



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Regimantas Vaitasius

**ELEKTROSTATINIŲ MILTELINIŲ BŪDU GAUTŲ
POLIMERINIŲ DANGŲ EKSPLOATACINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. dr. Alvydas Kondratas

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
GAMYBOS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas
Doc. dr. Kazimieras Juzėnas
2016-01-15

ELEKTROSTATINIŲ MILTELINIŲ BŪDU GAUTŲ
POLIMERINIŲ DANGŲ EKSPLOATACINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Gamybos inžinerija (T000M166)

Vadovas

Prof. dr. Alvydas Kondratas
2016-01-15

Recenzė

Doc. Dr. Inga Skiedraitė
2016-01-15

Projektą atliko

Regimantas Vaitasius
2016-01-15

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

(Fakultetas)

REGIMANTAS VAITASIUŠ

(Studento vardas, pavardė)

GAMYBOS INŽINERIJA,

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Elektrostatiniu milteliniu būdu gautų polimerinių dangų eksploatacinių savybių tyrimas“
AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. sausio 15 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Regimanto Vaitasiaus**, baigiamasis projektas tema „Elektrostatiniu milteliniu būdu gautų polimerinių dangų eksploatacinių savybių tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o 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)

TURINYS

SANTRAUKA	6
SUMMARY	7
MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS	8
ĮVADAS.....	9
1. LITERATŪROS APŽVALGA	10
1.1. Polimerinės dangos	10
1.2. Dažymo priemonės.....	11
1.3. Dažų dangos patvarumas.....	12
1.4. Konstrukcinės priemonės metalo apsaugai nuo korozijos	13
1.5. Lakiųjų organinių junginių įstatymas.....	13
1.6. Miltelinis dengimas	14
1.7. Miltelinių ir tradicinių skystų dažų palyginimas.....	14
1.8. Miltelinio dengimo privalumai ir trūkumai.....	15
1.9. Miltelinio dengimo metodai	16
1.9.1. Elektrostatinis ir tribostatinis purškimas	16
1.9.2. Detalių dengimas panardinant į miltelinių medžiagų ir oro mišinį.....	18
1.9.3. Detalių dengimas panardinant į įelektrintų miltelinių medžiagų ir oro mišinį	19
1.10. Miltelinių dažų rūšys.....	19
1.11. Miltelinių dengimo medžiagų kategorijos	20
1.11.1. Epoksidinės miltelinės dangos	20
1.11.2. Poliesterinės miltelinės dangos.....	21
1.11.3. Epoksidinės – poliesterinės miltelinės dangos	21
1.11.4. Poliuretaninės miltelinės dangos	21
1.11.5. Akrilinės miltelinės dangos	21
1.12. Pagrindiniai elektrostatinio dengimo etapai.....	22
1.12.1. Metalų paviršiaus paruošimas	22
1.12.2. Terminis paruošimas	23
1.12.3. Cheminis paruošimas	23
1.12.4. Elektrocheminis paruošimas	23
1.12.5. Mechaninis paruošimas	23
1.13. Miltelinių dengimo medžiagų kaitinimas krosnyje.....	24
1.14. Reologiniai pokyčiai	25
2. METODOLOGINĖ DALIS	26
2.1. Elektrostatinio miltelinio dažymo įranga	27
2.2. Paviršiaus šiurkštumo nustatymas	29
2.3. Koning švytuoklė	29

2.4. Blizgumo matavimo prietaisas micro-TRI-gloss μ	32
2.5. Adhezijos tyrimo tinklelinių įpjovų būdu įrankiai	33
2.6. Sukibimo stiprio matavimo prietaisas P.A.T. GM 01	35
3. TYRIMO REZULTATAI	38
3.1. Paviršiaus šiurkštumas	38
3.2. Adhezija tinklelinių įpjovų metodu.....	39
3.3. Sukibimo stiprio matavimas.....	40
3.4. Paviršiaus blizgumas	42
3.5. Paviršiaus kietumas	46
3.6. Bandymai atsparumo dilimui	47
3.7. Atsparumas cheminėms medžiagoms	52
3.8. Lenkimo bandymai.....	55
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI.....	56
LITERATŪRA.....	58

Vaitasius, R. Elektrostatiniu miltelinu būdu gautų polimerinių dangų eksploatacinių savybių tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas Prof. dr. Alvydas Kondratas; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas, Gamybos inžinerijos katedra.

Kaunas, 2016. 59 psl.

SANTRAUKA

Baigiamajame magistro darbe tiriamos elektrostatiniu miltelinu būdu gautų polimerinių dangų eksploatacinės savybės. Atlikta miltelinio dengimo technologijų apžvalga ir analizė. Metodologinėje dalyje pateikti tyrimo prietaisai, jų charakteristikos ir darbo eiga.

Atlikti polimerinės dangos paviršiaus šiurkštumo, kietumo ir blizgumo tyrimai. Eksploatacinės savybės įvertintos atlikus adhezijos tyrimus, atsparumo dilimui, lenkimui ir cheminių medžiagų poveikiui.

Tyrimo metu pastebėta, jog naudojant vienodus dengimo metodus gaunami skirtingi dangos sluoksnio storiai. Papildomai ištirta, kokią įtaką polimerinės dangos padengimo storiui turi nauji ir panaudoti kabliukai, metalo storis ir skirtingi paruošimo būdai.

Ekspерimento metu buvo bandoma išsiaiškinti polimerizacijos laiko įtaką gautoms polimerinių dangų paviršių savybėms.

Išvados ir rekomendacijos pateiktos remiantis gautais tiriamojo darbo rezultatais.

Reikšmingi žodžiai: elektrostatinis miltelinis dengimas, polimerinė danga, eksploatacinės savybės, polimerizacija, adhezija.

Vaitasius R. Performance of polymer coatings formed by electrostatic powder deposition. Master final work / Academic supervisor prof. dr. Alvydas Kondratas; Kaunas University of Technology, faculty of Mechanical Engineering and Design.

Kaunas, 2016. 59 p.

SUMMARY

Exploitation properties of polymer coatings obtained by electrostatic powder-methods were studied in the final master thesis. Review and analysis of powder coating technologies are provided. Testing instruments, their characteristics and work was provided in methodological part.

Roughness, hardness and gloss tests of polymer coating surface are performed. Exploitation properties were evaluated by adhesion, resistance to abrasion, bending and chemical tests.

Coatings, with different thickness, produced at the same coating technique, were investigated. Additionally it was investigated the effect of metal thickness and different preparation methods of new and used hooks to polymer coating thickness.

In experiment, an attempt to find out the influence of polymerization time on the polymeric coatings surface properties was investigated.

Conclusions and recommendations are provided on the basis of the results obtained in the research work.

Keywords: electrostatic powder deposition, performance of polymer coatings, polymerization, adhesion.

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Tvirtinu:
Gamybos inžinerijos
katedros vedėjas

(parašas, data)
Kazimieras Juzėnas

(vardas, pavardė)

MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS
Studijų programa GAMYBOS INŽINERIJA

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis darbas yra mokslinio tiriamojo ar taikomojo pobūdžio darbas (projektas), kuriam atlikti ir apginti skiriama 30 kreditų. Šiuo darbu studentas turi parodyti, kad yra pagilinęs ir papildęs pagrindinėse studijose įgytas žinias, yra įgijęs pakankamai gebėjimų formuluoti ir spręsti aktualią problemą, turėdamas ribotą ir (arba) prieštaringą informaciją, savarankiškai atlikti mokslinius ar taikomuosius tyrimus ir tinkamai interpretuoti duomenis. Baigiamuoju darbu bei jo gynimu studentas turi parodyti savo kūrybingumą, gebėjimą taikyti fundamentines mokslo žinias, socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansinių galimybių išmanymą, informacijos šaltinių paieškos ir kvalifikuotos jų analizės įgūdžius, skaičiuojamųjų metodų ir specializuotos programinės įrangos bei bendrosios paskirties informacinių technologijų naudojimo įgūdžius, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžius, gebėjimą tinkamai formuluoti išvadas.

1. Darbo tema: ELEKTROSTATINIŲ MILTELINIŲ BŪDU GAUTŲ POLIMERINIŲ DANGŲ EKSPLOATACINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS

Patvirtinta 2015 m. gruodžio mėn. 11 d. dekanų įsakymu ST17-F11-15

2. Darbo tikslas: įvertinti elektrostatiškus miltelinių būdu gautų polimerinių dangų eksploatacines savybes.

3. Darbo struktūra: santrauka, darbo užduotis, įvadas, apžvalginė dalis, metodologinė dalis, tyrimo rezultatų ir praktinio įgyvendinimo dalis ir literatūros sąrašas.

4. Reikalavimai ir sąlygos: ištirti polimerinių dangų savybes taikant skirtingus paruošimo būdus, išanalizuoti polimerinės dangos ir metalo paviršiaus sukibimą naudojant skirtingus adhezijos tyrimo būdus, išsiaiškinti eksploatacines dangos savybes: atsparumą lenkimui, dilimui ir cheminėms medžiagoms. Pateikti išvadas ir rekomendacijas.

5. Darbo pateikimo terminas 2016 m. sausio mėn. 15 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis

Išduota studentui Regimantui Vaitasiui

Užduotį gavau Regimantas Vaitasius _____
(studento vardas, pavardė) (parašas, data)

Vadovas Prof. dr. Alvydas Kondratas _____
(pareigos, vardas, pavardė) (parašas, data)

IVADAS

Dažų ir lakų dangos naudojamos daugelį šimtmečių. Per visą šį laiką sukurta daug technologinių būdų, kurie skirti paviršių padengimui. Praktikoje dažniausiai naudojami paprasčiausi ir patikimiausi rankiniai dažymo būdai. Bet kiekvienais metais didėjant gamybos apimčiai rankiniai būdai pamažu netenka vertės. Ieškoma įvairiausių būdų ne tik dažymo efektyvumo gerinimui, bet ir lakiųjų organinių tirpiklių, kurie teršia aplinką, mažinimui.

Didelis padengimo našumas ir medžiagų tausojimas užtikrinamas mechanizuotu ir automatizuotu padengimo būdu. Šiuo metu egzistuojantys padengimo būdai leidžia dangas sudaryti iš skystų kompozicijų ar miltelių. Vis didesnę populiarumą įgauna miltelinio dengimo technologija. Pirmieji skaidrūs bespalviai ir spalvoti polimeriniai milteliai gamyboje pradėti naudoti 1950 m. JAV. Nuo to laiko šių medžiagų paklausa vis augo.

Miltelinės dengimo medžiagos naudojamos tiek apsauginėms gaminių funkcijoms, tiek dekoratyviniams tikslams. Labiausiai paplitęs elektrostatinis išpurškimas. Šiuo būdu padengtų paviršių dangos yra patvarios, atsparios aplinkos ir cheminiam poveikiui. Galima dengti įvairaus sudėtingumo gaminius naudojant rankinius arba automatizuotus aparatus. Svarbiausias miltelinių ir įprastų skystų dažų skirtumas – ekologiškumas. Dengiant elektrostatiu būdu nenaudojami jokie tirpikliai ir kietintojai, todėl šis metodas ypač praktiškas dėl lakiųjų organinių tirpiklių įstatymo.

Elektrostatiui išpurškimui naudojama sudėtinga ir brangi aparatūra. Įprastai miltelinės polimerinės dengimo medžiagos išpurškiamos elektrostatiniais pistoletais. Galutinis dangos paviršius formuojamas gaminių patalpinus į kaitinimo krosnį tam tikram laikui ir temperatūrai.

Darbo tikslas – įvertinti elektrostatiu miltelinio būdu gautų polimerinių dangų eksploatacines savybes.

Uždaviniai:

1. Išanalizuoti polimerinės dangos ir metalo paviršiaus sukibimą naudojant skirtingus adhezijos tyrimo būdus.
2. Palyginti tradicinių skystų ir polimerinės miltelinės dangos atsparumą dilimui.
3. Ištirti cheminių medžiagų poveikį dangos savybėms.
4. Įvertinti gaminių, padengtų polimerine milteline danga, lenkimo galimybes

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Polimerinės dangos

Natūralios medžiagos vis dažniau pakeičiamos polimerinėmis medžiagomis, kurių reikšmė yra didelė. Šios medžiagos sutinkamos ne tik pramonėje, bet ir buityje. Aplink esantys daiktai: laidai, elektroniniai prietaisai, baldai, automobiliai ir kt. padengiami polimerinėmis dangomis.

Paviršiaus sluoksnis dengiamas norint pakeisti jo mechanines, fizikines ir chemines savybes, suteikti jam atsparumo išorės poveikiui, pagerinti jo estetinį vaizdą. Dangos turi būti gerai sukibusios su dengiamuoju paviršiumi, atsparios aplinkos poveikiui (temperatūrai, drėgmei, dujų įtakai, šviesai) ir darbo metu nekeisti suteiktų savybių [2].

Polimerinės dangos atlieka labai svarbų vaidmenį kovoje su korozija. Metalų korozija – tai savaiminis metalų irimas, vykstantis dėl metalų ir aplinkos cheminės bei elektrocheminės sąveikos (su oru, dujomis, elektrolitų tirpalais). Pats korozijos terminas kilęs iš lotyniško termino „corrosio“ – ėsdinimas, graužimas [24].

Metalus veikianti korozija yra žalingas reiškinys. Ji gadina metalo konstrukcijas, automobilius ir kitus iš metalo pagamintus daiktus, konstrukcijas taip padarydama juos nebetinkamus naudojimui. Net ir mažiausias korozijos židinytis sugadina brangius įrenginius, todėl visiems metaliniams daiktams, konstrukcijoms ir kitiems metalo gaminiams reikalinga apsauga nuo korozijos [13, 23].

Šiuo metu vienas iš populiariausių apsaugos nuo korozijos būdų – paviršiaus padengimas dažų dangomis.

Dažai – vieno ar kelių komponentų bei plėvėdario suspensijos, kurių sluoksnis, išdžiuvęs ant dengiamojo paviršiaus, sudaro neskaidrią tvirtą vienalytę spalvotą plėvelę. Dažų sudėtyje gali būti tirpiklio, plastifikatoriaus, kietiklio, užpildų bei kitų priedų [13].

Metalinių paviršių apsaugai nuo korozijos gaminami įvairūs specialūs dažai: atsparūs įvairioms atmosferos sąlygoms, rūgštims ir šarmams, karščiui. Dažniausiai naudojamos šių rūšių dangos [13]:

- Alkidinės dangos, kurių pagrindą sudaro alkidinė derva. Ši danga atspari atmosferos poveikiui, elastinga bei gerai sukimba su dažomu paviršiumi. Trūkumas – silpnas atsparumas cheminiam poveikiui bei ilgas džiūvimo laikas.
- Akrilinės dangos. Šioms dangoms būdingas didelis atsparumas atmosferiniam poveikiui bei smūgiams, gera adhezija ir atsparumas šviesai.

- Aliejinės dangos – tai pigmentų užpildo, aliejaus ir kitų priedų mišinys. Aliejiniais dažais dažomi tiek mediniai, tiek metaliniai paviršiai. Šių dažų dangos pasižymi elastingumu bei patvarumu atmosferos poveikiui.
- Bituminės dangos – dervos pavidalo medžiagos. Bitumas gali būti gamtinis arba dirbtinis. Iš bitumo gali būti pagaminta bituminis lakas, emalis ir emulsija. Šios dangos dažniausia naudojamos elektrotechnikos pramonėje.
- Epoksidinės dangos – epichlorhidrino arba dichlorhidrino ir dviatomių arba poliatomių fenolių kondensato produktas. Iš epoksidinės dervos galima gaminti gruntą, glaistą, emalį bei laką. Epoksidinė danga yra kieta, atspari aplinkos poveikiui, jai būdingos dielektrinės ir adhezinės savybės. Epoksidinės dažymo medžiagos naudojamos metalinių ir poringų paviršių apsaugai nuo korozijos.
- Poliuretaninės dangos – tai polimerinės dangos, kurių mikromolekulės pagrindinėje grandinėje yra uretaninių grupių. Iš poliuretanų galima pagaminti įvairias antikoroazines medžiagas: laką, gruntą, emalį. Panaudojami metalo lydinių bei betono apsaugai nuo atmosferinės korozijos, medžio apsaugai nuo grybo ir vabzdžių. Dažnai dažomi laivų korpusai, parketo grindys, sporto bei kiti įrengimai ir gaminiai.

Vienas iš svarbiausių dangos ypatybių yra tinkamas dangos storis. Plonas dangos sluoksnis greičiau nusidėvi, o per storas gali lemti aktyvią tirpiklių veiklą bei prastą sukibimą su pagrindu. Faktinis dangos storis dažniausiai priklauso nuo dangos sistemų tipo, naudojamo pagal paviršiaus paskirtį [13].

1.2. Dažymo priemonės

Dažymo įrankių, kuriais dažomas paviršius, parinkimas priklauso nuo darbų apimties bei turimų priemonių. Šiuo metu dažniausiai naudojamosi teptuku, voleliu, oriniu purškimu, įprastas (indas su spaudimu) purškimas ir beoris dažymas [13].

- Teptukas – populiariausia dažymo priemonė. Naudojamas mažiems plotams dengti dekoratyviniais dažais. Labai gerai tinka sudėtingų vietų dažymui, kur purškimo metodas netinka, nes susidarytų nuostoliai dėl per storo dažų sluoksnio.
- Dažymas voleliu. Dažymas voleliu yra greitesnis ir našesnis, jei tepami dideli ir lygūs paviršiaus plotai. Šio dažymo būdo trūkumas – nekontroliuojamas plėvelės storis. Kaip ir dažant teptuku, vientisa plėvelė nesusidarys.
- Orinis purškimas – tai populiariausias dažymo būdas, kai dažai išpurškiami žemo slėgio oro srove naudojant specialų purškimo pistoletą. Ši įranga yra paprasta ir nebrangi, tačiau labai svarbu, kad būtų tinkamas oro kiekio, oro suspaudimo ir skysčio

tėkmės derinys. Dėl nekontroliuojamo purškimo gali atsirasti dideli dažų nuostoliai dėl per storo jų sluoksnio, įdubimai ar angelės. Įprastinio orinio purškimo trūkumas yra tas, kad šiuo būdu sunku padengti vientisas dangas, nes daugelį dažų reikia praskiesti iki tinkamo klampumo, o taip prarandamas vientisumas.

- Beoris purškimas. Dažant šiuo būdu, oras nemišomas su dažais, kad būtų tolygus dažų išpurškimas. Purškimo procesas išgaunamas hidrauliniu slėgiu, priverčiant dažus keliauti per specialiai sukurtus antgalius. Reikiamas hidraulinis slėgis gaunamas oru varoma pompa, kurioje yra aukštas skysčio spaudimo ir oro tiekimo spaudimui santykis. Naudojant beorio dažymo būdą gaunamas vientisas sluoksnis, kuris gali būti nepraskiestas. Palyginti su įprastu oriniu purškimu, sumažinamas purškimas ir atšokimas, taip pat sunaudojama mažiau dažų, mažiau dulkių. Tai labai greitas ir ekonomišką dažymas. Daiktai, kuriuos reikia nudažyti, panardinami į dažus. Dėl didelių dažų sąnaudų ir nevienodos dangos šis būdas yra neefektyvus.
- Apliejimas. Daiktų paviršiai apliejami dažų čiurkšlėmis ir laikomi skiediklio garuose. Gaunama vienoda ir tolygi danga. Trūkumas – reikalingi sudėtingi įrenginiai.
- Elektroforezė. Polimerinės medžiagos uždulkinamos ant įkaitinto paviršiaus. Dažomi paviršiai padengiami plonu vienodu sluoksniu.
- Elektrostatinis. Atliekamas naudojant specialią įrangą, turinčią purkštuvą, dažymo, valdymo ir apsaugos prietaisus. Neigiamai įelektrintos išpurkštų dažų dalelės patenka į elektrostatinį lauką, kuriame jos pritraukiamos prie teigiamai įelektrinto dažomo daikto paviršiaus. Šiuo būdu galima dengti tik metalinius paviršius.

1.3. Dažų dangos patvarumas

Dangos struktūros susidarymas lemia dangos patvarumą. Rekomenduojama dengti keliais dangos sluoksniais, o ne viena stora danga. Dažant plonomis dangomis geriau užsidengia korėtumas, geriau sukimba su metalo paviršiumi, greičiau išgaruoja skiedikliai. Plonasluoksnės dangos patvaresnės ir atsparesnės korozijai, bet ekonominiu požiūriu brangesnės, nes reikalingos didesnės darbo sąnaudos [23].

Dažų dangos patvarumas ir atsparumas korozijai priklauso nuo [13]:

- Dažomo metalo paviršiaus paruošimo būdų;
- Dažymo būdo ir dažytojo įgūdžių;
- Dažų parinkimo eksploatacinėms sąlygoms;
- Dangos sudarymo ir plėvelės sukietėjimo būdo;
- Kompleksinės dangos storio.

1.4. Konstrukcinės priemonės metalo apsaugai nuo korozijos

Korozijos žalą metalams žino kiekvienas, tačiau ne visada šis procesas pagrindžiamas racionaliausiais sprendimais. Antikorozinius sprendimus reikia priimti nuo pirmojo etapo – konstravimo. Konstruktoriams turi būti žinomos įvairios metalo apsaugos priemonės, metalo padengimo būdai ir tarnavimo laikas įvairiose konstrukcijos dalyse [13].

Projektuojant ir montuojant konstrukcijas reikia vengti siaurų plyšių ir įdubų, kuriose gali kauptis drėgmė. Būtina numatyti specialias skylės ir nuolydžius vandens nutekėjimui. Konstrukcijose vengti aštrių briaunų ir kampų. Aštrias briaunas ir kampus reikėtų užapvalinti, o atplaišas ir įdubas – pašalinti [13].

Standarte LST EN ISO 14713–1:2009 pateikiami racionalių sprendimų pavyzdžiai, kaip reikia konstruoti gaminius, padengtus cinko ir aliuminio danga. Racionaliai sukonstruoti gaminiai padidina apsauginės dangos patvarumą eksploatacijos metu bei gaminio padengimą karštu metodu ar dujų terminiu užpurškimu [19].

Standarte LST EN ISO 12944–3:2000 pateikiami plieno konstrukcijų konstravimo pavyzdžiai, kurie lakuojami ir dažomi. Konstrukcijos turi būti ne tik tvirtos, bet ir turėti formą, netrukdančią paviršiaus paruošimui ir dažymui. Šis standartas taip pat rekomenduoja projektuotojui konsultuotis su korozijos specialistais ir ieškoti optimalaus sprendimo [18].

1.5. Lakiųjų organinių junginių įstatymas

Šiuo metu populiariausia metalų apsauga nuo korozijos – paviršiaus padengimas dažų dangomis. Dažų poreikis kasmet didėja, tik keičiasi gamybos kryptys. Sintetinių dervų pagrindu gaminamų dažų tirpikliai kenksmingi sveikatai, ypač – dažytojams. Taip pat atliekomis teršiama gamta. 1990 m. daugelyje valstybių buvo priimti įstatymai, kurie apriboja arba draudžia gaminti ekologiškai kenksmingus produktus. Atsižvelgiant į šiuos įstatymus, ypač Europoje, pradėta gaminti nekenksmingus vandeniu skiedžiamus ir sausus dažų miltelius [23].

2002 m. Lietuvos Respublikoje, remiantis Europos Sąjungos Tarybos direktyvos 1999/13/EB „Dėl tam tikrų veiklos rūšių ir tam tikrų įrenginių lakiųjų organinių junginių, susidarančių naudojant organinius tirpiklius, emisijos apribojimo“, buvo priimtas „Lakiųjų organinių junginių (LOJ), susidarančių naudojant tirpiklius tam tikrų veiklos rūšių įrenginiuose, emisijos apribojimo tvarkos“ įstatymas [17].

Šiame įstatyme apibrėžta, jog „LOJ – bet kuris organinis junginys, kurio garų slėgis esant 293,15 K temperatūrai yra 0,01 kPa ar didesnis, arba kuris pasižymi atitinkamu lakumu esant

konkrečioms naudojimo sąlygoms. *Kreozoto frakcija*, kuri esant 293,15 K temperatūrai viršija toki garų slėgį, laikoma lakiuoju organiniu junginiu“ [17].

LOJ įstatymas iškėlė naujus reikalavimus ir iššūkius tiek dažų gamintojams, tiek jų pardavėjams. Dažų gamybos industrijoje ypač didelis dėmesys skiriamas elektrostatiui dengimo būdui naudojant miltelinius dažus. Milteliniai dažai neturi jokių lakių organinių junginių, todėl puikiai tinka ten, kur reikia sumažinti tirpiklių emisiją [13].

Milteliniais dažais padengtas paviršius yra atsparus smūgiams, pasižymi puikia adhezija ir apsauga nuo korozijos. Kadangi dažant šiuo būdu nenaudojami jokie tirpikliai ir skiedikliai, ši technologija neteršia gamtos. Ekonomiškumas, išvaizda ir ekologiškumas – tai savybės, dėl kurių miltelinio dažymo būdas populiarėja visame pasaulyje [3].

1.6. Miltelinis dengimas

Miltelinis dengimas – tai dažymo būdas, kurio metu vietoj tradicinių skystų dažų naudojami polimeriniai kietos dispersinės kompozicijos milteliai, kurių pagrindą sudaro dervos, pigmentai, papildai ir sukietintojai. Paviršiai padengiami specialia įranga. Taip padengtas gaminys dedamas į krosnį, kurioje dažai išsilydo ir sukietėja suformuodami reikiamą dangą. Veikiami 160 – 200 °C temperatūros krosnyje miltelių cheminiai junginiai sureaguoja tarpusavyje ir polimerizuojasi.

Polimerizacija – cheminis procesas, kai vienu metu arba skirtingų rūšių monomerai sujungiami į polimerus. Polimerines medžiagas pakaitinus pasikeičia jų linijiniai makromolekulių ryšiai ir savybės [20].

Miltelinio dengimo būdu galima gauti aukštos kokybės polimerines dangas, kurios naudojamos atlikti apsaugines ar dekoratyvines funkcijas [6].

1.7. Miltelinių ir tradicinių skystų dažų palyginimas

Dengimo sistema parenkama taip, kad atitiktų keliamus laiko tarnavimo ir išvaizdos reikalavimus. Lyginant miltelinio ir skysto dengimo sistemas, pirmoji turi itin didelį pranašumą. Pagrindiniai skirtumai išvardyti 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. Miltelio ir skysto dengimo palyginimas

Miltelinis dengimas	Skystų dažų dengimas
Pigesnis, nes galima atitikti keliamus reikalavimus vienu dažų sluoksniu. Miltelines medžiagas galima panaudoti pakartotinai.	Brangesnis. Dažnai reikalingas papildomas paviršiaus paruošimas, daugiau darbo bei kelių sluoksnių padengimas norint pasiekti tenkinantį rezultatą

Greitesnis. Pakanka vieno dažų sluoksnio.	Lėtesnis. Norint gauti tinkamus reikalavimus, dažniausiai reikalingos dvi funkcijos: gruntavimas ir dažymas. Kiekvienai funkcijai reikalingas atitinkamas džiūvimo laikas.
Storesnis dažų sluoksnis	Plonesnis dažų sluoksnis
Galima naudoti paviršiams atspariems karščiui	Galima naudoti visiems paviršiams
Lygiai padengiamas paviršius	Paviršiaus padengimo lygumas priklauso nuo dažytojo profesionalumo bei paviršiaus padengimo
Mažai kenksmingas aplinkai	Neperdirbami, gaminami naudojant kenksmingus chemikalus
Atsparesnis aplinkos poveikiui	Plonas dažų sluoksnis neleidžia pasiekti paties atsparumo kaip milteliniais dažais
Didelis efektų bei spalvų pasirinkimas	Didelis spalvų pasirinkimas
Tiek horizontalūs, tiek vertikalūs paviršiai padengiami vienodai	Visiškai vienodą padengimą išgauti itin sunku

1.8. Miltelinio dengimo privalumai ir trūkumai

Dėl gero kainos ir kokybės santykio lyginant su tirpikliniais ar vandens pagrindo dažais, atitinkamo LOJ įstatymo, milteliniais dažams puikiai sekasi dangų rinkoje. Miltelinis dengimas, kaip ir kiti dengimo būdai, turi ne tik privalumų, bet ir trūkumų [22].

Pagrindiniai privalumai:

- Didelis atsparumas korozijai;
- Sudėtyje nėra toksiškų medžiagų;
- Sudėtyje nėra kenksmingų lakiųjų organinių junginių;
- Ekonomiškas dažų sunaudojimas;
- Itin atsparūs trūkinėjimui, įbrėžimams, išblukimui;
- Tinka visų tipų metalų dengimui;
- Apsaugo paviršių nuo UV spinduliuotės;
- Didelė spalvų ir efektų įvairovė;
- Dažai išlaiko savo elastingumą net įvykus paviršiaus deformacijoms;
- Siekiant mažesnių darbo sąnaudų galima panaudoti automatizuotą dažymo liniją.

Pagrindiniai trūkumai:

- Reikalinga speciali profesionali ir pakankamai brangi dažymo įranga;
- Kaitinimo krosnies talpa riboja dažomų daiktų ar konstrukcijų dydį;
- Vienu metu krosnyje galima kaitinti tik vieną spalvą;
- Nepakankamai sukietėjusi arba perkaitinta danga gali įgauti netinkamų savybių, pvz.,

menką atsparumą korozijai, atmosferos poveikiui, chemikalams;

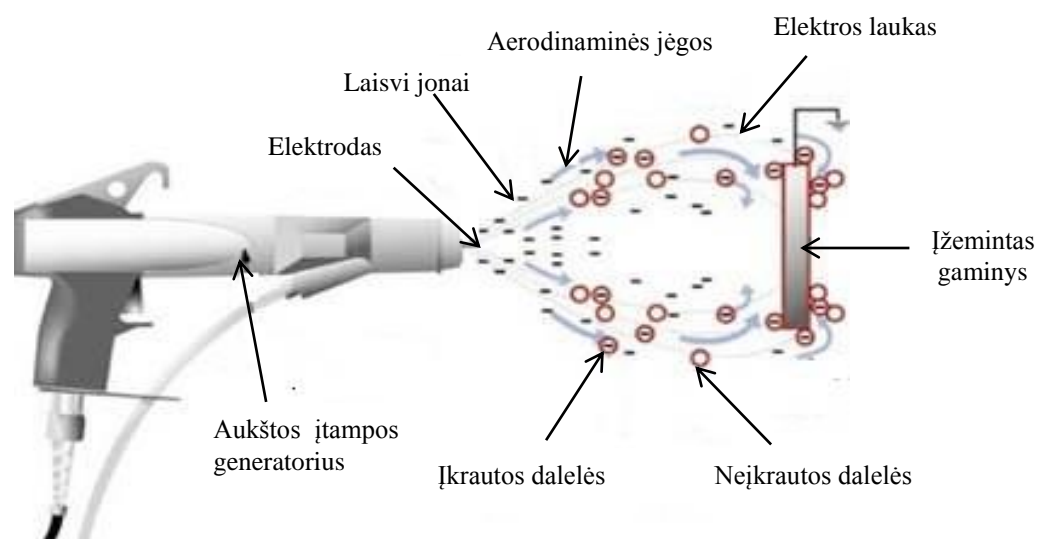
- Miltelinė danga nepaslepia paviršiaus broko: įlenkimų, duobučių, skylučių;
- Reikalingos tam tikros miltelinių dažų laikymo sąlygos: temperatūra, drėgmė, slėgis, tiesioginiai saulės spinduliai;
- Gali kilti pavojus žmogaus sveikatai dėl miltelinių dažų ir oro mišinio užsiliepsnojimo ar gaisro, elektros įtampos keliamo pavojaus, sąlyčio su pavojingais produktais bei suslėgto oro.

1.9. Miltelinio dengimo metodai

Metalu paviršiaus padengimui miltelinėmis medžiagomis naudojami šie būdai:

- Elektrostatinis – tribostatinis išpurškimas (1.1 pav.);
- Detalės panardinimas į miltelinių medžiagų – oro mišinį (1.2 pav.);
- Detalės panardinimas į įelektrintą miltelinių medžiagų – oro mišinį (1.3 pav.).

1.9.1. Elektrostatinis ir tribostatinis purškimas

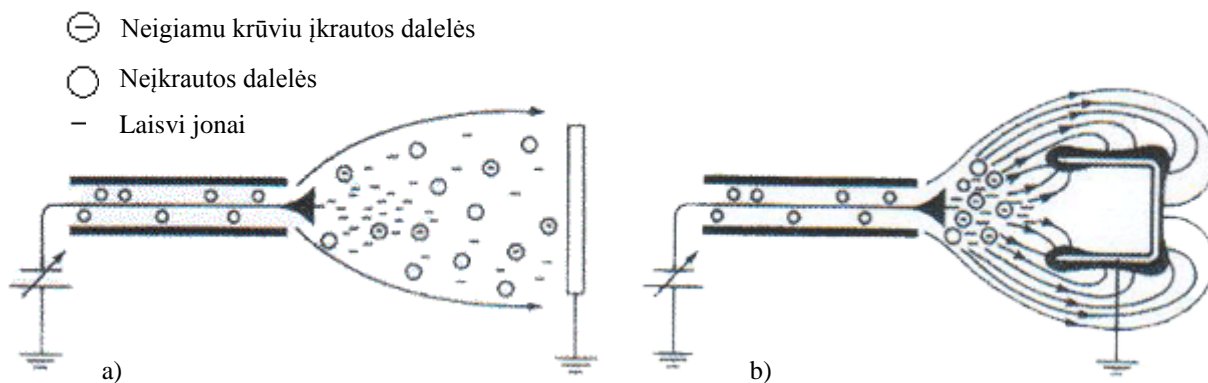


1.1 pav. Elektrostatinis dengimas [5]

Miltelinės dengimo medžiagos, veikiamos suspausto oro, yra išpurškiamos naudojant elektrostatinį pistoletą. Purškimo metu prietaise esantis elektrodas įkrauna polimerines daleles neigiamu elektros krūviu. Judėjimo kryptį lemia ne tik aerodinaminės jėgos, bet ir elektrostatinis laukas, esantis tarp pistoleto ir įžeminto gaminio. Miltelinės dengimo dalelės išlaiko krūvį ir

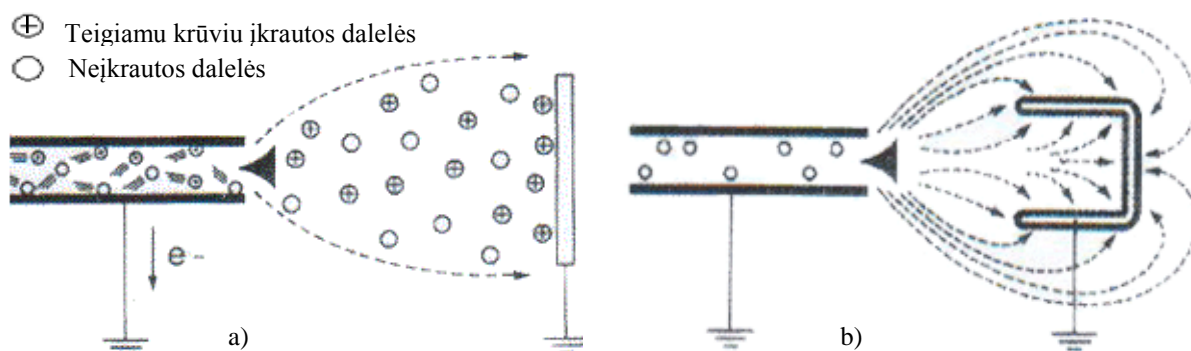
prilimpa prie žeminto gaminio paviršiaus. Dengimui miltelinėmis medžiagomis naudojami dviejų tipų pistoletai: elektrostatiniai ir tribostatiniai.

Dažniausiai naudojami elektrostatiniai pistoletai. Elektrostatinio pistoleto priekyje esantis elektrodas, turintis aukštą įtampą, neigiamu elektros krūviu įkrauna miltelines dengimo daleles. Kai kurios dalelės įkrovos zonoje neįgauna elektros krūvio, nes jas ekranuoja kitos dalelės. Visos dalelės ir prie miltelinių dalelių nepritraukti jonai, veikiami aerodinaminių jėgų, taip pat patenka ant dažomojo gaminio paviršiaus.



1.2 pav. Elektrostatinio dengimo pavyzdys: a – miltelinių dalelių judėjimas link gaminio; b – nepakankamas miltelinių dalelių išsiskverbimas į ertmes ir kampus [4]

Naudojant tribostatinius pistoletus miltelinės dalelės teigiamu krūviu įsikrauna besiliesdamos su pistoleto sienelėmis. Tribostatinium pistoletu, dažniausiai pagamintu iš teflono (PTFE), miltelinės dengimo medžiagos stumiamos suspausto oro srove. Vamzdžio sienelės žemintos, o ant jų atsiradęs krūvis nuolat nutekinamas į žemę. Šis krūvis turi būti šalinimas, nes nustotų elektrinės ir grėstų elektros smūgio pavojus.



1.3 pav. Tribostatinio dengimo pavyzdys: a – teigiamai įkrautų ir neįkrautų miltelinių dalelių judėjimas link gaminio; b – dalelės išsiskverbia į gaminio kampus ir ertmes [8]

Tarp pistoleto ir dengiamo paviršiaus susiformuoja silpnas elektros laukas. Atvirkštinė jonizacija mažesnė nei naudojant elektrostatiškus pistoletus. Pistoletas jautresnis aplinkos poveikiui, o santykinė oro drėgmė turi būti mažesnė nei 40 proc. Vyksta lėtesnis išpurškimas ir reikalinga daugiau įrangos. Netinka miltelinių dengimo medžiagų su metalinio blizgesio efektu.

Elektrostatišnio pistoleto privalumai lyginant su tribostatišniu pistoletu:

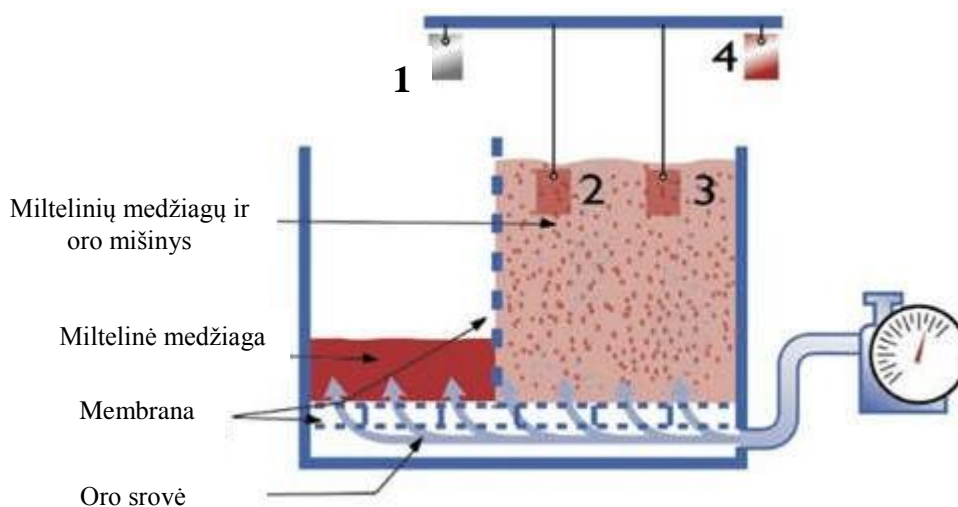
- Suformuojamas stiprus elektros laukas tarp pistoleto ir dažomojo paviršiaus;
- Lengvesnis įkrovimo proceso reguliavimas
- Spartesnis išpurškimas;
- Naudojamas mažesnis įrangos kiekis;

Trūkumai:

- Gali būti nepakankamas miltelinių dengimo medžiagų įsiskverbimas į ertmes ar kampus;
- Galimas atvirkštinės jonizacijos reiškinys dengiant stora plėvele arba panaudojus aukštą įtampą.

1.9.2. Detalių dengimas panardinant į miltelinių medžiagų ir oro mišinį

Šis dengimo procesas naudojamas tada, kai reikia užtikrinti storą dangos sluoksnį, siekiantį 200 – 3100 μm . Procesas yra lengvai valdomas, tačiau reikalauja daugiau nei 180 $^{\circ}\text{C}$ iš anksto įkaitintos detalės. Gaunama tolygaus sluoksnio tvirta danga. Puikiai padengiami lygūs paviršiai, briaunos, ertmės ir kampai. Prie trūkumų galima priskirti tai, jog dažomos tik nedidelių matmenų detalės. Be to, plonos detalės neišlaiko šilumos ir apsunkina dengimą.

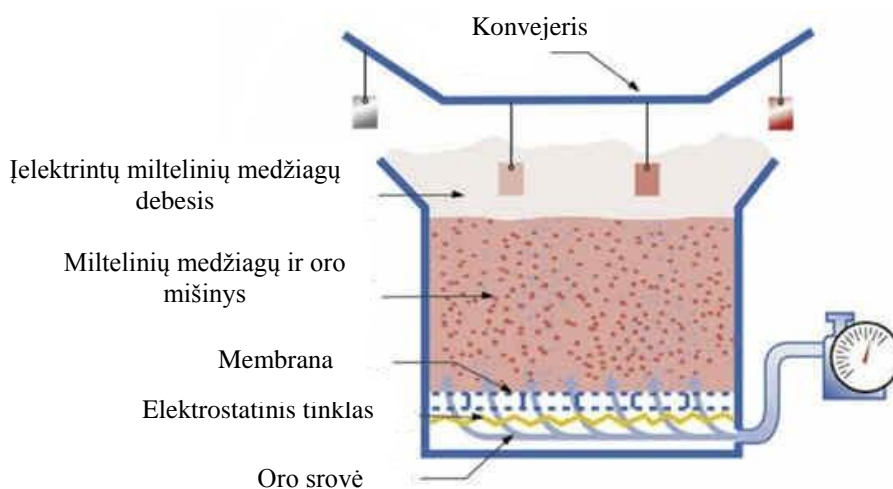


1.4 pav. Dengimo, panardinant detalę į miltelinių medžiagų ir oro mišinį, schema [7]

Proceso žingsniai pavaizduoti 1.4 pav. 1 – Detalė paruošta dengimui ir įkaitinta iki reikiamos temperatūros. 2 – Pradinės miltelinės dalelės lydosi prie detalės. 3 – Detalė padengiama galutiniu reikiamo storio sluoksniu. 4 – Milteline danga padengta detalė transportuojama į krosnį, kurioje yra pakartotinai kaitinama. Vyksta polimerizacijos procesas.

1.9.3. Detalių dengimas panardinant į įelektrintų miltelinių medžiagų ir oro mišinį

Panardinimas į įelektrintų miltelinių medžiagų ir oro mišinį labiausiai tinka nedidelių plokščių detalių ir nesudėtingų konstrukcijų dengimui. Dažų dangos storis gali svyruoti nuo 20 – 75 μm . Nesudėtinga automatizuoti procesą, didelis dengimo greitis ir efektyvumas. Trūkumai – ribotas dangos plotas, geriausia dengti dviejų matmenų detales.



1.5 pav. Dengimo, panardinant į įelektrintą miltelinių medžiagų ir oro mišinį, schema [7]

1.10. Miltelinių dažų rūšys

Miltelinės dengimo medžiagos – kietos dispersinės kompozicijos polimeriniai milteliai, kurių pagrindą sudaro dervos, pigmentai, kietikliai ir papildai [16]. Pirmiausia, miltelinės dengimo medžiagos skirstomos į vidaus, lauko ir specialios paskirties.

Dažai, pagaminti epoksidinių dervų arba poliesterio ir epoksidinių dervų mišinio, naudojami vidaus konstrukcijoms ir detalėms dengti. Šie dažai yra kietesni už dažus, skirtus lauko konstrukcijoms. Jie atsparesni trinčiai ir įvairioms buityje naudojamoms cheminėms medžiagoms. Jais dažomi namų baldai, santechniniai ir šildymo įrenginiai bei buitinių technikos prietaisai [6].

Poliesterio pagrindu pagaminti dažai naudojami daiktų, kuriuos veikia išorinės lauko sąlygos, paviršių padengimui. Išorės dažams keliami reikalavimai – atsparumas atmosferos

poveikiui bei ultravioletiniams spinduliams. Šios sudėties miltelinių dažų išblukimas ir blizgesio praradimas lėtesnis. Atsparesni šarminėms medžiagoms. Taip pat jie yra elastingesni ir minkštesni nei kitų mišinių dažai, todėl miltelinėmis medžiagomis padengtus gaminius galima mechaniškai apdirbti [4].

Specialios paskirties dažai – tai akrilo dervų pagrindu gaminami milteliniai dažai. Šios dangos pasižymi kietumu ir atsparumu cheminėms medžiagoms. Jais dažomi mokykliniai, baseinų ir sporto salių persirengimo kambarių baldai. Specialios paskirties dažus galima naudoti kaip antigrafitinius dažus. Dėl ypatingo atsparumo chemikalams išpaišyti gaminiai lengvai nuvalomi panaudojant specialius valiklius [6].

1.11. Miltelinių dengimo medžiagų kategorijos

Atsižvelgiant į aplinkos bei naudojimo sąlygas, dažomam gaminiui ar konstrukcijai labai svarbu parinkti tinkamą miltelinių dengimo medžiagų kategoriją. Visos kategorijos pateiktos 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. Miltelinių dengimo medžiagų kategorijos

Miltelinė danga	Symbolis
Epoksidinė	EP
Poliesterinė	PE
Epoksidinė / poliesterinė	EP/PE
Poliuretalinė	PUR
Akrilinė	AK

1.11.1. Epoksidinės miltelinės dangos

Epoksidinės miltelinės dangos yra atsparios mechaniniam poveikiui, korozijai ir cheminėms medžiagoms. Epoksidinių miltelinių dangų kietiklių parinkimas priklauso nuo panaudojimo srities [13]. Dangų kietikliai gali būti:

- Fenoliniai kietikliai. Gauta danga yra reaktyvi, tad ją galima kaitinti iki 120 °C temperatūros. Jos korozijos ir cheminį atsparumą lemia didelis dangos tankis.
- Diciandiamido kietikliai. Ši danga taip pat pasižymi dideliu tankiu ir yra atspari įvairiems tirpikliams bei cheminėms medžiagoms.
- Anhidridiniai kietikliai. Gauta danga atspari rūgštims, tirpikliams ir pageltimui.

- Imidiazolininiai kietikliai panaudojami dangai, kurios paviršiui reikia suteikti matiškumą.

Didelis epoksidinės miltelinės dangos tankis leidžia šias medžiagas panaudoti kaip izoliacines elektrinei įrangai. Pagrindinis trūkumas, kad šie milteliai, per ilgai laikyti kaitroje, pagelsta ir nėra atsparūs UV spinduliuotei [13].

1.11.2. Poliesterinės miltelinės dangos

Gaminant poliesterines miltelines dangas panaudojamos poliesterinės dervos, turinčios rūgštinių funkcijų. Šiomis dervomis padengti paviršiai yra atsparūs UV spinduliuotei, cheminėms medžiagoms bei mechaniniam poveikiui. Poliesterinių medžiagų kietėjimo temperatūra siekia 160 – 240 °C. Poliesterinių dervų ir pigmentų mišinys nesuyra aukštoje temperatūroje, todėl puikiai tinka kaistančių gaminių dengimui [13, 14].

1.11.3. Epoksidinės – poliesterinės miltelinės dangos

Epoksidinės ir poliesterinės dervos gali būti maišomos skirtingais santykiais, kurie reikalingi gauti norimą dangos efektą. Dažniausiai naudojami santykiai yra nuo 50:50 iki 20:80. Maišymo santykis taip pat lemia temperatūrą ir laiką, reikalingą abiejų dervų reakcijai. Temperatūra gali būti 140 – 220 °C, o laikas – nuo 5 iki 30 minučių. Mišrių dervų privalumas – didelis mechaninis atsparumas [14].

1.11.4. Poliuretaninės miltelinės dangos

Poliuretaninės dangos naudojamos norint gauti matinį, atsparų atmosferiniam poveikiui, paviršių. Kaitinant poliuretanines miltelines medžiagas krosnis turi būti gerai ventiliuojama, o kaitinimo temperatūra – aukštesnė negu 180 °C. Dažai naudojami automobilinių ir dekoratyvinių detalių paviršiaus padengimui [14].

1.11.5. Akrilinės miltelinės dangos

Akrilinių miltelinių dengimo medžiagų privalumai – atsparumas atmosferiniam poveikiui ir takumas žemoje temperatūroje. Akrilinės medžiagos dažniausiai naudojamos skaidrių dangų gavimui. Didžiausias trūkumas – nesuderinamumas su kitomis miltelinėmis medžiagomis. Rekomenduojama akrilines medžiagas gaminti kitose gamyklose ir naudoti atskirose talpose [13].

1.12. Pagrindiniai elektrostatinio dengimo etapai

Pagrindinis dengimo tikslas – sudaryti patvarią paviršiaus apsauginę dangą. Sėkmingas darbo atlikimas priklauso nuo pasirinktų dažų, dengimo technologijos laikymosi, darbo sąlygų ir dažytojo kvalifikacijos. Paviršius dengiant elektrostatiniu dengimo būdu yra svarbūs šie procesai:

- Paviršiaus paruošimas prieš dengimą;
- Dažomojo paviršiaus padengimas milteline medžiaga;
- Kaitinimo laikas krosnyje.

1.12.1. Metalų paviršiaus paruošimas

Detales ar konstrukcijas dažant miltelinėmis medžiagomis geros kokybės dangas galima gauti tik tinkamai paruošus gaminio paviršių. Pradiniame paviršiaus paruošimo etape pirmiausia nuvalomi oksidai, rūdys bei kiti nešvarumai.

Paviršiaus šiurkštumas taip pat turi didelę įtaką dangos kokybei. Esant dideliame šiurkštumui pagerinamas dangos sukibimas.

Paviršiai, kurie bus padengti apsauginiu dažų sluoksniu, gali būti paruošiami šiais būdais: terminiais, cheminiais, elektrocheminiais, fizikiniais ir mechaniškai [10].

Tinkamai paruošti gaminio paviršių itin svarbu bet kuriai dangų sistemai. Trys pagrindiniai paruošiamojo apdorojimo tikslai:

1. Visiškai nuvalyti paviršių.
2. Apdoroti paviršių ir suteikti maksimalų sukibimą, kad jis tiktų naudojamai dangai.
3. Padidinti apsauginį veiksmingumą nuo korozijos.

Dangos švarumas didina paviršiaus apsauginį efektyvumą. Kartais vien tik valymo gali nepakakti, ypač dengiant miltelinėmis dengimo medžiagomis. Papildomai paviršius galima padengti konversine danga. 1.3 lentelėje pateikti konversinių dangų gavimo eiga, taikant skirtingus procesus. Konversinės dangos tikslai – pagerinti dažų ir dažomojo paviršiaus sukibimą, dangos sąveikos su paviršiu sumažinimas, atsparumo padidinimas korozijai ir pūslėjimui [10].

1.3 lentelė. Įprastiniai metalo paviršiaus paruošimo procesai

Cinko fosfatas	Geležies fosfatas (4 pakopos)	Geležies fosfatas (6 pakopos)
Valymas	Valymas / Fosfatavimas	Valymas
Praplovimas	Praplovimas	Praplovimas
Paruošimas	Pasyvinimas	Geležies fosfatas
Cinko fosfatas	Praplovimas dejonizuotu vandeniu	Praplovimas

Praplovimas	—	Pasyvinimas
Praplovimas dejonizuotu vandeniu		Praplovimas dejonizuotu vandeniu

1.12.2. Terminis paruošimas

Terminiu būdu paruošiami gaminiai yra kaitinami naudojant gamtinių dujų ir deguonies degiklio liepsną, o temperatūra siekia 500–600 °C. Taip pat gaminius galima įkaitinti elektros lanku, kurio temperatūra – 1300–1400 °C. Rūdžių ir nuodegų temperatūrinis plėtimosi koeficientas nėra didelis, todėl paveiktos aukštos jos sutrūkinėja ir galima lengvai pašalinti. Šis metodas tinkamas labiausiai storasienių gaminių valymui [23].

1.12.3. Cheminis paruošimas

Cheminių valymo būdą galima panaudoti, kai reikia pašalinti rūdis, senus dažus, nuoviras ir nuodegas. Panaudojami rūgštiniai ir šarminiai reagentai. Elektrolitinis ėsdinimas naudojamas prieš detalių padengimą galvaninėmis dangomis.

Riebalų ir organinių teršalų pašalinimui naudojami organiniai tirpikliai (benzinas, dyzelinas, žibalas), vandeniniais rūgštiniais, šarminiais ar neutraliais tirpalais. Pašalinus riebalus detalių paviršiai nuplaunami karštu vandeniu.

Dekapiravimas – plono oksido sluoksnio pašalinimas prieš pat paviršiaus padengimą [23].

1.12.4. Elektrocheminis paruošimas

Elektrocheminis būdas dažniausiai panaudojamas riebalų pašalinimui. Detalė kelias minutes palaikoma šarminiame tirpale kaip katodas, o po to – 0,5 min. kaip anodas [23].

1.12.5. Mechaninis paruošimas

Mechaniškai paviršius dažniausiai valoma smėlio ar šratų srautu, šveičiamaisiais šepčiais, šlifuojamas būgnuose ar poliruojamas.

Paviršius apdorojant smėlio srautu ne tik nuvalomos rūdys bei kitos apnašos, bet ir tuo pačiu metu suteikiamas šiurkštumas, pagerinantis dangos sukibimą. Galima panaudoti 0,1 – 2,5 mm smėlio, lydyto aliuminio oksido ar silicio karbido grūdelius. Didelių paviršių valymui naudojamas hidraulinis smėliasrautinis valymas. Jo metu į paviršių nukreipiama stipri abrazyvo suspensijos

srovė. Abrazyvu gali būti kvarcinis smėlis, elektrokorundas, stiklas ir kitos kietos smulkios 0,15 – 0,5 mm skersmens dalelės, o skystis – koroziniai inhibitoriai ir vanduo su aktyviosiomis medžiagomis tepalams pašalinti.

Naudojant šratų srautinį valymą vietoj smėlio naudojami ne didesni kaip 0,8 mm skersmens šratai. Taip pašalinamos rūdys, nuodegos ir sukietinami gaminių paviršiai.

Detales paruošiant vibroabrazyviniu būdu, vibracinio įrengimo būgnas pripildomas detalių ir abrazyvinių medžiagų ir jam suteikiamas svyruojantis judesys. Įkrova intensyviai virpa sudėtingiausiomis trajektorijomis, o detalės besitrindamos šlifuojasi ir poliruoja [23].

1.13. Miltelinių dengimo medžiagų kaitinimas krosnyje

Miltelinių dengimo medžiagų kaitinimas – labai svarbus procesas. Tik laikantis rekomenduojamo kaitinimo režimo galima išgauti geriausias miltelinių dažų savybes. Kaitinimo režimas – laikas, kuris reikalingas miltelinių medžiagų kietikliams suveikti ant tam tikros paviršiaus temperatūros [25].

Nepakankamai sukietėjusi arba perkaitinta danga praranda savo savybes. Pavyzdžiui, sumažėja atsparumas korozijai, išnyksta spalvos blizgesys, o perkaitintos šviesios spalvos įgauna gelsvumo atspalvį.

Gaminant dažus, kiekvienas gamintojas nurodo kaitinimo laiką ir temperatūrą. Svarbiausia žinoti tikrąją detalės paviršiaus įkaitinimo temperatūrą nei krosnies nustatymus ar kaitinimo laiką. Automatinis temperatūros registravimo prietaisas padeda tiksliai kontroliuoti krosnies veikimo sąlygas. Matuoja ir padeda išsaugoti daikto ir oro temperatūrą kaitinimo procese.

Polimerizacijos krosnys gali būti dvejopos:

- Tunelinio tipo krosnys – tunelio formos ir ilgos. Dažomos detalės patenka į tunelį, kuriame vyksta polimerizacijos procesas. Šios krosnys naudojamos automatinėse dažymo linijose.
- Dėžės tipo krosnys dažniausiai naudojamos rankinio miltelinio dengimo procese. Detalės į krosnį patenka konvejeriu arba gali būti įvežamos specialiais vagonais.

Abiejų tipų krosnys veikia konvekcijos principu. Karštis į krosnį patenka per tam skirtas angas ir galingi ventiliatoriai krosnies viduje jį paskirsto tolygiai.

Miltelinių dažų polimerizacijos krosnies dydį nulemia dažomų detalių matmenys, darbų apimtys ir naudojamas kuras šildymui (dyzelinas, dujos ar elektra).

1.14. Reologiniai pokyčiai

Kaitinimo metu miltelinės dengimo medžiagos suminkštėja, pradeda tekėti ir suformuoja vientisą paviršių. Pirmiausia kietosios dalelės susilydo ir susijungia. Tokiu būdu gaunama ištisinė plėvelė. Vėliau tai plėvelei išsilyginus ant dažomojo gaminio susiformuoja lygi dažų danga.

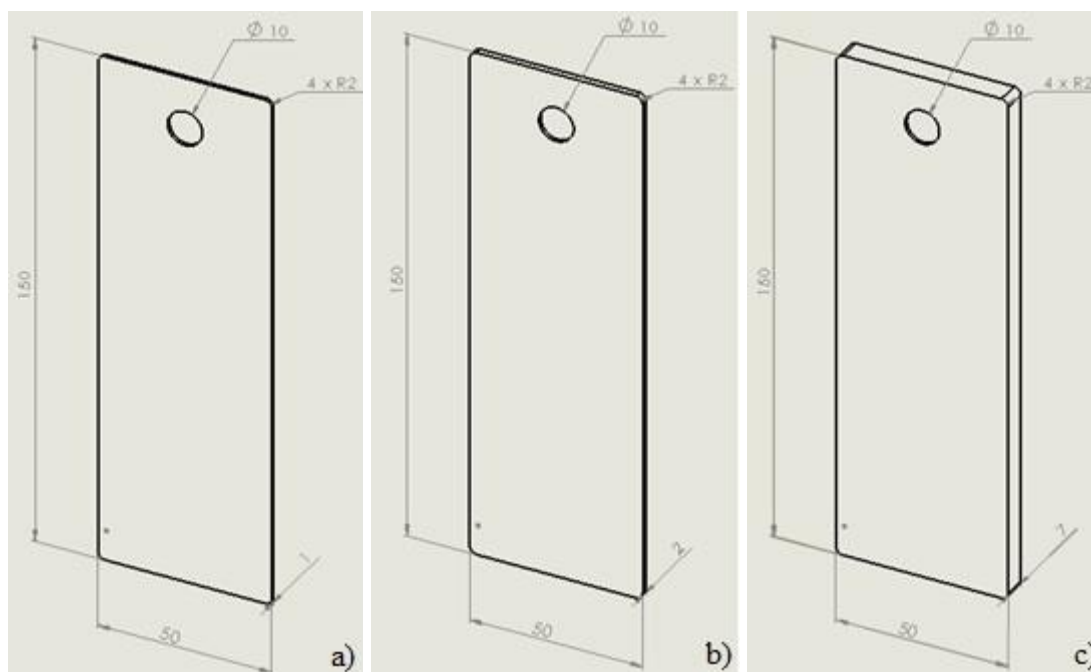
Lygų dažų paviršių nulemia žema klampumo vertė, išlaikyta pakankamai ilgą laiko tarpą. Klampumas sumažėja kaitinant polimerizacijos krosnyje, o išauga pradėjus formuoti drebučiams. Išlyginimo procesą stipriai paveikia kaitinimo tempas ir medžiagos reakingumas. Kuo medžiaga reakingesnė, tuo miltelinio dengimo medžiaga drebutėja sparčiau. Tačiau šiuo atveju gali išryškėti sukietėjusios dangos trūkumas – apelsino žievelės efektas. Mažesnę klampumo vertę lemia spartesnis padengtos medžiagos įkaitinimas.

Greičiausiai pasiekti žemiausią klampumą galima pasiekti gaminį tiesiai įdedant į krosnį, kuri jau įkaitinta iki rekomenduojamos temperatūros.

Paviršiaus lygumą taip pat nulemia miltelinių dengimo medžiagų dydis. Mažesnės miltelinių dengimo medžiagų dalelės greičiau nei stambesnės išsilydo ir susimaišo bei susilydo su kitomis. Pašalinus stambesnes daleles gaunama plonesnė plėvelė, kuri gali nulemti geresnį paviršiaus lygumą ir blizgesį.

2. METODOLOGINĖ DALIS

Polimerinių dangų tyrimams naudojami bandiniai, kurie pagaminti iš plieno S235JR. Plokštelės išpjautos lazeriniu būdu. Šis pjovimo būdas nereikalauja papildomo apdirbimo, pjūvio linijos yra tikslios ir švarios. Visos detalės, kurios dengiamos polimerinėmis miltelinėmis medžiagomis, turi būti pakabintos. Todėl ant bandomųjų plokštelių papildomai išgręžiamos 10 mm skylės. Skirtingiems bandomiesiems tyrimams parenkamos atskiros bandomosios plokštelės (2.1 pav.).



2.1 pav. Bandomųjų plokštelių pavyzdžiai: a – 1 mm storio, b – 2 mm storio, c – 7 mm storio

Tyrimams parenkama poliesterinė miltelinė danga. Ši danga yra universalčiausia iš visų miltelinių dangų, todėl dažniausiai naudojama praktikoje. Poliesterinėmis dangomis padengti paviršiai yra atsparūs UV spinduliuotei, cheminėms medžiagoms bei mechaniniam poveikiui. Poliesterinių dervų ir pigmentų mišinys nesuyra aukštoje temperatūroje, todėl puikiai tinka kaistančių gaminių dengimui [13, 14].

Nuo svarbiausių kieto kūno savybių (paviršiaus švarumo, šiurkštumo, energijos, gebos sudrėkti) priklauso dangos vientisumas, adhezija, ilgaamžiškumas ir kitos savybės. Kieti kūnai pasižymi tam tikromis absorbcinėmis ir adsorbcinėmis savybėmis dėl paviršiuje esančios perteklinės energijos ir savitos cheminės sudėties. Todėl visuomet paviršiuje galime rasti cheminių junginių, kurių neturi ar jų turi mažiau gilesni medžiagos sluoksniai. Smulkios dalelės, kurių

skersmuo mažesnis už 1 μ , prikibusios prie paviršiaus savaime nepasišalina. Todėl nuo paviršiuje esančių cheminių medžiagų savybių ir kiekio labai priklausys paviršiaus ir dangos sukibimas.

Dangos kokybei labai didelę įtaką turi paviršiaus paruošimas. Pirmajam bandymui parenkami skirtingi paruošimo būdai: cheminis valymas, valymas abrazyviniu šveitimo popieriumi (grūdėtumas P100), smėliasrautis valymas, valymas šratų srove. Įvertinant adhezijos tyrimus, parenkamas geriausias paruošimo būdas ir jis panaudojamas likusių eksperimentiniams bandymams.

Organiniai tirpikliai yra brangūs ir jų gamybai naudojama nafta tampa deficitu. Visi organiniai tirpikliai yra degūs, todėl yra pavojingi, kai kurie iš jų aukštutiniuose atmosferos sluoksniuose intensyviai dalyvauja fotocheminėse reakcijose, kurios naikina ozono sluoksnį. Daugelis organinių tirpiklių, ypač aromatiniai ir halogeniniai, yra nuodingi ne tik gamtai, bet ir žmogui.

2.1. Elektrostatinio miltelinio dažymo įranga

Paviršiaus dengimas miltelinėmis dažų dangomis pakankamai skiriasi nuo tradicinio dengimo skystais dažais. Šiuo būdu galima padengti tik metalinius paviršius. Kiekviena detalė privalo būti pakabinta ir įžeminta. Visos detalės talpinamos į kaitinimo krosnį, todėl ribojami jų matmenys (aukštis, ilgis, plotis) ir masė.

Elektrostatinio dengimo procesas parodytas 2.2 pav. Polimeriniai milteliai iš rezervuaro (1) patenka į purkštuvą (4), kur sumaišomi su oru ir įelektrinami. Elektrostatiniame modulyje (3) reguliuojant oro ir miltelių santykį galima rasti optimalų miltelinį dažų srautą ir tankį. Miltelinio dengimo medžiagų srauto greitis ir sluoksnio tolygumas nustatomas keičiant įtampą.

Transportavimo sistema (9), ant kurios sukabinami dažomieji gaminiai, juda iš dažymo vietos į kaitinimo krosnį (7) ir iš jos.

Dažant rankiniu būdu dažytojas privalo naudotis asmenines apsaugos priemonės ir laikytis darbo saugos reikalavimų.

2.2. Paviršiaus šiurkštumo nustatymas

Paviršiaus šiurkštumas – parametras, apibūdinantis paviršiaus mikronelygumų visumą. Paviršiaus šiurkštumas skirstomas į dvi dalis:

1. Menamasis paviršius – kai plika akimi matomas paviršiaus plotas
2. Tikrasis paviršius – visas menamojo paviršiaus plotas, įskaitant visus paviršiaus nelygumus.

Paviršiaus šiurkštumas gali būti nustatomas ir nekontaktiniais (elektroninė mikroskopija, interferometrija) ir kontaktiniais (profilometrija, atominės jėgos mikroskopija) metodais.

Bandymo metu paviršiaus šiurkštumas nustatomas profilometru „Time TR220“ (2.4 pav.). Galimi matavimo parametrai: Ra, Rz, Rq, Rt, Rp, Rv, Rz (JIS), R3z, Rmax, RSk, RPc, Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2. Matavimo ribos: Ra nuo 0,025 iki 12,5 μm .



2.4 pav. Šiurkštumo matuoklis „Time TR220“

2.3. Koning švytuoklė

Koning švytuoklė (2.5 pav.) naudojama paviršiaus kietumo nustatymui. Pagrindiniai šios švytuoklės parametrai pateikiami 2.2 lentelėje.



2.5 pav. König švytuoklė

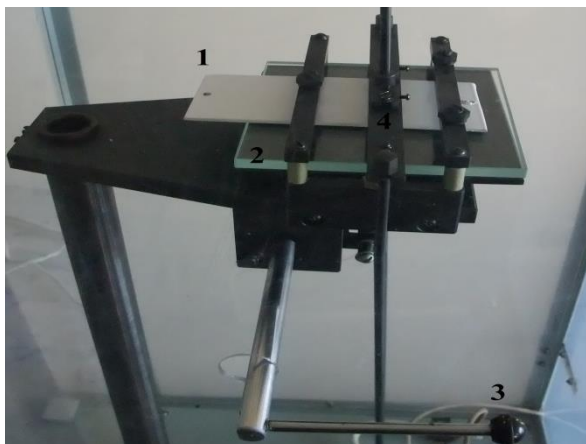
2.2 lentelė. Koning`o švytuoklės charakteristika

Parametras	Reikšmė
Švytuoklės masė	0,2 kg
Amplitudės ribos	Nuo 6° iki 3°
Svyravimo periodas	1,4 s
Rutulinio guolio skersmuo	5 mm
Slopinimo laikas ant stiklo	250 s ± 10 s
Įtampa	115 V / 60 Hz, 230 V / 50 Hz
Matmenys	320 x 710 x 300 mm
Masė	17,5 kg

Darbo eiga: paviršiaus kietumas nustatomas laikantis standarto LST EN ISO 1522:2007 „Dažai ir lakai. Kietumo nustatymas švytuokle“. Bandinio paviršiaus dažų sluoksnis turi būti sukietėjęs, o minimalus dangos storis – 30 μm. Kietumo bandymas švytuoklės principu grindžiamas tuo, kad švytuoklės amplitudė liečiant paviršių mažėja. Dangos kietumas išreiškiamas slopinimo laiko sekundėmis. Kuo ilgesnis slopinimo laikas, tuo didesnis kietumas. Naudojant König tipo švytuoklę, gautas slopinimo laikas turi būti padaugintas iš svyravimo periodo, kuris lygus 1,4 s. Jei nenurodyta kitaip, tyrimai turi būti atliekami esant (23 ± 2) °C temperatūrai ir (50 ± 5) % santykiniai oro drėgmei.

Parinkti bandiniai, kurių matmenys 100 x 50 x 2 mm. Bandinių paviršiai padengti 80 μm storio polimerine milteline danga. Tyrimo tikslas – įvertinti polimerizacijos laiko įtaką paviršiaus kietumui.

Pirmasis bandymas (2.6 pav.) atliekamas su plokštele, kurios polimerizacijos laikas yra 15 min. Bandinys (1) padedamas ant stiklinės plokštelės (2), o rankenėlę (3) keliant į viršų bandinys, esantis ant stiklinės plokštelės, pridedamas prie švytuoklės skersinio (4) esančių rutulinių guolių.



2.6 pav. Bandinio įtvirtinimas Koning švytuoklėje: 1 – bandinys, 2 – stiklinė plokštelė, 3 – stiklinės plokštelės pakėlimo rankenėlė, 4 – švytuoklė.

Švytuoklės paleidimo metodika parodyta 2.7 pav. Švytuoklė (6) į pradinę padėtį pastatoma su sukamąja rankenėle (5) ir įtvirtinama laikikliu (7). Laikiklis turi būti atitrauktas nuo centro 5 cm. Tai patikrinama naudojant liniuotę (8). Virve (9) atitraukiamas laikiklis (7) ir švytuoklė pradeda svyruoti. Galutinis rezultatas matomas laikmatyje (10).



2.7 pav. Švytuoklės paleidimas: 5 – sukamoji rankenėlė, 6 – švytuoklė, 7 – laikiklis švytuoklei įtvirtinti, 8 – liniuotė, 9 virvė, 10 - laikmatis

Norint gauti tikslesnius rezultatus rekomenduojama kiekvieno bandinio paviršių matuoti bent trijuose skirtinguose taškuose.

Laikantis identiškos metodikos tyrimai atliekami su dangomis, kurių polimerizacijos laikas yra 25 ir 50 min.

2.4. Blizgumo matavimo prietaisas micro-TRI-gloss μ

Paviršiaus dangos blizgumui nustatyti naudojamas elektroninis matavimo prietaisas micro-TRI-gloss μ (2.8 pav). Paviršiaus blizgumą galima nustatyti trimis kampais: 20°, 60°, 85°. Taip pat su šiuo prietaisu galima matuoti paviršiaus dangos sluoksnio storį.



2.8 pav. Blizgumo matavimo prietaisas micro-TRI-gloss μ

Pagrindinės techninės charakteristikos pateikiamos 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė. Blizgumo matavimo prietaiso micro-TRI-gloss μ techninės charakteristikos

Paviršiaus blizgumas		
Konfiguracija	Pritaikymas	Matavimo plotas
20°	Aukštas blizgesio lygis	10 x 10 mm
60°	Vidutinis blizgesio lygis	9 x 15 mm
85°	Žemas blizgesio lygis	5 x 38 mm
Matavimo diapazonas	0 – 100 GU	100 – 2000 GU
Dangos sluoksnio storis		
Medžiaga	Fe: magnetinė NFe: nemagnetinė	
Matavimo diapazonas	0 – 500 μ m	
Tikslumas	\pm (1,5 μ m + 2 % matavimo vertės)	
Matmenys	155 x 73 x 48 mm	
Masė	0,4 kg	

Darbo eiga: paviršiaus blizgumas matuojamas naudojantis standartu LST EN ISO 2813:2002 „Lakai ir dažai. Blizgesio nustatymas 20°, 60° ir 85° kampu.

Blizgumo tyrimui parenkami bandiniai, kuriu matmenys 150 x 50 x 2 mm. Bandiniai buvo paruošti skirtingais būdais: cheminiu valymu, smėliasraučiu valymu, naudojant abrazyvinį šveitimo popierių, šratų srautu. Visi bandiniai padengti polimerine milteline danga. Tyrimo tikslas – ištirti paruošimo ir polimerizacijos įtaką paviršinės dangos blizgumui.

Matavimo procesas parodytas 2.9 pav. Paruoštas bandinys (1) padedamas ant tvirto pagrindo. Blizgumo matavimo prietaisas (2) uždedamas ant bandinio paviršiaus. Prietaisas ekrane (3) automatiškai parodo paviršiaus blizgumą 60° ir 85° kampu

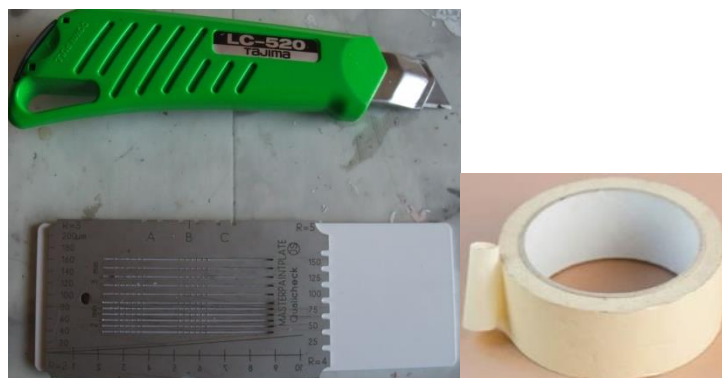


2.9 pav. Blizgumo matavimo prietaisas: a) vaizdas iš viršaus: 1 – bandinys, 2 – matavimo prietaisas, 3 – duomenų ekranas; b) vaizdas iš šono: 4 – „operate“ mygtukas

Vieno bandinio paviršiaus blizgumas matuojamas keturiuose skirtinguose taškuose. Kiekvieną kartą perdėjus matuoklį, reikia paspausti „operate“ mygtuką (4) ir tada parodomi nauji duomenys. Taikant analogišką darbo eigą toliau tiriami kiti paruošti bandiniai.

2.5. Adhezijos tyrimo tinklelinių įpjovų būdu įrankiai

Adhezijos tinkleliniu įpjovų būdu reikalingi trys įrankiai (2.10 pav.).



2.10 pav. Adhezijos įrankiai: peilis, brėžimo plokštelė, lipni juostelė.

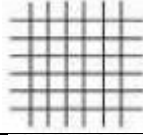
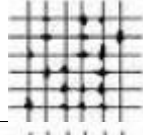
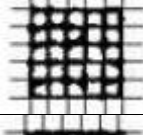
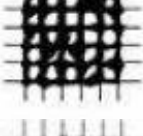
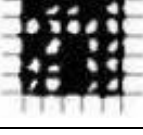
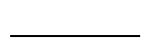
Taikant šį metodą galima tirti paviršius, kurių dangos storis neviršija 250 µm. Tarpelius tarp įpjovimo linijų lemia dangos storis. Tarpelių ir dangos storio duomenys pateikti 2.4 lentelėje.

2.4 lentelė. Įpjovų tarpelių priklausomybė nuo dangos paviršiaus storio.

Dangos storis, µm	Tarpelis tarp įpjovų, mm
< 60 µm	1 mm, kietoms medžiagoms (pvz., metalas ir plastikas)
< 60 µm	2 mm, minkštoms medžiagoms (pvz., medis ir dažai)
61 < x < 120 µm	2 mm, kietoms ir minkštoms medžiagoms
121 < x < 250 µm	3 mm, kietoms ir minkštoms medžiagoms

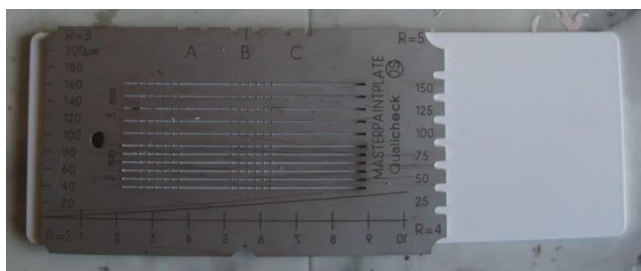
Adhezija klasifikacija pateikta 2.5 lentelėje. Remiantis šia lentele pažymima, kad nulinė klasifikacija – geriausia, o penkta – blogiausia.

2.5 lentelė. Adhezijos tinklelinių įpjovų gautų paviršių dangų klasifikacija

Klasifikacija	Pašalintas plotas procentais	Paviršiaus kryžminio pjūvio plotas, kuriame įvyko dažų atskilimas dėl lygiagrečių pjūvių ir sukibimo ribos
0	0 %	
1	<5 %	
2	5-15 %	
3	15-35 %	
4	35-65 %	
5	>65%	

Darbo eiga: tyrimui naudojami bandiniai, kurių matmenys 150 x 50 x 2 mm. Naudojami penkių skirtingų paruošimų bandiniai, kurių dangos storiai yra: be paruošimo 53 µm, po smėliavimo – 64 µm, naudojant abrazyvinį šveitimo popierių (grūdėtumas P100) – 67 µm, po cheminio valymo – 81 µm. Visais atvejais, remiantis 2.5 lentele, parenkami 2 mm tarpeliai tarp įpjovų.

Bandomoji plokštelė padedama ant tvirto paviršiaus. Įpjovų lentelė padedama ant bandinio (2.11 pav.) ir padaromi kryžminiai pjūviai.



2.11 pav. Įpjovų plokštelės vaizdas ant bandinio paviršiaus

Lipni juostelė stipriai priklijuojama kryžminių įpjovų plote (2.12 pav.). Tada staigiu judesiu juostelė atplėšiama nuo paviršiaus. Remiantis vaizdu po atplėšimo ir pateiktu lentelėje, nustatoma adhezijos klasifikacija. Šiuo atveju parenkama 0 klasifikacija, kuri yra geriausia.



2.12 pav. Adhezijos klasifikacijos nustatymas: a) – lipnios juostelės klijavimas kryžminių įpjovų plote, b) – galutinis vaizdas po bandymo

Analogiški žingsniai kartojami su kitais bandiniais.

2.6. Sukibimo stiprio matavimo prietaisas P.A.T. GM 01

Adhezijos bandymui atplėšiant naudojamas sukibimo stiprio matavimo prietaisas P.A.T. GM 01 (2.13 pav.). Maksimali atplėšimo jėga – 20 MPa, bendras svoris – 8 kg.



2.13 pav. Sukibimo stiprio matavimo prietaisas P.A.T. GM 01

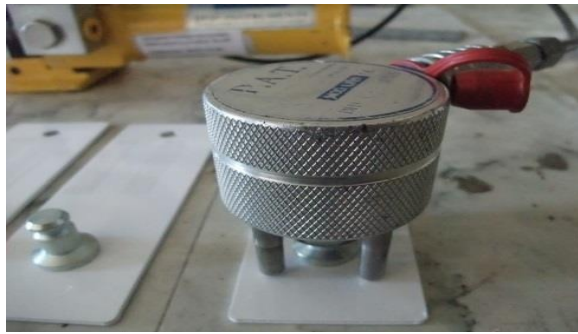
Darbo eiga: adhezijos bandymas atplėšiant vykdomas laikantis LST EN ISO 4624:2003 standarto. Šiam bandymui naudojami bandiniai, kurių matmenys 150 x 50 x 2 mm. Visi bandiniai padengti polimerine miltelinio dažymo danga. Prieš dažymą šių bandinių paviršiaus paruošimui buvo naudojami skirtingi būdai: cheminis valymas, smėliasrautis valymas, valymas kampuotos formos šratų srove, apdirbimas abrazyviniu šveitimo popieriumi bei vienas bandinys paimtas be jokio paruošimo.

Pirmiausia ant visų bandinių paviršių priklijuojami laikikliai (2.14 pav.). Klįjai tarp laikiklio ir bandinio paviršiaus kietėja vieną valandą.



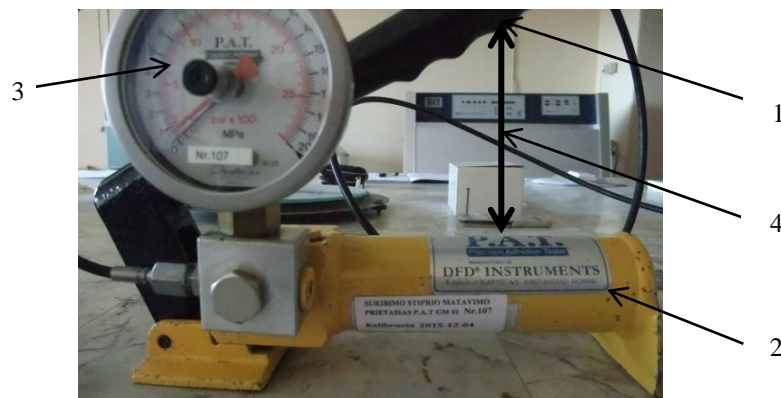
2.14 pav. Priklijuoti laikikliai

Kai laikikliai tvirtai prilimpa, ant jų uždedama pavara (2.15 pav.).



2.15 pav. Pavaros uždėjimas

Paskutinis tyrimo žingsnis – laikiklio atplėšimas nuo bandinio paviršiaus (2.16 pav.). Hidraulinės pompos rankena (1) pakeliama į maksimalų aukštį, po to nuleidžiama iki korpuso (2). Laikantis tos pačios trajektorijos (4) šie judesiai kartojami iki laikiklio atplėšimo nuo padengto paviršiaus. Atplėšimo jėga užfiksuojama manometro (3) parodymuose. Taikant analogišką darbo eigą toliau tiriami kiti paruošti bandiniai.



2.16 pav. Sukibimo stiprio matuoklis: 1 – hidraulinės pompos rankena, 2 – korpusas, 3 – manometras, 4 – hidraulinės pompos judesio kryptis

3. TYRIMO REZULTATAI

3.1. Paviršiaus šiurkštumas

Paviršiaus šiurkštumas buvo matuojamas dvejose skirtingose vietose, o galutinis rezultatas – šių matavimų vidurkis. Atliekami dviejų tipų matavimai: išilginis ir skersinis paviršiaus šiurkštumo nustatymas. Gauti rezultatai pateikiami 3.1 – 3.5 lentelėse.

3.1 lentelė. Nevalyto paviršiaus šiurkštumo rezultatai

Matavimo kryptis	Matavimo parametras, μm		
	Ra	Rz	Rt
Išilginis matavimas	1,288	5,953	9,121
Skersinis matavimas	1,296	6,199	9,375

3.2 lentelė. Paviršiaus šiurkštumo rezultatai po nuvalymo abrazyviniu šveitimo popieriumi

Matavimo kryptis	Matavimo parametras, μm		
	Ra	Rz	Rt
Išilginis matavimas	1,091	4,722	7,792
Skersinis matavimas	1,186	4,667	7,851

3.3 lentelė. Paviršiaus šiurkštumo rezultatai po cheminio paviršiaus valymo

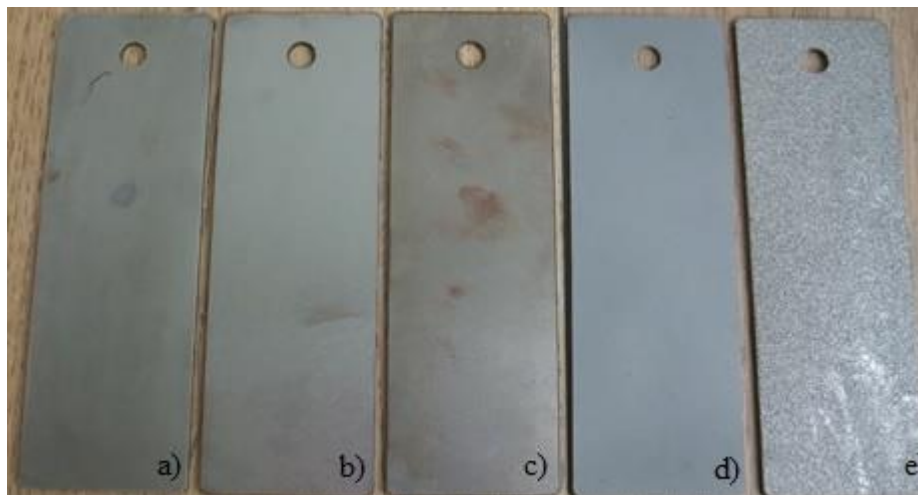
Matavimo kryptis	Matavimo parametras, μm		
	Ra	Rz	Rt
Išilginis matavimas	1,159	7,277	10,52
Skersinis matavimas	1,136	5,265	6,265

3.4 lentelė. Paviršiaus šiurkštumo rezultatai po smėliasraučio valymo

Matavimo kryptis	Matavimo parametras, μm		
	Ra	Rz	Rt
Išilginis matavimas	3,845	18,45	25,42
Skersinis matavimas	3,8	19,62	26,34

Paviršiaus, kuris apdirbtas kampuotos formos plieniniais šratais, pamatuoti nepavyko dėl didelio šiurkštumo, kuris viršija matavimo prietaiso maksimalias ribas. Apžiūrint vizualiai, galima

teigti, kad jis mažiausiai keturis kartus šiurkštesnis už paviršių, kuris apdirbtas smėliasraučiu valymu.



3.1 pav. Šiurkštumo matavimo paviršiai: a – nuvalytas abrazyviniu šveitimo popieriumi, b – nuvalytas cheminiu būdu, c – be paruošimo, d – paruoštas smėliasraučiu valymu, e – paruoštas kampuotos formos šratų srove.

Įvertinant pagrindinį šiurkštumo matavimo parametą R_a , paruošimo būdus pagal šiurkštumą galima paskirstyti tokia eilės tvarka: naudojant abrazyvinį šveitimo popierių, cheminis valymas, neparuošiant paviršiaus, smėliasrautis valymas, valymas kampuotos formos plieniniais šratais.

Taip pat remiantis skirtingais išilginio ir skersinio paviršiaus rezultatais, galima nustatyti kokia kryptimi buvo atliekamas paruošimas. Šiurkštumas mažesnis ta kryptimi, kuria apdirbamas paviršius. Naudojant abrazyvinį šveitimo popierių buvo atliekami išilginiai paviršiaus paruošimo judesiai, cheminiu valymu – skersiniai, o smėliasraučiu valymu krypties pasakyti negalima, nes matavimai beveik sutampa.

3.2. Adhezija tinklelinių įpjovų metodu

Polimerinių dangų adhezija – substrato, ant kurio yra ši plėvelė ir polimerinės plėvelės sukibimas [26]. Tai viena iš svarbiausių polimerinių dangų savybių, nuo kurios priklauso apsauginės ir antikorozinės savybės bei ilgaamžiškumas.

Adheziją galima skirstyti į tikrąją arba mechaninę adheziją. Tikroji adhezija – medžiagų sukibimas dėl Coulomb sąveikos ir cheminio ryšio, o mechaninė adhezija – dėl adhezyvo įsigėrimo

į substrato ertmes. Šio tyrimo tikslas – įvertinti skirtingų paviršiaus paruošimo būdų įtaką adhezijai. Gauti tyrimo rezultatai pateikti 3.5 lentelėje.

3.5 lentelė. Adhezijos įvertinimas naudojant skirtingus paruošimo būdus

	Paviršiaus paruošimo būdas				
	Be paruošimo	Cheminis valymas	Valymas su abrazyviniu šveitimo popieriumi	Smėliasrautis valymas	Valymas kampuotos formos šratų srove
Vertinimo kriterijus	0	0	0	0	0

Gauti rezultatai rodo, kad tiriant polimerinių dangų adheziją tinklelinių įpjovų metodu skirtingi paviršiaus paruošimo būdai įtakos neturi. Visi tyrimo rezultatai pagal standartą LST EN ISO 2409:2013 įvertinami 0 kriterijumi, kuris laikomas geriausiu.

Adhezijos tinklelinių įpjovų būdu polimerinės dangos paviršių vaizdai parodyti 3.2 pav.



3.2 pav. Adhezijos tinklelinių įpjovų būdu galutiniai vaizdai

3.3. Sukibimo stiprio matavimas

Sukibimo stiprio duomenys pateikti 3.6 lentelėje. Geriausias sukibimas pasiekiamas paviršius valant cheminiu būdu.

3.6 lentelė. Bandinio paviršiaus ir polimerinės dangos sukibimo stipris

	Be paruošimo	Cheminis valymas	Naudojant abrazyvinį šveitimo popierių	Smėliasrautis valymas	Srautinis valymas sferinės formos šratais
Sukibimo stipris, MPa	1	5,2	1	1,6	1

Polimerinės dangos vaizdas po sukibimo stiprio matavimo parodytas 3.3 pav. Prie kiekvieno bandinio šalia laikiklio vietos parašyta atplėšimo jėga.

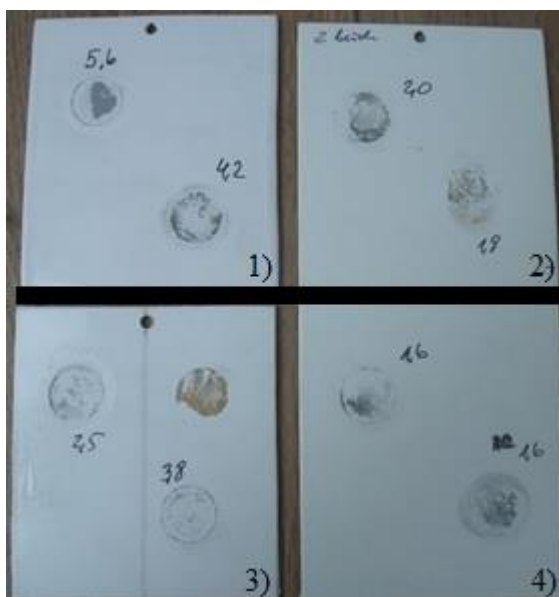


3.3 pav. Sukibimo stiprio matavimo galutinis vaizdas

Įvertinant rezultatus pastebėta, kad beveik visų paruošimo būdų atplėšimo jėga beveik vienoda. Galima išskirti tik paviršių valymą cheminiu būdu, todėl nuspręsta padaryti papildomus sukibimo stiprio tyrimus. Papildomo tyrimo plokštelių vaizdas parodytas 3.4 pav.

Bandinys nr. 1 paruoštas smėliasraučiu valymu, padengtas dviejų sluoksnių 260 μm polimerine danga. Vidutinis dviejų matavimų sukibimo stipris – 4,9 MPa. Bandinių nr. 2 ir nr. 4 paviršiai nuvalyti smėliasraučiu valymu. Prieš dengiant polimerine danga bandinys nr. 2 papildomai nuvalytas cheminiu būdu, o nuo bandinio nr. 4 paviršius dulkes nuvalomos tik suspausto oro srove. Abiejų paviršių dangos storis – 90 μm .

Lyginant šiuos du paviršius, galima pastebėti, kad cheminis valymas pagerina paviršiaus ir dangos sukibimą. Bandinio nr. 3 paviršius neapdirbtas ir padengtas polimerine milteline danga, kurios storis – 90 μm . Atlikti du matavimai, kurių vidutinis sukibimo stipris – 3,15 MPa.



3.4 pav. Papildomo sukibimo stiprio tyrimo rezultatų vaizdas

Atlikus šiuos du tyrimus galima teigti, kad paviršiaus šiurkštumas neturi įtakos dangos sukibimo stipriui. Geriausias sukibimas gaunamas esant didesniam dangos storiui. Taip pat paviršius rekomenduojama padengti konversinėmis dangomis.

3.4. Paviršiaus blizgumas

Paviršiaus blizgumo nustatymui buvo panaudoti skirtingi paruošimo būdai. Gamintojas nurodo, kad gautos dangos blizgumas 60° kampu yra 80 ± 5 GU (blizgumo vienetų). Skirtingų paruošimo būdų paviršiaus blizgumo rezultatai pateikti 3.7 – 3.14 lentelėse.

3.7 lentelė. Paviršiaus blizgumas, kai polimerizacijos laikas 10 min.

Blizgumo matavimo kampas	Matuojamo paviršiaus eilės taško blizgumas, GU				Vidutinė matavimų reikšmė, GU
	1	2	3	4	
60°	83,7	81,8	82,1	83,3	82,3
85°	67,4	84,9	76,7	85,8	78,7

Remiantis 3.7 lentele pastebima, kad trumpesniu polimerizacijos laiku vidutinė blizgumo matavimų reikšmė atitinka gamintojo intervalus. Galima teigti, kad trumpesnis polimerizacijos laikas įtakos blizgumui neturi.

Paviršiaus blizgumo, kai polimerizacijos laikai ilgesni 25 ir 35 min., rezultatai pateikti 3.8 ir 3.9 lentelėse.

3.8 lentelė. Dangos blizgumas, kai polimerizacijos laikas 25 min.

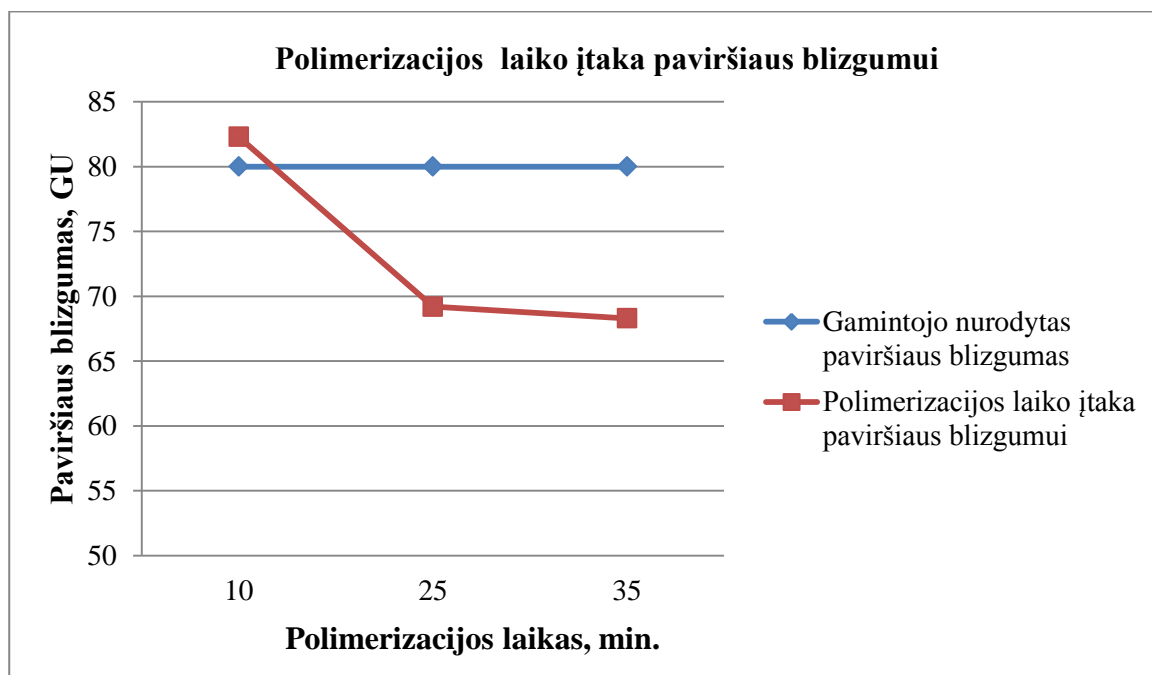
Blizgumo matavimo kampas	Matuojamo paviršiaus eilės taško blizgumas, GU				Vidutinė matavimų reikšmė, GU
	1	2	3	4	
60°	70,9	69,1	67,8	68,9	69,2
85°	91,9	84,1	81,1	81,7	84,5

3.9 lentelė. Dangos blizgumas, kai polimerizacijos laikas 35 min.

Blizgumo matavimo kampas	Matuojamo paviršiaus eilės taško blizgumas, GU				Vidutinė matavimų reikšmė, GU
	1	2	3	4	
60°	81,9	60,8	75,7	54,8	68,3
85°	94,5	74	90,9	51,9	77,8

Remiantis šiais duomenimis pastebima, kad esant ilgesniam polimerizacijos laikui paviršiaus blizgumas mažėja.

Bendri polimerizacijos laiko rezultatai pateikti 3.5 pav.



3.5 pav. Polimerizacijos laiko įtaka paviršiaus blizgumui

Paviršiaus paruošimui naudojant abrazyvinį šveitimo popierių gauti rezultatai (3.10 lentelė) atitinka paviršiaus blizgumas normas.

3.10 lentelė. Dangos blizgumo rezultatai po paviršiaus paruošimo abrazyviniu šveitimo popieriumi

Blizgumo matavimo kampas	Matuojamo paviršiaus eilės taško blizgumas, GU				Vidutinė matavimų reikšmė, GU
	1	2	3	4	
60°	80,4	81,6	81,5	80,1	81,5
85°	97,4	80	90,6	98	91,5

Bandinio paviršių paruošiant cheminiu būdu gaunamas paviršiaus blizgumas (3.11 lentelė) nesiekia 80 GU, bet dar atitinka paviršiaus blizgumo normas.

3.11 lentelė. Dangos blizgumo rezultatai paviršius paruošiant cheminiu būdu

Blizgumo matavimo kampas	Matuojamo paviršiaus eilės taško blizgumas, GU				Vidutinė matavimų reikšmė, GU
	1	2	3	4	
60°	81,1	80,3	81,2	81,4	81
85°	65,5	94,5	96,9	86,2	85,8

Remiantis 3.12 lentele pastebima, kad neparuoštų paviršių blizgumas taip pat atitinka gamintojo normas.

3.12 lentelė. Dangos blizgumo rezultatai be paruošimo

Blizgumo matavimo kampas	Matuojamo paviršiaus eilės taško blizgumas, GU				Vidutinė matavimų reikšmė, GU
	1	2	3	4	
60°	88,1	79,9	88,8	82	84,7
85°	80,6	98,3	82,1	98,7	89,9

3.13 lentelėje pateikti duomenys po smėliasraučio paviršiaus paruošimo. Gauti paviršiaus blizgumo rezultatai atitinka normas.

3.13 lentelė. Dangos blizgumo rezultatai po smėliasraučio paviršiaus valymo

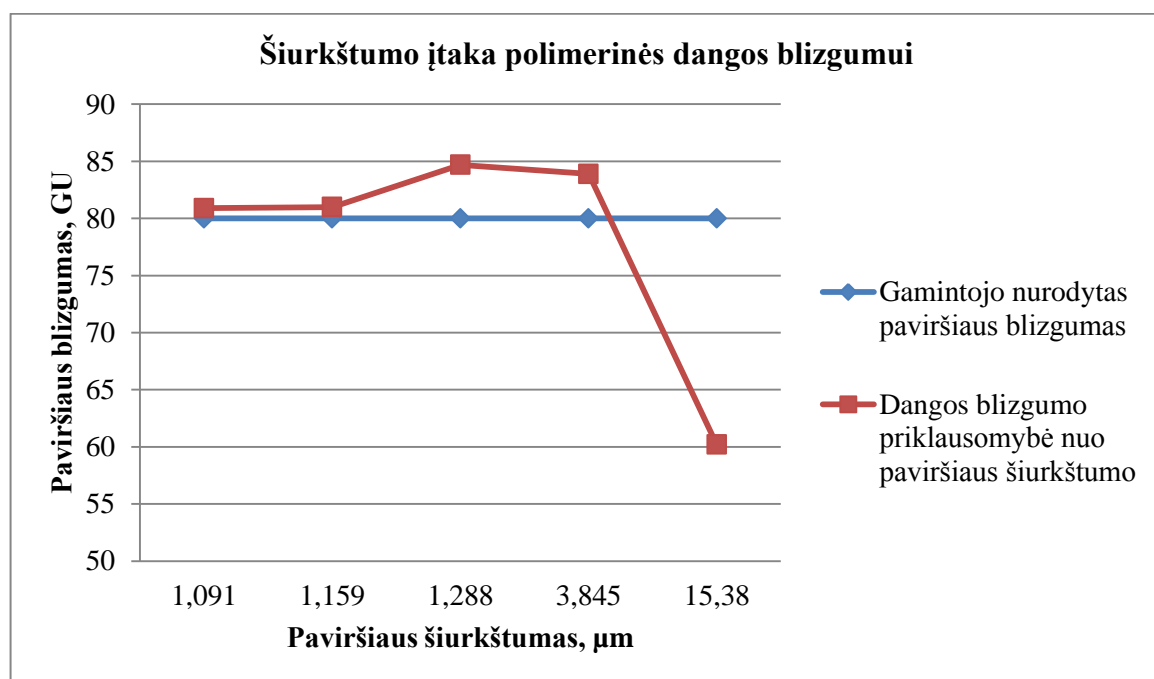
Blizgumo matavimo kampas	Matuojamo paviršiaus eilės taško blizgumas, GU				Vidutinė matavimų reikšmė, GU
	1	2	3	4	
60°	87,4	74,7	85,8	87,7	83,9
85°	91,9	66,1	82,1	94,5	83,7

Paviršiaus paruošimo naudojant šratų srautinį valymą rezultatai pateikti 3.14 lentelėje. Šis paruošimo būdas labai stipriai sumažina paviršiaus blizgumą. Nuokrypis siekia 20 GU.

3.14 lentelė. Dangos blizgumo rezultatai po sferinės formos šratų srautinio valymo

Blizgumo matavimo kampas	Matuojamo paviršiaus eilės taško blizgumas, GU				Vidutinė matavimų reikšmė, GU
	1	2	3	4	
60°	63	50,6	64,3	62,8	60,2
85°	68,8	42,5	73,3	74,9	64,9

Remiantis 3.6 pav. pastebima, kad paviršiaus blizgumas didėja, kai šiurkštumas kinta nuo 1,091 iki 1,288 μm . Vėliau, didėjant šiurkštumui, blizgumas pradeda mažėti, o blogiausi rezultatai matomi esant 15,38 μm šiurkštumui.

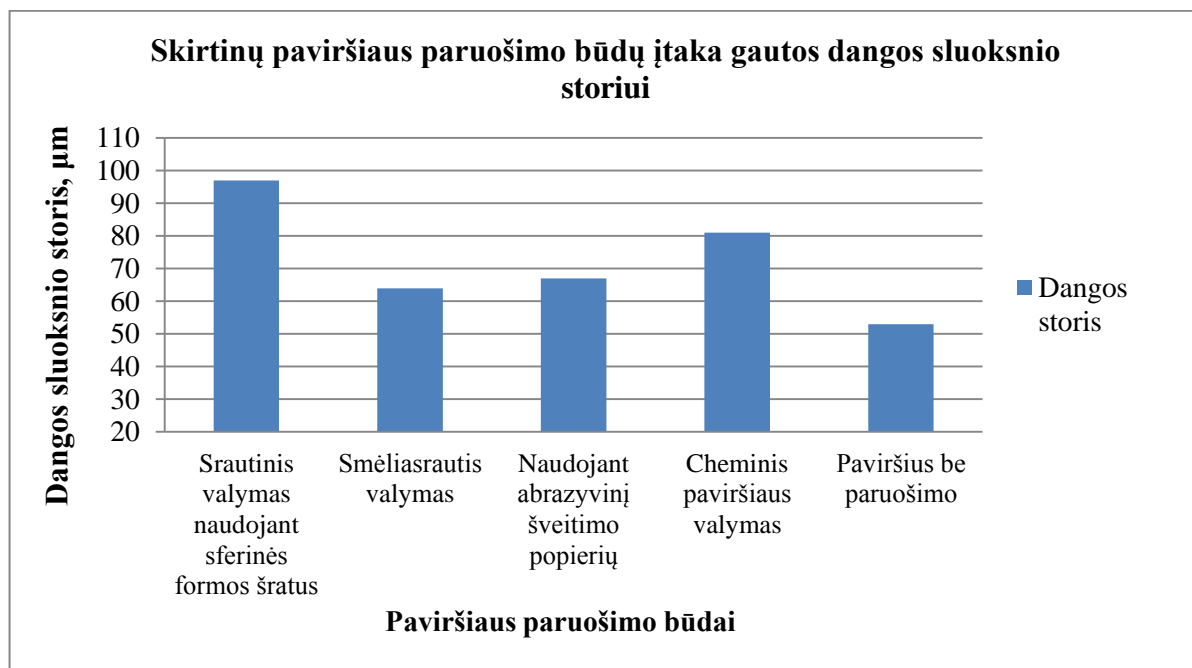


3.6 pav. Šiurkštumo įtaka polimerinės dangos blizgumui

Atlikus tyrimą paaiškėjo, kad dangos blizgumui įtaką daro polimerizacijos laikas ir paviršiaus šiurkštumas. Ilgesnis nei rekomenduojamas polimerizacijos mažina paviršiaus blizgumą. Geriausias blizgumas pasiekiamas kai paviršiaus šiurkštumas yra 1,288 μm , o blogiausias – 15,38. Paviršiaus šiurkštumui didėjant nuo 1,091 iki 1,288 μm blizgumas taip pat didėja, bet vėliau

paviršiaus šiurkštumui didėjant nuo 1,288 iki 15,38 blizgumas mažėja. Polimerinės dangos storis neturi įtakos paviršiaus blizgumui.

Bandinių paviršių paruošimui buvo naudojami skirtingi būdai. Visi bandiniai buvo dažomi rankiniu elektrostatiu dažymo būdu naudojant tą pačią programą. Prieš blizgumo tyrimą nustatinėjant dangos sluoksnio storį pastebėta, kad kai dažoma vienodomis sąlygomis paviršiaus paruošimas taip pat turi įtakos galutiniam dangos storiui. Gauti rezultatai matomi 3.7 pav.



3.7 pav. Skirtingų paviršiaus paruošimo būdų įtaka gautos dangos sluoksnio storiui

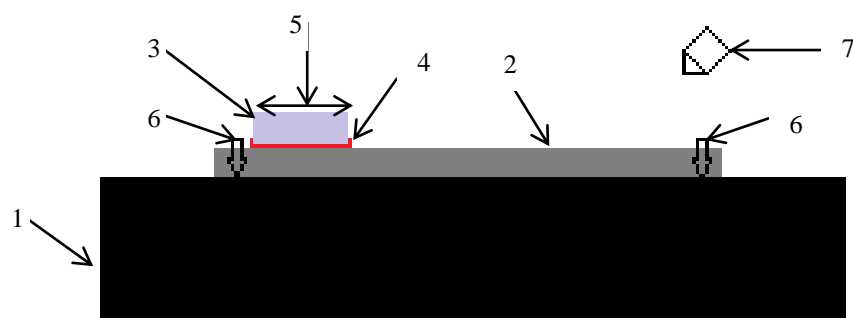
3.5. Paviršiaus kietumas

Remiantis tyrimo rezultatais, kurie pateikti 3.15 lentelėje, pastebima, kad paviršinės dangos kietumas yra prastesnis tiek sumažinus, tiek padidinus polimerizacijos laiką. Todėl rekomenduojama laikytis gamintojo nustatyto laiko ir siekiant gauti maksimalų dangos kietumą.

3.15 lentelė. Paviršiaus kietumo priklausomybė nuo polimerizacijos laiko

Polimerizacijos laikas, min.	Dangos kietumas, s
Gamintojo rekomenduojamas, 15	186
Trumpesnis, 10	151
Ilgesnis, 25	170
Ilgesnis, 35	158

3.6. Bandymai atsparumo dilimui



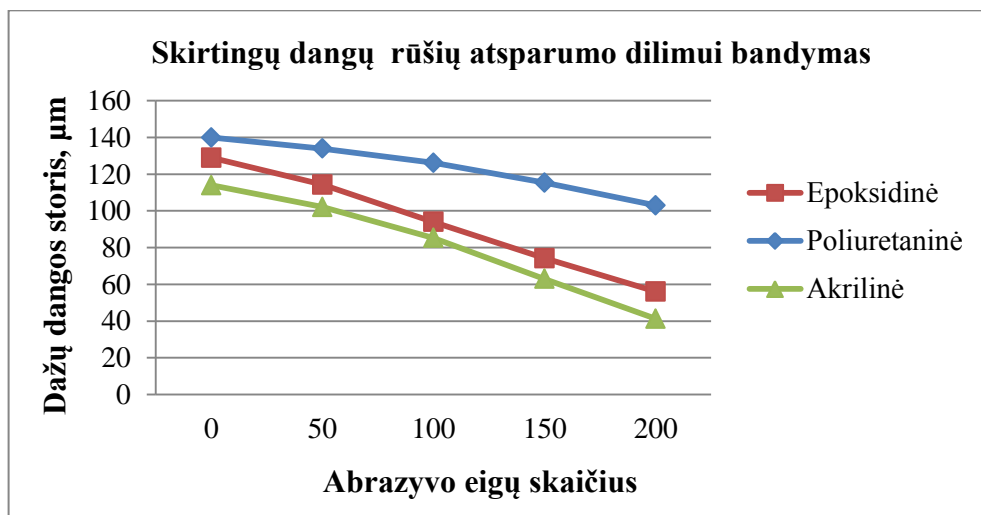
3.8 pav. Aiškinamoji atsparumo dilimui schema: 1 – pagrindas, 2 – bandomoji plokštelė, 3 – 0,5 kg masės kaladėlė, 4 – šlifavimo popierius (grūdėtumas P100), 5 – išilginės kaladėlės judėjimo kryptys, 6 – plokštelės tvirtinimo prie pagrindo varžtai, 7 – suspausto oro pūtimo antgalis

Pirmasis bandymas. Skystų dažų trinties bandymas (3.8 pav.). Eksperimento metu buvo panaudoti poliuretaninių ir akrilinių dervų dažai bei epoksidinis gruntas. Tyrimo tikslas – nustatyti skirtingų skystų dažų rūšių trinties atsparumą paviršių veikiant vienodomis sąlygomis. Atsparumas abrazyviniam dilimui mažai priklauso nuo slydimo greičio, o mažėja proporcingai didinant spaudimą, parenkamas panašus bandymas abrazyvui slystant nudažytu detalės paviršiumi (3.8 pav.). Dilinamasis bandinys (2) varžtais (6) pritvirtinamas prie pagrindo (1). Jį spaudžia 0,3 kg kaladėlė (3), prie kurios pritvirtintas šlifavimo popierius (grūdėtumas P100). Kaladėlė traukiama bandinio paviršiumi nuo vieno pritvirtinimo iki kito. Vėliau, kas 50 abrazyvo slenkamųjų judesių šveitimo procesas sustabdomas. Nuvaloma detalė, išmatuojamas gautas dangos storis po šveitimo. Dangos storis matuojamas trijose plokštelės vietose, t.y. šalia abiejų pritvirtinimo varžtų bei bandinio viduryje, ir nustatomas vidurkis. Taip pat kiekvieną kartą panaudota šveitimo kempinėle pakeičiama nauja. Viso bandymo metu į dilinamąjį paviršių nukreiptas suspausto oro antgalis (7), kuriuo nupučiamos dilimo metu atskilusios dažų dalelės siekiant gauti kuo švaresnį paviršių ir tikslesnius rezultatus. Gauti rezultatai pateikiami 3.16 lentelė.

3.16 lentelė. Skystų dažų dangos storio pokytis po abrazyvinio dilimo

Dangos rūšis	Pradinis storis, μm	Dangos sluoksnio sumažėjimas po abrazyvo eigių skaičius, μm				Dangos storio sumažėjimas, μm
		50	100	150	200	
Epoksidinė	129	114,3	92	74,2	56,1	72,9
Poliuretaninė	140	134	126,2	115,4	103	37
Akrilinė	114	104,1	92	63	41,3	72,7

Remiantis pirmojo eksperimento duomenimis, bandomųjų epoksidinių, poliuretaninių ir akrilinių dangų geriausią trinties atsparumą turi poliuretaninės dangos dažai. Dangos storis eksperimento metu sumažėjo 37 μm . Mažesnę trinties atsparumą turi akrilinės ir epoksidinės dangos.



3.9 pav. Skirtingų skystų dažų rūšių atsparumo dilimui rezultatai

Antrasis bandymas. Tyrimo tikslas – įvertinti skirtingų kategorijų miltelinių dengimo medžiagų įtaką dilimo procese. Skystų dažų dangos pakeičiamos milteline danga. Taikoma pirmo eksperimento metodika. Bandymui parenkami epoksidinės ir poliesterinės miltelinės dengimo medžiagos. Gauti rezultatai pateikti 3.17 lentelėje.

3.17 lentelė. Poliesterinės ir epoksidinės miltelinės dangos atsparumas dilimui

Miltelinės dangos kategorija	Pradinis storis μm	Dangos sluoksnio sumažėjimas po abrazyvo eigu skaičius, μm				Dangos storio sumažėjimas, μm
		50	100	150	200	
Poliesterinė	63	60,6	57,7	54,5	50,2	12,2
Epoksidinė	64	61,2	57,5	54,6	51,6	12,4

3.17 lentelės rezultatai rodo, kad tiek polimerinės, tiek epoksidinės miltelinės dangos yra beveik vienodai atsparios dilimui. Nedidelį skirtumą gali lemti atsitiktinės paklaidos.

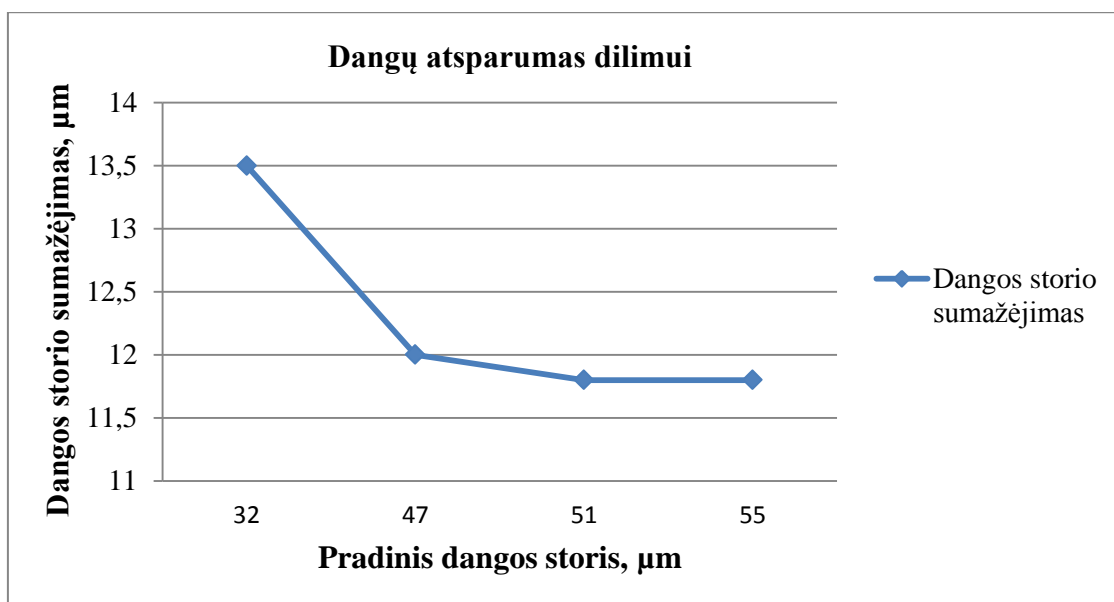
Lyginant pirmojo ir antrojo bandymo rezultatus, matoma, kad miltelinės dangos beveik 3 kartus atsparesnės už poliuretanines skystų dažų dangas ir beveik 6 kartus atsparesnės už epoksidinių ir akrilinių skystų dažų dangas.

Trečiasis bandymas. Tyrimo tikslas – nustatyti miltelinių dažų atsparumą dilimui. Naudojama tokia pat eksperimento metodika kaip ir pirmame bandyme. Skiriasi tik bandinio dangos rūšis. Skystų dažų dangos pakeičiamos į miltelinio dengimo medžiagos dangą. Stebima miltelinės dangos sluoksnio pasikeitimas dilimo metu. Rezultatai pateikti 3.18 lentelėje.

3.18 lentelė. Miltelinės dengimo medžiagos dangos storio pokytis

Dangos sluoksnių kiekis	Pradinis storis, μm	Dangos sluoksnio sumažėjimas po abrazyvo eigų skaičius, μm				Dangos storio sumažėjimas, μm
		50	100	150	200	
Vienas sluoksnis	32	29	26	22,6	18,5	13,5
Du sluoksniai	47	45	42,6	39,3	35	12
Trys sluoksniai	51	49	46	42,7	39,1	11,8
Keturi sluoksniai	55	53,1	50,4	47,2	44,5	11,8

Remiantis 3.18 lentele, kai dangos storis mažiausias, atsparumas dilimui taip pat yra mažiausias. Po 200 abrazyvo eigos kartų dangos sluoksnis sumažėja 13,5 μm . Kai dangos storis 47 – 55 μm dangos pokyčio skirtumas labai mažas, o jį gali lemti atsitiktinės paklaidos (3.10 pav.).



3.10 pav. Miltelinės dengimo medžiagos sluoksnio storio įtaka trinties savybėms

Ketvirtasis bandymas. Bandymo tikslas – nustatyti ilgesnio kaitinimo režimo laiko įtaką miltelinės poliesterinės dengimo medžiagos atsparumą dilimui. Dažų gamintojų rekomenduojamas

kaitinimo laikas, esantis 180 °C temperatūroje, yra 15 min. Eksperimento metu laikas buvo prailgintas 20 ir 35 min., o gauti rezultatai pateikti 3.19 lentelėje.

3.19 lentelė. Ilgesnio polimerizacijos laiko įtaka miltelinių dengimo medžiagų dilimo atsparumui

Polimerizacijos laikas, min.	Pradinis storis, μm	Dangos sluoksnio sumažėjimas po abrazyvo eigių skaičius, μm				Dangos sluoksnio sumažėjimas, μm
		50	100	150	200	
15	76	73	70	67	64	12
35	78	74	69	64	61	17
50	76	71	66	61	55	21

Gauti rezultatai rodo, kad prailginus laiką ir gaminius perlaikius krosnyje mažėja jų dangos atsparumas dilimui.

Penktasis bandymas. Visos detalės, dažomos elektrostatiniu būdu, turi būti pakabintos ant kabliukų. Kabliukai ne tik laiko detales, bet tuo pačiu yra jungtis tarp dažomosios detalės ir įžeminto pagrindo. Polimerinės dangos dažnai naudojamos gaminant elektros izoliacines medžiagas, rites, įvairius laidus bei kitus elektroninius gaminius. Elektrinių savybių yra daug, tačiau šiame tyrime nagrinėjama viena svarbiausių – elektrinis laidumas.

Dažant detales nusidažo ir kabliukai. Taupant medžiagas tie patys kabliukai dažnai panaudojami ir sekančiame dažyme. Šiame bandyme tiriama, kokią įtaką dėl pasikeitusių dielektrinių savybių miltelinio dažymo procese turi nauji ir panaudoti kabliukai bei dažomosios detalės metalo storis.

Bandymo eiga: 2 mm storio plokštelė pakabinama su jau naudotu kabliuku. Į plokštelę 0,3 m atstumu nukreipiamas dažymo pistoletas, kuris yra laikomas tolygiai, o trukmė nuo dažų paleidimo iki sustabdymo – 5 sekundės. Detalė perkabinama ant transportavimo sistemos. Laikantis tuo pačiu principu, milteline danga padengiama 7 mm storio plokštelė.

Sekančios 2 ir 7 mm storio plokštelės pakabinamos su naujais kabliukais. Naudojami identiški, bandymo pradžioje vykdyti dažymo žingsniai. Vėliau visos nudažytos plokštelės transportuojamos į polimerizacijos krosnį ir kaitinamos 15 min. 180 °C temperatūroje. Po kaitinimo režimo bandiniai yra ištraukiami ir atvėsunami. Vėliau bandinių dangos storiai matuojami mikrometru EXTECH CG204, o gauti duomenys patekti 3.20 lentelėje.

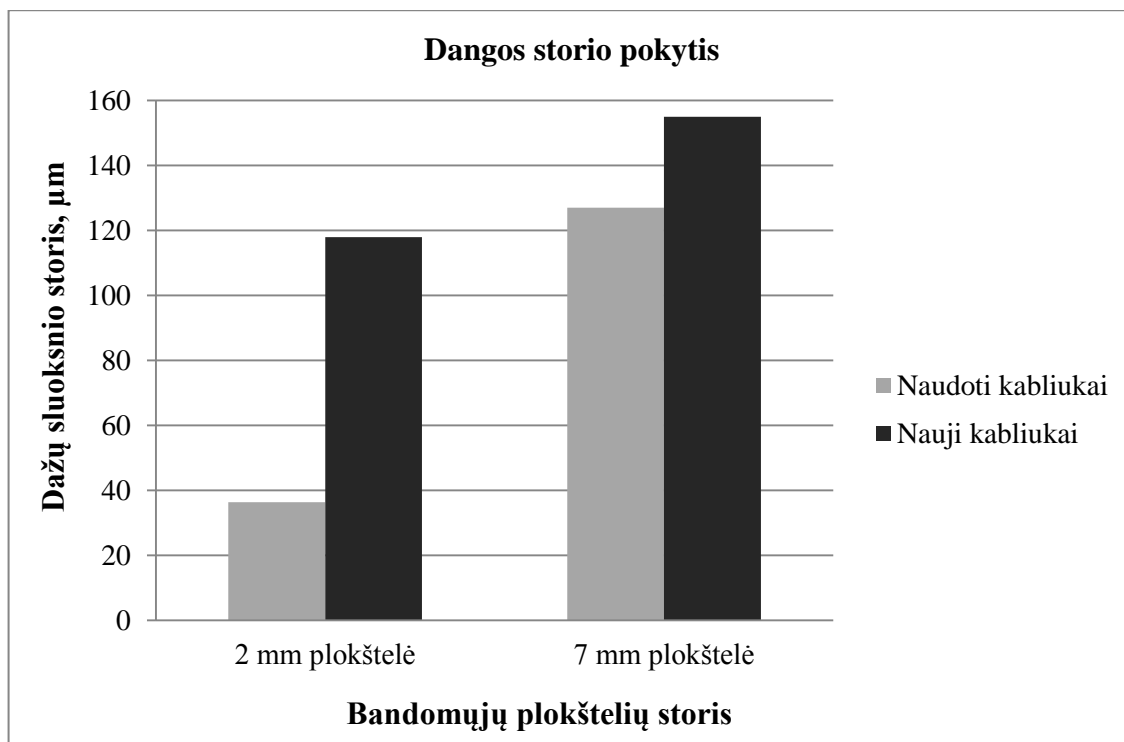
3.20 lentelė. Naudotų ir naujų kabliukų bei metalo storio įtaka miltelinės dangos storiui

Bandinio metalo storis, mm	Dangos storis su panaudotais kabliukais, μm	Dangos storis su naujais kabliukais, μm
2	36	118
7	127	155

Naudojant skirtingą bandomųjų plokštelių storį, buvo siekiama išsiaiškinti ar panaudoti ir nauji kabliukai turi įtakos miltelinės dangos storiui. Pastebėta, jog bandinio, pakabinto su naudotu kabliuku, kurio metalo storis 2 mm, gautos dangos storis yra daugiau nei 3 kartus (3,3 karto) mažesnis nei to paties bandinio storio, pakabinto naudojant naujus kabliukus. Bandinio, kurio metalo storis 7 mm, gautos dangos storis naudojant naujus kabliukus yra tik 28 μm didesnis nei to paties storio bandinio, pakabinto su naudotu kabliuku (3.11 pav.).

Taip pat pastebima, jog naudojant bandinius, kurių metalo storis yra 7 mm, gaunamas didesnis dangos storis nei bandinių, kurių storis – 2 mm. Skirtingo storio bandinių, pakabintų su naudotais kabliukais, skirtumas yra 91 μm , o pakabintų su naujais - 37 μm .

Šiuo atveju didžiausias dangos storis pasiekiamas dažant bandinius, kurių storis 7 mm, pakabintus su naujais kabliukais.



3.11 pav. Dangos storio pokytis naudojant skirtingus kabliukus ir skirtingą bandomųjų plokštelių storį

3.7. Atsparumas cheminėms medžiagoms

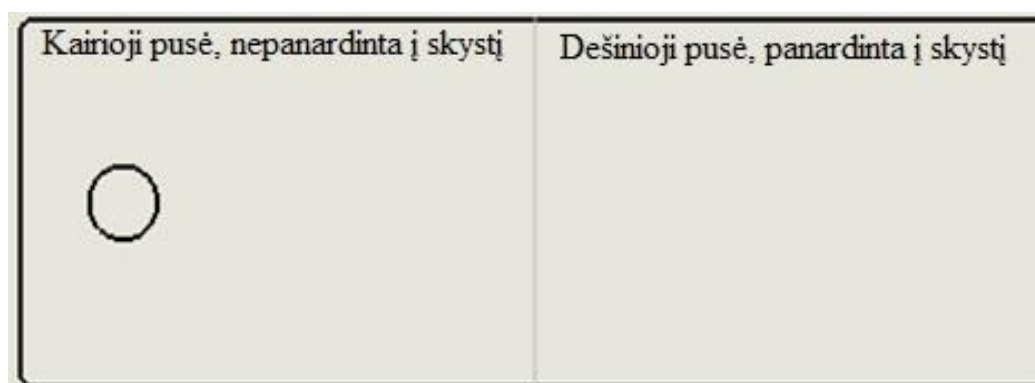
Paviršinės dangos atsparumas cheminėms medžiagoms gali būti nustatomas laikantis standarto LST EN ISO 2812–1:2007 „Atsparumas skysčiams. Panardinimas į skysčius, išskyrus vandenį. Pirmoji dalis“.

Cheminis atsparumas atliekamas su plokštelėmis, kurios padengtos 60 mikronų miltelinių dažų sluoksniu. Visi bandiniai buvo panardinti iki pusės į atskirus sandarius indus su skirtingais skysčiais. Bandiniai buvo laikomi 48 valandas kambario temperatūroje.

Tiriant atsparumą cheminėms medžiagoms buvo pasirinkti šie skysčiai: dyzelinas, benzinas, stabdžių skystis DOT – 4, rūgštinis ratlankių valiklis, aušinimo skystis (iki -35 °C), sintetinis tepalas „Mobil – 3000“ ir dažų skiediklis 646, nitroskiediklis, 7 ir 70 proc. maistinė acto rūgštis, koncentruotas sanitarinis rūgštinis valiklis, skiediklis nefrasas.

Galimas cheminių medžiagų poveikis atliekamas įvertinant spalvos pasikeitimą, dažų puslėjimąsi, dangos atsilupimą ir dangos kietumą.

Po šio tyrimo paaiškėjo, kad polimerines dangas iš eksperimento metu naudotų skysčių paveikė tik skiediklis 646, nitroskiediklis, maistinis 7 ir 70 proc. actas. Vizualaus nustatymo pavyzdys pateiktas 3.12 pav. Lyginti reikėtų pagal plokštelės vidurinę liniją. Ji atskiria panardintą detalės plotą nuo nepanardinto. Kairiojoje pusėje natūralus vaizdas, o dešiniojoje – po ištraukimo iš skysčio.



3.12 pav. Vizualaus palyginimo pavyzdys

Bendri atsparumo cheminėms medžiagoms rezultatai pateikiami 3.21 lentelėje.

3.21 lentelė. Atsparumo cheminėms medžiagoms rezultatai

Bandomasis skystis	Vertinimo kriterijus			
	Spalvos pokytis	Dažų pūslėjimasis	Dangos kietumas	Dangos atsilupimas
Dyzelinas	Nėra	Nėra	Nepakitęs	Nėra
Benzinas	Nėra	Nėra	Nepakitęs	Nėra
Stabdžių skystis „DOT – 4“	Nėra	Nėra	Nepakitęs	Nėra
Rūgštinis ratlankių valiklis	Nėra	Nėra	Nepakitęs	Nėra
Sintetinis tepalas „Mobil – 3000“	Nėra	Nėra	Nepakitęs	Nėra
Dažų skiediklis 646	Matinis	Yra	Sumažėjęs (Nuo 185 iki 32)	Yra
Nitroskiediklis	Matinis	Yra	Sumažėjęs (Nuo 184 iki 45)	Yra
Skiediklis nefrasas	Matinis	Yra	Sumažėjęs (nuo 184 iki 121)	Nėra
7 proc. maistinis actas	Nėra	Nėra	Nepakitęs	Nėra
70 proc. maistinis actas	Nėra	Nėra	Sumažėjęs (nuo 184 iki 86)	Yra
Koncentruotas sanitarinis rūgštinis valiklis	Nėra	Nėra	Nepakitęs	Yra

Šio eksperimento metu nustatyta, kad dyzelinas, benzinas, stabdžių skystis, rūgštinis ratlankių valiklis, sintetinis tepalas ir 7 proc. maistinis actas neturėjo įtakos polimerinės dangos paviršiaus savybėms.

Dažų skiediklis 646 ir nitroskiediklis labiausiai pakenkė dangos savybėms. Paviršius prarado blizgumą, sumažėjo dangos kietumas, atsirado pūslėjimasis bei dangos atsilupimas (3.13 pav.).



3.13 pav. Dangos vaizdas po panardinimo į skiediklį 646

Koncentruoto sanitarinio rūgštinio valiklio poveikis pastebimas ant plokštelės briaunos, nuo kurios atsilupusi polimerinė danga (3.14 pav.).



3.14 pav. Rūgštinio koncentruoto valiklio poveikis polimerinei dangai

Ant plokštelės briaunos, kuri buvo panardinta į 70 proc. maistinę acto rūgštį, pastebimas polimerinės dangos atsilupimas (3.15 pav.). Taip pat ant plokštelės briaunų matomos juodos taškinės dėmės (3.16 pav.). Pradedant jas valyti, juoda spalva pasikeičia į rudą ir galiausiai nusivalo. Galima teigti, kad tai taškinės korozijos židiniai.



3.15 pav. Polimerinės dangos atsilupimas panardinus plokštelę į 70 proc. maistinę acto rūgštį.



3.16 pav. Atsiradusios taškinės dėmės ant plokštelės briaunos po panardinimo į 70 proc. maistinę acto rūgštį.

3.8. Lenkimo bandymai

Lenkimo bandymui buvo parinktos bandinių plokštelių, kurių storis 1 ir 2 mm. Vienu plokštelių dangos storis siekė 60 μm , kitų 120 μm . Paimama po dvi skirtingų metalo ir dangos storio plokštes ir kaitinami skirtingais polimerizacijos laikais: 10, 15 ir 40 min. Lenkimui buvo naudojamos staklės ZRD 3150.

Lenkiant bandinius, kurių metalo storis buvo 1 mm, nepastebėtas joks dangos pasikeitimas. Galima teigti, kad lenkiant 1 mm storio plokštes polimerizacijos laikas ir dangos storis nuo 60 iki 120 μm įtakos neturi.

Lenkiant bandinius, kurių metalo storis 2 mm, rezultatai pateikiami 3.22 – 3.24 lentelėse.

3.22 lentelė. Dangos pokyčio įvertinimas po lenkimo, kai polimerizacijos laikas yra 10 min.

Dangos storis, μm	Lenkimo kampas	
	45 °	90 °
60	Dangos pokyčio nėra	Matomi dangos įtrūkimai
120	Dangos pokyčio nėra	Dangos pokyčio nėra

3.23 lentelė. Dangos pokyčio įvertinimas po lenkimo, kai polimerizacijos laikas yra 15 min.

Dangos storis, μm	Lenkimo kampas	
	45 °	90 °
60	Dangos pokyčio nėra	Matomi dangos įtrūkimai
120	Dangos pokyčio nėra	Matomi dangos įtrūkimai

3.24 lentelė. Dangos pokyčio įvertinimas po lenkimo, kai polimerizacijos laikas yra 40 min.

Dangos storis, μm	Lenkimo kampas	
	45 °	90 °
60	Dangos pokyčio nėra	Matomi dangos įtrūkimai
120	Matomi dangos įtrūkimai	Matomi dangos įtrūkimai

Remiantis šių lentelių duomenimis, pastebima, kad bandinius lenkiant iki 45 ° matomi dangos įtrūkimai, kai polimerizacijos laikas yra 40 min., o dangos storis – 120 μm . Visais kitais atvejais gaunama danga, neturinti jokių pažeidimų.

Bandinius lenkiant iki 90° dangos pažeidimų nėra, kai polimerizacijos laikas 10 min., o dangos storis 120 μm . Visais kitais atvejais pastebimi dangos įtrūkimai.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Adhezijos savybės priklauso nuo dangos storio. Geriausia adhezija pasiekama gaminius paruošiant cheminiu būdu ir dengiant kompleksine danga, kurios storis yra 260 μm .
2. Polimerinės dangos, gautos elektrostatiiniu milteliniu būdu, yra gerokai atsparesnės dilimui (nuo 3 iki 6 kartų) nei skystų dažų dangos.
3. Tyrimo metu polimerinę dangą pažeidė dažų skiediklis 646, nitroskiediklis ir 70 proc. maistinė acto rūgštis, o koncentruotas rūgštinis sanitarinis valiklis, stabdžių skystis, sintetinis tepalas, ratlankių valiklis, benzininis ir dyzelinis kuras nepadarė jokio poveikio. Tad polimerinėmis dangomis galima dengti detales, kurios kontaktuoja su šiomis cheminėmis medžiagomis.
4. Gaminius, kurių metalo storis yra 1 mm, o paviršiaus dangos storis nuo 60 iki 120 μm , galima lenkti iki 90° kampo. Gaminius, kurių metalo storis 2 mm, o paviršiaus dangos storis nuo 60 iki 120 μm , galima lenkti iki 45°, o lenkiant iki 90° kampo polimerinėje dangoje atsiranda įtrūkimai.

Paviršius dengiant elektrostatiiniu milteliniu būdu polimerinių dangų geriausių savybių gavimui įtaką daro įvairūs veiksniai: polimerizacijos laikas, paruošimo būdai, dangos storis ir dažytojo kvalifikacija. Per ilgas polimerizacijos laikas mažina dangos blizgumą, taip pat gaunamas prastesnis atsparumas dilimui bei dangos kietumas. Todėl rekomenduojama laikytis gamintojo nurodyto polimerizacijos laiko. Svarbiausia žinoti tikrąją detalės paviršiaus įkaitinimo temperatūrą nei krosnies nustatymus ar kaitinimo laiką. Automatinis temperatūros registravimo prietaisas padeda tiksliai kontroliuoti krosnies veikimo sąlygas. Matuoja ir padeda išsaugoti daikto ir oro temperatūrą kaitinimo procese.

Taip pat reikia parinkti tinkamą paruošimo būdą. Tinkamas paruošimo būdas užtikrina gerą paviršiaus ir polimerinės dangos sukibimą bei estetinį paviršiaus vaizdą.

Polimerinės dangos efektyviausias savybes pasiekia, kai yra pakankamai storas sluoksnis. Rekomenduojama dengti 90 – 100 μm , tokiu būdu išgaunamas reikalingas dangos blizgumas, adhezinės savybės bei kietumas.

Visų detalių pakabinimui rekomenduojama naudoti naujus kabliukus. Galima dengti detales milteline danga, o prieš jas patalpinant į polimerizacijos krosnį polimeriniais milteliais padengtą kabliuką pakeisti nauju ir švari. Kabliuką, prie kurio prikibusios polimerinės miltelinės dalelės, galima nupūsti suspausto oro srove. Jei nėra galimybės pakeisti kabliukų, po polimerizacijos galima juos patalpinti į sandarias talpas, kuriose yra skiediklis 646 ar nitroskiediklis ir po 48 val. naudojant asmenines apsaugos priemones juos nuvalyti, kadangi atlikus atsparumo

cheminėms medžiagoms bandymą buvo pastebėta, kad šios medžiagos panaikina dažomojo paviršiaus bei polimerinės dangos sukibimą.

Geresniam įžeminimui galima naudoti ne tik naujus kabliukus, bet papildomai prie detalės pajungti gnybtus su laidais.

LITERATŪRA

1. Ambroza P., Kavaliauskienė L. Plieno atsparumo abrazyviniam dilimui tyrimas. Mechanikos inžinerija – 2004: tarptautinės konferencijos pranešimų medžiaga. Kaunas: Technologija, 2004. p. 503–509.
2. Aušrienė M. Metalų korozija ir sauga. Klaipėda: KU, 2002, 137 p.
3. Brun L., Golini R. Powder Coating: A global value chain perspective; 2010, 29 p.
4. Conventional electrostatic charging [žiūrėta 2015.10.18]. Prieiga per internetą: <http://www.chinapowdercoating.com/conventional-electrostatic-charging>
5. Electrostatic spray [žiūrėta 2015.10.18]. Prieiga per internetą: <http://www.chinapowdercoating.com/electrostatic-spray>
6. Farrell R., Nobel A. Coating materials: powder coating. Interpon powder coatings. Houston; 2010, p. 100–107.
7. Fluidized bed coating [žiūrėta 2015.10.19]. Prieiga per internetą: <http://www.tcipowder.com/pdfs/troubleshooting-guide/ApplicationGuideChapter7.pdf>
8. Friction charging [žiūrėta 2015.10.19]. Prieiga per internetą: <http://www.corrocoat.com.ph/powdercoating101.htm>
9. Grigalevičius S. Polimerinių medžiagų inžinerija: mokomoji knyga. Kaunas: Technologija, 2015, 112 p.
10. Griškoniš E., Šulčius A. Metalų ir plastikų paviršiaus paruošimas ir dengimas. Vilnius: Vilniaus pedagoginio universiteto I-kla, 2008, 82 p.
11. Hilt M., Christ U. Technical Paper: Powder coatings. European coatings journal, 2010, 87 p.
12. Jankauskaitė V., Fataraitė E. Polimerinės dangos ir jų formavimas: mokomoji knyga. Šiauliai: ŠU I-kla, 2012. Prieiga per internetą: https://www.ebooks.ktu.lt/eb/411/polimerines_dangos_ir_ju_formavimas/
13. Kačerauskas J. Kad metalai ilgiau tarnautų. Vilnius: Kronta, 2006, p. 8–112.
14. Kavaliūnas R., Gražulevičius J., Lazauskaitė R. Lakų ir dažų chemija bei technologija. Vilnius: Vilniaus pedagoginio universiteto I-kla, 2012, 126 p. Prieiga per internetą: https://www.ebooks.ktu.lt/eb/479/laku_ir_dazu_chemija_bei_tehnologija/
15. Kiseliovas N., Juzėnas E. Automatizuotos gamybos sistemos diegimo analizė miltelinio dažymo linijoje. Mechanikos inžinerija – 2010: 9-oji jaunųjų mokslininkų konferencija: pranešimų medžiaga. Kaunas: Technologija, 2010, p. 104–107.
16. Krickaja J., Krančiukas R. Miltelinio dažymo būdu gautų dangų kokybės tyrimas. Mechanikos inžinerija – 2004: tarptautinės konferencijos pranešimų medžiaga. Kaunas: Technologija, 2004, p. 243–248.

17. Lietuvos Respublikos apsaugos ministro 2002 m. gruodžio 5 d. įsakymas Nr. 620 „Dėl lakiųjų organinių junginių, susidarančių naudojant tirpiklius tam tikrų veiklos rūšių įrenginiuose, emisijos ribojimo tvarkos patvirtinimo“//Valstybės žinios. 2003, Nr. 15 – 634. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.3449AA78250D>
18. Lietuvos standartas LST EN ISO 12944–3:2000 „Dažai ir lakai. Plieninių konstrukcijų apsauga nuo korozijos apsauginėmis dažų sistemomis. 3 dalis. Projekto ypatumų aptarimas“.
19. Lietuvos standartas LST EN ISO 14713–1:2009 „Cinko dangos. Konstrukcijose esančios geležies ir plieno apsaugos nuo korozijos gairės ir rekomendacijos. 1 dalis. Bendrieji projektavimo ir korozinio atsparumo principai“.
20. Makuška R. Polimerizacijos reakcijų mechanizmai. Vilnius: TEV, 2012, 297 p.
21. Mannari V., Patel C.J. Understanding coatings raw materials. Germany: Vincentz Network, 2015.
22. Safe Work Australia. Spray painting and powder coating: code of practice. 2012, 41 p.
23. Šulčius A. Metalų korozija ir sauga. Kaunas: Technologija, 2006, 298 p.
24. Šulčius A., Mikučionis K. Automobilių korozija: vadovėlis. Kaunas: Technologija, 2006, p. 15.
25. Talbert R. Paint technology: handbook. Taylor & Francis Group, 2008, p. 161–164
26. Vareikis A. Polimerinės dangos. Vilnius: TEV, 2012 [žiūrėta 2015.10.14]. Prieiga per internetą: https://www.ebooks.ktu.lt/eb/927/polimerines_dangos/
27. Višniakov N. Polimerinės medžiagos ir jų jungimas: mokojoji knyga. Vilnius: Technika, 2005, p. 6–23.