

Keraamin ruiskuvalu

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Muovitekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Gina Borg

Lahden ammattikorkeakoulu
Muovitekniikan koulutusohjelma

BORG, GINA:

Keraamin ruiskuvalu

Muovitekniikan opinnäytetyö, 45 sivua

Kevät 2016

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää keraamijauhetta ja vahaa sisältävälle materiaalille oikeat parametrit ruiskuvaluun sekä sintraukseen. Työ tehtiin toimeksiantona MircoAtmos Oy:lle.

Teoriaosuus käsittelee keraameja materiaalina sekä kertoo keraamien työstö- ja testausmenetelmistä. Opinnäytetyön pääpaino on kokeellisessa osuudessa, jossa keskitytään löytämään oikeat parametrit materiaalin ruiskuvaluun ja sintrausprosessiin. Materiaalille kokeiltiin esimerkiksi erilaisia sintrausprofiileita. Testit tehtiin Lahden ammattikorkeakoulun muovi- ja puutekniikan laboratorioissa.

Opinnäytetyön tuloksista käy selville, että materiaali soveltuu ruiskuvaluun ilman jälkipainetta. Materiaalin seulonta ja epätasainen partikkelikoko aiheutti haasteita debinding ja sintrausprosessiin.

Asiasanat: keraami, ruiskuvalu, debinding, sintraus

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Plastics Engineering

BORG, GINA:

Ceramic Injection Molding

Bachelor's Thesis in Plastics Engineering, 45 pages

Spring 2016

ABSTRACT

The purpose of this Bachelor's Thesis was to find right parameters for the injection molding and sintering of a material containing ceramic powder and wax. The study was an assignment given by MircoAtmos Oy.

The theoretical part presents ceramic materials and introduces processing and testing methods. The main focus of the thesis is in the experimental part, which concentrates on finding the right parameters for injection molding and sintering. The material was tested in different kinds of sintering profiles. The tests were performed in the plastic and wood laboratory of Lahti University of Applied Sciences.

The results of the study show that the material is suitable for injection molding without after pressure. The sieving and the irregular particle size made the debinding and sintering process challenging.

Key words: ceramic, injection molding, debinding, sintering

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	KONSTRUKTIOKERAAMIT	6
2.1	Keraamit	6
2.2	Ominaisuudet	6
3	VALMISTUS	9
3.1	Keraamien ruiskuvalu	9
3.2	Ruiskuvalun vaiheet	9
4	TESTAUSMENETELMIÄ	12
4.1	Kovuuskoe	12
4.2	Taivutuskoe	13
5	KONSTRUKTIOKERAMIIKAN KÄYTTÖSOVELLUKSIA	14
5.1	Konstruktiokeramien etuja	14
5.2	Käyttökohteita	14
6	RUISKUVALU	15
6.1	Ekstruusio	15
6.2	Materiaali 1A ja 1B	15
6.3	Materiaali 4	16
6.3.1	Tiheyden mittaus	17
6.3.2	Sulaindeksin mittaus	17
6.4	Materiaali 3	18
6.4.1	Puristustesti	18
7	DEBINDING	19
7.1	Materiaali 1A ja 1B	19
7.2	Materiaali 3 ja 4	20
8	SINTRAUS	22
8.1	Ensimmäisten sauvojen sintraus	22
8.2	Puristenappien sintraus	22
8.3	Toinen puristenappien sintraus	23
8.3.1	Mikroskopia ja puristustesti	25
8.4	Kolmas puristenappien sintraus	27
8.4.1	Mikroskopia	28

8.5	Neljäs puristenappien sintraus	30
8.5.1	Mikroskopia	32
8.5.2	Näytteet 9 ja 10	35
8.6	Viimeinen sintrauskoe	36
8.6.1	Kovuustesti	40
8.6.2	Mikroskopia	41
9	KOKO PROSESSIN LÄPIAJO	44
9.1	Ruiskuvalu	44
9.2	Debindin ja sintraus	45
10	YHTEENVETO	49
	LÄHTEET	50
	LIITTEET	52

1 JOHDANTO

Keraamien ruiskuvalu on syntynyt tarpeesta valmistaa kolmiulotteisia kappaleita vaikeasti työstettävästä keraamista. Menetelmällä saadaan aikaan rakenteeltaan hallittuja kappaleita. Tekniikan kehittyessä ruiskuvalu on potentiaalinen tulevaisuuden valmistustekniikka. (Järvelä 2000, 183.)

Opinnäytetyön tavoitteena on löytää keraamijauhetta ja vahaa sisältävälle materiaalille sopivat lämpötilat sintrausta varten. Tämän lisäksi kokeillaan myös ruiskuvalua materiaalia ja löytää siihen optimaaliset parametrit. Opinnäytetyön teoriaosassa esitellään konstruktiokeraameja materiaalina sekä tutustutaan keraamien työstö- ja testausmenetelmiin. Kokeellisessa osuudessa keskitytään oikeiden parametrien etsimiseen sekä erilaisiin testeihin, joita toimeksiantanut yritys tahtoi materiaaleille ja kappaleille tehtävän.

Työ on tehty toimeksiantona MicroAtmos Oy:lle. Yritys sijaitsee Salossa. Yritys tekee yhteistyötä yliopistojen kanssa, ja sillä on vankka kokemus elektroniikkateollisuudesta. Työssä käytettävä materiaali sisältää keraamijauhetta 85% (kalsiumsilikaatti) ja binderia 15% (parafiinivaha, polyetyleeniglykoli ja steariinihappo).

2 KONSTRUKTIOKERAAMIT

2.1 Keraamit

Keraamiset materiaalit jakautuvat kuuteen eri ryhmään:

- lasit
- lasikeraamit
- perinteinen keramiikka
- erikoiskeramiikka
- kivet ja mineraalit
- sementti ja betoni.

Perinteinen massatuotantokeramiikka sisältää suurimmaksi osaksi oksidikeramiikkaa. Erikoiskeraamit, eli konstruktioкераamit voivat sisältää myös esimerkiksi nitridejä, karbideja ja silisedejä. (Keraamit 2005.) Konstruktiokerameja käytetään silloin, kun materiaailta vaaditaan kulutuksen-, korroosion-, puristuskuormituksen tai korkean lämpötilan kestoja. Keraameilla on useita erikoisia ominaisuuksia, jotka tekevät niistä mielenkiintoisen materiaalin. Materiaalityyppi, muotoilu ja pintakäsittely tulee kuitenkin aina valita huolellisesti. (Meillä on keraameja sinulle 2016.)

Konstruktiokeramit jakautuvat kolmeen eri pääryhmään:

- oksidikeramit
- piikeramit
- muut.

(Konstruktioiset keraamit 2005.)

2.2 Ominaisuudet

Konstruktiokeramiiden tiheys on yleensä samaa luokkaa kuin muoveilla tai metalleilla. Keraamiiden tiheys ei kuitenkaan ole sama kuin teoreettinen tiheys, sillä keraameissa on aina huokoisuutta. Huokoisuus vaikuttaa

suuresti myös keraamin ominaisuuksiin. (Konstruktiiviset keraamit 2005.) Yleensä huokoisuus on noin 0,2-15 til-%, mutta esimerkiksi suodatinsovelluksissa huokoisuus voi olla jopa 40-80 til-%. (Konstruktiomateriaalit ja niiden valinta 2013.)

Konstruktioкераamien sulamispiste on korkea verrattuna metalleihin tai muoveihin, ja se on riippuvainen keraamien sidostyypistä. Sulamispiste on alhainen yksivalenssisille keraameille, ja valenssiluvun kasvaessa myöskin sulamislämpötila kasvaa. (Konstruktiiviset keraamit 2005.) Keraamit ovat herkkiä lämpöshokeille, varsinkin lämpötilan laskiessa. Tämä johtuu matalasta murtovenymästä. Kappaleen pintaan kohdistuu suuria vetojäännityksiä, kun pintakerros jäähtyy nopeammin kuin perusmateriaali. Lämpöshokkikestävyyttä voidaan parantaa hyödyntämällä faasimuutoksia. (Meillä on keraameja sinulle 2016.)

Keraamien sähkö- ja lämmönjohtavuus ei perustu samaan mekanismiin kuin metalleilla. Sähkön- ja lämmönjohtavuudella voi olla erilaiset mekanismit, ja esimerkiksi hyvä lämmönjohde voi olla sähköä eristävä. Yleensä lämmönjohtavuus laskee kun lämpötila kasvaa. (Konstruktiiviset keraamit 2005.) Useimmat keraamit ovat hyviä eristeitä. Erikoiskeraamit voivat kuitenkin olla johteita, puolijohteita tai eristeitä. Ominaisuuksia pystytään muuntelemaan eri käyttötarkoitusten vaatimusten mukaan, esimerkiksi koostumuksen, lisäaineiden tai rakenteen avulla. Keraamit ovat ainoita eristeitä, jotka kestävät hyvin korkeita lämpötiloja ja korrossiivisiä olosuhteita. (Konstruktiomateriaalit ja niiden valinta 2013.)

Keraamit rikkoutuvat yleensä ilman plastista muodonmuutosta. Tästä syystä niitä kuvataan yleensä hauraina materiaaleina. Tästä huolimatta konstruktioкераamit ovat todella lujia materiaaleja. Ne kestävät hyvin puristuskuormitusta, mikäli niihin ei kohdistu vetojäännityksiä. Parhaimpien keraamimateriaalien puristuslujuus voi olla huoneenlämmössä jopa jopa 4 GPa. Keraamit sopivat kovuutensa vuoksi hyvin sovelluksiin, joissa kulutus on suuri. Kulutuksenkestävyyttä vaativaan sovellukseen tulisi kuitenkin valita materiaali, joka on kovaa, mutta samalla myös sitkeää. (Meillä on

kerameja sinulle 2016.) Keraamien lujuus heikkenee usein korkeissa lämpötiloissa. Se johtuu yleensä lasimaisen raerajafaasin pehmenemisestä. (Konstruktiomateriaalit ja niiden valinta 2013.)

Keraamien veto- ja taivutuslujuus voi parhaimmillaan yltää samalle tasolle kuin konstruktioeräksillä. Koska keraamit ovat herkkiä paikallisesti korkeille vetojännityksille, rakenteelliset virheet kuten halkeamat, huokokset ja epäpuhtaudet vaikuttavat niihin todella helposti. Tämän takia tuotteen muotoilun tulee olla suhteutettuna ulkoiseen kuormaan. (Meillä on kerameja sinulle 2016.)

Keraamit ovat kemiallisesti erittäin stabiileja vahvojen atomisidosten ansiosta. Kvartsimateriaalit ja pintaoksideja muodostavat muunnelmat eivät siedä fluorivetyhappoa tai kuumaa tai väkevää lipeää, vaan syöpyvät niiden vaikutuksesta. Muuten keraamien korroosionkestävyys on hyvä, ja ne kestävät useimmat hapot, emäkset, metallisulat ja suolat. (Meillä on kerameja sinulle 2016.)

3 VALMISTUS

3.1 Keraamien ruiskuvalu

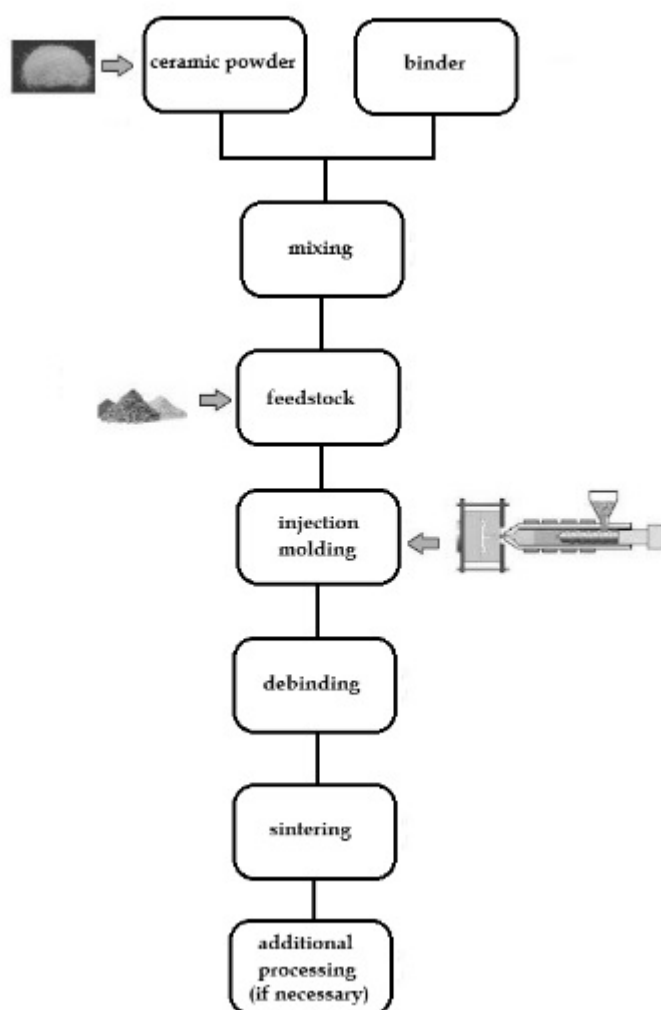
Keraamien ruiskuvalulla voidaan valmistaa kolmiulotteisia kappaleita vaikeasti työstettävistä keraameista. Ruiskuvalun avulla kappaleet voidaan työstää suoraan lopullisiin mittoihinsa, tosin tässä on otettava huomioon kutistuma, joka johtuu sideaineen poistosta. Menetelmä soveltuu vaikeille kolmiulotteisille kappaleille, ja sen etuna on esimerkiksi pieni materiaalihävikki. (Järvelä 2000, 182.)

3.2 Ruiskuvalun vaiheet

Keraamijauhe ja sideaine tulee valita siten, että niistä valmistettavasta kompondista voidaan valmistaa halutun muotoinen kappale. Jauheen partikkelikoon tulee olla niin pieni, että kappaleen kaikki muodot pystytään muodostamaan, mutta kuitenkin niin suuri, että sideaine voidaan poistaa. Jauheesta ja sideaineesta pitää pystyä valmistamaan homogeeninen kompondi. (Järvelä 2000, 183.)

Keraamijauhe ja sideaine sekoitetaan. Kompoundin tulee olla homogeenistä, sillä mikäli kompondi ei ole homogeenistä, voi valmiissa kappaleessa esiintyä dimensioeroja. (Järvelä 2000, 183.)

Kappale ruiskuvaletaan kompondista. Ruiskuvalukoneen ruuvista, sylinteristä tai muotista ei saa irrota mitään kappaleeseen. Jälkipainetta ei tarvita. Ruiskuvalettavan kappaleen tulee olla suurempi kun lopullinen kappale, sillä siitä poistetaan vielä sideaine. Ruiskuvalettua kappaletta kutsutaan niinsanotuksi vihreäksi kappaleeksi. (Järvelä 2000, 183.)



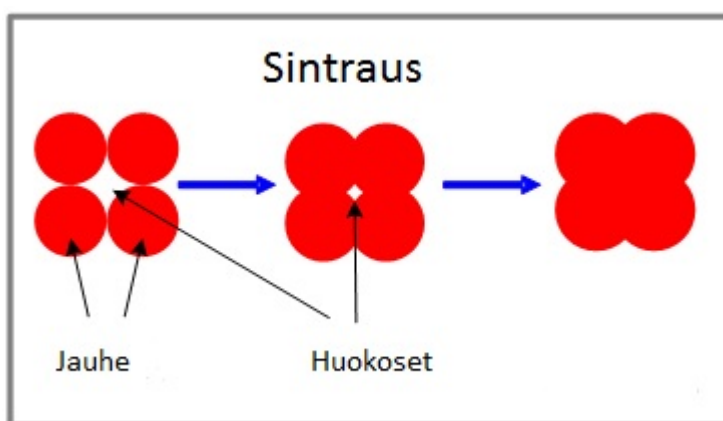
KUVIO 1. Keraamien ruiskuvalun vaiheet (Ceramic Injection Molding 2016)

TAULUKKO 1. Ruiskuvalun esimerkki parametrit keraameille (Ceramic Injection Molding 2016)

Parameter	Setup
Injection temperature (°C)	120-160
Mold temperature (°C)	30-45
Injection speed (cm/s)	3-20
Injection pressure (bar)	300-800
Cooling time (s)	10
Sample ejection pressure (bar)	20-40

Hallitun mikrorakenteen saavuttamiseksi täytyy vihreälle kappalelle suorittaa debinding ja sintraus. Debindingillä tarkoitetaan sideaineen poistamista kappaleesta. Sideaine voidaan poistaa kappaleesta monella eri tavalla, esimerkiksi polttamalla, höyrystämällä tai uuttamalla. Tuloksena on hauras kappale, jota kutsutaan niinsanotuksi ruskeaksi kappaleeksi. Haurauden vuoksi kappale tulee sintrata. (Järvelä 2000, 183.)

Sintrauksessa kappaletta kuumennetaan pääseosaineen sulamispistettä alemmassa lämpötilassa, jolloin kappale tiivistyy ja se saavuttaa lopullisen lujuutensa. Sintrausprosessissa materiaali tiivistyy ja sen huokoisuus vähenee. Sintrautuvuuteen vaikuttavat jauheen alkutiheys ja seosaineet, lämpötila ja aika sekä ympäröivä kaasuatmosfääri. (Konstruktiomateriaalit ja niiden valinta 2013.)



KUVIO 2. Sintrausprosessi (Dr. Kopeliovich 2014)

4 TESTAUSMENETELMIÄ

4.1 Kovuuskoe

Kovuus on yksi keraamien mitatuimmista ominaisuuksista. Sen avulla voidaan määritellä materiaalin kykyä vastustaa muodonmuutosta.

Kovuutta mitataan yleensä tavanomaisilla mikrokovuuslaitteilla.

Useimmiten keraamien kovuutta mitataan Knoop- tai Vickers-menetelmillä.

Rockwell- ja Brinell-menetelmät ovat harvemmin sopivia keraameille.

Knoopin menetelmää käytetään enemmän Yhdysvalloissa. (Hardness Testing of Ceramics 1998.)

Knoopin kovuuskoe on kehitetty vaihtoehdoksi Vickersin kovuuskokeelle.

Painimen muoto on pitkänomainen ja sen on todettu olevan parempi vaihtoehto hauraille materiaaleille. Knoopin painauma on noin 2.8 kertaa pidempi ja matalampi kuin Vickersin painauma tehtynä samalla voimalla.

Vaikka painauman sivut olisivat rikki, pystytään antamaan uskottava kovuusarvio. (Hardness Testing of Ceramics 1998.)

Vickersin kovuuskokeessa painimena käytetään neliöpohjaista timanttipyramidikärkeä. Vickersin kokeella saadaan aikaan pienempi, mutta syvempi jälki. (Hardness Testing of Ceramics 1998.)

Timanttipyramidikärkeä painetaan hiottuun pintaan tunnetulla voimalla. Painauman koon ja kokeessa käytetyn voiman avulla voidaan laskea kovuusarvo. (Hardness 2016.)

Mikroskoopin käyttö kovuusmittauksissa vaatii taitoa, huolellisuutta ja kokemusta. Laitteen on myös täytettävä minimivaatimukset. (Hardness Testing of Ceramics 1998.)

4.2 Taivutuskoe

Taivutuskokeessa tuettua kappaletta kuormitetaan tasaisella nopeudella.

Kokeessa mitataan sauvan keskikohdan taipumaa ja kuormitusta.

Kokeesta saadaan selville taivutuskimmomoduuli, taivutusjännitys ja

taipuma. Taivutuskoe voidaan suorittaa kolmipistetaivutuksena, jolloin

koesauva on tuettuna molemmista päistään ja sitä taivutetaan painimella

tukien välistä tai nelipistetaivutuksena, jolloin käytetään kahta paininta.

(Hirvelä 2012.)

5 KONSTRUKTIOKERAMIIKAN KÄYTTÖSOVELLUKSIA

5.1 Konstruktiokeraamien etuja

Konstruktiokeraameja voidaan käyttää käytännössä samoissa sovelluskohteissa kuin kovametalleja. Keraamien etuja ovat parempi korkeiden lämpötilojen kesto, parempi happamuuden kesto, pienempi lämpölaajenemiskerroin, keveys sekä joissain tapauksissa sähkön johtamattomuus ja paremmat liukuominaisuudet. (Muut tuotteet 2016.)

5.2 Käyttökohteita

Konstruktiokeraamien ominaisuuksia voidaan hyödyntää esimerkiksi seuraavissa laitteiden osissa:

- suuttimet
- laakerit
- sylinterit
- männät
- eristinosat
- upokkaat
- uuniputket
- suojaholkit.

(Tekniset keraamit 2016.)

6 RUISKUVALU

6.1 Ekstruusio

Työ aloitettiin kokeilemalla materiaalin sopivuutta ekstruuderilla koneen helpomman puhdistettavuuden takia. Käytössä oli granulaatti 1A, eli 1mm seulalla seulottu materiaali (rae > 4mm).

Taulukossa 2 on esitetty ekstruuderin eri vyökkeiden lämpötilat. Sulaminen tapahtui ruuvin kakkosvyöhykkeellä. Käytetyn ruuvin puristussuhde, eli alku- ja loppupään välinen kierretilavuuden suhde oli 1:2. Koska materiaali kulki ruuvilla hyvin, sitä uskallettiin kokeilla ajaa ruiskuvalukoneella.

TAULUKKO 2. Lämpötilat eri vyöhykkeissä

Vyöhyke	Lämpötila (°C)
1.	45
2.	54
3.	81

6.2 Materiaali 1A ja 1B

Ensimmäinen ruiskuvalun kokeilu tehtiin materiaalilla 1A. Materiaalia oli niin vähän, että otettiin käyttöön myös 1B, eli granulaatti, joka on seulottu 1mm seulalla (4mm > rae > 1mm). Koneen lämpötilat on esitetty taulukossa 3. Ajossa käytettiin koesauvamuottia.

TAULUKKO 3. Ruiskuvalukoneen lämpötilat

Vyöhyke	Säädetty lämpötila (°C)	Todellinen lämpötila (°C)
1.	30	51
2.	50	67
3.	60	80
Suutin	80	80

Aluksi kokeiltiin säätää myös jälkipainetta ja jälkipaineaikaa. Huomattiin, että jälkipaine saa aikaan kappaleen ja valukanavan juuttumisen muottiin, niin että kappale hajoaa ulostyönnön yhteydessä. Kappaleiden havaittiin myös menevän hyvin helposti rikki, mikäli ne tipahtavat ulostyönnön jälkeen muotista. Ilman jälkipainetta ajettaessa kappaleet eivät rikkoutuneet ulostyönnössä. Kappaleet jäivät kuitenkin jonkin verran kiinni muottiin valukanavastaan, mutta ne pystyttiin irrottamaan käsin ilman rikkoutumista.

6.3 Materiaali 4

Jälkipaineen vaikutusta kappaleisiin kokeiltiin vielä uudestaan käyttämällä materiaalia numero 4, eli materiaalia, jossa granulaatit on tehty alle 63 µm partikkeleista.

Toinen erä ajettiin 100 MPa jälkipaineella ja 20 sekunnin jälkipaineajalla ja toinen ilman jälkipainetta. Havaittiin, että iso jälkipaine jumittaa kappaleen muottiin, tukkii valukanavan sekä saa aikaan isot purseet (kuva 1).



KUVA 1. Purseet

6.3.1 Tiheyden mittaus

Haluttiin tutkia, onko jälkipaineella vaikutusta kappaleiden tiheyteen. Testausmenetelmänä oli Arkhimedeeseen periaate. Ilman jälkipainetta valmistetun kappaleen tiheydeksi saatiin noin $2,15 \text{ g/cm}^3$ ja 100 MPa jälkipaineella valmistetun noin $2,61 \text{ g/cm}^3$. Tästä voidaan päätellä, että jälkipaineella voisi olla pieni vaikutus kappaleen tiheyteen.

6.3.2 Sulaindeksin mittaus

Materiaali 4:stä mitattiin sulaindeksi. Sulaindeksilaitetta käytetään yleensä määrittäessä muovin juoksevuutta. Tässä tapauksessa sulaindeksiä ei kuitenkaan voi verrata muovien sulaindeksiin. Mittaus oli hankalaa, sillä materiaali tuli suuttimesta ulos hyvin vaihtelevasti, ja isommat partikkelit

tukkivat suuttimen useamman kerran. Saatiin tehtyä kaksi mittausta, joiden tulokset erosivat toisistaan huomattavasti. Mittausten keskiarvoksi tuli 452,475 g/10min. Mittaus tehtiin 80 °C asteen lämpötilassa.

6.4 Materiaali 3

Ruiskuvalukoneen muotti vaihdettiin nappimuottiin ja kokeiltiin ajoa materiaalilla 3, eli granulaatilla, joka on seulottu 63 µm seulalla (4mm < rae < 1mm). Ajon aikana koneen lämpötilat vaihtelivat runsaasti, koneen rikkoontumisen vuoksi. Jälkipaine oli 20 MPa. Lämpötilojen heittelystä huolimatta saatiin muutama nappi ajettua. Myös nappimuottia käytettäessä valukana tukkeutui, mikäli ajossa käytettiin jälkipainetta.

6.4.1 Puristustesti

Puristustestin avulla selvitettiin jälkipaineen vaikutusta kappaleisiin. Laite ei toiminut, joten mitään käyriä ei saatu aikaiseksi. Testin avulla saatiin kuitenkin selville, että 20 MPa:n jälkipaineella ajettut kappaleet kestivät suuremman voiman kuin ilman jälkipainetta ajettut.

7 DEBINDING

7.1 Materiaali 1A ja 1B

Materiaaleista 1A ja 1B valmistetuille koesauvoille kokeiltiin tehdä sidesaineen poisto, eli debinding. Debinding profiili on esitetty taulukossa 4. Profiilia varten koesauvat asetettiin uuniin tiilen päälle. Käytössä oli vanha uuni, jonka lämpötilojen nousemis- ja laskemisnopeutta ei pystynyt säätämään. Tuloksena oli todella hauraita ruskeita kappaleita, jotka olivat halkeilleet vähän pituussuunnassa. Kappaleiden pinnalla näkyi myös pieniä kuplia (kuva 2).

TAULUKKO 4. Debinding profiili 1

Lämpötila (°C)	Pitoaika (h)
175	2
210	2
450	2



KUVA 2. Debindatut sauvat

Debinding-profiilia kokeiltiin uudestaan kolmelle materiaalista 1A ja 1B ajetulle sauvalle, koska haluttiin nähdä, vaikuttaako sauvojen alusta sauvoihin viimeksi syntyneisiin halkeamiin. Profiilia varten asetettiin kaksi sauvaa tiilen päälle ja yksi metallisen levyn päälle. Käytössä oli uuni, jonka lämpötilojen nousemis- ja laskemisnopeutta ei pystynyt säätämään.

Tällä kertaa tiilen päällä olevat sauvat olivat pinnaltaan ehjiä. Sen sijaan levyn päällä ollut sauva oli halkeillut pitkittäissuunnassa ja kaikissa kolmessa sauvassa oli pieniä kuplia.

7.2 Materiaali 3 ja 4

Vanhan uunin hajottua saatiin käyttöön uusi uuni, jonka lämpötilojen nousemis- ja laskemisnopeutta pystyy säätämään. Uuniin laitettiin debinding profiililla 2 muutama materiaalista 3 ajettu nappi, sekä materiaalista 4 ajettuja koesauvoja, ilman jälkipainetta ja jälkipaineella 100 MPa (taulukko 5). Napit näyttivät debinding profiilin jälkeen siisteiltä. Sauvoissa sen sijaan oli edelleen pitkittäisiä halkeamia ja kuplia.

TAULUKKO 5. Debinding profiili 2

Lämpötila (°C)	Lämpötilan nousu (°C/min)	Pitoaika (h)
175	5	2
210	5	2
450	5	2

8 SINTRAUS

8.1 Ensimmäisten sauvojen sintraus

Debindattuja, materiaaleista 1A ja 1B valmistettuja sauvoja kokeiltiin sintrata sintrausprofiililla 1 (taulukko 6). Sintrausprofiilin jälkeen sauvat olivat edelleen todella hauraan tuntuksia ja hajosivat koskettaessa.

TAULUKKO 6. Sintrausprofiili 1

Lämpötila (°C)	Pitoaika (h)
780	4
1100	8

8.2 Puristenappien sintraus

Toimeksiantajalta saatiin puristamalla valmistettuja nappeja, joiden ominaisuuksia on esitetty taulukossa 7. Nappeja yritettiin sintrata profiilin 2 mukaisesti (taulukko 8). Käytössä oli vanha uuni, jonka lämpötilojen nousemis- ja laskemisnopeutta ei pystynyt säätämään. Pitkien pitoaikojen takia näytteet laitettiin uuniin jo illalla ja aamulla laitettiin suurempi lämpötila päälle. Ensimmäinen pitoaika meni siis pitkäksi. Jossain vaiheessa, kesken toisen pitoajan, oli uuni mennyt rikki ja napsahdanut pois päältä. Napit olivat vaihtaneet sintrausprofiilin aikana väriä, mutta kovuutta niissä ei juurikaan ollut, vaan ne olivat todella hauraan tuntuksia.

TAULUKKO 7. Nappien karkeudet

Näyte numero	Seulonta (μm)	Puristusvoima (t)	Partikkelikoko (μm)
1.	125	5	< 63
2.	63	5	< 63
3.	63	10	80% < 63 20% 250-63
4.	63	5	80% < 63 20% 250-63
5.	63	15	80% < 63 20% 250-63

TAULUKKO 8. Sintrausprofiili 2

Lämpötila ($^{\circ}\text{C}$)	Pitoaika (h)
780	4
1150	8

8.3 Toinen puristenappien sintraus

Uniin laitettiin materiaali 3:sta valmistetut napit, sekä materiaali 4:stä valmistetut koesauvat (ilman jälkipainetta ja jälkipaineella 100 MPa). Sintrausprofiili 3 on esitetty taulukossa 9. Näiden lisäksi laitettiin 17

puristamalla valmistettua erilaista nappia (taulukko 10). Mikään näytteistä ei ollut sintraantunut, vaan kaikki olivat kohtuullisen hauraan tuntuja.

TAULUKKO 9. Sintrausprofiili 3

Lämpötila (°C)	Lämpötilan nousu (°C/min)	Pitoaika (h)
780	20	4
1150	10	8

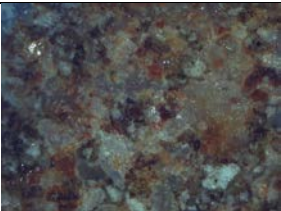
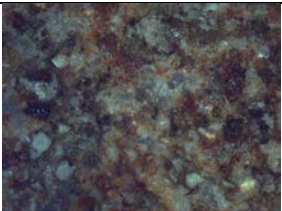
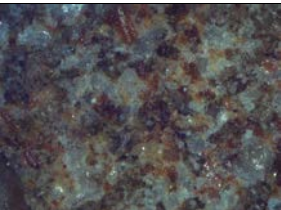
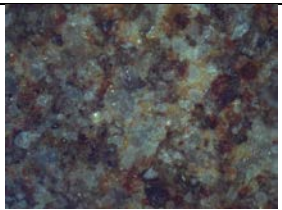
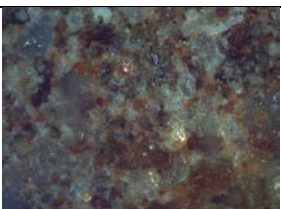

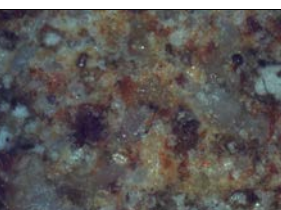
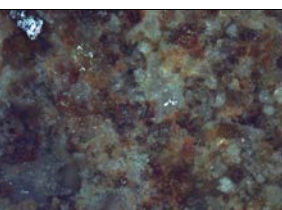
TAULUKKO 10. Näytteet

Näyte numero	Puristusvoima (t)	Puristusaika (min)	Määrä (ml)
1.	10	15	15
2.	10	10	15
3.	10	5	15
4.	10	1	15
5.	5	15	15
6.	5	10	15
7.	5	5	15
8.	5	1	15
9.	10	15	7
10.	10	10	7
11.	10	5	7
12.	10	1	7
13.	10	15	7
14.	15	15	7
15.	10	15	7
16.	20	5	7
17.	15	15	7

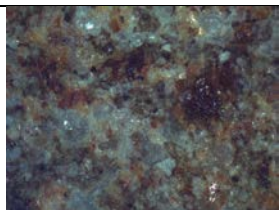
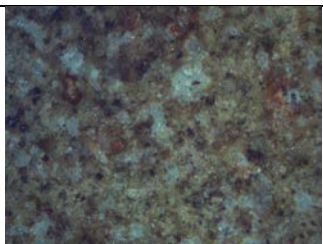

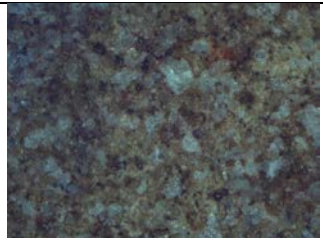

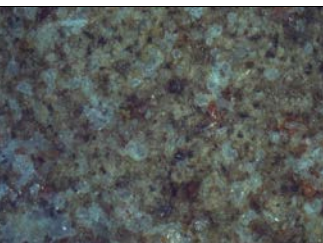
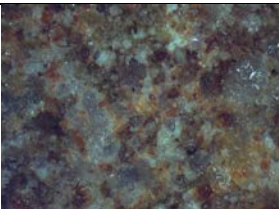
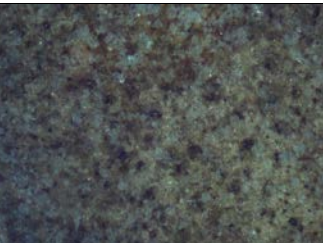
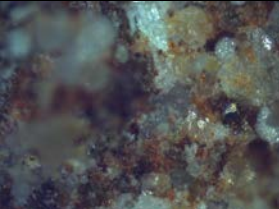
8.3.1 Mikroskopia ja puristustesti

Näytteitä tarkasteltiin mikroskoopilla. Kuvien suurennot 10x. Kuvat on esitetty taulukoissa 11 ja 12.

TAULUKKO 11. Mikroskooppikuvat

Näyte numero	Kuva	Näyte numero	Kuva
1.		5.	
2.		6.	
3.		7.	
4.		8.	

TAULUKKO 12. Mikroskooppikuvat

Näyte numero	Kuva	Näyte numero	Kuva
9.		14.	
10.		15.	
11.		16.	
12.		17.	
13.			

Napeille tehtiin puristustesti, jossa havaittiin, että testi ei järin hyvin sovellu kyseisille kappaleille. Napit eivät menneet rikki kunnolla, vaan puristuivat vain litteämmäksi leukojen väliin. Puristusnopeus oli 1mm/min.

8.4 Kolmas puristenappien sintraus

Toimeksiantajalta saatiin testattavaksi kuusi ohutta ja yksi paksumpi nappi, joka sisälsi hieman kosteutta. Kolme ohutta ja paksu nappi sintrattiin profiililla 4 (taulukko 13). Napit tuntuivat sintrausprofiilin jälkeen kohtuullisen kovilta. Paksu nappi oli halkeillut, mutta ohuet napit olivat siistin näköisiä.

TAULUKKO 13. Sintrausprofiili 4

Lämpötila (°C)	Lämpötilan nousu (°C/min)	Pitoaika (h)
780	20	4
1190	10	5

Loput kolme nappia laitettiin uuniin sintrausprofiililla 5, jotta päästiin vertaamaan niitä aiempiin nappeihin (taulukko 14). Napit asetettiin tiilen päälle, mikäli ne alkaisivat sulaa. Yksi napeista oli ottanut vähän kiinni tiileen ja hajosi todella helposti käsiteltäessä. Muut napit olivat myös hauraan oloisia. Kahden ehjän nappin alapinta oli oudon värinen, johtuen ilmeisesti reaktiosta tiilen kanssa.

TAULUKKO 14. Sintrausprofiili 5

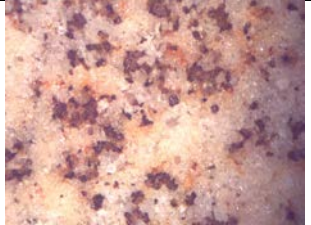
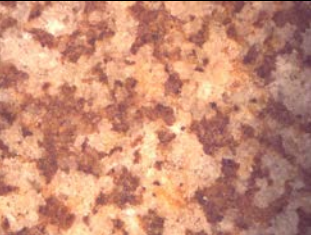
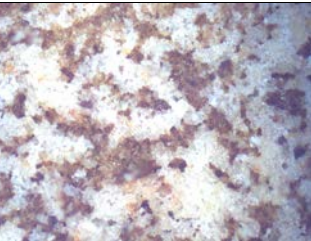
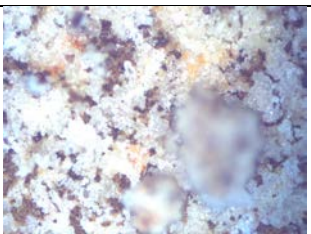
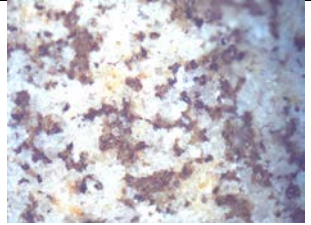
Lämpötila (°C)	Lämpötilan nousu (°C/min)	Pitoaika (h)
780	20	4
1200	10	5

8.4.1 Mikroskopia

Näytteitä tarkasteltiin myös mikroskoopilla. Kuvien suurennokset 10x.

Kuvat on esitetty taulukossa 15.

TAULUKKO 15. Mikroskooppikuvat

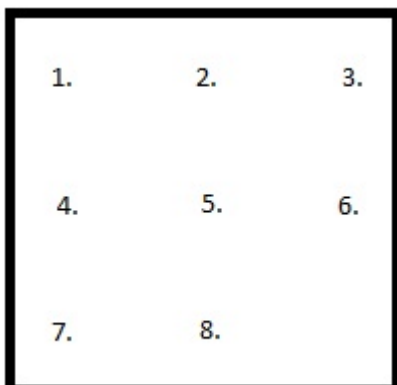
Näyte numero	Sintrausprofiili numero	Kuvat
1.	4	
2.	4	
3.	4	
1.	5	
2.	5	

8.5 Neljäs puristenappien sintraus

Toimeksiantajalta saatiin uusia puristenappeja (taulukko 16). Uuniin laitettiin näytteet 1-8 sintrausprofiililla 4 (taulukko 13). Kuviossa 3 on esitetty nappien paikat uunissa. Osa näytteistä tuntui uunituksen jälkeen vähän kovettuneilta. Nappi numero 5 hajosi jo uuniin laittessa. Nappi numero 6 jäi vähän alustaan kiinni ja hajosi. Osittain kovettuneita olivat näytteet numero 1, 2, 3, 7 ja 8. Värierot nappien välillä olivat huomattavat (kuva 3). Napit mitattiin työntömitalla ja niiden mittoja on esitetty taulukossa 17. Nappien halkaisijoista voitiin päätellä, että osa napeista oli hieman kutistunut. Suurin halkaisijan muutos oli napilla numero 1.

TAULUKKO 16. Näytteet

Näyte numero	Kappalemäärä	Partikkelikoko (μm)
1.	1	> 250
2.	1	250 – 125
3.	1	125 – 63
4.	1	63 – 45
5.	1	45 – 20
6.	1	220
7.	1	0 – 250
8.	1	Raaka
9.	2	0 – 250
10.	2	Raaka



KUVIO 3. Nappien paikat uunissa



KUVA 3. Napit sintrausprofiilin jälkeen


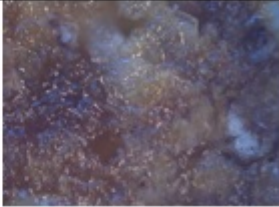

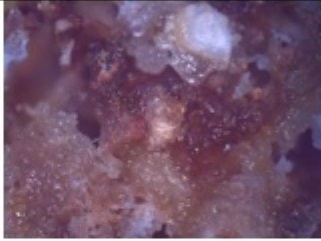

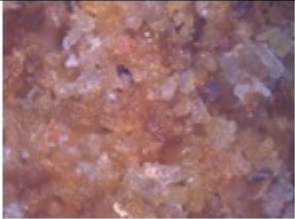

TAULUKKO 17. Nappien mitat

Näyte numero	Halkaisija (mm)	Halkaisijan muutos (%)
1.	30,80	2,22
2.	30,92	1,84
3.	31,10	1,27
4.	31,36	0,44
7.	31,28	0,70
8.	31,34	0,51









8.5.1 Mikroskopia

Näytteitä tarkasteltiin myös mikroskoopilla. Kuvat on jaoteltu taulukoihin 18 ja 19.

TAULUKKO 18. Näytteet 1-4

Näyte numero	Kuva	Suurennos 10x
1.	 A circular, dark green, textured sample, possibly a biological or mineral specimen, resting on a grey surface.	 A microscopic view of the sample at 10x magnification, showing a complex, granular structure with various shades of brown and blue.
2.	 A circular, dark green, textured sample, similar to sample 1, resting on a grey surface.	 A microscopic view of the sample at 10x magnification, showing a granular structure with reddish-brown and white tones.
3.	 A circular, dark green, textured sample, similar to sample 1, resting on a grey surface.	 A microscopic view of the sample at 10x magnification, showing a granular structure with reddish-brown and white tones.
4.	 A circular, dark green, textured sample, similar to sample 1, resting on a grey surface.	

TAULUKKO 19. Näytteet 5-8

Näyte numero	Kuva	Suurennos 10x
5.	 A circular, light green, porous-looking sample resting on a dark grey surface.	 A 10x magnified view of the sample, showing a porous, brownish structure with irregular, interconnected particles.
6.	 A circular, light green, porous-looking sample resting on a dark grey surface.	 A 10x magnified view of the sample, showing a porous, brownish structure with irregular, interconnected particles.
7.	 A circular, light green, porous-looking sample resting on a dark grey surface.	 A 10x magnified view of the sample, showing a porous, brownish structure with irregular, interconnected particles.
8.	 A circular, light green, porous-looking sample resting on a dark grey surface.	 A 10x magnified view of the sample, showing a porous, brownish structure with irregular, interconnected particles.

8.5.2 Näytteet 9 ja 10

Näytteet numero 9 ja 10 punnittiin ja mitattiin työntömitalla, minkä jälkeen kaksi nappia (9 ja 10) laitettiin uuniin 600 °C asteeseen lämmitysnopeudella 20 °C/min ja pitoajalla 4h. Toiset kaksi laitettiin samalla tavalla uunin ylätasolle 800 °C asteeseen lämmitysnopeudella 20 °C/min ja pitoajalla 4h. Näytteet punnittiin ja mitattiin myös uunituksen jälkeen (taulukko 20). Taulukon tuloksista voidaan päätellä, että napeista on poistunut nestettä. Suuremmassa lämpötilassa napeista on poistunut enemmän nestettä. Mittaustuloksiin voi vaikuttaa myös se, että materiaali tarttuu esimerkiksi sormiin käsiteltäessä.

TAULUKKO 20. Nappien painot ja mitat

Uunin lämpötila (°C)	Näyte numero	Paino ennen (g)	Paino jälkeen (g)	Halk. ennen (mm)	Halk. Jälkeen (mm)	Paks. ennen (mm)	Paks. jälkeen (mm)
600	9.	12,2811	12,1192	30,12	30,1	8,04	8,04
800	9.	14,9731	12,1618	30,06	30,00	9,76	9,76
600	10.	15,3277	15,1533	30,16	30,1	9,92	9,92
800	10.	16,7817	13,6533	30,08	29,76	11,26	11,26

8.6 Viimeinen sintrauskoe

Toimeksiantajalta saatujen puristenappien sintraantuvuutta kokeiltiin neljällä eri sintrausprofiililla (taulukko 21). Näytteet punnittiin ennen ja jälkeen sintrausprofiilin.

TAULUKKO 21. Näytteet

Näyte numero	Partikkelikoko	Kappalemäärä
1.	1 mm – 250 μm	4
2.	250 μm – 125 μm	4
3.	125 μm – 63 μm	4
4.	0 μm – 250 μm	4
5.	0 μm – 1 mm	4

Napit 1, 2, 3, 4 ja 5 laitettiin uuniin sintrausprofiililla 5 (taulukko 14). Mukaan päätettiin laittaa myös nappi numero 9, joka oli siis jo ollut uunissa 800 °C asteessa neljä tuntia. Kaikki napit olivat kovettuneet, kun ne poistettiin uunista. Nappi numero 1 oli sulanut, sillä se oli jämähtänyt kiinni tiileen. Nappien painot on esitetty taulukossa 22.

TAULUKKO 22. Nappien painot, sintrausprofiili 5

Näyte numero	Paino ennen uunia (g)	Paino uunin jälkeen (g)
1.	9,8343	
2.	11,9504	9,9103
3.	15,4639	12,5188
4.	14,3245	11,5623
5.	12,3746	9,9990
9.	12,1618	11,9729

Napit 2, 3, 4, ja 5 laitettiin uuniin sintrausprofiililla 6 (taulukko 23). Mukaan päätettiin laittaa myös nappi numero 10, joka oli ollut uunissa 800 °C asteessa neljä tuntia. Kaikki napit olivat kovettuneet, kun ne poistettiin uunista. Nappi numero 2 jäi tiileen vähän kiinni, mutta irtosi kuitenkin. Nappi numero 10 oli haljennut jo ennen uuniin laittamista. Nappi numero 3 oli hieman epätasaisen värinen. Nappien painot on esitetty taulukossa 24.

TAULUKKO 23. Sintrausprofiili 6

Lämpötila (°C)	Lämpötilan nousu (°C/min)	Pitoaika (h)
780	20	4
1210	10	5

TAULUKKO 24. Nappien painot, sintrausprofiili 6

Näyte numero	Paino ennen uunia (g)	Paino uunin jälkeen (g)
2.	11,9452	9,7260
3.	15,0268	11,8961
4.	14,9836	14,3849
5.	12,0975	10,1231
10.	13,6533	13,3221

Napit 2, 3, 4 ja 5 laitettiin uuniin sintrausprofiililla 7 (taulukko 25). Mukaan päätettiin laittaa myös nappi numero 4, joka oli jo uunitettu sintrausprofiililla 4. Nappi numero 2 oli sulanut tiileen kiinni. Nappi numero 3 oli epätasaisen värinen. Jo kertaalleen sintrausprofiilin läpikäynyt nappi oli todella hauras ja mureni käsiin. Nappien painot on esitetty taulukossa 26.

TAULUKKO 25. Sintrausprofiili 7

Lämpötila (°C)	Lämpötilan nousu (°C/min)	Pitoaika (h)
780	20	4
1220	10	5

TAULUKKO 26. Nappien painot, sintrausprofiili 7

Näyte numero	Paino ennen uunia (g)	Paino uunin jälkeen (g)
2.	12,6465	
3.	14,7049	11,9035
4.	14,0915	11,3623
5.	11,4908	9,2826
4.	5,9212	

Napit 3, 4 ja 5 laitettiin uuniin sintrausprofiililla 8 (taulukko 27). Kaikki napit olivat profiilin jälkeen kovia. Nappi numero 3 oli epätasaisen värinen.

Nappien painot on esitetty taulukossa 28.

TAULUKKO 27. Sintrausprofiili 8

Lämpötila (°C)	Lämpötilan nousu (°C/min)	Pitoaika (h)
780	20	4
1230	10	5

TAULUKKO 28. Nappien painot, sintrausprofiili 8

Näyte numero	Paino ennen uunia (g)	Paino uunin jälkeen (g)
3.	13,0491	10,4704
4.	12,8011	10,2768
5.	12,0549	9,7515

8.6.1 Kovuustesti

Napeille yritettiin tehdä kovuustesti käyttämällä Vickersin kovuusmittausta. Tämä ei kuitenkaan onnistunut, sillä napit olivat liian hauraita, joten napeille päätettiin tehdä hieman erilainen kovuustesti. Painimena käytettiin 10 mm:n kovametallikuulaa voimalla 30 kg. Jokaiselle napille tehtiin kuusi mittausta, ja niistä laskettiin keskiarvo (taulukko 29). Mittaustulokset olivat todella hajanaisia materiaalin huokoisuuden takia. Mittaus ei ole minkään standardin mukainen, mutta sen avulla pystyttiin jonkin verran vertailemaan nappien kovuutta. Näytteet numero 2 ja 5 vaikuttivat saaneet tasaisimpia kovuusarvoja.

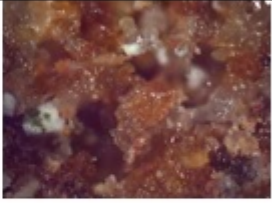
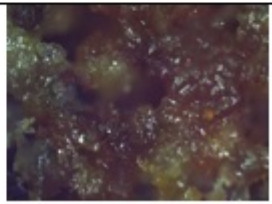

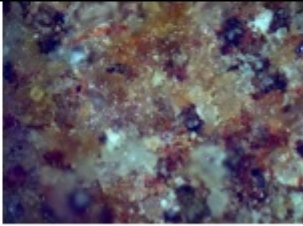
TAULUKKO 29. Kovuusmittausten tulokset

Näyte	Sintrausprofiili 5		Sintrausprofiili 6		Sintrausprofiili 7		Sintrausprofiili 8	
	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta
2.	30,33	8,98	32,67	7,92				
3.	16	20,63	2,83	17,63	11,17	23,3	5	25,27
4.	21,5	13,84	20,83	11,75	21,83	20,2	22	10,5
5.	33,67	3,78	27,5	8,48	26,33	5,05	26,67	5,57
9.	1,33	23,06						

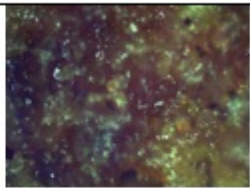
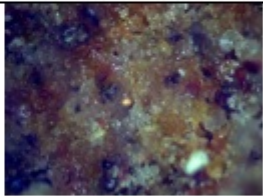
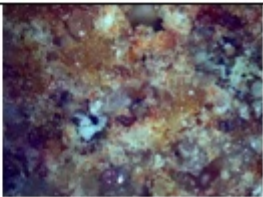
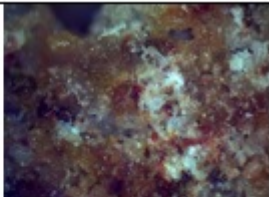

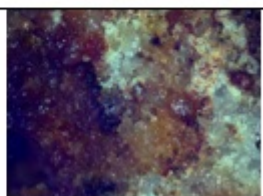
8.6.2 Mikroskopia

Näytteitä tarkasteltiin myös mikroskoopilla. Kuvat on jaoteltu taulukoihin 30, 31 ja 32.



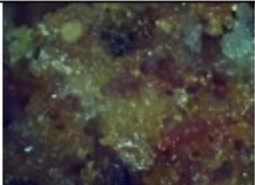
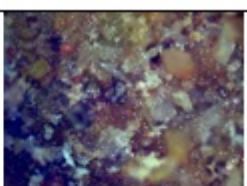
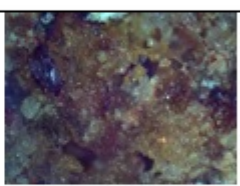

TAULUKKO 30. Mikroskooppikuvia

Näyte numero	Sintrausprofiili	Suurennos 10x
2.	5	
2.	6	
3.	5	
3.	6	

TAULUKKO 31. Mikroskooppikuvia

Näyte numero	Sintrausprofiili	Suurennos 10x
3.	7	
3.	8	
4.	5	
4.	6	
4.	7	
4.	8	

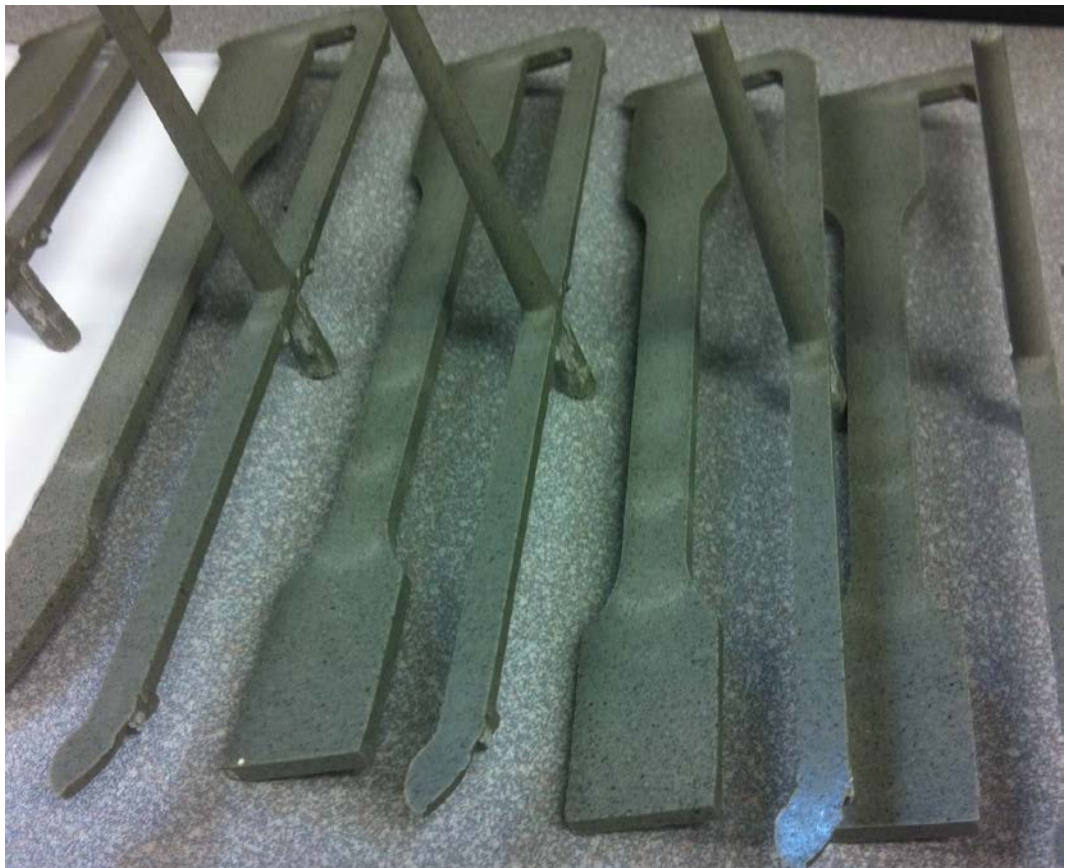
TAULUKKO 32. Mikroskooppikuvia

Näyte numero	Sintrausprofiili	Suurennos 10x
5.	5	
5.	6	
5.	7	
5.	8	
9.	5	
10.	6	

9 KOKO PROSESSIN LÄPIAJO

9.1 Ruiskuvalu

Toimeksiantajalta saadulla materiaalilla ajettiin koesauvoja kolmella eri ruiskutusaineella. Materiaalin partikkelikoko oli $0\ \mu\text{m} - 1\ \text{mm}$. 50 MPa ruiskutusaineella ei saatu ajettua yhtään kokonaista ehjää koesauvaa. Mikäli kappale oli täyttynyt kunnolla, niin se katkesi ulostyönön aikana. 100 MPa ruiskutusaineella osa kappaleista oli hyvin täyttyneitä ja ehjiä. 150 MPa ruiskutusaineella myöskin saatiin ehjiä ja hyvin täyttyneitä kappaleita, joskin välissä tuli myös muutama kappale, joka ei ollut täyttynyt kunnolla. Kaikki kappaleet olivat väriltään vähän epätasaisia (kuva 4).



KUVA 4. Ruiskuvallettuja koesauvoja

9.2 Debindin ja sintraus

Kappaleet laitettiin ensin uuniin debinding profiiliin numero 2 (taulukko 5), jonka jälkeen ne menivät sintrausprofiiliin 4 (taulukko 14). Kappaleissa oli debinding profiilin jälkeen pitkittäissuuntaisia halkeamia ja kuplia.

Sintrausprofiilin jälkeen ne tuntuivat kovemmilta kuin aikaisemmat sauvat, mutta kuitenkin kohtuullisen haurailta. Kolme 100 MPa ruiskutusaineella valmistetuista sauvoista jäi kiinni uunin alustaan ja menivät rikki irroitettaessa.

Kappaleista yritettiin mitata kovuutta, mutta ne olivat niin hauraita ettei se onnistunut. Taivutuslujuuksia niistä mitattiin kolmipistetaivutuksessa (kuva 5). Kappaleen poikkileikkauksen mitat olivat 4 mm x 10 mm. Tuloksista voidaan päätellä, että ruiskutusaineella voisi olla pientä vaikutusta kappaleiden taivutuslujuuteen. Taulukosta 33 voidaan nähdä voima, taivutusjännitys sekä taipuma.



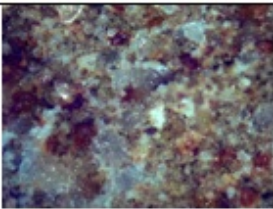
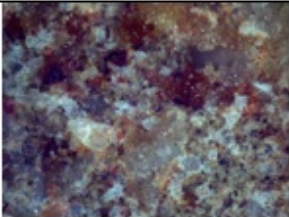
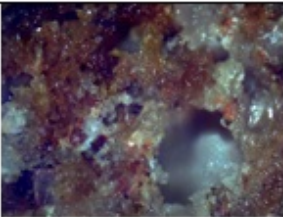
KUVA 5. Sauva taivutuskoneessa

TAULUKKO 33. Taivutuskokeen tulokset

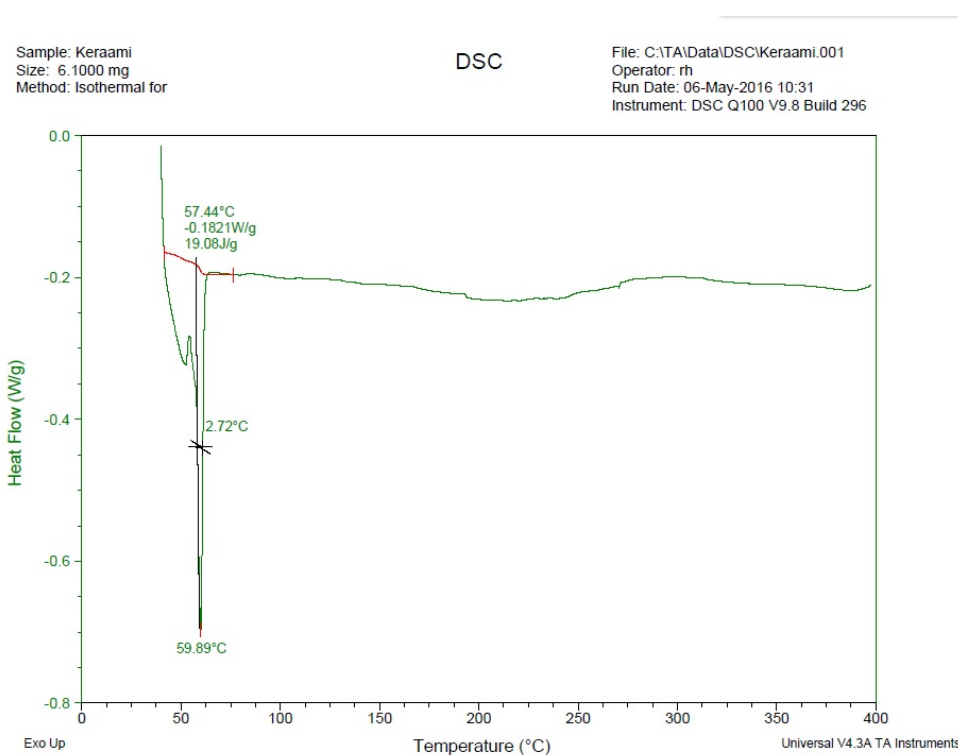
Batch Reference	Maximum Load	Maximum Deflection	Maximum Bending Stress at Maximum Load	Maximum Bending Strain at Maximum Load
1500	7.9496 N	1.3547 mm	5.6641 MPa	0.0011458
1500	7.0110 N	1.3267 mm	4.9953 MPa	0.00082672
1500	6.5933 N	1.3302 mm	4.6977 MPa	0.00074508
1500	8.8679 N	1.5263 mm	6.3184 MPa	0.00094272
1500	7.0104 N	1.3433 mm	4.9949 MPa	0.0012027
500	5.3877 N	1.3290 mm	3.8387 MPa	0.0011431
500	6.1039 N	1.3536 mm	4.3491 MPa	0.0011484
500	4.4404 N	1.3777 mm	3.1638 MPa	0.00093700
500	7.2232 N	1.3528 mm	5.1466 MPa	0.0010405
500	5.6175 N	1.3547 mm	4.0025 MPa	0.00095035
1000	5.5760 N	1.3342 mm	3.9729 MPa	0.00087053
1000	6.7929 N	1.2912 mm	4.8399 MPa	0.00099039

Sintrattuja sauvojen päitä tutkittiin myös mikroskoopilla. Kuvat on esitetty taulukossa 34.

TAULUKKO 34. Mikroskooppikuvat

Ruiskutusaine (MPa)	Suurennos 10x
50	
100	
150	

Ruiskuvaletusta kappaleesta otetulle palaselle tehtiin vielä DSC-mittaus. Differentiaalinen pyyhkäisykalorimetria eli DCS on muovien tutkimusmenetelmä, jolla saadaan määritettyä näytteestä vapautuva tai näytteen sitoma energia lämpötilan tai ajan funktiona. Mittaus tehtiin samalle näytteelle kaksi kertaa (kuvio 4 ja kuvio 5). Mittauksesta voidaan todeta lämpötila, jossa sideaine poistuu.

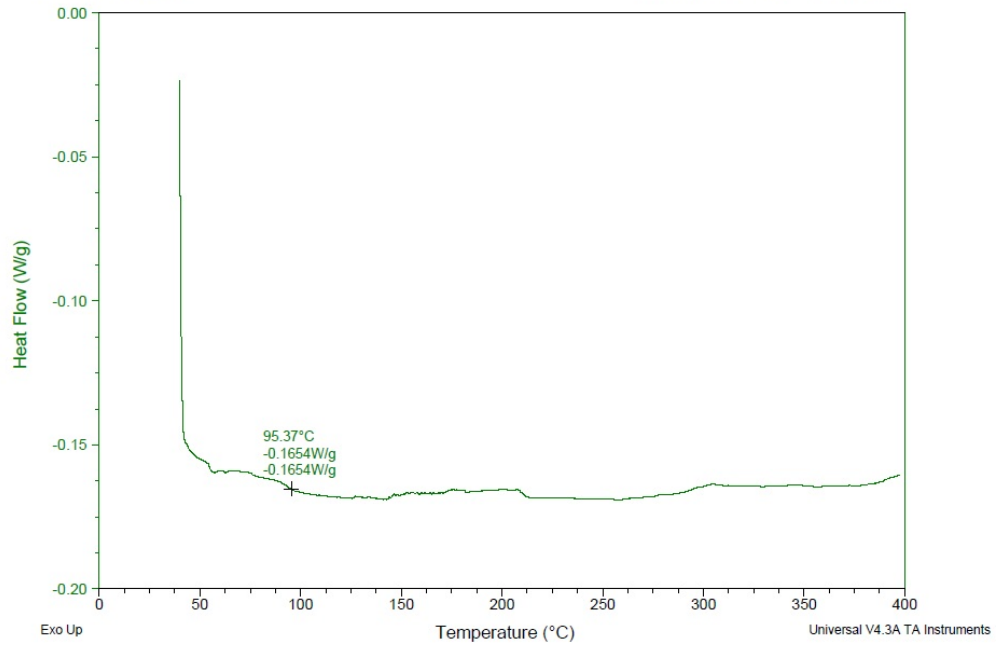


KUVIO 4. Ensimmäinen mittaus

Sample: Keraami
Size: 5.3000 mg
Method: Isothermal for
Comment: Toinen kerta

DSC

File: C:\TA\Data\DSC\Keraami.002
Operator: rh
Run Date: 06-May-2016 11:15
Instrument: DSC Q100 V9.8 Build 296



KUVIO 5. Toinen mittaus

10 YHTEENVETO

Yhteenvetona voidaan todeta, että materiaalin ruiskuvalu onnistuu.

Jälkipaine ei ole tarpeellinen eikä se toimi vakiovetosauvamuotin kanssa, sillä se saa materiaalin ja valukanavan jäämään kiinni muottiin. Muotissa suositellaan käytettävän suuria päästökulmia.

Debindingia täytyy vielä kyseiselle materiaalille säätää. Kappaleissa olevat kuplat ja halkeamat voisivat johtua materiaalin liian erikokoisista partikkeleista, jolloin sidosaine ei pääse poistumaan kappaleista kunnolla.

Materiaalin seulominen aiheuttaa ilmeisesti sen, että materiaalin koostumus muuttuu. Pienemmällä seulalla seulottu materiaali ei meinaa sintraantua suuremmisakaan lämpötiloissa. Yleisesti ottaen kappaleiden lujuus oli sintratuissakin kappaleissa keho. Materiaaliin voisi kokeilla sekoittaa esimerkiksi lasijauhetta kappaleen sintraantuvuuden helpottamiseksi.

LÄHTEET

Dr. Kopeliovich, D. 2014. Sintering of ceramics. SubsTech. [viitattu 9.5.2016] Saatavissa:

http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=sintering_of_ceramics

Dynamic Ceramic. 2016. Hardness. [viitattu 2.5.2016] Saatavissa:

<http://www.dynacer.com/properties/hardness/>

Finemat Oy. 2016. Tekniset keraamit. [viitattu 1.5.2016] Saatavissa:

http://www.finemat.fi/tekniset_keraamit.html

Hirvelä, V. 2012. Monikerroskalvon kierrätys puumuovikomposiitissa.

Lahden ammattikorkeakoulu. Tekniikan ala. Muovitekniikan opinnäytetyö.

[viitattu 9.5.2016] Saatavissa:

http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/44747/Hirvela_Virva.pdf;jsessionid=CC2B7B4C4AB35792BD0E98E82CDA1FD4?sequence=

Järvelä, P., Syrjälä K. & Vastela, M. 2000. Ruiskuvalu. 3. painos.

Tampere: Plastdata Oy.

Keranova AB. 2016. Meillä on keraameja sinulle. [viitattu 1.5.2016]

Saatavissa: <http://www.keranova.se/Finsk/keramer.html>

Kovametalli-IN. 2016. Muut tuotteet. [viitattu 1.5.2016] Saatavissa:

<http://www.kovametalli-in.fi/Pages/Terastuotteet.aspx>

Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2013. Konstruktiomateriaalit ja niiden

valinta. Harri Eskelinen. [viitattu 1.5.2016] Saatavissa:

slideplayer.biz/slide/2439866/

Stanimirović, Z. & Stanimirović, I. 2016. Ceramic Injection Molding.

InTech. [viitattu 26.4.2016]. Saatavissa: [cdn.intechopen.com/pdfs-](http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/33648.pdf)

[wm/33648.pdf](http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/33648.pdf)

Tampereen teknillinen yliopisto Materiaaliopin laitos. 2005. Keraamit.

Tampereen teknillinen yliopisto. [viitattu 23.4.2016]. Saatavissa:

http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_3.php

Tampereen teknillinen yliopisto Materiaaliopin laitos. 2005. Konstruktiiviset keraamit. Tampereen teknillinen yliopisto. [viitattu 23.4.2016]. Saatavissa:

http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_3_2.php

Quinn, G. 1998. Hardness Testing of Ceramics. Jeff Stewart. [viitattu

26.4.2016] Saatavissa:

<http://www.metallography.com/ceramics/ceramics.htm>

LIITTEET