



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Mantas Gestautas

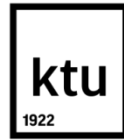
KERAMINIŲ MEDŽIAGŲ 3D SPAUSDINIMO TECHNOLOGIJOS
KŪRIMAS

Magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Marius Rimašauskas

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

KERAMINIŲ MEDŽIAGŲ 3D SPAUSDINIMO TECHNOLOGIJOS
KŪRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Gamybos inžinerijos (kodas 621H70004)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Marius Rimašauskas

(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. Dr. Paulius Griškevičius

(data)

Projektą atliko

(parašas) Mantas Gestautas

(data)

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Tvirtinu:

Gamybos inžinerijos
katedros vedėjas

(parašas, data)

Doc. dr. Kazimieras Juzėnas

(vardas, pavardė)

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, 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 bakalauras 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: *Keraminių medžiagų 3D spausdinimo technologijos kūrimas.*

Patvirtinta dekanu 2016 m. gruodžio mėn. 8 d. įsakymu Nr. V25-11-20

2. Darbo tikslas: *išanalizuoti gaminių, iš keraminių medžiagų, gamybos technologijas ir pasiūlyti naują 3D spausdinimo koncepciją.*

3. Darbo struktūra Analizės skyrius: *Literatūros apžvalga: keraminės medžiagos ir jų gamybos technologijos, keraminių medžiagų spausdinimo analizė naudojant skirtingus sparčių prototipų gamybos metodus.*

Projektinis skyrius: *gaminių spausdinimas iš keraminių medžiagų, rišamąją medžiagą išpurškiant ant darbo zonoje esančių keramikos miltelių.*

Grafinė dalis: *Grafikai, diagramos, vaizdiniai paveikslėliai.*

4. Reikalavimai ir sąlygos: *rengiant baigiamąjį darbą laikytis Lietuvos respublikos norminių aktų, standartų bei metodologinių magistrinio darbo apiforminimo reikalavimų.*

5. Darbo pateikimo terminas 2016 m. gruodžio mėn. 21 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis

Išduota studentui Mantui Gestautui

Užduotį gavau Mantas Gestautas
(studento vardas, pavardė)

(parašas, data)

Vadovas Doc. dr. Marius Rimašauskas
(pareigos, vardas, pavardė)

(parašas, data)

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Mantas Gestautas

(Studento vardas, pavardė)

Gamybos inžinerija 621H70004

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Keraminių medžiagų 3D spausdinimo technologijos kūrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Manto Gestauto**, baigiamasis projektas tema „Keraminių medžiagų 3D spausdinimo technologijos kūrimas“ 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)

TURINYS

ĮVADAS.....	8
1. KERAMINĖS MEDŽIAGOS IR JŲ GAMYBOS TECHNOLOJIOS	9
1.1 Kietųjų medžiagų klasifikacija	9
1.2 Tradicinės keraminės medžiagos	9
1.3 Šiuolaikinės keramikos klasifikacija	10
1.4 Šiuolaikinių keraminių medžiagų gamyba	12
1.5 Mechaninės savybės ir jų nustatymas.....	14
2. KERAMINIŲ MEDŽIAGŲ SPAUSDINIMO ANALIZĖ NAUDOJANT SKIRTINGUS SPARČIŲ PROTOTIPŲ GAMYBOS METODUS	18
3. PASIRINKTŲ 3D SPAUSDINIMO BŪDŲ GALIMYBIŲ ANALIZĖ.....	23
4. KERAMINIŲ MEDŽIAGŲ SPAUSDINIMO GALIMYBIŲ TYRIMAS.....	25
4.1 Naudojamos medžiagos	25
4.2 CZR keramikos, naudojamos odontologijos pramonėje, dalelių dydis	26
4.3 CZR keramikos, naudojamos odontologijos pramonėje, tirpumo ir nusėdimo nustatymas	27
4.4 Bandymas su CZR keramikos suspensija.....	29
5. GAMINIŲ SPAUSDINIMAS IŠ KERAMINIŲ MEDŽIAGŲ, RIŠAMĄJĄ MEDŽIAGĄ IŠPURŠKIANČIĄ ANT DARBO ZONOJE ESANČIŲ KERAMIKOS MILTELIŲ	31
5.1 Pjezoelektrinis siurblys	32
5.1.1 Pjezoelektrinio siurblio paėmimo ir padavimo kiaurymių modeliavimas.....	32
5.1.2 Pjezoelektrinio siurblio konstrukcija.....	32
5.1.3 Bandymas nr. 1 su pjezoelektriniu siurbliu	33
5.1.4 Bandymas nr. 2 su pjezoelektriniu siurbliu	34
5.2 GAMINIŲ SPAUSDINIMAS IŠ KERAMINIŲ MEDŽIAGŲ, RIŠAMĄJĄ MEDŽIAGĄ IŠPURŠKIANČIĄ ANT DARBO ZONOJE ESANČIŲ KERAMIKOS MILTELIŲ, NAUDOJANT IŠSCENTRINĮ SIURBLĮ	35
IŠVADOS.....	41
LITERATŪROS SARAŠAS.....	42

Gestautas, Mantas. KERAMINIŲ MEDŽIAGŲ 3D SPAUSDINIMO TECHNOLOGIJOS KŪRIMAS. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Marius Rimašauskas; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Gamybos inžinerija

Reikšminiai žodžiai: *keraminės, medžiagos, 3D, spausdinimas, technologija, odontologija.*

Kaunas, 2016. 44 p.

SANTRAUKA

Magistro darbe gilinamasi į keraminių medžiagų 3D spausdinimo technologijų kūrimą, siekiant pasiūlyti naują 3D spausdinimo koncepciją.

Teorinėje darbo dalyje supažindinama su keraminėmis medžiagomis, klasifikacija, jų savybėmis. Remiantis užsienio šalių šaltiniais ir literatūra, išskiriami svarbiausi keraminių medžiagų gamybos būdai. Tiriamojame dalyje, remiantis užsienio autorių studija, atlikti bandymai, siekiant iširti gaminių, iš keraminių medžiagų gamybos technologijas. Taip pat išanalizuotos jų spausdinimo galimybės, siekiant pasiūlyti naują spausdinimo koncepciją.

Pasirinkus tam tikrus bandymų būdus išsiaiškinta, jog sumaišius CZR keramikos suspensiją, turime labai mažai laiko ją išpurkšti, kadangi nusėdimo greitis yra labai didelis. CZR keramikos suspensijos nusėdimo greitis nepriklauso arba labai mažai priklauso nuo to, ar indas kuriame ji yra sumaišyta yra uždengtas, ar ne. Taip pat CZR keramikos suspensijos negalime išpurkšti, kadangi negalime palaikyti pastovios suspensijos konsistencijos viso proceso metu.

Taip pat bandymai parodė, jog pjezoelektrinis siurblys nėra tinkamas rišančiajai medžiagai išpurkšti, kadangi nesukelia reikiamo slėgio. Ekscentrinis siurblys skystį pumpuoja pakankamai aukštu slėgiu, jo intensyvumą galima reguliuoti keičiant įtampą. Atlikti masės matavimai, išpurškiant rišamąją medžiagą per tris skirtingus antgalius, kurių skersmuo yra 583 mikrometrų, 404 mikrometrų, 254 mikrometrų.

Darbas įrodo, kad galimybės yra naujai 3D spausdinimo koncepcijai atsirasti. Tačiau šiam tikslui pasiekti reikia atlikti išsamesnius ir gilesnius bandymus bei jų analizes.

Gestauro, Manto. *THE DEVELOPMENTS 3D PRINTING TECHNOLOGY FOR CERAMIC MATERIALS*: Master's thesis in production Engineering / supervisor assoc. prof. Marius Rimašauskas. The Faculty of Mechanical Engineering and Design. Kaunas University of Technology.

Research area and field: manufacturing Engineering

Key words: ceramic, material, 3D printing, technology, dentistry.

Kaunas, 2016. 44 p.

SUMMARY

Master's thesis delves into the ceramic material 3D printing technologies in order to offer a new concept of 3D printing.

The theoretical part presents the ceramics materials, classification, and their properties. According to foreign sources and literature, the most important distinction ceramic techniques. The exploratory part, according to foreign authors study, conducted experiments to investigate the production of ceramic materials manufacturing technology. Also analyzed their printing capabilities in order to offer new printing concept.

Selecting certain testing methods clarified that mixing CZR ceramic slurry, we have very little time to spray because the deposition rate is very high. CZR ceramic slurry sedimentation rate is not or very little dependent on the vessel in which it is mixed is closed or not. Also CZR ceramic slurry cannot spray, because we cannot maintain a constant suspension consistency throughout the process.

Also, tests have shown that the piezoelectric pump is not suitable for spraying the bonding material for lack of adequate pressure. Eccentric pump for pumping fluid at a sufficiently high pressure, the intensity can be adjusted by changing the voltage. For measuring the mass by spraying matrix material in three different nozzles with a diameter of 583 micrometers, 404 micrometers, 254 micrometers.

The work shows that the chances of a new concept of 3D printing to occur. However, to achieve this need to carry out more extensive and deeper testing and analysis.

IVADAS

Šiuolaikinėje pramonėje vis plačiau yra naudojamos keraminės medžiagos. Tačiau sudėtingų kontūrų ir specifinių gaminių, iš keraminių medžiagų, apdirbimas tradiciniais metodais yra sudėtingas procesas, reikalaujantis daug specifinės įrangos ir kruopštaus darbo. Viena iš sričių, kur yra naudojami gaminiai iš keramikos – medicina. Odontologijoje vienos spalvos keraminės karūnėlės yra gaminamos naudojant tradicinius apdirbimo metodus, tačiau norint išgauti norimų atspalvių karūnėlę ar laminatę yra naudojimas tik rankinis darbas. Žmogus, šepetėlio pagalba, sluoksnis po sluoksnio „užaugina“ norimos spalvos ir geometrijos karūnėlę. Vėliau ji yra sukepinama ir apdirbama tradiciniais apdirbimo metodais. Šis procesas yra labai ilgas ir brangus, nes reikalauja daug darbo rankomis. Kad išeitų palengvinti šį gamybos procesą, norima pasitelkti sparčios prototipų gamybos technologiją.

Darbo tema – keraminių medžiagų 3D spausdinimo technologijos kūrimas.

Tikslas - išanalizuoti gaminių, iš keraminių medžiagų, gamybos technologijas ir pasiūlyti naują 3D spausdinimo koncepciją.

Šiam tikslui pasiekti keliami uždaviniai:

1. Ištirti gaminamų gaminių, iš keraminių medžiagų, gamybos technologijas, nustatyti jų privalumus ir trūkumus.
2. Išanalizuoti keraminių medžiagų spausdinimo galimybes, įvertinant skirtingus sparčios prototipų gamybos procesus.
3. Pasiūlyti naują keraminių medžiagų spausdinimo koncepciją, įvertinti jos sukūrimo galimybes.

Kadangi darbo objektas – keraminės medžiagos, tikslinga supažindinti su šia sąvoka. Keramika - „metalinių ir nemetalinių cheminių elementų mišinys; dažniausiai tai oksidai, nitridai ir karbidai. Šiai grupei taip pat priklauso medžiagos, sudarytos iš molio mineralų, cemento ir stiklo. Šios medžiagos yra nelaidžios elektrai ir šilumai, bet atsparesnės aukštomis temperatūroms ir agresyviai aplinkai nei metalai ar polimerai. Keraminės medžiagos taip pat yra kietos, bet trapios“. [1]

1. KERAMINĖS MEDŽIAGOS IR JŲ GAMYBOS TECHNOLOIJOS

1.1 Kietųjų medžiagų klasifikacija

Kietųjų medžiagų grupės yra trys: metalai, keramika, polimerai. Šis skirstymas priklauso nuo atomų sudėties ir skirstymo sandaros. Atsižvelgiant į savybes ir taikymą visos jos gali būti priskiriamos kompozitų, puslaidininkių ir biomedžiagų grupėms. „Kompozitai yra sudaryti iš dviejų ar daugiau skirtingų medžiagų, puslaidininkiams būdingos savitos elektrinės savybės, o biomedžiagos gali būti implantuojamos į žmogaus kūną“. [1]

Šiame darbe bus gilinamasi į keramines medžiagas, todėl tikslinga trumpai aptarti būtent jų savybes. Keramika – „metalinų ir nemetalinių cheminių elementų mišinys; dažniausiai tai oksidai, nitridai ir karbidai. Šiai grupei taip pat priklauso medžiagos, sudarytos iš molio mineralų, cemento ir stiklo. Šios medžiagos yra nelaidžios elektrai ir šilumai, bet atsparesnės aukštomis temperatūroms ir agresyviai aplinkai nei metalai ar polimerai. Keraminės medžiagos taip pat yra kietos, bet trapios“. [1]

Šiame darbe bus naudojami ir kiti terminai, kuriuos reikalinga trumpai aptarti. Tai polimerai ir kompozitai. Polimerai – jiems priklauso įprastos plastinės ir guminės medžiagos. Dauguma jų – organiniai junginiai, susidedantys iš anglies, vandenilio ir kitų nemetalinių elementų, dažniausiai sudarančių makromolekules. Šioms medžiagoms būdingas mažas tankis, jos gali būti ypač lanksčios. Kompozitai – sudaryti iš kelių skirtingų grupių medžiagų. Tipinis pavyzdys – stiklo pluoštas. Kompozitai kuriami suderinus atskirų medžiagų gerąsias savybes. Stiklo pluoštui stiprumo suteikia stiklas, o lankstumo – polimeras. Kompozitų grupei priklauso daug daugiau medžiagų nei kitoms.

Tiek keramika, tiek polimerai ar kompozitai, gali būti naudojami kaip biomedžiagos. Biomedžiagos – implantų, naudojamų mirusioms ar pažeistoms kūno dalims pakeisti, sudedamoji dalis.

1.2 Tradicinės keraminės medžiagos

Dauguma keraminių medžiagų pagal naudojimą gali būti skirstomos į tokias grupes: konstrukciniai (struktūriniai) molio gaminiai, stiklai, ugniai atsparios medžiagos, abrazyviniai, cementai, šiuolaikinė keramika.

Keraminių dirbinių klasifikacija.

Technologiniu požiūriu pagal keraminės šukės poringumą keraminiai dirbiniai skirstomi į dvi dideles grupes: porėtuosius ir sukepusius. Atsižvelgiant į gamybai panaudotas žaliavas ir gamybos procesą, kiekviena šių grupių skirstoma į pogrupius:

- grublėtoji keramika;
- dailioji keramika;
- ugniai atsparūs gaminiai;

Grublėtoji keramika – tai plytos, ęerpės, grindų plytelės ir kt. Jų lūžis nelygus, rauplėtas, patys gaminiai stambūs.

Dailiajai keramikai priklauso porcelianiniai ir fajansiniai dirbiniai, apdailos plytelės, san-techniniai gaminiai ir kt. Tokie gaminiai būna plonasieniai, sudėtingos formos.

Ugniai atsparūs gaminiai naudojami aukštesnėje nei 1000°C temperatūroje ir nepraranda formos iki 1580 °C temperatūros.

Keraminiai dirbiniai vis dažniau skirstomi ne pagal šukės savybes, o pagal paskirtį:

- statybinė keramika;
- sukepusioji keramika;
- ugniai atsparios medžiagos;
- dailioji keramika;
- šiuolaikinė specialioji keramika;
- biokeramika: keraminiai žmogaus kūno implantai arba jų sudedamosios dalys;

1.3 Šiuolaikinės keramikos klasifikacija

Pastaraisiais dešimtmečiais pradėtos naudoti naujos keraminės medžiagos, pagamintos iš metalų oksidų, karbidų ir nitridų. Šie junginiai yra chemiškai stabilūs, didelio tankio, kieti, lydosi aukštoje temperatūroje. Didžiausias metalų oksidų, karbidų ir nitridų trūkumas – trapumas. Šiuolaikinei keramikai būdinga: atsparumas dilimui ir šlifavimui; didelis stiprumas aukštose temperatūrose; cheminis stabilumas; geros elektroizoliacinės charakteristikos;

Žaliavos ir jų savybės.

Šiuolaikinės keramikos dirbinių gamyboje naudojamos žaliavos, gamybos principai ir procesai iš esmės skiriasi nuo įprastos statybinės keramikos gaminių gamybos. Trumpai apžvelgsime juos.

Aliuminio oksidas. Al_2O_3 keramika yra labiausiai paplitusi šiuolaikinės keramikos atmaina. Ji dar vadinama korundine keramika. Didinant Al_2O_3 kiekį medžiagoje, gerėja jos mechaninės savybės. Daug Al_2O_3 turinti keramika, naudojama gaminant uždegimo žvakes, taip pat kaip elektroninių mikroschemų pagrindas. Be to ši medžiaga taikoma branduoliniuose įrenginiuose. Al_2O_3 traukiasi degimo metu.

Silicio nitridas. Silicio nitridas naudojamas unikalioms inžinerinėms medžiagoms gaminti. Jis labai atsparus beveik visų stiprių rūgščių, išlydyto aliuminio ir kitų mažos lydymosi temperatūros metalų poveikiui. Silicio nitridas dažnai gaunamas nitritinio būdu (sintezės reakcija) 1400°C temperatūroje. Bet šiuo būdu gauto silicio nitrido trūkumas yra tas, kad susidaro 18 – 25 % porėtumo medžiaga, o tai reiškia, kad šios medžiagos stiprumas yra ypač mažas. Neporėtą silicio nitridą galima

gauti 1850°C temperatūroje presuojant silicio nitrido miltelius. Šiuo būdu gautas silicio nitridas pasižymi labai geromis savybėmis, bet gamybą riboja paprastos formos.

Magnio oksidas (MgO) – vienas iš labiausiai paplitusių aukštatemperatūrių oksidų, plačiai taikomų technikoje. MgO gaunamas iš gamtoje gaunamo mineralo – periklazo, taip pat iš magnetito, dolomito, brusito ir kt. MgO šiluminio plėtimosi koeficientas yra didesnis nei kitų aukštatemperatūrių oksidų ir oksiduojančiojoje aplinkoje iš jo pagaminti gaminiai gali būti naudojami aukštesnėje temperatūroje negu Al_2O_3 – net iki 2800 °C. Gaminiai iš MgO yra termiškai neatsparūs, nes jo didelis šiluminio plėtimosi koeficientas. MgO pasižymi nedideliu stipriu tempiant ir vidutiniu šilumos laidžiu. Aukštoje temperatūroje išdegtas MgO yra atsparus organinėms rūgštims, rūgščioms dujoms ir drėgmei, baziniams šlakams ir neutraliosioms druskoms. Panaudojus ypač švarų $\text{MgO}(\text{OH})_2$ kaip žaliavą labai tankiai keramikai gaminti, ją atitinkamai išdegus, gaunama sukepusi permatoma magnio oksido keramika.

Cirkonio dioksidas. Vienas iš perspektyviausių medžiagų yra cirkonio dioksidas (jo lydymosi temperatūra 2764 °C) naudojamas aukštesnėje temperatūroje nei Al_2O_3 (10). Keramiką iš ZrO_2 lengva apdoroti mechaniškai, todėl jos nuostoliai būna nedideli. ZrO_2 chemiškai yra atsparus rūgštims ir šarmams, šarmų, stiklo ir metalų dirbiniams. Pagrindinė priežastis trukdanti dažniau naudoti ZrO_2 yra kaina – jis yra daug brangesnis nei Al_2O_3 . Keramikos pramonėje svarbiausia yra metastabili tetragoninė ZrO_2 atmaina. Dėl aukštos lydymosi temperatūros, didelio cheminio atsparumo, mechaninio stiprumo, elektrinio laidžio, cirkonio keramika naudojama labai plačiai. ZrO_2 keraminės medžiagos naudojamos ten, kur yra kontaktas su įvairiais lydytais metalais.

Volastonito keramika. Volastonitas – kalcio metasilikatas CaO SiO_2 . Volastonito keramikos gaminiai gaminami iš aukštos kokybės gamtinių žaliavų. Volastonito lydymosi temperatūra yra 1540 °C, kietumas pagal Moso skalę – 8. Volastonitas yra neplastiška medžiaga, todėl, ruošiant formavimo mišinius, pradinės žaliavos sumaišomos su plastifikatoriais. Volastonito keramikai būdingos ypač geros elektrofizinės savybės, todėl ji plačiai naudojama radiotechnikoje bei elektrotechnikoje.

Titano dioksidas. TiO_2 junginiai pasižymi didele dielektrine skvarba – 12 ir daugiau. Ji yra didesnė nei visų kitų keraminių medžiagų. TiO_2 yra sintetinė medžiaga, gaunama iš titanų turinčių rūdų - ilmenito, sfeno, perovskito. Medžiagos TiO_2 pagrindu pasižymi segnetoelektrinėmis savybėmis ir naudojamos netiesinių kondensatorių gamyboje. Dėdidelės dielektrinės skvarbos titano dioksidas naudojamas visai keraminių medžiagų klasei, vadinamai kondensatorine keramika, gaminti. TiO_2 taip pat tinka segnetokeraminėms ir pjezokeraminėms medžiagoms bei optinei keramikai gaminti.

1.4. Šiuolaikinių keraminių medžiagų gamyba

Plėtojantis elektroninei, kosminei ir branduolinei technikai atsirado būtinybė sukurti tankias, homogeniškos struktūros, vienodos mineralinės bei cheminės sudėties keramines medžiagas. Tokios keramikos negalima gauti iš plastiškų masių, paruoštų klasikiniiais smulkinimo bei sumaišymo metodais, nes jais negalima užtikrinti visiškos komponentų tarpusavio sąveikos sukepimo metu, o pradinių komponentų likučiai pablogina daugelį techninių keramikos savybių. „Kietafazis sukepimas esti geresnis ir žemesnėse temperatūrose, kai pradiniai komponentai būna susmulkinti iki smulkiadispersių miltelių. Todėl daugelį keraminių dirbinių galima gauti tik iš gerai sukepančių miltelių pavidalo komponentų, pasižyminčių dideliu savituoju paviršiumi, didele dalelių paviršine energija bei defektine struktūra“.[1]

Žaliavų paruošimas. Kad būtų aiškiau tikslinga susipažinti su žaliavų paruošimu. Smulkiadispersių miltelių mišiniai dažniausiai ruošiami iš kietųjų uolienų arba mineralų bei metalų, todėl žaliavų smulkinimas yra vienas svarbiausių technologinių operacijų. Smulkinant naudojama daug energijos, sunku išvengti žaliavų užteršimo priemaisomis ir dėl dalelių sulipimo mišinį sunku visiškai homogenizuoti. Šiuo metu naudojama daug naujų cheminių būdų reikiamos mineralinės sudėties milteliams gauti.

Bendro komponento cheminio nusodinimo metodu keraminiai milteliai gaunami iš lengvai tirpstančių mišinio komponentų druskų tirpalų, naudojant bendrą nusodiklį.

Kriocheminiu metodu komponentų mišinys gaunamas, išpurškus reikalingų druskų tirpalą į labai žemų temperatūrų aplinką. Šis metodas sudėtingas ir brangus, tačiau galima gauti aukštos kokybės, labai švarius, be priemaišų miltelius.

Heterofazinės sąveikos metodu reikiamos sudėties medžiaga gaunama, sąveikaujant kietojo komponento ir tirpale esančio reikalingo elemento jonams.

Labai kokybiškai komponentus galima susmulkinti bei homogenizuoti ir medžiagos cheminio dispergavimo būdu. Cheminis dispergavimas – kietojo kūno kserogelio suardymas, naudojant skystį, turintį savybę įsiskverbti į tą kūną ir fiziškai bei chemiškai sąveikauti su jo sudedamosiomis dalimis. Kserogelis – tai išdžiovintas hidrogelis, kuriame yra iš tirpalo išsikristalitusių kietųjų druskų, padalinančių jį į panašaus dydžio blokus. Cheminio dispergavimo metodai gali būti panaudoti gaminant bet kurios oksidinės keramikos gaminius.

Gaminant įvairių sudėčių šiuolaikinius keraminius gaminius, labai svarbi yra homogenizavimo operacija. Formavimo mišinys turi būti homogeniškas. Homogeniškumo problema aktuali gaminant dirbinius, kurie reikiamas fizines ir technines savybes įgauna tik įmaišius nedidelį kiekį priedų – legiruojančių komponentų. Norint, kad nusodinimo stadijoje kietiesiems komponentams iškrintant nuosėdomis, tirpalai išliktų labai homogeniški. Negalima leisti, kad komponentai atsiskirtų.

Kadangi šiuolaikinės keramikos švarumui keliami griežti reikalavimai, todėl plačiau naudojami pirmosios grupės rišikliai (visiškai pašalinami organiniai plastifikuojantys priedai). Plačiausiai naudojami tie, kurie yra tirpūs vandenyje. Be jų, naudojamos ir kietos organinės medžiagos. Temperatūrose, šiek tiek aukštesnėse už lydymosi temperatūrą, parafino klampa yra maža, o takumas – didelis. Dėl šių savybių karšta parafininė suspensija naudojama, kai gaminiai liejami slegiant. Temperatūrose, šiek tiek žemesnėse nei jo lydymosi temperatūra, parafiną galima lengvai plastiškai deformuoti. Iš tokių masių plastinio formavimo metodais gaminami pusgaminiai.

Pusgaminų formavimas. Gaminiai formuojami neplastiškų medžiagų formavimo būdais: į porėtąsias (dažniausiai – gipsines) formas liejamas vandeninis šlikeris; karštas termoplastiškas šlikeris liejamas į metalines formas; plastifikuota masė formuojama ekstruderiais. Pagrindiniai formavimo metodai:

- Vandeninių suspensijų liejimas į porėtąsias medžiagas.
- Miltelių presavimas.
- Ruošinių, supresuotų iš plastifikuotų masių, apdorojimas.
- Plastifikuotų karštų šlikerių liejimas slegiant.
- Plastifikuotų masių ekstruzija.
- Karštasis presavimas.
- Presavimas sprogimu (dinaminis presavimas).

Be šių, pagrindinių, yra nemažai naujų, specialiai sukurtų metodų. Vienas ar kitas metodas pasirenkamas priklausomai nuo gaminio formos, matmenų, reikiamo jų tikslumo, savybių, apimties, o kartais nuo kitų technologinių ir ekonominių veiksnių. Universalaus formavimo metodo nėra.

Šiuolaikinės keramikos degimas. Kaip teigiama knygoje „Šiuolaikinės keraminės medžiagos“ (Raimundas Šaučiūnas, Edita Rupšytė. 2007m, 54 psl.), dauguma šiuolaikinių keramikos gaminių sukepa pagal kietafazio sukepimo schemą. Technologiškai degimo procesas skirstomas į tris stadijas: kaitinimas, išlaikymas maksimalioje degimo temperatūroje, kai vyksta pagrindiniai degimo procesai, ir aušinimas. Kaitinimo ir aušinimo greičiai pasirenkami tokie, kad būtų išvengta temperatūrinių įtempių, dėl kurių atsiranda deformacijos ir įtrūkimai. Kai kurios medžiagos, dėl vykstančių oksidacijos-redukcijos reakcijų yra labai jautrios dujinei aplinkai, todėl jos degamos krosnyse, kur dujinė aplinka yra reguliuojama. Kitas medžiagas reikia degti neutralių dujų aplinkoje, o dar kitas – redukcinėje vandens, amoniako ar CO₂ aplinkoje. Šiuolaikinės keramikos gaminiams degti gali būti panaudotos naujo tipo heterogeninio degimo procesai be deguonies ir kitų dujinių oksidatorių. Gauti degimo produktai yra visiškai stabilūs.

1.5. Mechaninės savybės ir jų nustatymas

Keraminių medžiagų taikymą riboja jų mechaninės savybės, kurios yra daug prastesnės nei metalų. Didžiausias trūkumas yra polinkis lūžti dėl mažos energijos absorbcijos. Nuo medžiagų mechaninių savybių priklauso, ar jos gali būti naudojamos ten, kur reikia atlaikyti įvairias apkrovas. Tikslinga apžvelgti pagrindinius tampros ir stiprio principus ir išsiaiškinti, kodėl faktinis keraminių medžiagų stiprumas yra gerokai mažesnis nei teorinis. Taip pat ši informacija leidžia įvertinti medžiagų savybes ir nustatyti jų trūkumus, į kuriuos būtina atsižvelgti norint teisingai suskirstyti ir kurti reikiamas medžiagas.

Tampra. Kai medžiaga veikiama apkrovos, dėl nedidelių atominės erdvės pokyčių atsiranda deformacijos. Apkrova yra apibūdinama terminu įtempis, kurio matavimo vienetas yra Paskalis (Pa). Deformacija apibūdinama santykinu pailgėjimu, kurio matavimo vienetai yra procentai. Santykinio pailgėjimo dydis ir rūšis priklauso nuo medžiagos atominių ryšių jėgų, apkrovos ir temperatūros. Iki tam tikros įtempių ribos medžiagų deformacijos yra grįžtamosios, nes kai apkrova pašalinama, medžiagos atomai grįžta į pradinį būvį ir deformacijos dingsta. Tai vadinama tampriąja deformacija. Esant trumpalaikėms apkrovoms kambario ir vidutinėse temperatūrose, dauguma keraminių medžiagų yra tamprios iki trūkio. Tai yra trapusis trūkis – viena iš pavojingiausių keramikos charakteristikų, į kurią būtina atsižvelgti konstruojant medžiagas. Ne visos keraminės medžiagos yra trapios ir ne visi metalai tamprūs. Daugelyje keraminių medžiagų plastinė deformacija pasireiškia aukštose temperatūrose. Gryniems metalams būdinga didesnė tampra.

Stiprumas. Skirtingomis kryptimis veikiančią išorinę apkrovą kietosios medžiagos atlaiko nevienodai, todėl jų stiprumas yra nusakomas daugeliu rodiklių: stipriu tempiant, stipriu gniuždant, stipriu lenkiant, takumo stipriu, galutiniu stipriu, stipriu lūžtant ir teoriniu stipriu.

Teorinis stipris yra apibrėžiamas kaip tempimo įtempiai, reikalingi atominiams ryšiams medžiagoje suardyti, nesuardant jos struktūros.

Defekto dydžio efektas. Keraminių medžiagų defektai (plyšiai, įtrūkimai, poros, įtraukos) yra įtempių sankaupų susidarymo jėgų priežastis. Defektų įtaką keraminių gaminių stiprumui lengviausia paaiškinti, nagrinėjant bandinio paviršiuje esančio plokštuminio elipsinio plyšio efektą. Šio tipo plyšiai dažniausiai susidaro medžiagas apdirbant, bet jų gali atsirasti ir dėl smūgių, temperatūros skirtumų, sutrūkinėjusios glazūros, ar kitų priežasčių. Stiprio sumažėjimas priklauso nuo šių veiksnių:

- Porų formos;
- Poroms gretimų plyšių ar gyslelių;
- Atstumo tarp porų bei tarp poros ir paviršiaus;
- Įtraukų dydžio ir formos;
- Įtraukos ir pagrindinės medžiagos tampros modulių ir šiluminio plėtimosi koeficientų skirtumo.

Defektų keraminėje medžiagoje paprastai atsiranda presuojant miltelius. Stiprio sumažėjimas, susijęs su defektais, priklauso nuo medžiagos terminų ir elastinių savybių. Šiluminio plėtimosi koeficientų, tampros (Jungo) modulių skirtumai yra defektų susidarymo, vėstant gaminiams, priežastis. Defektai, esant aukštesniems šiluminio plėtimosi koeficientams bei didesniems tampros (Jungo) moduliams, mažiau turi įtakos stipriui.

Stiprumo matavimo rūšys:

Stipris tempiant. Keraminių medžiagų stipris tempiant nustatomas retai, nes bandinių paruošimas ir įranga gan brangūs. Siekiant padidinti rezultatų patikimumą buvo sukurti kiti metodai: stiprio tempiant nustatymas, naudojant hidrostatinį slėgį; teta bandymas; šis būdas mažai naudojamas.

Stipris gniuždant. Keraminių medžiagų stipris gniuždant yra didesnis nei stipris tempiant. Tai naudinga, nes joms tenka atlaikyti dideles gniuždymo apkrovas. Keramines medžiagas gniuždant padidėja ir jų stipris tempiant. Išmatuotas stipris gniuždant yra mažesnis nei apskaičiuotas. Grūdelių dydis taip pat turi didelę įtaką stipriui gniuždant: mažėjant grūdelių dydžiui, stipris gniuždant didėja.

Stipris lenkiant. Keraminių medžiagų stiprumas dažniausiai nusakomas jų stipriu lenkiant. Nustatytos stiprio vertės priklauso nuo metodo tipo, taip pat nuo defektų dydžio, jų pasiskirstymo medžiagoje ir įtampių pasiskirstymo tiriamajame bandinyje. Kuo daugiau medžiagoje yra vienodų defektų, tuo išmatuotos stiprio lenkiant ir tempiant vertės yra artimesnės. Keraminių medžiagų nustatytos stiprio vertės yra mažesnės, jei tiriami didesnių matmenų bandiniai.

Atsparumas įtrūkiams. Keraminių medžiagų stiprumą ir jose atsirandančius įtrūkimus reikia vertinti pagal defektų dydį. Būtina atsižvelgti ir į plyšio paviršiaus poslinkį bei į įtempius plyšio gale. Tai yra įtrūkimų mechaninis pobūdis.

Medžiagos gebėjimas atlaikyti ardomosios apkrovos poveikį yra vadinamas atsparumu įtrūkimams. Kuo didesnis atsparumas įtrūkimams, tuo didesnės jėgos reikia, kad susidarytų plyšiai.

Keraminių medžiagų kietumas. Svarbi keraminių medžiagų savybė yra jų kietumas. Kadangi keramika yra viena iš kiečiausių inžinerinių medžiagų, tai ji dažnai naudojama kitoms medžiagoms šlifuoti ir malti. Kietumas – medžiagos savybė priešintis kito kūno įsiskverbimui arba paviršiaus ardymui. Kietumas apibūdina medžiagos gebą priešintis tokiems paviršiniams mechaniniams poveikiams, kaip įspaudimas ar įbrėžimas. Kietumas tiesiogiai susijęs su medžiagos stiprumu, tačiau geriausiai apibūdina jos pasipriešinimą taškinei deformacijai. Kietumas leidžia spręsti ir apie medžiagos atsparumą dilimui. Kietumas – viena pastoviausių gamtinių ir sintetinių mineralų fizikinių savybių, todėl juo dažnai naudojamosi apibūdinant mineralus.

Tamprumo ir trapumo palyginimas. Tipiniai trapiosios būsenos keramikos įtrūkimai ir tamprioji deformacija atsiranda prieš jai suskylant. Plastinės būsenos metalų įtrūkimai ir pirminė tamprioji deformacija yra lydimi daugelio savybių pokyčių ir plastinės deformacijos. Įtrūkimų atsiranda, kai

priešingose pusėse susidaro medžiagą suardantys įtempiai. Ne visi metalai trūksta dėl plastinės būsenos ir ne visos keraminės medžiagos trūksta dėl trapumo.

Deformacijos reiškinys keramikoje. Kai kurios kristalinės keraminės medžiagos kambario temperatūroje ir polikristalinės keraminės medžiagos aukštesnėse temperatūrose pasižymi tamprumu. Veikiant apkrovai atsirandančios plastinės deformacijos kriterijai yra šie:

- Dislokacijų buvimas;
- Naujų dislokacijų atsiradimas, veikiant įtempiams;
- Dislokacijų padėties kitimas, kai bandinį veikia nedidelė apkrova.

Ribota plastinė deformacija per dislokacijos judesį gali pasireikšti sudėtingesniuose, mažiau simetriškuose paprastuose keraminių medžiagų kristaluose, bet stiprio riba yra didesnė, o judesio mechanizmas suvaržytas. Dislokacijos judesio kambario temperatūroje nepastebėsime.

Keraminių medžiagų deformacijų mechanizmai. Kai kurios keraminės medžiagos dažniau plastiškai deformuojasi negu lūžta. Tačiau daugumai įprastų kristalinių ir polikristalinių keraminių medžiagų būdingi trapieji lūžiai nesant plastinės deformacijos.

Kristalinė keramika. Keraminės medžiagos, kaip ir metalai, plastiškai deformuojasi tik pasireiškiant dislokacijoms. Kadangi keraminėms medžiagoms būdingi didelio valentingumo ryšiai, poslinkis vyksta sunkiai ir jos yra trapios dėl tokių priežasčių: stiprių ryšių; nedidelio poslinkio sistemų skaičiaus; sudėtingų dislokacijų struktūros;

Nekristalinė keramika. Plastinės deformacijos dėl dislokacijos slinkties nekristalinėje keramikoje nevyksta, nes čia nėra taisyklingos atomų struktūros. Šios medžiagos deformuojasi dėl klampio tekėjimo, panašiai kaip skysčiuose.

Polikristalinė keramika. Polikristalinė keramika trapiai lūžta kambario temperatūroje. Individualių kristalų apytikslė orientacija paprastai slopina dislokacijos judesį. Paprastai dislokacija baigiasi ties grūdelių sienelėmis.

1.6. Biokeramika

Biokeramika sparčiai besiplėtojanti pramonės šaka. Pati biologinė aplinka verčia kurti naujas, originalias, labai grynas keramines medžiagas, kurios nesukeltų neigiamų organizmo reakcijų. Siekiant šių tikslų, dažnai tenka tarpusavyje jungti labai skirtingų savybių medžiagas. Biomedicinoje ir implantų gamyboje įvyko tikras perversmas, išmokus aliuminio ir cirkonio oksidus bei kalcio fosfatus sujungti su stipresnėmis, bet mažiau biologiškai suderinamomis medžiagomis. Šis atradimas leido gerokai patobulinti medicininius protezus. Svarbiausios biokeraminių medžiagų taikymo sritys – ortopediniai, veido ir dantų implantai.

Bioinertinė keramika – tai aliuminio, cirkonio bei titano oksidai ir anglis. Šios medžiagos yra labai stiprios ir nesukelia atmetimo reakcijos audiniuose.

Bioaktyviosios medžiagos – tokios medžiagos, kurios reaguoja su ląstelėmis ir sudaro stiprius ryšius. Bioaktyviosios keraminės medžiagos yra labai porėtos, nes taip padidinamas jų aktyvusis paviršius. Biostiklas priskiriamas bioaktyvių medžiagų klasei. Biostiklo pagrindinis cheminis elementas yra silicis. Biostiklas naudojamas įvairių protezų gamyboje. Biostiklo protezai pasižymi labai geromis mechaninėmis savybėmis ir naudojami ortopedinių ir dantų protezų gamyboje. Stiklo keramika taip pat naudojama kaip bioaktyvioji medžiaga. Stiklo keramika iš visų kaulų bei dantų implantams gaminti naudojamų medžiagų išsiskiria ypač geromis mechaninėmis savybėmis, biosuderinamumu, bioaktyvumu ir netoksiškumu. Kalcio fosfato druskų keramika ilgą laiką naudojama keičiant ir priauginant kaulo audinį.

Kompozitai – tai medžiagos, kurias sudaro du ar daugiau skirtingų savybių komponentai. Kompozitai pasižymi dideliu bioaktyvumu ir pakankamu mechaniniu stiprumu. Implantų gamyboje naudojami keramikos ir keramikos polimero bei keramikos ir metalo kompozitai.

Biokeramikos medžiagos gaunamos visais tradiciniais keramikos būdais, tik naudojamos ypač švarios žaliavos. Gaminant biokeramines medžiagas, sunkiausia tarpusavyje sujungti metalą ir keramiką, todėl dažnai naudojami ir neįprasti gamybos būdai: metalokeramikos ęsdinimas; plazminis išpurškimas; karštasis merkimas; lydymas; karštasis izostatinis presavimas; plazminis dulkinimas.[1]

2. KERAMINIŲ MEDŽIAGŲ SPAUSDINIMO ANALIZĖ NAUDOJANT SKIRTINGUS SPARČIŲ PROTOTIPŲ GAMYBOS METODUS

“3D spausdinimas porėtos keramikos sluoksnių kaulų audinių gamybai” (HermannSeitz, WolfgangRieder, StephanIrsen, Barbara Leukers, CarstenTille) straipsnyje supažindinama su naujų procesų grandine, padarytą pagal užsakymą 3D (trijų dimensijų), porėtos keramikos užauginto kaulo pakeitimas vietoj kaulų, kurie yra su defektais po traumų ar ligų. Sparčių prototipų ir ypač 3D spausdinimas labai tinka sukurti kompleksinę formą porėtos keraminės matricos tiesiai iš miltelių medžiagų. Straipsnyje teigiama, kad anatomicinė informacija, gauta iš pacientų, gali būti panaudota galutiniam tikslui pasiekti. 3D spausdinimo technika - tai talpa, pripildyta keramikos miltelių, kuri spausdinama sluoksnis po sluoksnio su rišamąja polimerine medžiaga. Milteliai sudrėkinami, kad sukibtų tam tikrose vietose. Nepanaudoti milteliai yra pašalinami iš darbo zonos ir gali būti naudojami dar kartą. “Mes naudojame modifikuotus hidroksiapatito (HA) miltelius, pagamintus 3D spausdinimui kaip biologiškai suderinamas implantuojamas medžiagas”. Atspausdinus prototipą iš žalios keramikos, turi būti sukepinta 1250° C temperatūroje ir ataušinama ore. Polimerinė rišamoji medžiaga susilieja pirolizės sukepimo metu. Šis straipsnis apibūdina procesų grandinę nuo pasiruošimo 3D spausdinimui testavimo iki sluoksnių sukepimo. Prototipai buvo sėkmingai gauti ir išanalizuoti. Pagamintas prototipas su 450µm sienelės storiumi ir 330µm sluoksnio storiumi, kuris atlaikė 22Mpa apkrovą.

Dar viename straipsnyje „3D spausdinimas magnio legiruoto volastanito β – TCP biokeraminių atramų su dideliu atsparumu ir reguliuojama degradacija“ (Huifng Shao, Yong He, Jianz Hong Fu, Dongshuang He, Xianyan Yang, Jiajun Xie, Chunlei Yao, Juanye, Sanzhong Xu, Zhongru Gou) aptariama, jog mechaninės jėgos iš biokeramikos sluoksnių yra problema nagrinėjant trūkumus, atsiradusius kaulų struktūros defektus. „Mes patobulinome magnį legiruojant (Csi). Tokiu būdu gaunami daug didesnės jėgos baziniai sluoksniai, spausdinant 3D technologija“. Sistemiskai ištyrė kaitinamo sluoksnio porėtumo dydį, β - trikalcio fosfato (β – TCP) tūris (x%). Įtraukiant β – TCP galima reguliuoti kaitinimo savybes Csi – Mg sluoksnių, ir sluoksnių su didesniu (20-30%) ir mažesniu (10-20%) β – TCP, turėtų daug didesnę jėgą (80-100MPa arba 120-140MPa) po įvykusio (x=10,20) su vidutiniu porėtumu (320 µm) turi daugiau negu 100MPa suspaudimą ir ~52% poringumo. Šios straipsnio išvados parodo, kad Csi – Mg/TCPx sluoksniai yra daug žadantys kaulų defektų gydymui, reikalaujančiam iššūkių.

Prieš tai aptartame straipsnyje buvo kalbama apie porėtos keramikos užauginto kaulo pakeitimą vietoj kaulų, kurie yra su defektais ar po traumų. O štai šio straipsnio išvados taip pat parodo tam tikrus sluoksnius, kurie yra daug žadantys kaulų defektų gydymui. Apie kaulų audinių gamybą šnekama ir straipsnyje „3D spausdinimas keraminių sluoksnių kaulinio audinio gamybai“ (S. M. Barinov, I. V. Vakhrushev , V. S. Komleva , A. V. Mironovc , V. K. Popovc , A. Yu. Teterinaa , A.

Yu. Fedotova, and K. N. Yarygin). Šiame tyrime pristatomi rezultatai tiriamo proceso 3D spausdinimo sluoksnių struktūrų, paremtų trikalčio fosfato mikrogranulėmis ir jų tolesnio cheminio modifikavimo reagentais su bioaktyvių keraminių sluoksnių ir kaulų audinių gamyba.

Kaip ir pačiame pirmame straipsnyje “3D spausdinimas porėtos keramikos sluoksnių kaulų audinių gamybai” (Hermann Seitz, Wolfgang Rieder, Stephan Irsen, Barbara Leukers, Carsten Tille), taip ir „Porceliano keramikos medžiagų su rišamąja medžiaga proceso tobulinimas dantų pritaikymo procese“ (Hadi Miyajani, Shanshan Zhang, Austin Lassell, Amirali Zandinejad, Li Yang) kalbama apie tai, jog tam tikros pasirinktos struktūros turi didelį potencialą odontologijoje. Šio straipsnio tyrime pasirinktos keramikos struktūros turi didelį potencialą daugelyje programų, tokių kaip odontologija, kur yra ekstremalios sąlygos. Šis straipsnis parodo, kad proceso metu ir post proceso dantų porceliano keramikos medžiagoms surišti naudojami priedai. Įvairūs proceso parametrai, tokie kaip rišiklio kiekio, džiovinimo galios lygis, džiovinimo laiko ir miltelių plitimo greitis, buvo tiriama eksperimentiškai, jų geometrinės ir mechaninės savybės „žalių“ prototipų. Be to, iš sukepintų, sutankintų keraminių prototipų savybės buvo tiriamos eksperimentiškai.

Straipsnis „Porėta keramika, pagaminta naudojant sparčių prototipų gamybos metodus“ (Alberto Ortona, Claudio D'Angelo, Sandro Gianella, Daniele Gaia) kalba apie sparčių prototipų gamybos būdus, tokius kaip stereolitografija ir selektyvų kietinimą lazeriu, kurie buvo naudojami gaminti keraminius modelius, kurie buvo polerizuoti ir legiruoti išlydytu siliciu. Šiame tyrime siūloma hibridinė metodika, kuri gali realizuoti bet kokios formos porėtos keramikos struktūras, naudojant 3D spausdinimą. Tai hibridinis metodas apjungiantis dabartinių sparčių prototipų gamybos metodus pagal struktūrą ir inžinerines medžiagas. RP gamybos metodai parodė didesnes suspaudimo galimybes.

Apie selektyvų kietinimą lazeriu kalbama ir straipsnyje „Selektyvaus lazerio sukepimo akmenukai iš Li_2TiO_3 “ (Qilai Zhou, Yue Gao, Kai Liu, Lihong Xue, Youwei Yan) kalbama apie ličio titanatą, Li_2TiO_3 , kuris yra svarbi medžiaga branduolių sintezės reaktoriuje. Šiame tyrime buvo pristatyta selektyvaus lazerio sukepimo technologija, buvo pagaminti Li_2TiO_3 keramikos akmenukai. Šis gamybos procesas yra kompiuterizuotas ir turi aukštą lankstumo lygį. Li_2TiO_3 milteliai, kurių dalelių dydis yra 1-3 mkm, buvo naudojamas kaip žaliava, tuo pat metu epoksidinė derva EO6 buvo naudojama kaip rišiklis. SLS proceso metu buvo sėkmingai pagaminti „žalieji“ Li_2TiO_3 akmenukai. „Žali“ akmenukai buvo sutankinti šalto izostatinio suspaudimo procese (CIP). Li_2TiO_3 akmenukai su maždaug 2 mm skersmeniu buvo gauti aukštoje temperatūroje sukepimo būdu. Po sukepimo akmenukai pasiekia 80% teorinio tankio. Atlaikė 43N apkrovą.

Kitame straipsnyje “Kristalizacijos eutektinėje temperatūroje mikrostruktūros ir mechaninių savybių $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ tyrimas, paruoštas 3D lazeriniu spausdinimu” (Zhi Liu, Kan Song, Bo Gad, Tian Tian, Haiou Yang, Xin Lin, Weidong Huang) kalbama apie kryptingai sukietėjusią eutektinės krista-

lizacijos metu sukietėjusią keramiką, tokią kaip Al_2O_3/ZrO_2 , kuri yra daug žadanti medžiagos struktūra, sukepinama labai aukštoje temperatūroje. Šiame darbe buvo pritaikomas pagalbinis lazerio kaitinimas Al_2O_3/ZrO_2 eutektinės kristalizacijos pavyzdžiais, kurie gaminami sustiprinant formas, kad neliktų įtrūkimų. Tipiška eutektinė mikrostruktūra analizuojama atsižvelgiant į vystymąsi tolygaus augimo sąlygomis. Proceso metu, kietame kūne atsiradusių porėtų struktūros defektų sumažinimo klausimas buvo aptartas, priežastys nustatytos. Porėtos struktūros defektai buvo sumažinti ir optimizuoti. Atitinkamai maksimalus kietumas ir lūžio taškas buvo išmatuoti esant 16,7 GPa ir 4,5MPa .

Apie temperatūros svarbą diskutuojama ir straipsnyje „Temperatūros pasiskirstymas 3D spausdinimo zonoje“ (M. Dressler, M. Rollig, M. Schmidt, A. Maturilli, J. Helbert), kurio tikslas buvo supažindinti su temperatūros pasiskirstymu metalo ir keramikos zonoje 3D spausdinimo metu. Analizuojamos miltelių šilumos laidumo, terminio laidumo koeficiento, spinduliavimo spektrų ir tankio savybės. 3D spausdinimo prietaiso (Prometal R1) temperatūros pasiskirstymas buvo matuojamas su plonos termoporos pagalba (0,25 mm skersmens) ir termografiniu vaizdu. Buvo nustatyta temperatūra metalo sluoksnio paviršiuje, spausdinamo sluoksnio gyliuose tos temperatūros skyrėsi. Taip pat buvo matuojamas šilumos laidumas, terminės difuzijos ir spinduliavimo spektrai. Skaitmeninis modeliavimas buvo naudojamas patikrinti išmatuotas temperatūras. Keraminiai milteliai įkaista ir greičiau atvėsta. Tai parodo skaitmeninis modeliavimas, remiantis išmatuotų verčių, šilumos laidumo ir šiluminio laidžio bei spinduliavimo spektro rodmenys.

“Keraminės suspensijos tinkamumas stereolitografijai” (C. Hinczewski, S. Corbel ant T. Chartier) straipsnyje kalbama apie keramines trimačias dalis, kurios buvo pagamintos stereolitografijos (SL) būdu, naudojant keraminę suspensiją, kurioje buvo aliuminio oksido milteliai. UV sujungia monomerus, fotoaktyviasias medžiagas, po to sukepinimo būdu pašalinami organiniai komponentai. SL procesas susideda iš dalių, kurių sudėtingos formos, sluoksnis po sluoksnio užauginamos lazerio polimerizacijos keramikos/dervos mišinio pagalba. SL proceso metu pagaminamos aukšto tankio detalės, kurios keramikos koncentracijos suspensijos porėtumas gaunamas (53÷01%).

Apie rišamąsias medžiagas ir dervą taip pat galima rasti straipsnyje „3D spausdinama porėta biokeramika, naudojant polimerinį rišiklį“ (A. Zocca, H. Elsayed, E. Bernardo, C. M. Gomes, M. A. Lopez-Heredia, C. Knabe, P. Colombo and J. Günster) teigiama, kad biokeramika yra biologiškai aktyvi. Tačiau gaminti iš jų sudėtingas geometrines formas yra sudėtinga. Todėl šiame veikale siekiama supažindinti su nauja strategija, kurios metu formuojant biostiklo keramikos paviršaus struktūras ir savybes, pradedama nuo stiklo miltelių, kartu su keraminiu polimeru, t.y silicio dervos ir reaktyviųjų užpildų. Derva veikia ne tik kaip rišamoji medžiaga, kuri užpildo miltelių spausdinimo procesą, bet taip pat generuoja norimas biokeramikos fazes. Buvo įvertinta 3D spausdintų diskų mechaninės ir

fizikinės savybės, tankis, poringumas ir morfologija. Šių mėginių poringumas 64% tūrio ir atsparumas lenkimui 6MPa. Šiame darbe naudojamos žaliavos 3D spausdintiems pastoliams, kurie atlaikė stiprumą 1MPa (cilindrinių pastolių, kurių bendras poringumas apie 80% tūrio).

Šiame straipsnyje buvo kalbama apie diskų mechanines ir fizines savybes, o sekančiame straipsnyje supažindinama su šių savybių tobulinimu.,,3D spausdinto aliuminio keramikos gaminių stiprinimas naudojant vakuuminę infiltraciją“ (S. Maleksaeedi, H. Eng, F. E. Wiria, T. M. H. Ha, Z. He) kalbama apie tai, jog gaminant aliuminio oksido keramikos komponentus iš miltelių, naudojant 3D spausdinimo metodą, buvo tobulinamos mechaninės ir fizinės savybės, naudojant vakuuminę infiltraciją (įsiskverbimą). 3D spausdintos dalys po sukepimo ir sutankinimo buvo prisotintos keramikos dulkių. Fizikinių ir mechaninių savybių įsiskverbimo poveikis buvo tiriamas naudojant Achmedo metodą, mikro CT, 4 taškų lenkimo bandymą. Didesnės suspensijos koncentracija lemia geresnį tankį, mažesnį poringumą, sustiprina mechanines savybes ir paviršiaus struktūrą. Storesnių detalių tankis mažėja dėl didelio klampumo suspensijos ir dėl mažos infiltracijos. Šis darbas supažindina su metodu, leidžiančiu pagerinti mechanines ir fizines savybes, atspausdintų 3D keramikos detalių.

Straipsnyje “Keraminių komponentų 3D spausdinimas veikiamas ekstruzijos metodu“ (M. Faes, H. Valkenaens, F. Vogeler, J. Vleugels, E. Ferraris) kalbama apie tai, kaip inžinerinės keramikos tampa vis svarbesnės šiandien pramonėje. Dėka išskirtinių legiruojančių elementų, gaunamos gerų mechaninių, šiluminių ir cheminių savybių medžiagos. Nepaisant to, tradicinės gamybos keramikos technologijos negali konkuruoti su individualiais kompleksiniais komponentais rinkoje. Šiuo tyrimu buvo siekiama plėtoti ekstruzijos pagrindu AM technologiją, naudojant UV. Buvo tiriamas homogeniškumas, klampumo ir spausdinimo galimybių sklaidos, kurių sudėtyje nuo 22% iki 55% ZrO₂ dervos tūrio. Buvo gautas lydytas stiklas, kurio tankis 92%. Tai įrodo, kad šios technologijos gali potencialiai plėstis.

Sekančiame straipsnyje taip pat kalbama ir apie tradicinius, ir apie netradicinius keramikos gamybos būdus. Straipsnis „Keraminių komponentų, pagamintų naudojant rašalinį spausdinimą, defektai ir prevencijos“ (J. H. Song, M. H. Nur) apie rašalinį spausdinimą, kuris buvo naudojamas gaminti sudėtingų keraminių komponentų struktūrų gaminius. Šiuos gaminius buvo sunku gaminti naudojant tradicinius keramikos gamybos metodus. Gaminamų komponentų kokybės kontrolė yra labai svarbi siekiant išvengti makroskopinių ir mikroskopinių defektų. Makroskopiniai defektai atsiranda dėl nusėdimo trūkumo, kurio tiek dydis, tiek forma lemia tikslumo klasę. Makroskopiniai defektai yra atsiradę dėl nusėdimo ir tolimesnio apdirbimo. Šiame darbe supažindinama su skirtingų tipų defektais, jų priežastimis ir prevencijos identifikavimą, kalbant apie spausdinamų medžiagų savybes ir sąlygas.

Straipsnyje “Keraminių mikro ramsčių masyvų spausdinimas” (M. Lejeune, T. Chartier, C. Dossou-Yovo, R. Noguera), parodomas įvairių rūšių mikro pakopos masyvo struktūros pagal rašalinio spausdinimo proceso gamybą. Pranešime daugiausiai kalbama apie 1-3 pjezoelektrinių kompozitų su foto katalizatoriaus priedais, atitinkamai naudojamos PZT ir TiO_2 suspensijos, tai ir yra šio straipsnio pagrindinė tema. Pirmiausia įvairūs tyrimai buvo atlikti reguliuoti keraminės suspensijos suderinimą su rašalinio spausdinimo procesu. Vėliau šis tyrimas atskleidžia kaip pagrindinės charakteristikos mikro ramstis masyvo struktūrų labai priklauso nuo gamybos sąlygų ir keraminės suspensijos sudėties. Buvo pasiektos labai geros raiškos, dėka sukeptintų PZT ir TiO_2 mikro pakopos struktūrų.

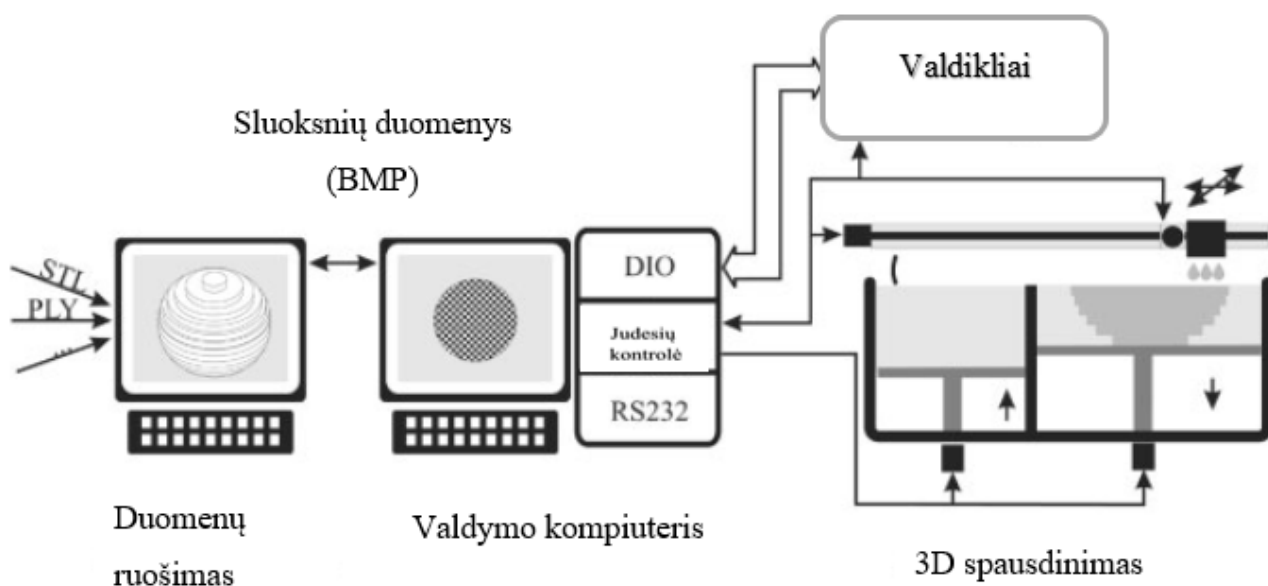
Apie keraminių masyvų rašalinį spausdinimą taip pat kalbama straipsnyje „Keraminių pakopų masyvų rašalinis spausdinimas“ (X. Zhao, J. R. G. Evans, M. J. Edirisinghe, J. H. Song) teigiama, kad „aukštos kokybės pjezoelektrinis XJ500 antgalis sumontuotas ant spausdinimo galvos, ant linijinio stalo su z-ašies pastūma buvo naudotas smulkiems vientisiems keraminiams sluoksniams gaminti“. Tokios struktūros gali būti pritaikomos labai mažuose šilumokaičiuose, katalizatoriaus palaikyme, ląstelių reguliavimui protezavimo arba polimerinės keramikos pjezoelektriniuose 1-3 kompozituose. Rašalo kasetė užpildyta vaško pagrindo suspensijos su 14% cirkonio bei oktano ir alkoholio mišiniu. Išdžiūvusio rašalo sluoksnyje lieka 63% cirkonio.

„Keramikos kalcio fosfato medžiagos, pritaikytos 3D spausdintuvui“ (V. V. Smirnov, A. Yu. Fedotov, E. N. Antonov, V. N. Bagradashvili, S. M. Barinov, M. A. Gol'dberg, O. S. Antonova, N. V. Petrakova) tiriamas mikrostruktūros formavimas ir mechaninės savybės, keraminių medžiagų taikymas medicinoje, kurios gautos naudojant technologiją, kuria pritaikoma prie 3D spausdinimo. Technologijos pagrindas yra organinių medžiagų įmaišymas į kalcio fosfato miltelius, kurių pasekoje šios medžiagos surišamos. Milteliai su geriausiomis charakteristikomis gaunami tuomet, kai jų sudėtyje yra 10% polivinilbutilio ir tirpiklyje yra etanolio.

Svarbias mikrostruktūros ir mechaninės savybės aptiriamos ir straipsnyje „3D spausdinimas Si_3N_4 : „žalių“ gaminių ir mikrostruktūros charakteristikos“ (B. Cappi, E. Ozkol, J. Ebert, R. Telle) straipsnyje kalbama apie tai, kaip buvo gaminami aukšto tankio keraminiai sluoksniai kaip 3D komponentai, spausdinant su skystintos keramikos suspensija. Tyrime, silicio nitridas (LPS- Si_3N_4) buvo sumaišytas su organiniais priedais vandeninėje terpėje. Vėliau suspensija buvo pritaikyta gamybos technikai dėl dalelių dydžio ir deflokuliacijos. Ploni mikro eilės sluoksniai 3D komponentai, tokie kaip krumpliaračiai ir indžinerinės dalys, buvo sutankinamos slegiant. Buvo tiriamos mechaninės savybės ir mikrostruktūros, spausdintos LPS- Si_3N_4 padarytu garinimui. Rezultatai parodė, kad buvo gautas tankus gerų mechaninių savybių ir nepastebėta nepageidaujamų tarpų struktūroje. Taigi, ši technologija turi didelį potencialą 3D spausdinimui su silicio nitrido keramikomis.

3. PASIRINKTŲ 3D SPAUSDINIMO BŪDŲ GALIMYBIŲ ANALIZĖ

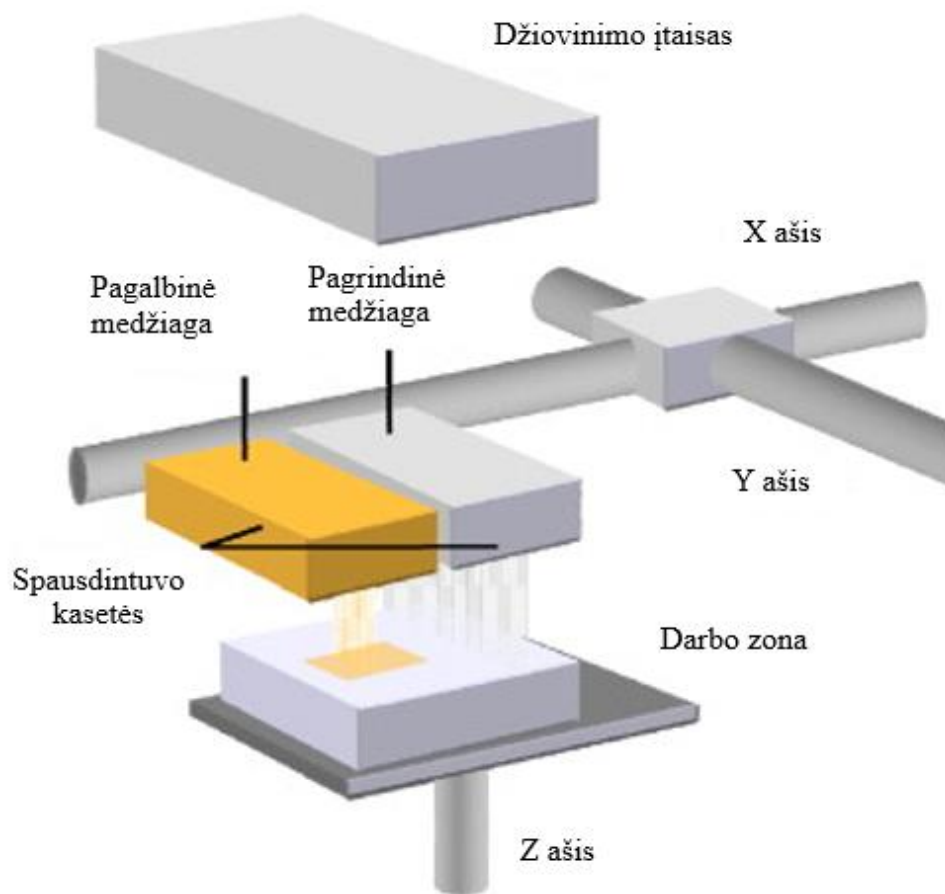
Išnaginėjus literatūros šaltinius, pasirinkti pagrindiniai keraminių komponentų spausdinimo būdai. Tai “3D spausdinimas porėtos keramikos sluoksnių kaulų audinių gamybai” (Hermann Seitz, Wolfgang Rieder, Stephan Irsen, Barbara Leukers, Carsten Tille) straipsnyje minimas įrenginys, kurio pagrindą sudaro du rezervuarai, judantys z ašies kryptimi. Vienas skirtas miltelių rezervuarui, kitas - gaminiui gaminti, taip pat X-Y kryptimis judantis spausdinimo įtaisas, ir keli elektroniniai valdymo įrenginiai. (3.1 pav.)



3.1 pav. 3D spausdintuvas, kai rišamoji medžiaga yra išpurškiama ant darbo zonoje esančių keraminių miltelių

Ploną sluoksnį keramikos miltelių suformuoja brauktuvas iš miltelių rezervuaro, nubraukdamas miltelius į detalės rezervuarą. Skystu rišikliu keramikos milteliai yra surišami tik konkrečiuose taškuose. Kai sluoksnis yra baigtas, detalės rezervuaras slenkasi žemyn, o miltelių rezervuaras aukštyn, ir brauktuvu yra formuojamas kitas sluoksnis. Taip, sluoksnis po sluoksnio, yra užauginama detalė. Vykstant šiam procesui tie patys milteliai yra naudojami ir kaip pagalbinė medžiaga. Baigus, nereikalingi milteliai yra pašalinami panaudojant suspaustą orą, ir detalė džiovinama kambario temperatūroje, vėliau ji yra sukepinama 2h maždaug 1250 laipsnių pagal Celsijų temperatūroje, atšaldoma taip pat kambario temperatūroje. Organinis rišiklis pašalinama sukepinimo metu. Po sukepinimo detalė įgauna norimas mechanines charakteristikas, bet sukepinimo metu detalė dažnai šiek tiek susitraukia.

Kitas būdas skiriasi tuo, jog keraminiai milteliai iš pradžių sumaišomi su rišamąją medžiaga, ir po to išpurškiami. Šis metodas yra aprašytas „3D spausdinimas Si₃N₄: „žalių“ gaminių ir mikrostruktūros charakteristikos“ (B. Cappi, E. Ozkol, J. Ebert, R. Telle) straipsnyje. Spausdinimo įrenginys buvo pagamintas modifikuojant "HP Deskjet 930c" spausdintuvą. Spausdintuvas turi dvi atskiras galvutes: vieną pagrindinei, kitą pagalbinei medžiagai. Jos juda x y koordinatėmis, o detalė leidžiasi z ašies kryptimi. Sluoksniai yra formuojami kaip tradicinio spausdintuvo principu, ir džiovinami džiovinimo įrenginiu. Atspausdintas detales taip pat reikia sukepinti, norint pasiekti reikiamų savybių mechanines charakteristikas. Principinė schema pavaizduota 3.2 pav.



3.2 pav. 3D spausdintuvas, kai rišamoji medžiaga iš pradžių sumaišoma su keramikos milteliais ir po to suspensija išpurškiama darbo zonoje

4. KERAMINIŲ MEDŽIAGŲ SPAUSDINIMO GALIMYBIŲ TYRIMAS

4.1 Naudojamos medžiagos

Šiame skyriuje analizuojamos medžiagos, paplitusios dantų keramikoje, ir galimybė jas panaudoti 3D spausdintuve iš pradžių sumaišius su skiedikliu. Šios medžiagos yra naudojamos odontologijos pramonėje, rankiniu būdu gaminant dantų karūnėles. 4.1 pav. parodytos medžiagos, naudojamos atliekant tyrimus.



4.1 pav. medžiagos, naudojamos atliekant tyrimus

Cirkonio keramikos.

Cerabien ZR (CZR) yra naujos kartos keramika, sudaryta iš cirkonio, naudojama dantų karūnėlėms gaminti.

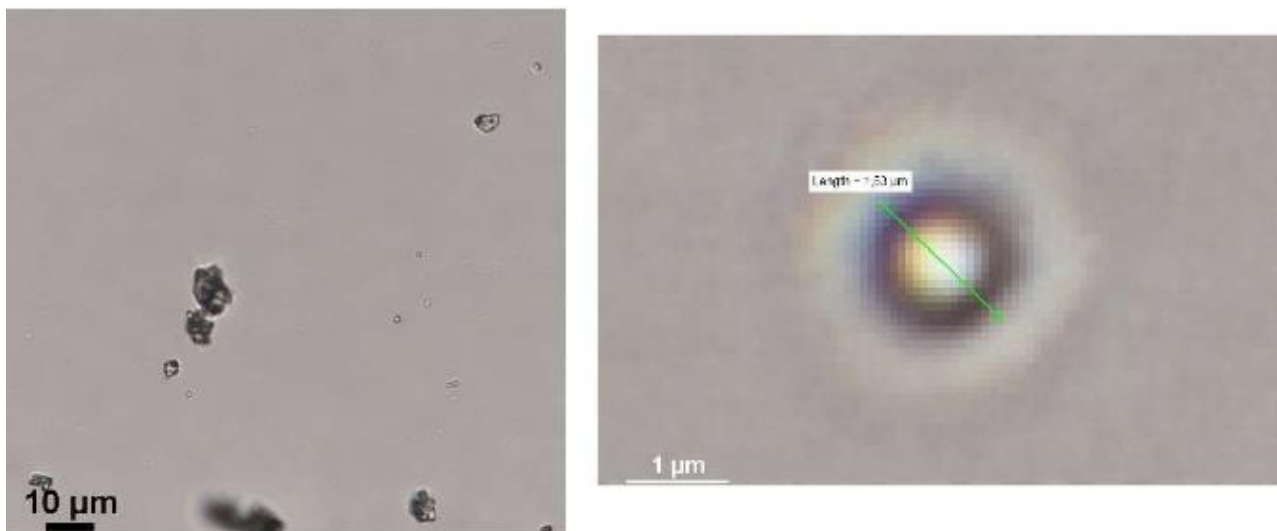
- Cirkonio karūnėlės tokios tvirtos, kad gali būti naudojamos ir priekinių, ir krūminių dantų protezavimui ir atlaiko didelį kramtymo krūvį.
- Atsparios nusidėvėjimui.
- Mažiau šlifuojami danties kietieji audiniai, nes nebereikia maskuoti metalo.
- Cirkonio karūnėlėms būdingos puikios estetiškos savybės.
- Nebūna pilkos juostos prie dantenų krašto, lyginant su metalo keramikos vainikėliais.
- Cirkonio oksidas nesukelia alergijų. Tai bioinertiška medžiaga, kurią organizmas priima kaip natūralią.
- Aplink cirkonio oksido konstrukcijas nebūna dantenų uždegimo. Pažymėtina, kad protezuojant, kai įsriegiami implantai, yra svarbu, nes vainikėlis visada kontaktuoja su dantenomis.
- Cirkonio oksido atramoms būdingos puikios estetiškos savybės, lyginant su kitų metalų atramomis.

- Yra užtikrinama pakankama protezo retencija, esant skirtingam tarpokliuziniam aukščiui, atkuriama ideali anatominė forma.
- Individualiai frezuojama atrama suteikia galimybę visiškai pašalinti cementą, nes matoma protezo riba. [19]

Formuojant karūnelę iš CZR keramikos, būtina ją gaminti 10%, kad nesusitrauktų. Pagaminta karūnelė sukepinama 930-940 ° C temperatūroje. Sukepinta keraminė karūnelė įgauna norimą paviršiaus tekstūrą ir mechanines savybes. Jei netenkina paviršiaus tekstūra ar mechaninės savybės, reikia kelti sukepinamo temperatūrą.

4.2 CZR keramikos, naudojamos odontologijos pramonėje, dalelių dydis

Pirmiausia reikia atlikti dalelių, naudojamų CZR keramikos dydį ir išsiaiškinti, ar tos dalelės tilps pro purkštuko antgalį, 4.2 pav. matyti matuojamos dalelės.



4.2 pav. Matuojamų dalelių dydis [20]

Iš atliktų matavimų matyti, jog dalelių dydis skiriasi. Jų skersmens dydis svyruoja nuo 0,88 iki 1,53 μm. [20]

Bandymų metu naudotos adatos, kurių skersmuo yra 583 mikrometrų, 404 mikrometrų, 254 mikrometrų. Iš atliktų matavimų galima daryti išvadą, jog CZR keramikos dalelių dydis yra nuo 140 iki 625 kartų mažesnis nei naudojamų adatų skersmuo, todėl jos lengvai turi praeiti pro adatos antgalį.

4.3 CZR keramikos, naudojamos odontologijos pramonėje, tirpumo ir nusėdimo nustatymas

Norint atlikti bandymą ir išsiaiškinti, ar sumaišius CZR keramikos miltelius su skiedikliu pavyks juos išpurkšti, neužtenka žinoti vien naudojamų dalelių dydį - reikia išsiaiškinti jų tirpumą ir nusėdimo greitį.

Bandymas buvo atliktas naudojant šešias plastikines talpas:

1. Visų pirma visi tiriamieji indai buvo užpildyti skiedikliu nuo 5 iki 20ml. Vėliau į juos buvo įdėta CZR keramikos miltelių. Visuose induose keramikos ir skiediklio santykis buvo 1:5 ir 1:10.
2. Keramikos milteliai su skiedikliu išmaišomi. Maišoma buvo keletą sekundžių rankomis.
3. Galiausiai, pusė talpų su tiriamąja medžiaga buvo uždengtos. Tai buvo padaryta dėl to, jog būtų galima išsiaiškinti, ar aplinkos poveikis daro kokią nors įtaką tiriamajai medžiagai.[20]

Tiriamieji keramikos miltelių bandiniai sumaišyti su skiedikliu pavaizduoti 4.3 pav.



4.3 pav. Tiriamieji keramikos miltelių bandiniai, sumaišyti su skiedikliu [20]

Praėjus šiek tiek laiko, visų tiriamųjų indų dugne atsirado keramikos nuosėdų. Bandymo metu surinkta medžiaga yra apibendrinta 4.1 lentelėje. Informacija 4.1 lentelėje rodo, jog bandymo metu visų indų dugne atsirado keramikos nuosėdų per pirmąsias 15 minučių ar dar greičiau. 4.4 pav. aiškiai matyti nuosėdos tiriamojo indo dugne.



4.4 pav. Indai su tiriamaisiais tirpalais [20]

4.1 lentelėje pateikti bandymo metu surinkti duomenys. Buvo naudojami šeši indai su skirtingais kiekiais vandens ir keramikos milteliais. Pusė jų buvo uždengti, kita pusė - atviri. Bandiniai buvo palikti 15 minučių, 60 minučių ir 24 valandoms.

4.1 lentelė. Bandymo metu gauti rezultatai [20]

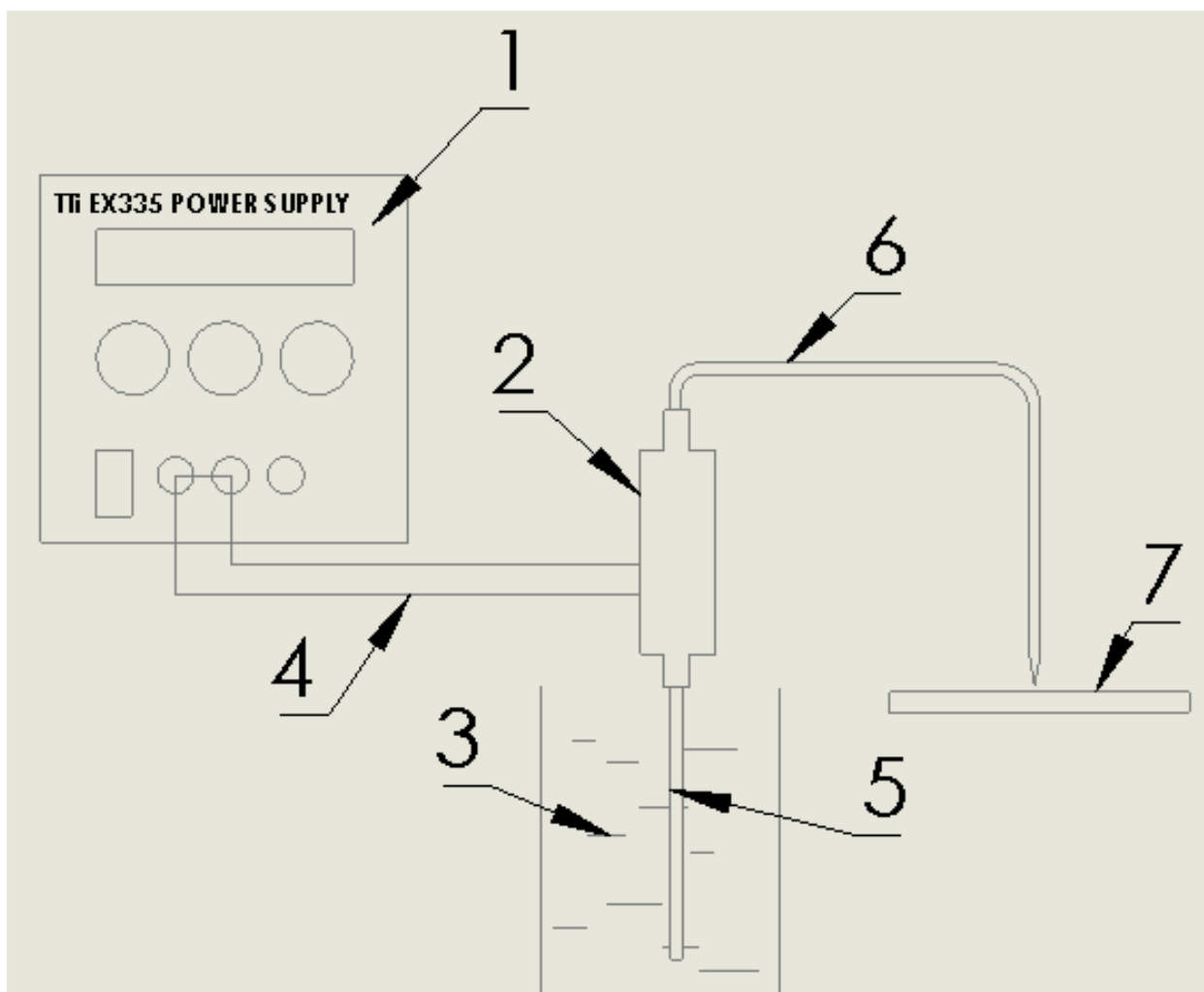
Bandinio nr.	1	2	3	4	5	6
Vanduo, ml.	20	20	10	10	5	5
CZR, g.	2	2	1	1	1	1
Indas	Uždaras	Atviras	Uždaras	Atviras	Uždaras	Atviras
Rezultatai po:						
15 min.	Matomos nuosėdos	Matomos nuosėdos	Matomos nuosėdos	Matomos nuosėdos	Matomos nuosėdos	Matomos nuosėdos
60 min.	Daugiau nuosėdų	Daugiau nuosėdų	Daugiau nuosėdų	Daugiau nuosėdų	Daugiau nuosėdų	Daugiau nuosėdų
24 h.	Pilnai nuosėdos, drumstas vanduo	Pilnai nuosėdos, drumstas vanduo	Pilnai nuosėdos, drumstas vanduo	Pilnai nuosėdos, drumstas vanduo	Pilnai nuosėdos, drumstas vanduo	Pilnai nuosėdos, drumstas vanduo

Visų pirma, tik sumaišius keramikos miltelius su skiedikliu, keramikos dalelės laisvai plaukiojo talpoje, kurioje buvo atliktas bandymas. Visoje talpoje jos pasiskirsčiusios tolygiai. Antra, sąveikos jėgos pradeda mažėti ir gravitacijos jėga pradeda smarkiau veikti keramikos daleles, kadangi jos yra žymiai sunkesnės už skiediklį. Sunkesnės keramikos dalelės nusėda į talpos dugną, o skiediklis kyla į viršų. Trečia, sąveikos jėgos išnyksta, o dėl gravitacijos jėgos poveikio visos dalelės nusėda ant dugno.

Pagal rezultatus, pateiktus pirmoje lentelėje, matyti, jog sumaišius keramikos miltelius su skiedikliu, turime labai mažai laiko juos išpurkšti. Taip pat galima daryti išvadą, jog nusėdimo greitis nepriklauso arba labai mažai priklauso nuo to, ar indas buvo uždengtas, ar nebuvo. Taip pat galime daryti išvadą, jog nusėdimo greitis tiesiogiai proporcingas laikui.

4.4 Bandymas su CZR keramikos suspensija

Principinė bandymo schema pavaizduota 4.6 pav.



4.6 pav. Principinė atliekamo bandymo schema. 1 – energijos šaltinis, 2- siurbliukas, 3 –CZR keramika sumaišyta su skiedikliu, 4 – siurblio sujungimas su energijos šaltiniu, 5 – CZR keramikos pėmimas, 6 – CZR keramikos padavimas, 7 – darbo zona.

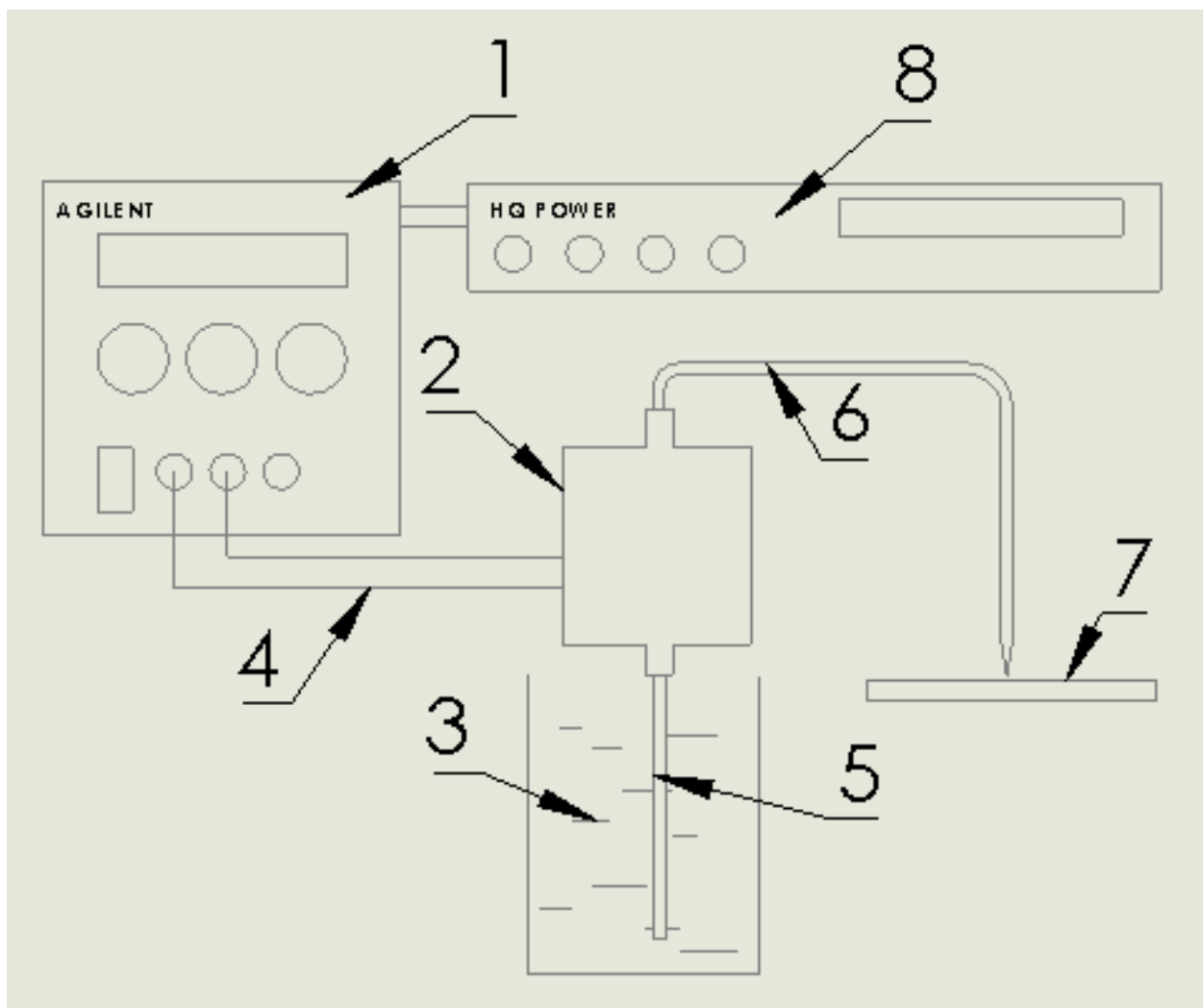
Bandymo principas. Siurblys nr.2 prijungtas prie energijos šaltinio nr.1. Prijungtas siurblys turėjo patraukti CZR keramikos suspensiją nr.3, per panardintą į ją vamzdelį nr.5. Toliau, siurblys nr.2 CZR keramikos suspensiją turėjo išpūsti ant darbo zonos nr.7, per vamzdelį nr.6. Taip, sluoksnis po sluoksnio kartoti, kol būtų gaunama norima detalė.

Tačiau bandymas buvo nesėkmingas, kadangi CZR keramikos dalelės sparčiai nusėdavo ant dugno, o siurblys pirmiausiai traukdavo lengvesnes skiediklio daleles, kol galiausiai užsikimšdavo. Šiuo atveju, tik sumaišius CZR keramikos daleles su skiedikliu, gaunamas 100% pasiskirstymas tirpale. Tačiau, nuo pat pradžių CZR keramikos koncentracija mažėja ir gana sparčiai nusėda ant dugno. Šį procesą paspartina siurblys, kuris iš pradžių traukia lengvesnes daleles. Iš to galima daryti išvadą, jog CZR keramikos suspensijos beveik negalima naudoti nuo pat pradžių. Norint naudoti CZR keramikos suspensiją šiuo metodu, reikia palaikyti vienodą CZR keramikos dalelių pasiskirstymą viso proceso metu. T.y. turi būti užtikrintas nuolatinis suspensijos talpoje.

5. GAMINIŲ SPAUSDINIMAS IŠ KERAMINIŲ MEDŽIAGŲ, RIŠAMĄJĄ MEDŽIAGĄ IŠPURŠKIANT ANT DARBO ZONOJE ESANČIŲ KERAMIKOS MILTELIŲ

Šiame skyriuje bus nagrinėjamas gamybos metodas, iš CZR keramikos, kai rišamoji medžiaga yra išpurškiama ant darbo zonoje esančių CZR keramikos miltelių. Šis būdas iš esmės skiriasi nuo aptarto ankstesniame skyriuje, kadangi čia nemaišoma keramikos suspensija, dėl to išsispredžia problema dėl nusėdimo ir suspensijos tolydumo.

Principinė šio proceso schema pavaizduota 5.1 pav.



5.1 pav. Rišamosios medžiagos išpurškimo principinė schema . 1 – signalų generatorius, 2 - pjezoelektrinis siurbliukas, 3 – rišamasis tirpalas, 4 – pjezoelektrinio siurblio sujungimas su bangų generatoriumi, 5 – rišamojo tirpalo paėmimas, 6 – rišamojo tirpalo padavimas, 7 – darbo zona su CZR keramikos milteliais.

Bandymas, pjezoelektrinis siurblys nr. 2 prijungtas prie signalų generatoriaus nr. 1. Stiprintuvas nr. 8 sustiprina signalą ir pjezoelektrinis siurblys pumpuoja rišamąjį tirpalą nr. 3, iš talpos per

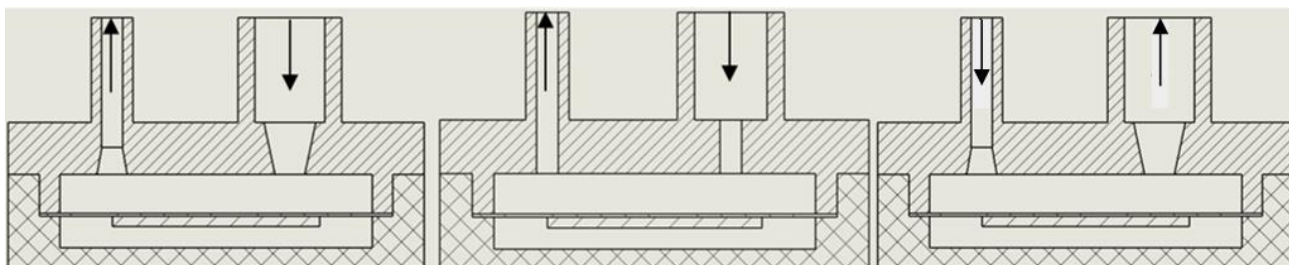
panardintą į ją vamzdelį nr. 5. Toliau pjezoelektrinis siurblys išpurškia rišamąjį tirpalą per vamzdelį nr. 6, ant darbo zonos nr. 7, su joje esančiais CZR keramikos milteliais. Ir taip, sluoksnis po sluoksniu kartojama, kol gaunamas norimas gaminys.

5.1 Pjezoelektrinis siurblys

Vienas svarbiausių 5.1 pav. pateiktos schemos elementų yra pjezoelektrinis siurblys. Jis svarbiausias dėl to, jog parinkus neteisingą pjezoelektrinį siurblį, gali neveikti visa sistema. Pjezoeftas vyksta dėl elektros poveikio pjezo medžiagai, t.y. gavus elektros krūvį, medžiaga išsiplečia ir susitraukia.

5.1.1 Pjezoelektrinio siurblio paėmimo ir padavimo kiaurymių modeliavimas.

Bandant supaprastinti pjezoelektrinį siurblį buvo priimtas sprendimas atsisakyti vožtuvų ir siurblį projektuoti be jų. Ar šis sprendimas teisingas buvo patikrinta modeliuojant Solidworks programa. Buvo priimti trys galimi kiaurymių variantai: pirmas, kai paėmimo angos kūgiškumas yra didesnis paėmime, o padavimo angos kūgiškumas didesnis siurblyje; antras variantas - kiaurymės be kūgiškumo; ir trečias variantas, kai paėmimo angos kūgiškumas didesnis siurblio viduje, o padavimo angos kūgiškumas didesnis padavime, siurblio išorėje. 5.1.1 pav.

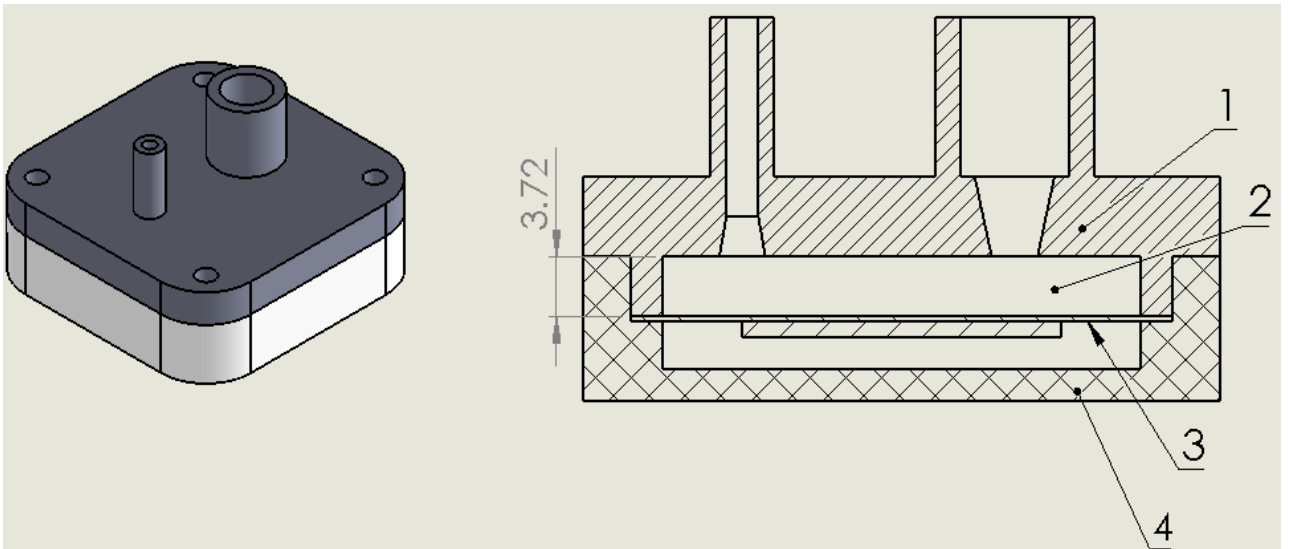


5.1.1 pav. paėmimo ir padavimo kiaurymių galimi variantai

Atlikus modeliavimą Solidworks programa, išsiaiškinta, jog iš trijų pateiktų pavyzdžių pirmas yra tinkamiausias, kadangi skysčio tekėjimo greitis ir debitas gaunamas kur kas didesnis siauresnėje kūgio dalyje nei platesnėje, jei atskaitos taškas yra siurblio darbinė kamera. Pasitelkus gautus rezultatus, galima daryti išvadą, jog siurblį be vožtuvų galima naudoti pasirinkus pirmą konstrukciją.

5.1.2 Pjezoelektrinio siurblio konstrukcija

Pjezoelektrinio siurblio konstrukcija pateikta 5.1.2 pav.

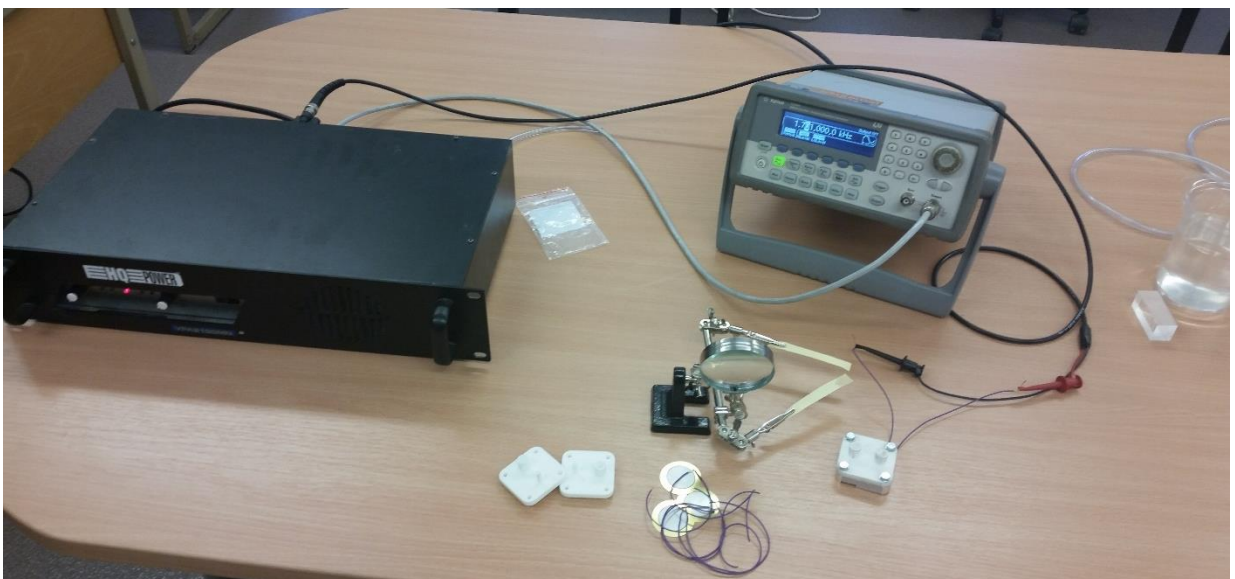


5.1.2 pav. pjezoelektrinio siurblio konstrukcija. 1 – viršutinis dangtelis, 2 – darbinė kamera, 3 – pjezoelektrinis elementas, 4 - apatinis dangtelis.

Pagrindinis šio siurblio skirtumas nuo kitų siurblių yra tas, jog nėra naudojami vožtuvai. Veikimo principas: pjezoelektrinis elementas nr.3 yra prijungtas prie bangų generatoriaus. Reguliuojant bangų generatorių kinta pjezoelektrinio elemento virpesiai. Virpėdamas jis į darbo kamerą nr.2 traukia skystį tol, kol užsipildo kamera. Vėliau, pagal gautus modeliavimo duomenis, skystį turėtų išpumpuoti per kiaurymę, kurios kūgiškumas didesnis darbo kameros atžvilgiu.

5.1.3 Bandymas nr. 1 su pjezoelektriniu siurbliu

Pirmiausia atliksiu bandymą su oro terpe tam, kad išsiaiškinti, ar oras pumpuojasi. Bus panaudoti popieriaus lapeliai. Bandymas matomas 5.1.3 pav.



5.1.3 pav. Bandymas su pjezoelektriniu elementu oro terpėje

Šio bandymo metu buvo pastebėta, jog vienas lapelis prisitraukia, o kitas nupučiamas, todėl galima teikti, jog siurblys orą pumpuoja ir galima atlikti bandymą su skysčiu.

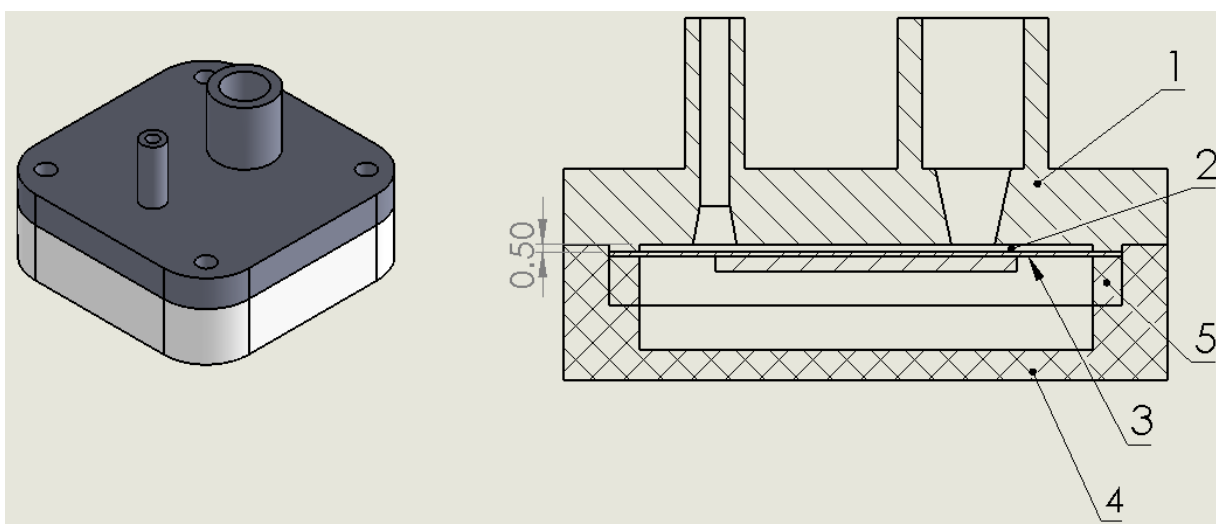
Skysčiu buvo pasirinktas vanduo, tačiau procesas nevyko. Šiuo atveju gali būti dvi neįvykusio proceso priežastys:

1. Siurblio darbinė kamera per didelė.
2. Pjezoelektrinio elemento eiga per maža.

Šios dvi priežastys tarpusavyje susijusios, kadangi sumažinus siurblio darbinę kamerą iki minimalios, gali užtekti pjezoelektrinio elemento eigos skysčiui perpumpuoti.

5.1.4 Bandymas nr. 2 su pjezoelektriniu siurbliu

Pakeičiau pjezoelektrinio siurblio kamerą iki 0,5mm. 5.1.4 pav.



5.1.4 pav. pjezoelektrinio siurblio konstrukcija su mažesne darbo kamera. 1 – viršutinis dangtelis, 2 – darbinė kamera, 3 – pjezoelektrinis elementas, 4 - apatinis dangtelis, 5 - tarpinė.

Buvo sumažinta siurblio darbinė kamera nuo 3,72mm iki 0,5mm aukščio. Apskaičiavau darbinės kameros tūrius.

$$V = \pi * r^2 * h$$

Pagal šią formulę apskaičiuoju $V_{3,72}$ ir $V_{0,5}$ pjezoelektrinių siurbių darbinių kamerų tūrius: $V_{3,72}=14,3\text{cm}^3$, $V_{0,5}=1,9\text{cm}^3$, pagal gautus rezultatus matyti, jog darbinės kameros tūris sumažėjo 7 kartus.

Siurblio su mažesne darbo kamera bandymas matomas 5.1.5 pav.



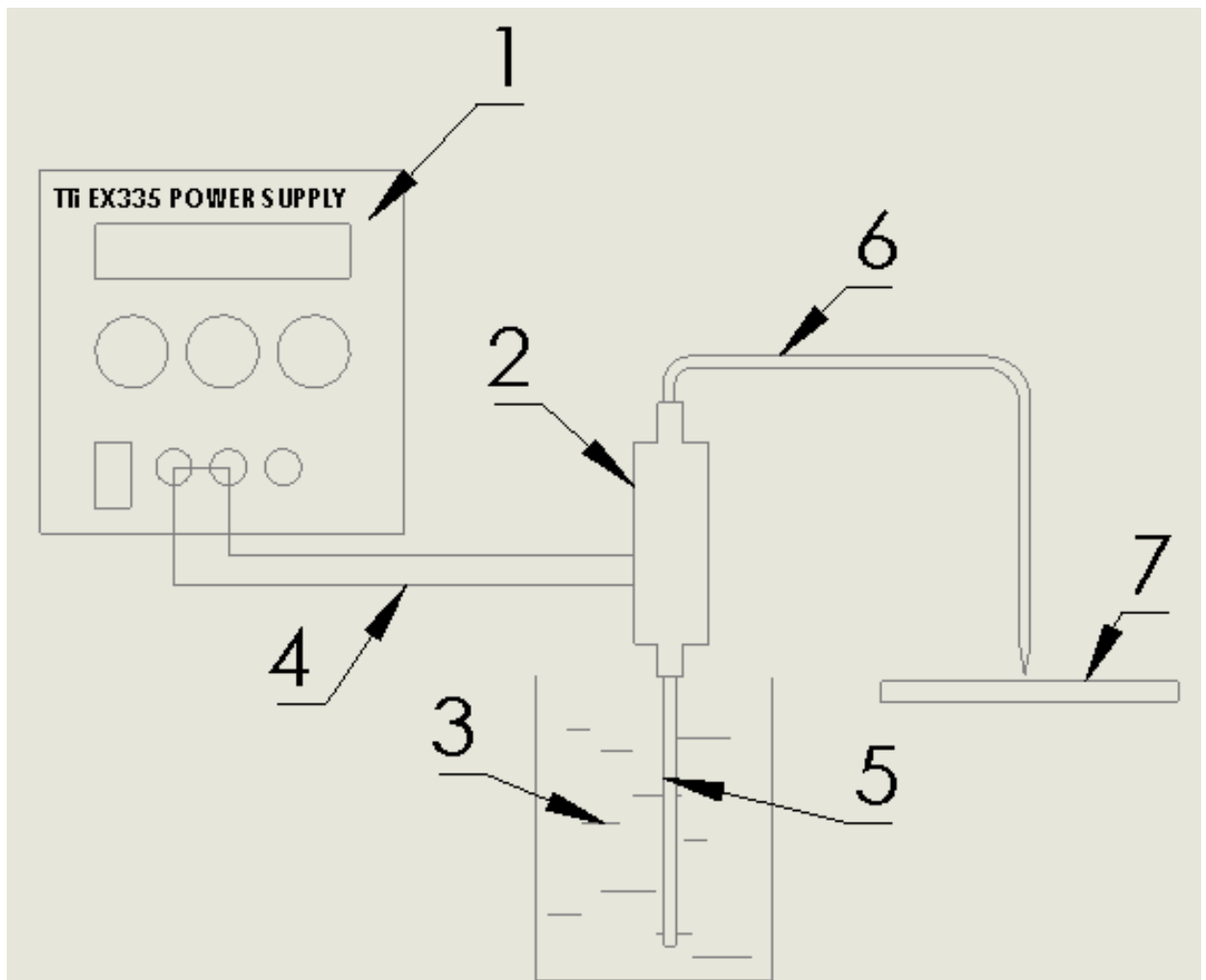
5.1.5 pav. Pjezoelektrinio siurblio bandymas, kurio kameros aukštis 0,5mm.

Bandymas buvo iš dalies pavykęs, kadangi skystį jis pumpuoja labai sunkiai ir nesuteikia mums reikiamo darbinio debito.

Atlikus šiuos bandymus, buvo padaryta išvada, jog reikia naudoti kitokios konstrukcijos siurblį.

5.2 GAMINIŲ SPAUSDINIMAS IŠ KERAMINIŲ MEDŽIAGŲ, RIŠAMĄJĄ MEDŽIAGĄ IŠPURŠKIANT ANT DARBO ZONOJE ESANČIŲ KERAMIKOS MILTELIŲ, NAUDOJANT IŠSCENTRINĮ SIURBLĮ

Šiame skyriuje bus nagrinėjamas gamybos metodas, iš CZR keramikos, kai rišamoji medžiaga yra išpurškiama ant darbo zonoje esančių CZR keramikos miltelių. Kadangi pjezoelektrinio siurblio debitas buvo per mažas, šis siurblys buvo pakeistas į išcentrinį siurblį. Taip pat visas bandymas tampa paprastesnis, kadangi nereikalingas bangų generatorius ir stiprintuvas, vietoje jų yra naudojamas energijos šaltinis, kurio pagalba yra keičiama įtampa. Keičiant įtampą, kinta siurblio debitas. Tai pats svarbiausias siurblio parametras, kadangi tik nustačius reikiame dydžio debitą galime užtikrinti reikiamą sluoksnio sudrėkinimą rišamąją medžiaga. Kadangi per mažai sudrėkinus sluoksnį detalė nebus pagaminta, arba jei per daug sudrėkinsime detalę, tai ji bus sugadinta. Principinė schema pavaizduota 5.2 pav.



5.2 pav. principinė atliekamo bandymo schema. 1 – energijos šaltinis, 2- ekscentrinis siurblys, 3 – skystis, 4 – siurblio sujungimas su energijos šaltiniu, 5 – skysčio paėmimas, 6 – skysčio padavimas, 7 – darbo zona su CZR keramikos milteliais

Veikimo principas. Siurblys nr.2 prijungtas prie energijos šaltinio nr.1, turi pumpuoti rišamąją medžiagą (skystį) nr.3, per panardintą į ją vamzdelį nr.5. Toliau, siurblys nr.2 rišamąją medžiagą turėjo išpūsti ant darbo zonos nr.7, per vamzdelį nr.6, su CZR keramikos milteliais. Ir taip, sluoksnis po sluoksnio kartoti, kol būtų gaunama norima detalė. Kiekvieno CZR keramikos sluoksnio perteklius nubraukiamas brauktuvu (schemoje to nematyti, kadangi ši dalis nenagrinėjama).

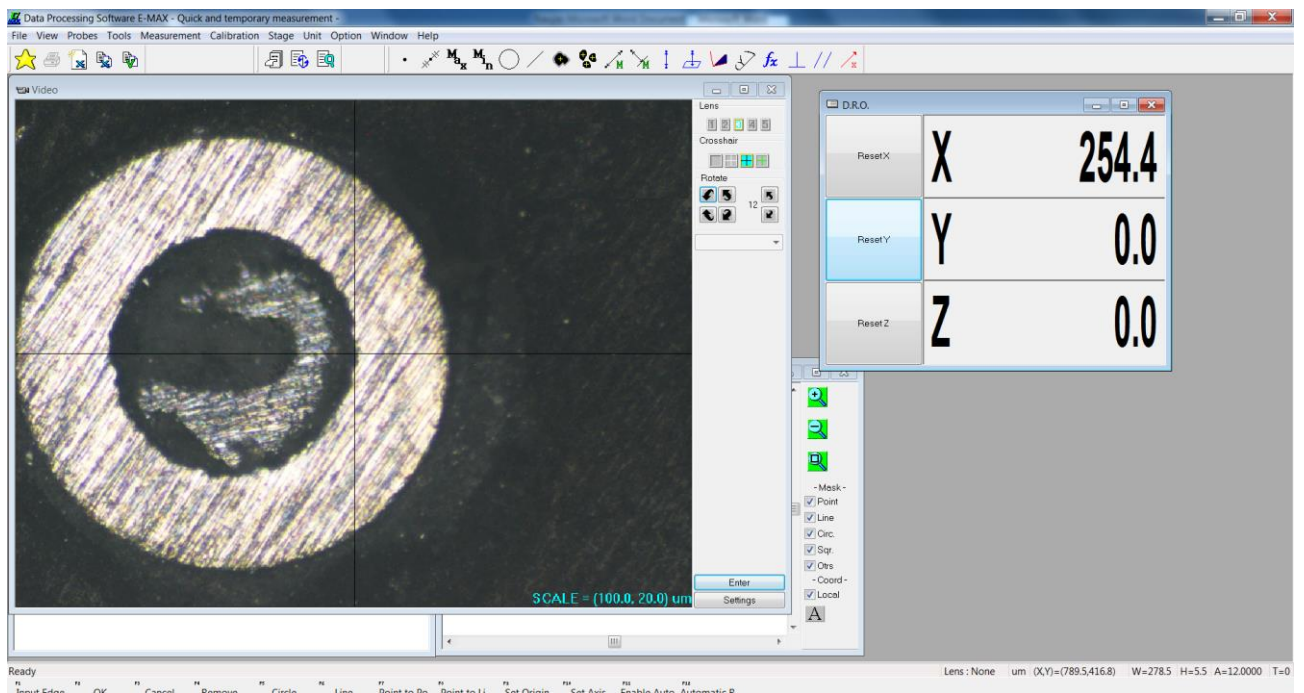
Bandymas su ekscentrinio siurbliu. Bandymas su ekscentrinio siurbliu pavyko. Skystis pumpuojamas pakankamai aukštu debitu, jo intensyvumą galima reguliuoti keičiant maitinimo įtampą. Bandymui parinkti 3 skirtingi antgaliai. Bandymas su ekscentrinio siurbliu pavaizduotas 5.3 pav.



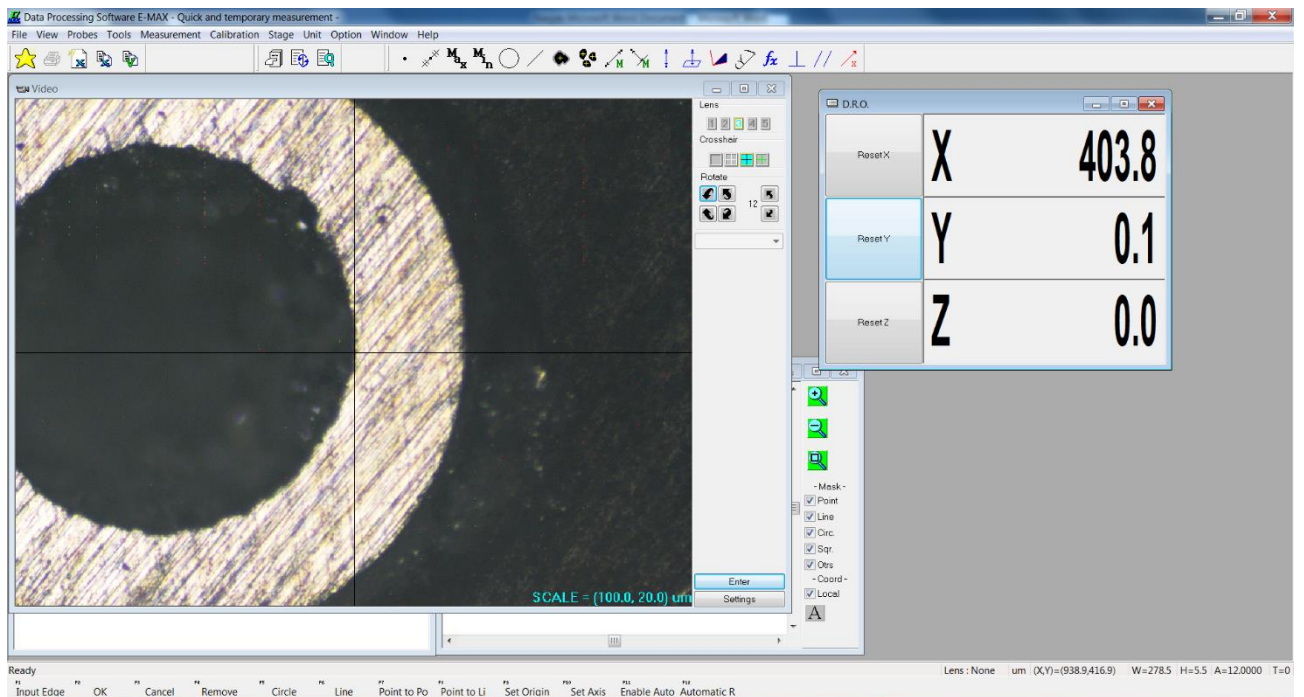
5.3 pav. Bandymas su ekscentrinu siurbliu

Atliekama 3-jų skirtingų antgalių išpurškiamos skysčio masės priklausomybė nuo įtampos dydžio per 30s. Tai labai svarbu, norint sužinoti reikiamą antgalio skersmenį ir įtampą, kadangi nuo to priklauso pozicionavimo tikslumas ir detalės geometrinės bei mechaninės savybės.

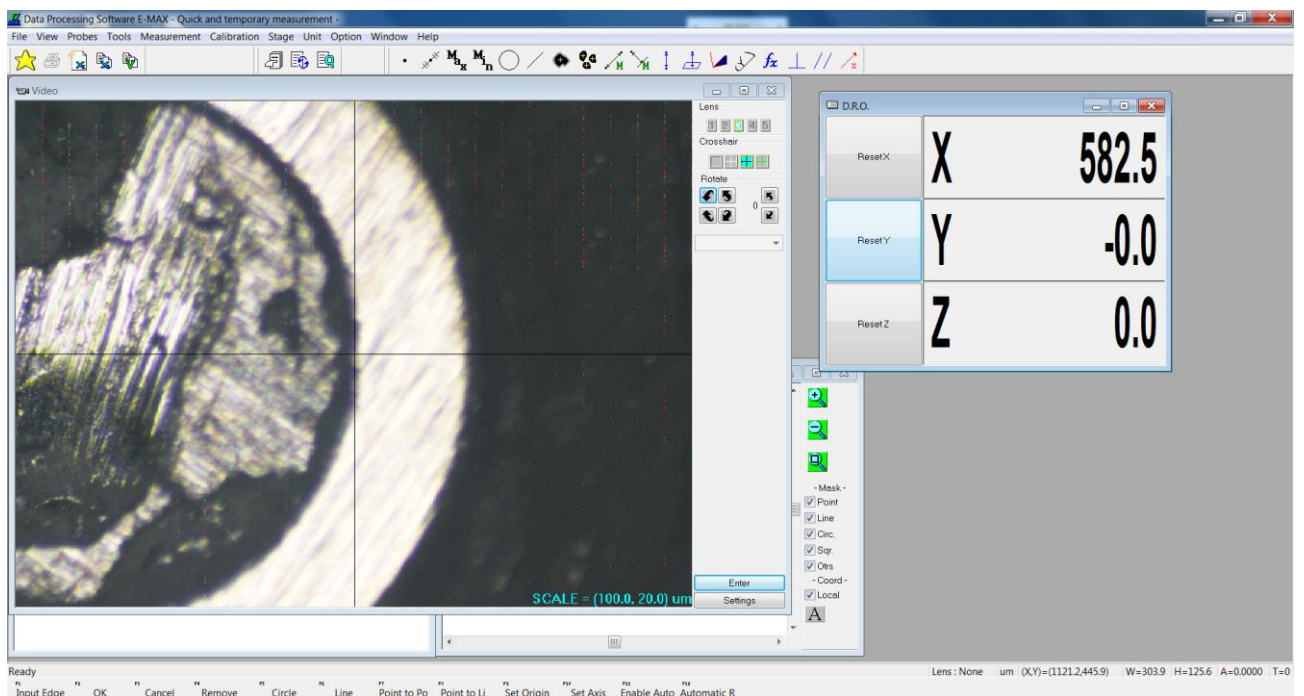
Pirmiausia reikia išmatuoti antgalių skersmenis 5.4pav., 5.5pav., ir 5.6 pav.



5.4 pav. pirmojo antgalio skersmuo 254 μ m.

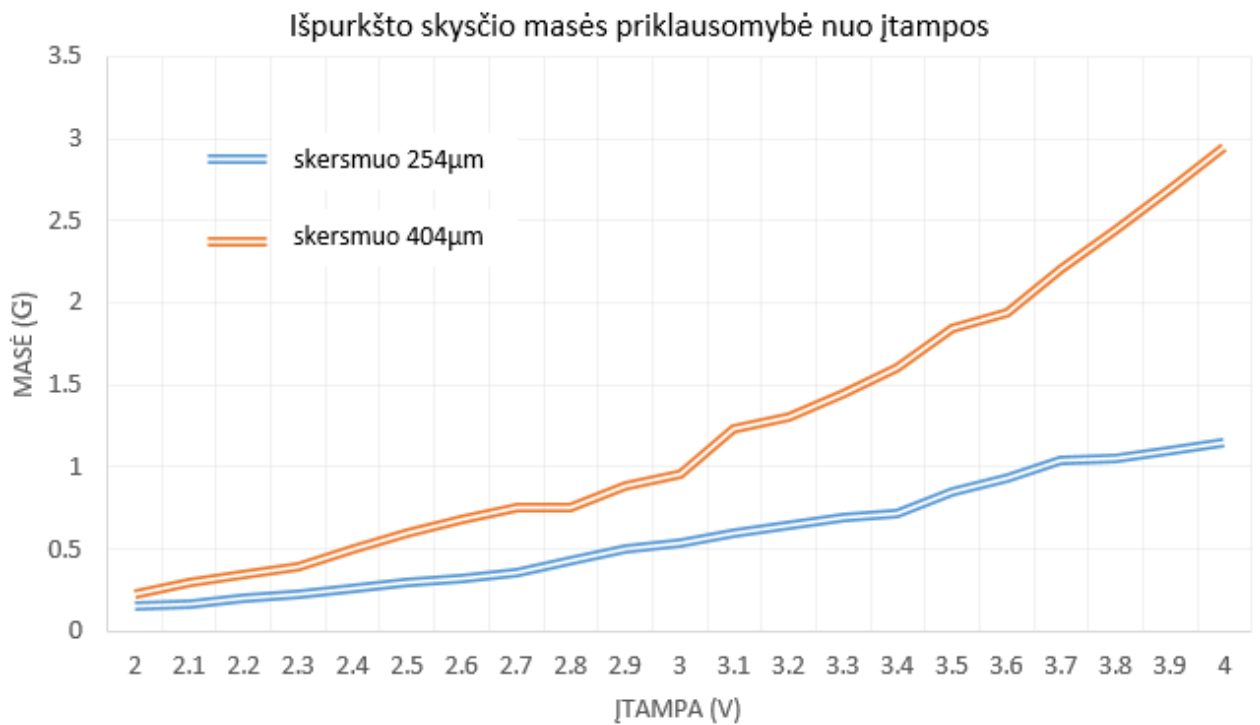


5.5 pav. antrojo antgalio skersmuo 404 μm .



5.6 pav. trečiojo antgalio skersmuo 583 μm .

Bandymas bus atliekamas keičiant įtampą nuo 2 V iki 4 V intervalu, po 0,1 V. Su trimis skirtingais, antgaliais kurių diametrai yra 254 μm , 404 μm ir 583 μm . Atliktų matavimų rezultatai pateikti 5.7 ir 5.8 pav.



5.7 pav. Išpurškiamo skysčio masės priklausomybės nuo įtampos grafikas, kai naudojami 254 μm ir 404 μm skersmens antgaliai.

Pagal gautus rezultatus pateiktame grafike matome, kad didinant įtampą didėja ir išpurškiamo skysčio masė. Su 254 μm skersmens antgaliu gaunama praktiškai tiesinė priklausomybė. Iki 3,9 V įtampos buvo matomi lašeliai, nuo 3,9 V lašeliai virsta srove. Su 404 μm antgaliu ši priklausomybė iš pradžių gaunama tiesinė, paskui, pasiekus 3V įtampą, išpurškiamo skysčio masė smarkiai išauga ir lašelių forma pasikeičia į vientisą srovę.



5.8 pav. Išpurškiamo skysčio masės priklausomybės nuo įtampos grafikas, kai naudojamas 548 μm skersmens antgalis.

Pagal gautus rezultatus pateiktame grafike matome didinant įtampą didėja ir išpurškiamo skysčio masė. Pagal gautus rezultatus, grafike matome tiesinę priklausomybę. Lašelių forma matoma tik pačioje pradžioje iki 2,3 V, toliau lašelių forma pakeičia vientisa srovė.

IŠVADOS

1. Išanalizuotos keraminių gaminių gamybos technologijos. Įvertinti pagrindiniai, tradiciniai keramikos formavimo būdai, nustatyti jų privalumai ir trūkumai:

- pagrindinis privalumas yra tas, jog keramikos apdirbimas tradiciniais būdais yra puikiai išvystytas ir gerai žinomi visi procesai;
- trūkumai - apdirbimas tradiciniais metodais yra sudėtingas procesas, reikalaujantis daug specifinės įrangos ir kruopštaus darbo.

2. Išanalizuotos keraminių medžiagų panaudojimo galimybės sparčių prototipų gamybos technologijose. Nustatyti du pagrindiniai sparčių prototipų gamybos būdai, kuriuos galima pritaikyti keraminių medžiagų spausdinimui:

- tai tradicinis 3D spausdinimo principas, kai keramikos mišinys išpurškiamas darbo zonoje;
- kitas būdas, kai rišamoji medžiaga yra išpurškiama ant darbo zonoje esančių keramikos miltelių.

3. Pateikta nauja keraminių medžiagų spausdinamo koncepcija, kai ant darbo zonoje esančių keramikos miltelių, rišamoji medžiaga išpurškiama naudojant išscentrinį siurblių. Atlikta parinkto siurblio įtampos ir išpurškiamo srauto priklausomybė parodė kad:

- a. kai kiaurymės skersmuo 254 μm iki 3,9 V įtampos buvo matomi lašeliai, toliau nuosekliai didinant įtampą lašeliai virsta srove;
- b. kai kiaurymės skersmuo 404 μm iki 3V įtampos buvo matomi lašeliai, toliau didinant įtampą lašeliai virsta srove;
- c. kai kiaurymės skersmuo 548 μm iki 2,3V įtampos buvo matomi lašeliai, toliau didinant įtampą lašeliai virsta srove;

LITERATŪROS SARAŠAS

1. Rupšytė Edita, Šaučiūnas Raimundas „Šiuolaikinės keraminės medžiagos“, Kaunas: 2007m.;
2. Barinova S.M., Vakhrushev I.V., Komleva V.S., Mironov A.V., Popov V.K., Teterina A.Yu., Fedotova A. Yu. and Yarygin K. N. 3D Printing of Ceramic Scaffolds for Engineering of Bone. 2015. - 316-322p. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0109564111008384> (žiūrėta 2016-06-03)
3. Cappi B., Özkol E., Ebert J., Telle R. Direct inkjet printing of Si₃N₄: Characterization of ink, green bodies and microstructure. Journal of the European Ceramic Society, 2008. – 2628-2628p. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955221908001283> (žiūrėta 2016-06-03)
4. Dressler M., Rollig M., Schmidt M., Maturilli A., Helbert J. Temperature distribution in powder beds during 3D printing. 1995. Prieiga per internetą: <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/13552541011065722?journalCode=rpj> (žiūrėta 2016-06-13)
5. Faes M., Valkenaers H., Vogeler F., Vleugels J., Ferraris E. Extrusion-based 3D printing of ceramic components, 2015. – 76-81p. Prieiga per internetą: <http://jdr.sagepub.com/content/88/7/673.full> (žiūrėta 2016-06-13)
6. Hinczewski C., Corbel S. and Chartier T. Ceramic Suspensions Suitable for Stereolithography, 1997. Prieiga per internetą: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jbm.b.30291/full> (žiūrėta 2016-06-13)
7. Lejeune M., Chartier T., Dossou-Yovo C., Noguera R. Ink-jet printing of ceramic micro-pillar arrays. Journal of the European Ceramic Society, 2009. – 905-911p. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955221908003841> (žiūrėta 2016-06-03)
8. Liu Zhi, Song Kan, Gao Bo, Tian Tian, Yang Haiou, Lin Xin, Huang Weidong. Microstructure and Mechanical Properties of Al₂O₃/ZrO₂ Directionally Solidified Eutectic Ceramic Prepared by Laser 3D Printing. Journal of Materials Science & Technology, 2015. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0123956414538841> (žiūrėta 2016-06-03)
9. Maleksaeedi S., Eng H., Wiria F, E., Ha. T. M. H, He Z. Property enhancement of 3D-printed alumina ceramics using vacuum infiltration. Journal of Materials Processing Technology, 2014. – 1301-1306p. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013614000545> (žiūrėta 2016-06-13)
10. Miyajima Hadi, Zhang Shanshan, Lassell Austin, Zandinejad Amirali, Yang Li. Process Development of Porcelain Ceramic Material with Binder Jetting Process for Dental Applications. 2016. – 831-841p. Prieiga per internetą: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11837-015-1771-3> (žiūrėta 2016-06-03)

11. Ortona Alberto , D'Angelo Claudio, Gianella Sandro, Gaia Daniele. Cellular ceramics produced by rapid prototyping and replication. *Materials Letters*, 2012. – 95-98p. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167577X1200540X> (žiūrėta 2016-06-13)
12. Rupšytė E., Šaučiūnas R. Šiuolaikinės kraminės medžiagos. – Kaunas: Technologija, e.knyga 2012. – 216p. Prieiga per internetą: <https://www.ebooks.ktu.lt/eb/356/siuolaikines-keramines-medziagos/> (žiūrėta 2016-06-04)
13. Seitz Hermann , Rieder Wolfgang , Irsen Stephan, Leukers Barbara, Tille Carsten. Three Dimensional Printing of Porous Ceramic Scaffolds for Bone Tissue Engineering. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 2005. – 782-788p. Prieiga per internetą: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jbm.b.30291/full> (žiūrėta 2016-06-03)
14. Shaoa Huifeng, Hea Yong , Fua Jianzhong, Hec Dongshuang, Yangc Xianyan, Xie Jiajun, Yao Chunlei, Ye Juan, Xue Sanzhong, Gouc Zhongru. 3D printing magnesium-doped wollastonite/-TCP bioceramics scaffolds with high strength and adjustable degradation. *Journal of the European Ceramic Society, China*, 2015. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0119364811008321> (žiūrėta 2016-05-26)
15. Smirnov V. V., Fedotov A. Yu., Antonov E. N., Bagratashvili V. N., Barinov S. M., Gol'dberg M. A., Antonova O. S., Petrakova N. V. Ceramic calcium phosphate materials obtained by technology adapted to three-dimensional printing on inkjet printer. 2013. – 336-339p. Prieiga per internetą: <http://link.springer.com/article/10.1134/S2075113313040126> (žiūrėta 2016-05-26)
16. Song J. H., Nur H. M. Defects and prevention in ceramic components fabricated by inkjet printing. *Journal of Materials Processing Technology*, 2004. – 1286-1292p. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013604006521> (žiūrėta 2016-05-26)
17. Zhao X., Edirisinghe M. J., Evans J. R. G., Song J. H. Ink-jet printing of ceramic pillar arrays e-text. *Journal of Materials Science*: 2002. Prieiga per internetą: <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1015247131016> (žiūrėta 2016-05-26)
18. Zhou Qilai, Gao Yue, Liu Kai, Xue Lihong, Yan Youwei. Fabrication of Li₂TiO₃ pebbles by a selective laser sintering process. *Fusion Engineering and Design*, 2015. – 166-170p. Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920379615003567> (žiūrėta 2016-05-26)
19. Zocca A., Elsayed H., Bernardo E., Gomes C. M., Lopez-Heredia M. A., Knabe C., Colombo P. And Günster J. 3D-printed silicate porous bioceramics using a non-sacrificial preceramic polymer binder. 2015. Prieiga per internetą: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1758-5090/7/2/025008/meta#top> (žiūrėta 2016-05-26)
20. Dentvalda. Cirkonio keramikos dantų karūnelės. 2014. Prieiga per internetą: <https://www.dantu-implantai.lt/cirkonio-keramikos-dantu-karuneles> (žiūrėta 2016-10-27)

21. Tepcovas I. Printability of dental ceramic materials using a piezoelectric nozzle. 2016. Prieiga per internetą: <http://talpykla.elaba.lt/elaba-fedora/objects/elaba:16244797/datastreams/MAIN/content?gathStatIcon=true> (žiūrėta 2016-10-27)
22. Vatansever D., Siores E., Shah T., Alternative resources for renewable energy: Piezoelectric and photo voltaicsmart structures. 2012. Prieiga per internetą: <http://www.intechopen.com/books/global-warming-impacts-and-future-perspective/alternative-resources-for-renewable-energy-piezoelectric-and-photovoltaic-smart-structures> (žiūrėta 2016-10-27)