindas tamsesnis. Pagrindo legiravimo elementai sureagavo į panaudotus ryškalus. Matosi persimaišymo pėdsakas.



9.15 pav. Bandinys su danga, suformuota inertinėse dujose, padidinus 5 kartus, po cheminio išryškavimo
Paryškintus bandinį 5 kartus, stiprių pakeitimų nematyti, išskyrus paryškėjusią sąlyčio zoną.



9.16 pav. Bandinys su danga, suformuota inertinėse dujose, padidinus 20 kartų, po cheminio išryškavimo. Bandinio mikrostruktūros, padidintos 20 kartų, nuotrauka leidžia aiškiau pamatyti sąlyčio zoną. Sąlyčio zonoje pastebimas pagrindo ir dangos persimaišymas. Juodi intarpai, matomi nuotraukoje, panašūs į poras. Tačiau žinant, kad dangos pagrindinis legiruojantis elementas yra magnis, galima daryti prielaidą, kad tai yra magnis.



9.17 pav. Bandinys su danga, suformuota inertinėse dujose, padidinus 50 kartų, po cheminio išryškavimo. Vaizdas, padidinus 50 kartų, jau tiksliau parodo abiejų medžiagų persimaišymą sąlyčio zonoje. Ši nuotrauka labiau parodo, jog padengime, inertinių dujų aplinkoje, sąlyčio zoną, tikslingiau būtų vadinti persimaišymo zona. Žvelgiant į mikrostruktūrą pro, 50 kartų didinančią, linzę galima matyti, skirtinga koncentracija išsidėsčiusias, magnio daleles.

Rezultatų apibendrinimas

Lankinio užpurškimo metodas pasirodė netoks kokybiškas kaip tikėtasi, tačiau šis metodas gali būti pritaikytas geometrinių parametrų atstatymui. Atstatinėjant komponento geometrinius parametrus, lankinį užpurškimą reikėtų taikyti inertinių dujų aplinkoje, kadangi užpurškimas aplinkoje, turinčioje deguonies, lemia išpurkštų dalelių oksidaciją. Būtent oksidavimasis, dengimo metu gautai dangai, sukelia porėtumą. Sumažinus ar pašalinus oksidacijos reiškinių, padengimo metu, rezultatas turėtų būti tvirtesnė danga ir adhezija prie pagrindo geresnė. Sumažinus ar pašalinus geometriją atstatančios dangos porėtumą, atlikti neardomos kontrolės inspekcijas būtų lengviau ir patikimiau, dėl sumažėjusių trugdžių, bei signalo slopinimo sumažėjimo.

Silumino dangos perlydymas, inertinių dujų aplinkoje, negalimas. Šio proceso metu, nepagerinama dangos kokybė ar adhezija su pargindu, bet padaromas dar didesnis porėtumas, danga sugadinama, atsiranda tikimybė, jog bus padaryta nepataisoma žala dengiamam komponentui. Lankiniu užpurškimu, užneštos dangos perlydymas šiuo atveju yra žalingas procesas ir jis privalo būti nepraktikuojamas.

Naujai užlydyta danga, volframo elektrodu, inertinių dujų aplinkoje, parodė labai teigiamas savybes. Danga puikiai susiliejo su pagrindu. Bandinio mikrostruktūros tyrimas parodė kokybišką dangos ir pagrindo persimaišymą. Šiuo būdu padengus komponentą, klausimų dėl adhezijos nebekyla. Gautą dangą esant poreikiui galima perlydyti. Tačiau proceso atlikimas reikalauja gerai įgudusio suvirinimo specialisto, reikalingas spartus judėjimas į priekį, su kuo mažesne išlydyto metalo vonelė, tai būtina norint neperkaitinti komponento. Procesą galima atlikti dalimis, kontroliuojant detalės temperatūrą, taip pat galimas aušinimas. Kalbant apie rentgeno tyrimo metu pastebėtas nepageidaujamas priemaišas, šį klausimą galima spręsti keleriopai. Dangos homogeniškumui užtikrinti, būtina labai kruopščiai paruošti paviršių padengimui, nuvalyti visas dulkes ir nuriebalinti. Padegimui naudoti tik sertifikuotą pridėtinį metalą, nesertifikuota medžiaga gali būti nekokybiška ir savyje turėti daugiau, nei specifikacijoje aprašoma, nepageidaujamų priemaišų.

Pasiruošiant geometriniam dangos atsatymui, būtina įsitikinti, kad atstatomas paviršius neturi kitų rimtų įtrūkimų. Tai reiškia, kad prieš taikant geometrinių atstatymą, reikalinga atstatomosios zonos sukūrinių srovių patikra. Po atstatymo rekomenduojama atlikti sukūrinių srovių patikrą, galimų paviršinių pažeidimų kontrolei, bei ultragarsinę patikrą išsisluoksniavimui ar gilesniems pažeidimams kontroliuoti. Naudojant ultragarsinę patikros metodą, rekomenduojama pritaikyti ultragarsinio keitiklio paviršių tyrimo objekto paviršiui, kitokiu atveju gauti tinkamus tyrimo rezultatus yra sunku ir tai užtrunka ilgai. Rekomenduojama rinktis ultragarsinį ir penetranto metodus kaip pagrindinius metodus geometrinio atstatymo kokybei užtikrinti.

Padengimas turėtų būti taikomas labiau kaip prevencinė priemonė, kada komponento pažeista zona dar nėra viršijusi nurodytų tolerancijų.

Išvados

1. Rato geometrijos atkūrimui pasirinktas elektrolankinis apipurškimas, kuris yra aprašytas komponento techninės priežiūros vadove, tačiau šio tipo atstatymas yra skirtas rato guoliavietės geometriniam atsatymui. Lankinio užpurškimo metu suformuotos dangos perlydymą, inertinių dujų aplinkoje, nuspręsta atlikti, įtarus didelį dangos porėtumą. Atliktas naujos dangos geometriniam atstatymui užnešimas, inertinių dujų aplinkoje.
2. Planuojant rato geometrijos atstatymą, pagrindinė prolema yra tokių darbų sertifikavimas, sertifikavimą atlieka komponento gamintojas. Jei komponento naudojimas bus pratęstas, gamintojui tai reiškia finansinius nuostolius ir nesutampa su organizacijos interesais. Atliktame tyrime, atstatyta zona pagal komponento remonto ir priežiūros programą, nėra tiriamą neardomos kontrolės metodais, tuom motyvuojant yra tikimybė gauti patvirtinimą tokio tipo darbams. Vertinant atstatymą iš techninės pusės, sudėtingiausia užtikrinti kokybišką adheziją tarp dangos ir pagrindo, neperkaitinant komponento.
3. Atliktus patikrą, sūkurinių srovių metodu, užtikrino, jog atstatoma zona neturi defektų. Rentgeno tyrimo rezultatai parodė šešis į įtrūkimus panašius darinius. Tačiau rentgeno rezultatai neparodė jokių giliai detalėje esančių defektų rato ir padangos kontakto zonoje. Atlikta patikros ultragarsu simuliacija, kuri leido geriau vertinti vėliau vykdytas patikras, ultragarsiniu metodu. Ultragarsinis patikros metodas nėra tikslus, taikant kreivų paviršių, likutinio medžiagos storio nustatymui.
4. Atstačius bandinio geometriją, atlikti neardomos ir ardomos kontrolės testai. Sūkurinių srovių testai atlikti visoms trimis skirtingoms dangoms, pjūvio vietoje ir dviems dangoms, kontakto zonos perimetre. Gauti sūkurinių srovių tyrimų rezultatai parodė, jog tiek užpurkšta, tiek perlydyta silumino danga yra porėta, o pjūvio vietoje dangos perėjimas į pagrindą, buvo nustatyta kaip įtrūkimas. Argono aplinkoje, užneštos dangos atveju, jokių nesklandumų nerasta nei pjūvio, nei perimetro patikros metu. Bandinių pjūvio vietose buvo atlikti penetranto testai, kurie parodė įtrūkimus dangos ir pagrindo sąlyčio vietoje abiejų tipų silumino bandyniuose, inertinių dujų aplinkoje, užlietos dangos atveju penetranto testas parodė dvi paviršines poras. Ultragarso patikrų metu buvo nustatytas garso greitis silumino dangoje, bei pastebėtas stiprus signalo slopinimas. Nepaisant to, kad labai sunku pataikyti tinkamą keitiklio kampą, tiriamo paviršiaus atžvilgiu, defektus nustatyti galima. Tyrimas rentgenu parodė atsisluoksniavimą tarp dangos ir pagrindo bandinyje, su silumino danga. Taip pat rentgeno tyrimo rezultatai parodė keletą priemaišų, inertinių dujų aplinkoje, užlietoje dangoje. Atlikto mikrostuktūros tyrimo metu buvo nustatyti įtrūkimai tarp silumino ir pagrindo. Mikrostruktūra parodė ir oksidų egzistavimą dangoje. Tuo tarpu ir mikrostruktūros tyrime, inertinių dujų aplinkoje, užlieta danga pasirodė geriausiai, čia iki ryškalių panaudojimo, nebuvo galima atskirti dangos nuo pagrindo.
5. Elektrolankinio užpurškimo būdu, užnešta danga tinkama tik geometrijos atstatymui, ji linkusi atsikilti nuo pagrindo. Tyrimai parodė, kad užpurkštos dangos perlydimas rezultatus pablogina. Kita vertus, inertinių dujų aplinkoje, užlietos dangos parametrai geresni, tačiau pats padengimas sudėtingesnis.
6. Geriausia kokybės kontrolė yra atliekama rentgeno patikros būdu, tačiau tai per sudėtinga ir per brangu. Ultragarsinis metodas šiuo atveju yra tinkamiausias. Edi srovių metodo tinkamumas, priklauso nuo pasirinkto atstatymo metodo ir medžiagos. Tačiau net ir porėtos medžiagos perėjime į pagrindą, aparatas įtrūkimą parodė iškart. Penetranto tyrimas rato tyrimams būtų tinkamas, kaip pagalbinė priemonė, defekto egzistavimui patvirtinti.

Literatūros sąrašas

1. G. AGGEN., F. W. AKSTENS., C. M. ALLEN., etc al. ASM Handbook, Volume 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys (2005). Publication Information and Contributors.
2. R. NUNES., J. H. ADAMS., M. AMMONS., etc al. ASM Handbook, Volume 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials (2005). Publication Information and Contributors.
3. T. ARAI., G. M. BAKER., C. E. BATES., etc al. ASM Handbook, Volume 4, Heat Treating (2005). Publication Information and Contributors.
4. R. M. NUNES., B. L. ALIA., R. L. ALLEY., etc al. ASM Handbook, Volume 6, Welding, Brazing and Soldering (2005). Publication Information and Contributors.
5. LAMET., J. A. BAILEY., J. BARSOM., etc al. ASM Handbook, Volume 8, Mechanical Testing and Evaluation (2005). Publication Information and Contributors.
6. J. LAYER., T. ADLER., R. AHMED., etc al. ASM Handbook, Volume 11, Failure Analysis and Prevention (2005). Publication Information and Contributors.
7. R. NUNES., I. ABBAS., L. L. ALGMINAS., etc al. ASM Handbook, Volume 14, Forming and Forging (2005). Publication Information and Contributors.
8. R. M. NUNES., D.A. ALDRICH., C. E. ANDERSON., etc al. ASM Handbook, Volume 17, Nondestructive Evaluation and Quality Control (2005). Publication Information and Contributors.
9. P. ANDRESEN., B. ANTOLOVICH., S. D. ATOLOVICH., etc al. ASM Handbook, Volume 19, Fatigue and Fracture (2005). Publication Information and Contributors.
10. T. CHILDS., K. MAEKAWA., T. OBIKAWA. etc al. Metal Machining (2000). London: Arnold.
11. J. KOZLOVAS., Medžiagotyra (1987). Vilnius: Mokslas.
12. R. JONUŠAS., J. KALPOKAS., P. LAZARAVIČIUS. Remonto Technologija (2002). Kaunas: Technologija.
13. Nondestructive testing [interaktyvus]. [Žiūrėta 2017-05-20]. Prieiga per internetą: https://en.wikipedia.org/wiki/Nondestructive_testing.
14. Introduction to Nondestructive Testing [interaktyvus]. [Žiūrėta 2017-05-21]. Prieiga per internetą: <https://www.asnt.org/MinorSiteSections/AboutASNT/Intro-to-NDT>.
15. COMPONENT MAINTENANCE MANUAL with ILLUSTRATED PARTS LIST, MAIN WHEEL ASSEMBLY (pagrindinis leidimas 1984 m. kovo 15 d, naudota revizija 2011m. Spalio 8 d.) Meggitt Aircraft Braking Systems
16. BELL- AEROSYSTEMS COMPANY . Bell Laboratory Report Fusion Welding of 2014 Aluminum Alloy (1962 m)
17. AP—763 NONDESTRUCTIVE TESTING MANUAL (pagrindinis leidimas 1994 m. Kovo 18 d, naudota revizija 2005m. Kovo 1 d.)
18. F. BAGNOLI , M. BERNABEI. Fatigue analysis of a p180 aircraft main landing gear wheel flange - , Engineering Failure Analysis 15 (2008) 654–665.
19. M. AMURA , L. ALLEGRUCCI, F. DE PAOLIS, M. BERNABEI. Fatigue fracture of an AMX aircraft main wheel - , Engineering Failure Analysis (2012 Rugpjūčio 10)
20. M. AGHAIE-KHAFRI, M. AMIN, AND A. H.MOMENI. Life Assessment and Life Extension of an AircraftWheel - , Research Article (2012 Rugsėjo 21)
21. G. KOSEC, G. KOVACIC, J. HODOLLÉ, B. KOSEC. Cracking of an Aircraft Wheel Rim Made From AL- Alloy 2014-T6 - , Professional Paper (2009 Gruodžio 20)

22. V.J. COLANGELO, P.A. THORNTON. Cracks in Forged Aircraft Wheel Halves That Originated From Forging Defects - , Failures of Forgings, Failure Analysis and Prevention, ASM Handbook (1986)
23. B. KOSEC, G. KOVACIC, L. KOSEC. Fatigue cracking of an aircraft wheel, Engineering Failure Analysis (2002 Sausio 28)