

MIM – METALLIEN RUISKUVALU JA NIIDEN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET TEOLLISUUDESSA

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan koulutusohjelma
Mekatroniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2008
Kimmo Köppä

Lahden ammattikorkeakoulu
Tekniikan koulutusohjelma

KÖPPÄ, KIMMO: MIM - Metallien ruiskuvalu ja niiden käyttömahdollisuus teollisuudessa

Mekatroniikan opinnäytetyö, 35 sivua, 6 liitesivua

Kevät 2008

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena on esitellä lyhyesti pääperiaatteet Metallien ruiskuvaluprosessista ja tämän valmistusmenetelmän tuomat edut tuotteissa, jotka aikaisemmin on valmistettu perinteisemmällä metallien työstömenetelmillä.

Metallien ruiskuvaluprosessista käytetään yleismaailmallisesti lyhennystä MIM teknologia, (Metal Injection Molding). Valmistusprosessi rakentuu siitä, että ensin jauhemuodossa oleva metalliaines sekoitetaan muoveista ja vahoista valmistettavan sidosaineen kanssa yhteen ja siitä tehdään ruiskupuristusprosessiin soveltuvaa raaka-ainetta. Tämän jälkeen materiaali ruiskupuristetaan muotoonsa aivan kuten normaalissa ruiskupuristusprosessissakin tehtäisiin. Tuotteesta, joka nyt on oikeassa muodossaan, tulee poistaa sidosaine vaihtoehtoisia tapoja käyttäen. Viimeisessä vaiheessa tuote sintrataan lopullisiin mittoihinsa ja tiiveyteen. Näin saavutetaan keskimääräisesti 98 % tiheys alkuperäisestä metalliaineksesta.

Korkean teknologian ja vahvana perusmetallien osaajana tunnetun Suomen teollisuuden olisi hyvä tutustua lähemmin kyseenomaiseen valmistusmenetelmään ja toivonkin että tämä työ tavoittaa mahdollisimman monen opiskelijan mielenkiinnon ja sitä kautta kasvattaa suomalaisten osaamista myös tällä saralla.

Pääasiallisesti tähän valmistusprosessiin liittyvät julkaisut on kirjoitettu englanniksi, joten tämän opinnäytetyön kautta halusin esitellä valmistusprosessia suomen kielellä.

Asiatekstin lisäksi haluan tuoda esille vertailuesimerkin, josta lukija löytää helposti MIM teknologialla saavutetut etuudet. Vertailu on tehty niin tuotannollisten, kuin kustannustehokkuuden perusteella, mutta mitään yksiselitteistä lopputulosta siitä ei ole saatu kirjattua. Jokainen tapaus tulisi arvioida yksitellen työssä esiteltyjen ohjeiden mukaisesti. MIM - teknologia on pienille osille soveltuva valmistusmenetelmä suursarjatuotantoon.

Avainsanat: MIM , PIM , CIM , μ MIM , Sintraus, Sidosaineen poisto, Puristus&Sintraus (P&S)

Lahti University of Applied Science
Faculty of Technology

KÖPPÄ, KIMMO: MIM – Metal injection moulding and usage in field of
metal industry

Bachelor's thesis of Mechatronics, 35 pages, 6 appendices

Spring 2008

ABSTRACT

Main purpose of this Thesis is to tell shortly the principal of Metal Injection Moulding process and the advantages which this manufacturing process will give to the products which were previously done in more traditional way to process metal. MIM – Technology is worldwide used abbreviation for (Metal Injection Moulding). Manufacturing process will be structured from the first step where powdered metal material is mixed with binder which is made out of plastic or waxes and from that mixture material is granulated to suitable format for injection moulding process. After the first step raw-material is injection moulded into correct shape as would be done in normal injection moulding process. From the part which is in correct form binding material need to be removed by using alternative processes. In final stage part will be sintered to correct dimensions and density. By doing this part reaches average of 98 % of the metal material density.

Because Finnish industry is well know as it high technology and strong knowledge of basic metal it would be good idea them to get familiar with it and I hope this thesis will reach out the interest of several students and that way improve the Finnish knowledge in this field. Mainly all the technical literature is written in English, so through this thesis I wanted to present this manufacturing process in Finnish.

Together with the process explanation I want to highlight example of comparison from where reader can easily find the achievable benefits of using MIM - technology. Manufacturability and cost efficiency have been considered while this comparison has been done but no unambiguity result could be written down. Each case should be evaluated separately based on the instructions given in this thesis. MIM - technology is suitable for small parts in mass - production.

Keywords: MIM , PIM , CIM , μ MIM , Sintering , Debinding , Pressed&Sintered (P&S)

ALKUSANAT

Haluaisin ensinnä esittää suurimmat kiitokseni vaimolleni Melinalle, jonka pyyteetön tuki ja helläkätinen painostaminen innoittivat minut jatkamaan opintojani, vaikka ajatus viikonlopuista koulunpenkillä ei aina sopinut suunnitelmiini. Perheeni joustaminen poissaolojeni kautta antoi minulle syyn panostaa valmistumiseen ajallaan.

Lämpimät kiitokset saa myös työnantajani FIH, sillä joustavat työtehtävät ja yrityksen sisäinen koulutus uusista valmistusmenetelmistä kypsytti ajatuksen tehdä lopputyö kyseenomaisesta aiheesta.

Lahti 8.1.2008

Kimmo Köppä

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

LYHENTEET

| | | |
|-------|-------------------------------|----|
| 1 | JOHDANTO | 1 |
| 1.1 | Tutkimuksen taustaa | 1 |
| 1.2 | Tutkimuksen rajaukset | 1 |
| 1.3 | Työn tavoitteet | 2 |
| 2 | JOHDATUS MIM -TEKNOLOGIAAN | 3 |
| 2.1 | Metallien ruiskuvalutekniikka | 3 |
| 2.1.1 | Raaka-aineen sekoitus | 5 |
| 2.1.2 | Ruiskuvalu | 6 |
| 2.1.3 | Sidosaineen poisto | 7 |
| 2.1.4 | Sintraus | 9 |
| 2.2 | Käytettävät materiaalit | 10 |
| 2.3 | Johdettuja tekniikoita | 12 |
| 2.3.1 | μMIM | 12 |
| 2.3.2 | CIM | 14 |
| 2.3.3 | MIT | 14 |
| 2.3.4 | PIM | 14 |
| 3 | SUUNNITTELUN OHJEISTUS | 15 |
| 3.1 | Muotoilun lähtökohdat | 15 |
| 3.1.1 | Päästöt | 15 |
| 3.1.2 | Syöttökohta, Portti | 16 |
| 3.1.3 | Rivat ja verkot | 16 |
| 3.1.4 | Pyöritykset | 17 |
| 3.1.5 | Vastapäästöt | 17 |
| 3.1.6 | Kierteet | 18 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.1.7 | Seinämävahvuus | 18 |
| 3.2 | Lisäarvoa muotoilusta | 19 |
| 3.2.1 | Vihreät arvot | 19 |
| 4 | VALMISTUSTEKNINEN VERTAILU | 20 |
| 4.1 | Vertailuesimerkki | 22 |
| 4.1.1 | Jäähdytyslevy alumiinistä tai alumiiniseoksesta | 22 |
| 4.1.2 | Jäähdytyslevy kuparista tai kupariseoksesta | 24 |
| 4.1.3 | Jäähdytyslevy komposiitti materiaaleista | 26 |
| 4.2 | Kustannukset | 28 |
| 4.2.1 | Kustannusten vertailu | 29 |
| 4.3 | Markkinat ja kehitysnäkymät | 30 |
| 5 | YHTEENVETO | 33 |
| | LÄHTEET | 34 |
| | LIITTEET 6 (KPL) | |

LYHENTEET

| | |
|------|---|
| AAGR | Keskimääräinen vuosittainen kasvuvauhti |
| APAC | Aasia ja tyynenmeren alue |
| CIM | Yleisesti käytetty lyhenne keraamisten seosten ruiskuvaluprosessista |
| MIM | Yleisesti käytetty lyhenne metallien ruiskuvaluprosessista |
| μMIM | Yleisesti käytetty lyhenne pienikokoisten (mikro) metallisten osien ruiskuvaluprosessista |
| PIM | Yleisesti käytetty lyhenne jauheena (olomuoto) olevien materiaalien ruiskuvaluprosessista |
| P&S | Yleisesti käytetty lyhenne Puristus ja Sintraus prosessista |
| PMMA | Polymetyylimetakrylaatti (Akryyli) |

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen taustaa

Suhteellisen uusien metallisten tuotteiden valmistusmenetelmien esille tuominen ei aina ole tehokasta, koska metallitekniikan laaja-alainen koulutus keskittyy metallien pääasiallisiin valmistus- ja muovaustekniikoihin. Työn avulla haluan tuoda julkisuutta metallien ruiskuvalutekniikalle.

Metallisten tuotteiden uusien valmistusprosessien käyttöönotto parantaisi mahdollisuutta teknologian kehittymiseen ja mahdollistavat kilpailukyvyn saavuttamisen tai säilyttämisen markkinoiden kovassa hinta-laatu suhde puristuksessa. Toivon, että kyseinen tutkimus auttaisi tässä kehityksessä.

1.2 Tutkimuksen rajaukset

Työ rajataan Metallien ruiskuvalun perusprosessien selvittämiseen sekä sitä tukevien, johdettujen tekniikoiden esittelyyn. Osaltaan työ käsittelee myös valmistusprosessiin liittyviä suunnittelulähtökohtia, joita seuraamalla tuotteen suunnittelu ja valmistettavuus olisivat heti alkuunsa mahdollisimman lähellä hyvää lopputulosta.

Työssä esitellään yksi vertaileva tutkimus, jossa metallien ruiskuvaluprosessin avulla valmistettuja tuotteiden ominaisuuksia verrataan painevalamalla ja suulakepuristamalla tehtyihin tuotteisiin. Tutkimuksessa on listattuna vain osa mahdollisista prosessissa käytettävistä materiaalivaihtoehdoista.

1.3 Työn tavoitteet

Tavoitteena on tutkia metallien ruiskuvaluprosessia ja selventää niin uusille opiskelijoille kuin myös asiasta muuten kiinnostuneille henkilöille prosessin pääpiirteet. Metallien ruiskuvalusta olevat materiaalit ovat pääosin englanninkielisiä, joten helpottaakseni muiden ensimmäistä tunnustelua asian tiimoilta olen kerännyt tarvittavat tiedot tähän työhön artikkeleista tai asiakirjallisuudesta ja kääntänyt sen suomen kielelle.

Tutkimuksen tarkoitus on herättää lisää mielenkiintoa kyseenomaista valmistustekniikkaa kohtaan ja innoittamaan lukijan hakemaan lisätietoja alan kirjallisuudesta tai jopa tutkimaan sitä lisää ja tällä tavalla parantamaan teollisuuden tietämystä metallien ruiskuvalusta.

Toivon myös, että tämän tutkimuksen luettuaan yritykset innostuisivat tekemään vastaavaa vertailua, kuin mitä työssäni on myöhemmin esitelty ja sitä kautta arvioimaan tämän valmistustekniikan soveltuvuutta niiden tuotteisiin tai jopa laskemaan sen mahdollisia vaikutuksia yrityksen tuottavuuteen.

2 JOHDATUS MIM -TEKNOLOGIAAN

Metallien ruiskuvalua on tutkittu jo viimeiset 20 vuotta, ja siitä on pikku hiljaa kasvanut varteenotettava vaihtoehto syrjäyttämään tavanomaiset valmistustekniikat kuten metallien painevalu tai mekaaninen työstäminen.

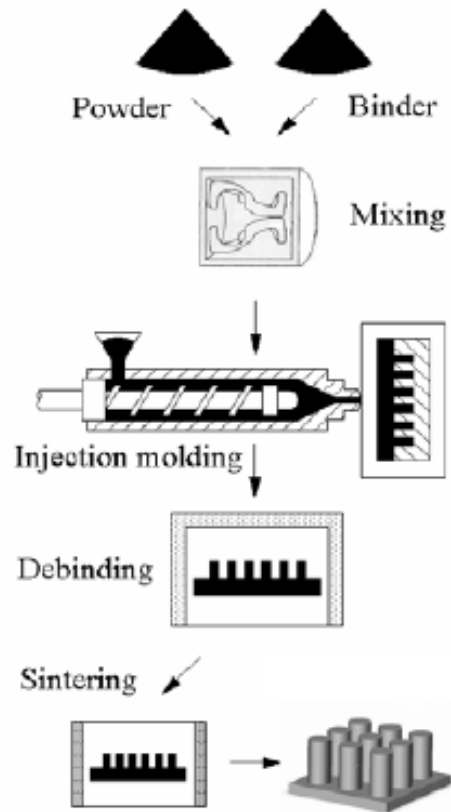
Nykyään on mahdollista valmistaa hyvin eheitä metallikappaleita monimutkaisineen muotoineen, jotka ilmentävät ominaisuuksia kuten mittatarkkuus, vähäinen huokoisuus, mittatarkoilla ja hyvin toistettavilla tasaisilla pinnoilla, suhteellisen edullisilla kustannuksilla riippuen tuotantomääristä. Metallien ruiskupuristus ja sintraus prosessi voi poistaa tai vähentää mekaanisia työstöoperaatioita ja soveltuu ideaalisesti keskisuurten tai suurten määrien valmistukseen. Yksityiskohdat tai ominaisuudet, jotka normaalisti olisi tehtävä lisätyönä, voidaan nyt toteuttaa suoraan tuotteeseen. (Tomlinson 2007.)

2.1 Metallien ruiskuvalutekniikka

Tämä kappale käsittelee lyhyesti metallien ruiskuvalutekniikkaa ja sen perusprosesseja yleisellä tasolla. Seuraavissa luvuissa on syvällisemmin käsitelty jokaista prosessin osa-aluetta erillisenä osana, vaikkakin niistä lopuksi nivoutuu kokonaisuus, jota voidaan kutsua MIM – prosessiksi.

Metallin ruiskuvalu tai MIM on prosessi, jossa hienojakoinen metallijauhe, tyypillisesti n. 20µm kokoluokka, sekoitetaan oikeanlaisen sidosaineen kanssa, jotta saadaan aikaan käyttömateriaali. Normaalisti käytetyt sidosaineet ovat yhdistelmiä vahoista ja orgaanisista materiaaleista, jotka voivat sisältää kesto- tai kertamuoveja, kuin myös lisä- tai muita pinta-aktiivisia aineita. Käyttömateriaali ruiskutetaan muottipesään, käyttäen hyvin samanlaista konetta kuin mitä muovien ruiskuvalussa käytetään. Suurin osa sidosaineesta poistetaan käyttämällä lämpö tai lämpö- ja kemikaalista operaatiota. Tämän jälkeen tuotteet asetetaan sintraus uuniin, jossa loput sidosaineista poistuu ja tuotteet sintraantuvat oikeaan mittaansa. (MIM Design Guide 2007.)

Prosessin vaiheet käyvät hyvin ilmi myös tarkasteltaessa alapuolella olevaa Kuvio 1:stä. Yksinkertaisuudessaan eri vaiheet voidaan jaotella tällä tarkkuudella.



KUVIO 1. Metallien ruiskuvaluprosessin askeleet (Fu, G & Loh, N.H & Tay, B.Y & Tor, S.B. 2007, 1).

Vaikka MIM – teknologiaa usein verrataan Puristus ja Sintraus (P&S) prosessiin, niissä on useita eroavaisuuksia. P&S – prosessissa metallijauhe ja pieni osa seosainetta kaadetaan muottiin, puristetaan ja sitten suoritetaan sintraus. MIM- teknologia on lähempänä muovien ruiskuvaluprosessia, koska metallijauhe seosaineiden kanssa kuumennetaan juoksevaksi ja sitten ruiskutetaan muottiin. Suurin ero näillä kahdella valmistustekniikalla on se, että geometriat, joita P&S- tekniikalla voidaan saavuttaa, ovat jotakuinkin rajalliset. Tiukat pyöritykset, keernatut alueet ja läpireiät ovat ole mahdollisia P&S:n avulla. MIM saavuttaa 98% tiheyden, mutta P&S kappaleella tiheys on vain 85%. (MorganAdvancedCeramics 2004.)

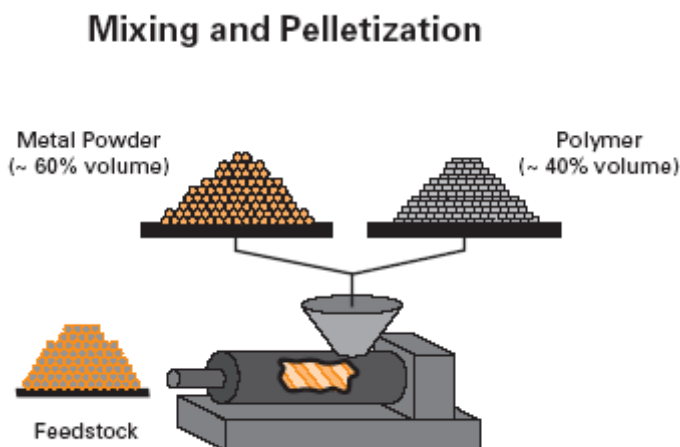
Toisin kuin perinteinen pulverimetallurgia, MIM komponentit voidaan lämpökäsitellä tai pinnoittaa aivan kuten taotut metalliseokset.

2.1.1 Raaka-aineen sekoitus

Raaka-aineitten sekoituksen aikana pitää huomioida yksityiskohdat, jotta pystytään varmistamaan raaka-aineen homogeenisyys pitkälläkin aikavälillä. Sekoitus aloitetaan laajamittaisella hienojakoisen (alle 22 mikrometriä) metallipulverin karakterisoinnilla. Nämä pulverit sekoitetaan hyvin, jotta ne lämmön avulla sekoittuisivat polymeeristen seosten kanssa muodostaen tasalaatuisen yhdisteen. Tämä yhdiste jäähdytetään ja granuloidaan ruiskuvalukoneelle soveltuvaan muotoon. (Phillips Plastics Corporation 2007.)

Ruiskuvaluun soveltuvan seoksen metallipulveri on valmistettu tarkempien toleranssien ja laatukriteerien mukaisesti, kuin mitä normaalisti käytetään perinteisessä sintrausprosessissa. (Tomlinson 2007.)

Tässä työ käsittelee ko. työvaihetta KUVIOSSA 2. tai siihen liittyviä laitteita vain yleisellä tasolla, joten tarkemmat tiedot täytyisi hakea laite- tai materiaalivalmistajien sivuilta.

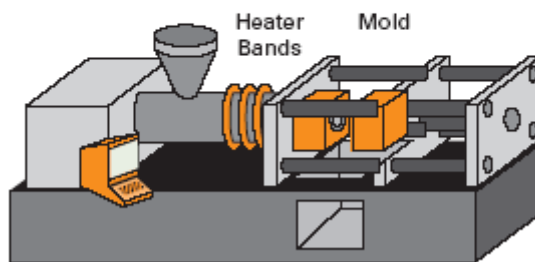


KUVIO 2. Raaka-aineitten sekoitus ja granulointi (PHILLIPS PLASTICS CORPORATION 2006, 8).

2.1.2 Ruiskuvalu

Metallien ruiskuvaluprosessi on hyvin pitkälle samanlainen kuin mitä muovien ruiskuvaluprosessi ja siihen liittyvät parametrit ovat johtuen siitä, että seosaineena käytettävät polymeerit ohjaavat ko. prosessin käyttäytymistä. Ruiskuvalussa käytettävät koneetkin ovat pääosin samoja. KUVIO 3.

Molding



KUVIO 3. ruiskuvalukone (PHILLIPS PLASTICS CORPORATION 2006, 8).

Erikoisruuvit ja sylinterit ovat oikeastaan ainoat eroavaisuudet verrattuna perinteiseen ruiskuvalukoneeseen. Suurin ero prosesseissa on se, että muotit tehdään harkitusti ylikokoisiksi, jotta tuotteen kutistuminen jäädytyksessä ja seuraavissa työvaiheissa pystyttäisiin kompensoimaan. (Tomlinson 2007.)

Granuloitu raaka-aine syötetään ruiskuvalukoneen suppiloon, tätä seuraa ruiskuvalu riittävässä lämpötilassa, jotta seosaine virtaa tuoden mukanaan metallipulverin muottiin. (Divya & Singhal & Pattanayak & Rama Mohan 2005.)

Ruiskuvalussa käytettävät parametrit ovat tietenkin riippuvaisia seoksen aineosista, mutta esimerkkinä TAULUKOSSA 1. on eräässä testissä Titaanille ja PMMA:n sekoitukselle käytettyjä arvoja.

TAULUKKO 1. ruiskuvalu parametrejä (Divya ym. 2005, 249)

- Injection temperature 150⁰ C
- Injection pressure 0.41-0.84 MPa
- Clamp time 4 s
- Clamp pressure 0.27 MPa
- Injection time 2 s

Ruiskuvaluprosessissa materiaalia ei mene oikeastaan yhtään hukkaan, sillä muotin syöttökanavisto ja läpi ajettu materiaali voidaan uudelleen käyttää, kunhan se ensin jauhetaan käytettävään muotoon. Materiaalin uudelleenkäyttö ei vaikuta lopputuotteen ominaisuuksiin. (Phillips Plastics Corporation 2007.)

Ruiskuvalun jälkeistä tuotetta kutsutaan yleisesti nimellä ” vihreä tuote ”, ja on suhteellisen herkkä hajoamaan, mikä riippuu käytetyistä seosaineista. KUVIO 4.

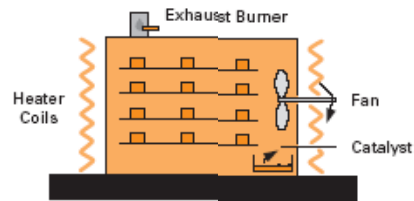


KUVIO 4. Vihreä tuote (PHILLIPS PLASTICS CORPORATION 2006, 7).

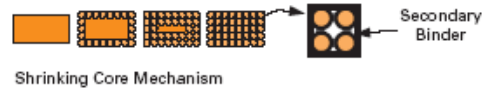
2.1.3 Sidosaineen poisto

Sidosaineen poistamiseen on kehitetty useampia tapoja, joista kuitenkin mainitsen vain kolme pääasiassa käytettyä prosessia: uunitus, vesikylpy tai kemiallinen reaktio. Esimerkkinä on kemiallinen reaktio yhdistettynä lämmön kanssa KUVIOSSA 5.

Debinding



Catalytic Debinding



KUVIO 5. Kemiallinen reaktio (PHILLIPS PLASTICS CORPORATION 2006, 9).

Valjastamalla polymeerikemian voimat käyttöön, on esitelty uusi katalyytti, joka poistaa 90% seosaineista ”vihreästä tuotteesta”. Koska katalyyttinen seosaineen poisto tapahtuu alle seosaineen pehmenemislämpötilaa, tuotteet säilyttävät erinomaisen mittatarkkuuden ja eheyden. Seosaineen poiston jälkeen, tuotetta kutsutaan yleisesti nimellä ”ruskea tuote” KUVIO 6. Tuote koostuu silloin huokoisesta metallipulveri matriisista ja pienestä osasta seosaineita, jotka riittävät pitämään tuotteen muodot sellaisenaan.(Phillips Plastics Corporation 2007.)



2 “Brown” parts. Same size, but 90% of the binder is gone

KUVIO 6. Ruskea tuote (PHILLIPS PLASTICS CORPORATION 2006, 7).

Vesikylpy-prosessissa seosaineet poistuvat lämpimän veden vaikutuksesta, mutta tuotteiden on mentävä vielä ultravioletivalo käsittelyn kautta, jotta kappale kovettuisi hetkellisesti ennen seuraavaa prosessia.

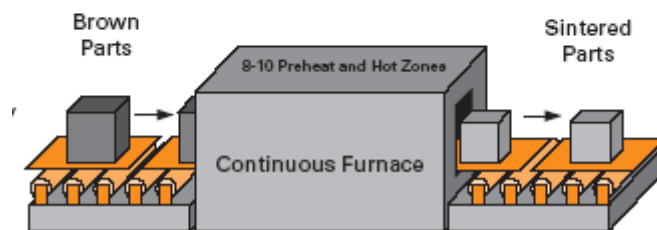
Uunitusprosessissa seosaineet höyrystyvät pois. Korkeamman lämpötilan takia tässä prosessissa on hyvä käyttää tukilevyjä tuotteiden alla, ehkäistäkseen mahdollisia muodonmuutoksia.

2.1.4 Sintraus

Viimeisessä vaiheessa ”ruskeat tuotteet” sintrataan kyseiselle seokselle valitussa lämpötila ja ilmakehä profiilissa. Sintrausprosessin matalissa lämpötiloissa polymeeriseoksen jäänteet poistetaan. Kun lämpötila nousee, alkaa sintrautuminen. Vieraat partikkelit sitoutuvat toisiinsa tuoden rakenteen yhteen ja vähentäen huokoisuutta. Lopussa vaaditut fysikaaliset ominaisuudet saavutetaan ja tiheys välillä 96 – 99 % teoreettisesta saavutetaan. Tiivistymisprosessin aikana, riippuen prosessoitavasta materiaalista, esiintyy 14 – 22 % lineaarinen kutistuma. Kutistuma on ennakoitavissa ja kompensoida tekemällä muottipesästä iso. (Phillips Plastics Corporation 2007.)

Sintrausprosessista on eritelty yleiskuva KUVIOSSA 7, joka kuitenkin ei ole ainoa tapa, millä laitteistot toimivat, kuten KUVIOSSA 8, jossa kappaleet eivät kulje laitteiston läpi.

Sintering



KUVIO 7. Sintrausprosessin yleiskuva (PHILLIPS PLASTICS CORPORATION 2006, 9).

MIM - Metal Injection Molding

AVS designs, manufactures, and services a full range of vacuum debind / sintering furnaces. Specialized MIM furnaces are currently processing the following materials:

- 17-4PH
- 316L
- Inconel
- Tungsten Alloy
- Titanium
- Tool Steels
- Nickel



KUVIO 8. Sintrauslaitteisto (Advanced Vacuum System Inc 2007.)

Valmis tuote KUVIOSSA 9. voidaan tämän jälkeen tarvittaessa työstää mekaanisesti, pinnoittaa tai tehdä sille lämpökäsittely. Mekaaniset ja korroosionkesto ominaisuudet ovat lähellä taottua materiaalia.

3 "Sintered" parts. 96+% dense.
Size meets print



KUVIO 9. Valmis tuote. (PHILLIPS PLASTICS CORPORATION 2006, 7)

2.2 Käytettävät materiaalit

MIM – prosessilla on mahdollisuus valmistaa tuotteita hyvin monista erilaisista metallimateriaaleista ja niiden sekoituksista. Materiaalit perustuivat aluksi hiili- ja ruostumattomiin teräksiin, mutta valmistusprosessin kehittyessä markkinoille on tullut monta muuta vaihtoehtoista materiaalia sekä lukematon määrä kokeiluasteella olevia yhdistelmiä, näistä muutamia on esitetty TAULUKOSSA 2.

Nykyään markkinoilla on useampia ruostumattomasta teräksestä, nikkelistä, raudasta, volframista, kuparista, sekä kuparin ja molybdeenin ja lisäksi volframin seoksista tehtyjä pulvereita MIM –prosessia varten. Valmistustekniikalle ominaista on se, että erilaisia materiaalisekoituksia voidaan testata suhteellisen helposti ja näin ollen tietylle tuotteelle voidaan kehittää paras mahdollinen seos haluttujen ominaisuuksien mukaan.

TAULUKKO 2. Lyhyt lista markkinoilla jo olevista materiaaleista.

- 17-4 PH (sintrattu) Ruostumaton Teräs
- 17-4 PH (H900 tilassa) Ruostumaton Teräs
- AISI 316L Ruostumaton Teräs
- AISI 304L Ruostumaton Teräs
- Puhdistettu Kupari
- Volframi (W-NI-Fe)
- F15 metalliseos (Kovar)
- CuMo (85Cu15Mo)
- Inconel
- Titaani
- Nikkeli
- Työkaluteräkset

Tyypillisiä ominaisuuksia eri materiaaleille löytyy liitteet sivuilta. LIITTEISSÄ 1-2 on esitelty mekaanisia ominaisuuksia ja LIITTEESTÄ 3 löytyy kemiallisia ominaisuuksia. LIITE 4 tuo esille magneettisia ominaisuuksia ja uusia yhdisteitä. Materiaalien valmistuksesta on tehty standardi, jonka lisätiedot löytyvät LIITTEESTÄ 5.

2.3 Johdettuja tekniikoita

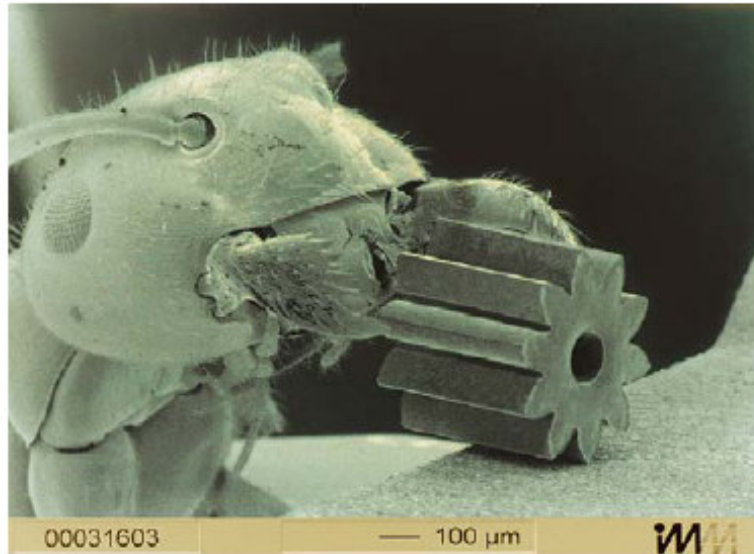
MIM pitää valmistusteknisenä käsitteenä sisällään muita hyvin samantapaisia prosesseja, joilla kuitenkin on omat teollisuudessa käytetyt lyhenteet. Tietyllä tasolla ne ovat johdettuja MIM tekniikasta, tai sitten niillä on hyvin paljon yhteneväisyyksiä valmistusteknisesti. Prosesseja ei kuitenkaan pidä sotkea toisiinsa.

Tässä lyhyesti johdetut tekniikat: μ MIM, CIM ja MIT. Seuraava kappale käsittelee tarkemmin niiden yhteneväisyyksiä ja eroja MIM:n kanssa. Joskus samaa asiaa käsitellään myös nimellä PIM.

2.3.1 μ MIM

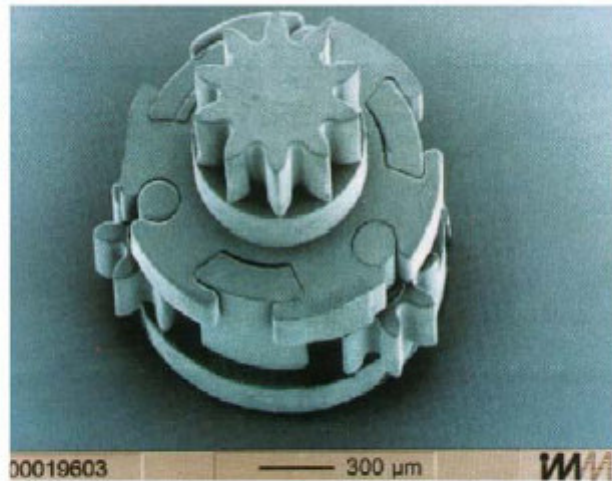
Metallin ruiskuvalu, mikrostruktuurit (μ MIM), on potentiaalinen prosessi pienikokoisten, vaikeamuotoisten metalliosien massatuotantoon. Käyttömahdollisuudet mikrovaihe- ja sairaala-teknologiassa. μ MIM on kutistettu versio tavallisesta metallien ruiskuvalusta. Siinä on samat neljä prosessivaihetta: raaka-aineen sekoitus, ruiskuvalu, seosaineen poisto, sintraus. (Fu ym 2007.)

μ MIM prosessilla on mahdollista valmistaa hyvinkin pieniä kappaleita, suursarjatuotantoja. Tuotteista esimerkkeinä KUVIOSSA 10 ja KUVIOSSA 11.



**Metallien ruiskuvalutekniikalla (MIM)
valmistettu pieni hammaspyörä.**

KUVIO 10. Havainnollinen kuva prosessin mahdollisuuksista (VTT 2005, 44).



**Pieni planeettavaihteisto, osat valmistettu MIM-
tekniikalla.**

KUVIO 11. Valmis mikrostruktuurinen kokoonpano (VTT 2005, 45).

2.3.2 CIM

Keraamien ruiskuvaluprosessi CIM (Ceramic Injection Molding) on prosessina hyvin vastaava kuin MIM, mutta siitä puhuttaessa käsitellään ainoastaan keraamisia aineita.

2.3.3 MIT

Metallin ruiskuvalutekniikka MIT (Metal Injection Technology) eroaa perinteisestä MIM tekniikasta siten, että perinteiset sint-rausuunit näyttävät pitkiltä tunneleilta. Kumpikin tunnelin pää on avoin ja siten ympäröivän ilmaston vaikutuksen alaisena mahdollistaen tuotteiden hapettumisen. Tästä johtuen valmiit tuotteet voivat ruostua. Toisin kuin MIT teknologiassa, sintratut tuotteet altistuvat ainoastaan vedylle tai argonille, mistä syntyy tiheä, vähähiilinen tuote. (Gordon 2007.)

2.3.4 PIM

Pulverin ruiskuvaluprosessi PIM (Powder Injection Molding)- nimellä voidaan käsitellä kaikkea, mitä aikaisemmin on tuotu esille, sillä tämä prosessi sisällyttää pulverit jotka ovat tehty metallista, ei-metallista, keraameista ja komposiiteista. Puhuttaessa on kuitenkin parempi käyttää metalleille ja keraameille erikseen nimettyjä prosesseja.

3 SUUNNITTELUN OHJEISTUS

Periaatteessa kaikki muodot, jotka ovat mahdollista valmistaa muovien ruiskuvaluprosessissa, voidaan valmistaa metallista MIM - teknologian avulla.

MIM – muotit ovat verrattavissa muovin ruiskuvalumuotteihin, vaikkakin niissä on pieniä eroavaisuuksia. Ominaisuudet, kuten luistit, nostimet, keernat, insertit, monipesäisyys ja jopa kuumasuuttimen palkki, ovat samoja. Suurin ja tärkein ero on kutistuma, joka pitää huomioida muotin mitoissa. Sintrauksen aikana tuote voi kutistua jopa 20 %. Johtuen ruiskuvaluprosessin tasaisuudesta, kutistuma voidaan laskea tarkasti ja se pysyy hyvin toistettavana. (Megamet Solid Metals Inc 2007.)

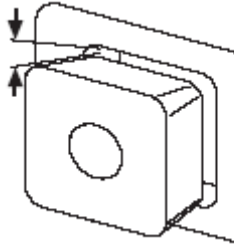
3.1 Muotoilun lähtökohdat

MIM teknologia auttaa suunnittelijaa poistamaan tuotteesta ylimääräiset materiaalit jättäen tuotteeseen vain sen, mitä on toiminnallisesti tarpeen. MIM - tuotteet ovat yleisesti pienempiä ja kevyempiä kuin mitä vastaavat koneistetut tuotteet.

Osat, jotka soveltuvat hyvin MIM valmistustekniikalle, ovat yleensä painoltaan alle 150 g, joskin suurin osa niistä painaa jopa alle 30 g. Pituutta tuotteelle tästä syystä ei kerry kovin paljoa, joten pääasiallisesti tuotteet ovat alle 125mm

3.1.1 Päästöt

Pääasiallisesti MIM - tuotteita ei voida valmistaa ilman päästöjä. Monimutkaisessa kappaleessa päästöt KUVIOSSA 12 ovat normaalisti 2 ° tai alle. Tuotetta ulostyönnettäessä kappaleen ollessa vihreässä tilassa, päästöillä on suuri merkitys siihen että tuleeko tuote ehjänä pois muotin pesästä.



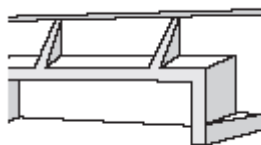
KUVIO 12. Päästöt (PHILLIPS PLASTICS CORPORATION 2006, 18).

3.1.2 Syöttökohta, Portti

Materiaalin pitää virrata portin kautta muottiin. Ideaalisesti portti sijaitsee tuotteen paksuimmassa osassa ja antaa materiaalin virrata estämättömänä joka puolelle pesään. Syöttökohdat jotka ovat suoraan vastapäätä seinämää tai keernaa, voivat aiheuttaa jännite keskittymiä tuotteeseen, mistä voi johtua imuja, virtausjälkiä tai täyttymätön alue. Tuotteeseen jää syöttökohdasta jäännöksi, mikä voidaan poistaa tuotteen ollessa ”vihreässä” tilassa tai sitten koneistaa sintrauksen jälkeen pois. (MorganAdvancedCeramics 2007.)

3.1.3 Rivat ja verkot

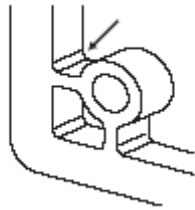
Rivat ja verkot ovat käyttökelpoisia tukemaan suhteellisen ohuita seinämiä, niin ettei tuotteeseen tulisi paksuja ainekeskittymiä. Rivat KUVIOSSA 13, parantavat materiaalin virtausta ja vähentävät kappaleen vääristymistä jäykistämällä ohuita seinämiä. Tukirivan paksuus ei tulisi olla enempää, kuin mitä sen tukeman seinämän vahvuus on.



KUVIO 13. Tukirivat (PHILLIPS PLASTICS CORPORATION 2006, 18).

3.1.4 Pyöritykset

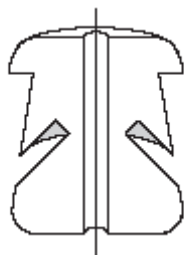
Terävät kulmat tulisi pyörittää, jos mahdollista. Näin saataisiin poistettua jännityksiä aiheuttavat terävät nurkat niissä kohdissa, joissa tuotteessa on yhtyviä seinämiä. Samalla pyöritykset KUVIOSSA 14, parantavat materiaalin virtausta ruiskuvaluprosessissa.



KUVIO 14. Pyöritys (PHILLIPS PLASTICS CORPORATION 2006, 18).

3.1.5 Vastapäästöt

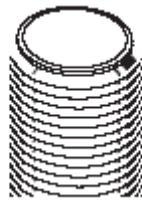
Ulkopuoliset vastapäästöiset pinnat tai muodot voidaan valmistaa mihin tahansa kohtaan tuotetta. Sisäpuoliset vastapäästöiset, KUVIOSSA 15, pinnat voidaan tehdä kokoonpainuvilla keernoilla, mutta niitä ei pidetä taloudellisena vaihtoehtona.



KUVIO 15. Vastapäästöt (PHILLIPS PLASTICS CORPORATION 2006, 19).

3.1.6 Kierteet

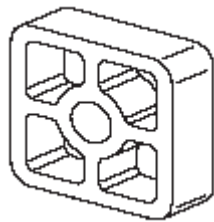
Sisä- ja ulkopuoliset kierteet voidaan tehdä MIM - tekniikalla, mutta yleensä sisäpuolisten kierteitten tekemiseen käytetään erillistä kierteytysprosessia varmistamaan riittävän tarkkuuden. Ulkopuoliset kierteet KUVIOSSA 16, tehdään normaalisti siten, että jakotason kohdalla on pieni tasainen alue. Tämä vähentää riskiä, että jakotasot eivät ole täysin kohdakkain ja kierteeseen tulisi pykälä.



KUVIO 16. Kierteet (PHILLIPS PLASTICS CORPORATION 2006, 19).

3.1.7 Seinämävahvuus

Vähentääkseen tuotteen sisäisiä jännityksiä ja imuja seinämävahvuudet tulisi yhtenäistää. Jos seinämävahvuuden tulee muuttua, vähitellen tapahtuva muutos on toivottua. Seinämävahvuuden KUVIO 17, ei tulisi olla alle 0,7mm.



KUVIO 17. Seinämävahvuus (PHILLIPS PLASTICS CORPORATION 2006, 18).

3.2 Lisäarvoa muotoilusta

MIM - tuotteisiin on mahdollista edellä mainittujen ohjeiden perusteella suunnitella ominaisuuksia, jotka perinteisillä valmistusmenetelmillä olisivat hankalia ja kalliita toteuttaa. Teknologian tuomat edut voidaan hyödyntää myös, vaikka tuotteelle tehtäisiinkin vielä lisäkäsittelyjä, esimerkiksi koneistusta, pinnoitusta ja lämpökäsittelyä.

3.2.1 Vihreät arvot

Myös vihreät arvot voidaan huomioida paremmin, kuten Yhdysvalloissa toimiva Ympäristönsuojeluvirasto on maininnut artikkelissaan.

” Auto- ja metalliteollisuus kuluttaa yli 450 miljardin dollarin arvosta joka vuosi ainoastaan Yhdysvalloissa” raportoi EPA, (Enviroment Protection Agency). ”Nämä tuottavat suunnattomia määriä jätettä, ympäristölle haitallisia välituotteita ja valmistuksesta aiheutuvia päästöjä ” Tavanomaiset valmistusmenetelmät eivät ole kykeneväisiä vähentämään vaarallisia tuotoksia. EPA haluaisi nähdä MIM teknologian kasvua, seuraavista syistä:

Vähentämään prosessissa tarvittavan energian määrää ja siihen liittyvien kasvihuonekaasujen syntymistä

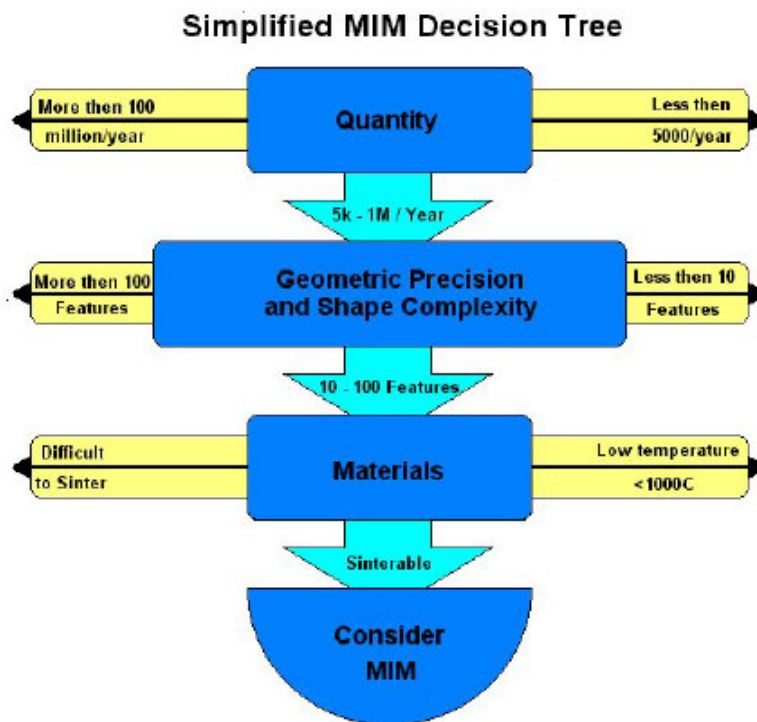
Vähentämään vaarallisten metalli-, kaasu-, nestemäisten- ja kiinteiden jätteiden syntymistä nykyisestä tasosta 90 %

Parantamaan raaka-aineitten käytettävyyttä. Vähemmän materiaaleja = pienempi vaikutus ympäristöön niiden valmistuksen kautta.

Parantamaan tuotteiden laatua. (Wentland 2007.)

4 VALMISTUSTEKNINEN VERTAILU

Pääasiallisesti MIM - teknologiaa verrataan perinteisiin valmistustekniikoihin, kuten esimerkiksi koneistukseen, metallien valuun ja puristus- ja sintrausprosessiin. Teknisten ominaisuuksien vertailu on nähtävissä TAULUKOSSA 3. MIM - tekniikan soveltuvuutta voi ensin miettiä lyhyen testin avulla KUVIOSSA 18, Tuloksena saadaan tieto siitä, kannattaako prosessin ominaisuuksia vertailla lisää.



KUVIO 18. Soveltuvuustesti (Morgan Advanced Ceramics 2004, 4).

TAULUKKO 3. Valmistustekniikan vertailu (Injectamax 2006.)

| Valmistusmetodi | Tyypilliset tuotteet | Rajoitukset | MIM teknologian edut verrattuna ko. metodiin |
|--|---|--|--|
| Metallivalu, vahamalliin | Ampuma-aseet, Lääkintäinstrumentit | Hidas, työvoiman tarve, toleransseja vaikea kontrolloida, monta lisätyövaihetta, kallis | Halvemmat kustannukset, Lyhyempi valmistusaika, korkea toistettavuus, erinomainen pinnanlaatu, vähäiset tarpeet lisätyövaiheille, myös pienet reiät onnistuvat |
| Metallin Painevalu | ampuma-aseet, työkalukokoonpanot, kodinkoneitten osat | Heikot mekaaniset ominaisuudet, karkea pinnan viimeistely, Ei sovellu ruostumattomalle teräkselle | Erinomaiset mekaaniset ominaisuudet, laaja skaala eri materiaaleja, korkea toistettavuus, vaikeasti valittavia materiaaleja voidaan käyttää |
| Koneistus | Lukematon joukko metallituotteita | Suuri materiaalihukka, korkeat työkalukustannukset, suunnittelurajoituksia, ei sovellu monimutkaisille muodoille | Ei materiaalihukkaa, lyhyt valmistusaika, korkea toistettavuus, soveltuu monimutkaisille muodoille, vaikeasti koneistettavia materiaaleja voidaan käyttää |
| Perinteinen Puristus&Sintraus | vaihteet, nokka-akselit, ketjupyörät, koneen osat | Hyvin alhainen tiheys, ei monimutkaisia muotoja, monta lisätyövaihetta | Soveltuu monimutkaisille muodoille, Hyvin korkea Tiheys ja korroosion kesto, Taloudellisesti tehokas, ylivoimaiset magneettiset ominaisuudet |

Pääperiaatteellisen vertailun perusteella voidaan syventyä tarkemmin materiaali-valintoihin, niin itse tuotteessa, kuin myös MIM - valmistustekniikassa käytettävien aineiden suhteen. Vaikkakin osien valmistus takomalla ei ole yllä mainitussa vertailussa mukana, niin MIM – teknologiaan soveltuvien materiaaleja on myös verrattu taottujen tuotteiden kanssa ja niiden kestävyysarvoja on esitelty LIITTEESSÄ 6.

4.1 Vertailuesimerkki

Mikroelektronikassa käytettävän jäähdytyslevyn valmistusteknologioita verrataan toisiinsa lopputuotteen fysikaalisten ominaisuuksien perustella. Valmistustekniikat ovat MIM, suulakepuristus, painevalu, koneistus ja meisto.

Uusia taloudellisia ratkaisuja tarvitaan parantamaan lämmön hallintaa ja sen pois johtamista tulevan sukupolven mikroelektronikkalaitteista. Metallien ruiskuvalu (MIM) on suhteellisen uusi tapa valmistaa kustannustehokkaasti isoja määriä monimuotoisia komponentteja, kuten jäähdytyslevyjä.

Tekstikappaleet 4.1.1 – 4.1.3, esittelevät tiettyjä materiaaleja joita käytetään kyseenomaisissa tuotteissa lämmön hallintaan ja edut, jotka MIM - teknologia tuo, jos kappaleet valmistetaan kyseenomaisella prosessilla.

4.1.1 Jäähdytyslevy alumiinistä tai alumiiniseoksesta

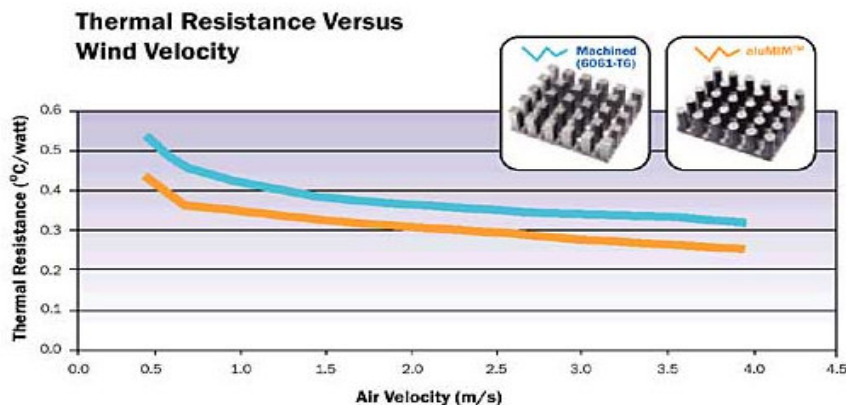
Alumiini on yleinen valinta jäähdytyslevyn materiaaliksi, koska sillä on suhteellisen korkea lämmönjohtokyky ja se on materiaalina helposti muokattava. Alumiinin alhainen lujuus ja sulamislämpötila, tekevät siitä erinomaisen suulakepuristaa, meistää tai valaa, mutta metallin ruiskuvalu voi tarjota suurilla kappalemäärillä yksilöllisiä yhdistelmiä tuotteen muodoissa, mitoissa ja ominaisuuksissa. Markkinoilla on erikokoisia alumiinipulvereja, mutta oksidikalvo, joka kehittyy tuotteen pinnalle estää tiivistymisen. Tästä syystä tarvitaan erityisiä sintraus menetelmiä ja atmosfäärejä, jotta tuotteen huokoisuus olisi vähäistä.

Metallien ruiskuvalussa käytettävän alumiinin (aluMIM) ominaisuudet ovat verrattavissa yleisesti alumiinin suulakepuristuksessa käytettävän (6061-T6) ja valussa käytettävän (A380) alumiiniseoksen kanssa TAULUKKOSSA 4. Vaikkakin MIM - alumiinilla on alhaisempi tiheys, sen lämmönjohtavuus on korkeampi.

TAULUKKO 4. Alumiinimateriaalien vertailu (Johnson 2004.)

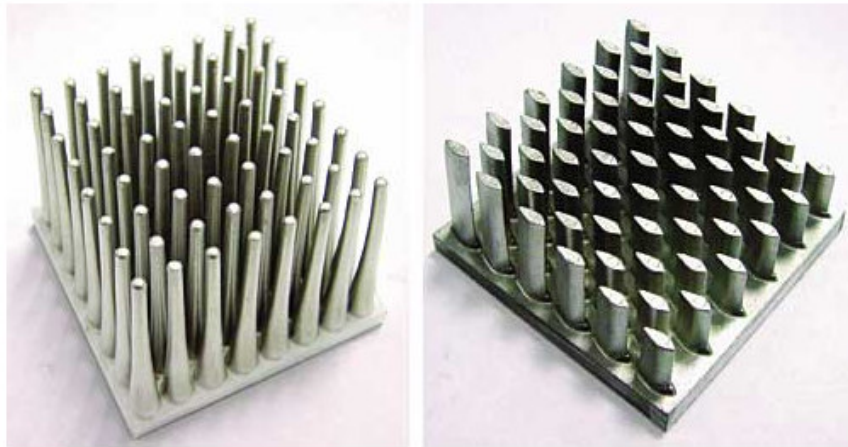
| | MIM | Extruded 6061-T6 | Die-Cast A380 |
|------------------------------|-----------|----------------------------------|------------------|
| Density (g/cm ³) | 2.5 | 2.7 | 2.7 |
| Thermal Conductivity (W/mK) | 170-180 | 120-150 Direction Oriented | 80-100 |
| Net-Shape Capability | Excellent | 2-D only | Good |

MIM teknologia on joustavampi muotoilun suhteen kuin mitä suulakepuristus tai valuteknikka. Esimerkiksi, pyöreän muotoiset tapit on mahdollista valmistaa MIM tekniikalla, mutta suulakepuristetusta alumiinista joudutaan koneistamaan neliön muotoisia tappeja. KUVIO 19 esittää tehollisen eroavaisuuden mikä MIM teknologialla tehdyllä pyöreällä ja suulakepuristetulla/koneistetulla neliön muotoisella jäähdyslevyllä on. MIM teknologialla voidaan valmistaa myös muunlaisia tappimuotoja. KUVIO 20.



KUVIO 19. Tehollinen eroavaisuus koneistetun ja MIM - valmisteen välillä (Johnson 2004.)

Suulakepuristettu ja valettu alumiinijäähdytinlevy sisältää yleensä seosaineita, jotka parantavat niiden prosessointia, mutta nämä epäpuhtaudet ovat haitallisia lämmönjohtokyvylle. MIM - alumiinin korkeampi puhtaus antavat sille paremman lämmönjohtokyvyn. Tästä syystä oranssilla värillä merkityn aluMIM materiaali antaa paremman jäähdystehon alhaisemmalla ilman nopeudella.



KUVIO 20. Esimerkkejä MIM teknologialla valmistettavista muodoista (Johnson 2004).

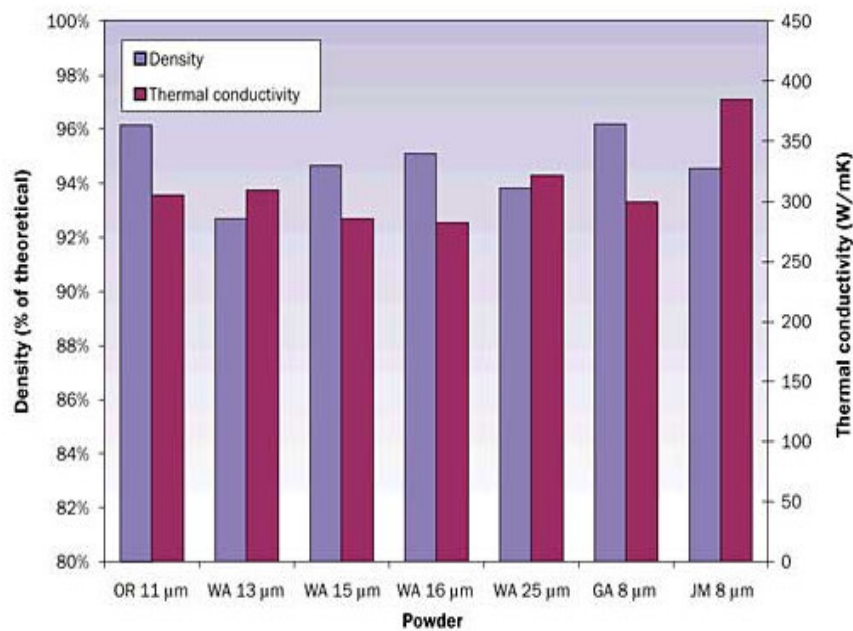
4.1.2 Jäähdytyslevy kuparista tai kupariseoksesta

Kupari on usein käytetty materiaali tuotteissa, joissa vaaditaan korkeampaa lämmönjohtokykyä kuin alumiinilla saavutettaisiin. Kupari on vaikeampi suulakepuristaa, meistä tai valaa kuin alumiini, mutta se on useammin käytetty pulverimetallurgia tekniikoissa. Kuparioksidea voidaan vähentää helpommin kuin alumiinioksidea, mutta vähennyksen pitää tapahtua vielä silloin, kun tuote on huokoinen. Toisin sanoen vesihöyry voi aiheuttaa materiaaliin huokoisuutta, joka estää tiivistymisen tai voi johtaa turpoamiseen.

Kuparipulvereita valmistetaan monen eri prosessin avulla, joista oksidi-vähennys (oxide reduction, OR), veden atomisointi (water atomization, WA), kaasun atomisointi, GA) ja suihkujauhatus (jet milling, JM) ovat saatavissa markkinoilla eri kokoisina ja muotoisina partikkeleina. Tiheys ja lämmönjohtavuus arvot sintrauksen jälkeen ($1050\text{ }^{\circ}\text{C}$) ovat nähtävissä TAULUKKOSSA 5. seitsemälle eri pulverille, joiden partikkelikoko oli välillä $8 - 25\text{ }\mu\text{m}$. Sintrauksen jälkeen tiheys arvot olivat välillä $93 - 96\%$ riippumatta partikkelikoosta tai valmistusmenetelmästä.

Lämmönjohtavuus oli välillä 280 W/mK kahdelle vesi-atomisoidulle pulverille ja 385 W/mK suihkujauhetulle pulverille. Huokoisuus ja metalliset epäpuhtaudet, erityisesti rauta, ovat pääasialliset tekijät jotka kontrolloivat sintratun kuparin lämmönjohtokykyä.

TAULUKKO 5. Kuparipulverin vaikutus tiheyteen ja lämmönjohtokykyyn (Johnson 2004).



Metallien ruiskuvalussa käytettävän kuparin (cuMIM) ominaisuudet ovat verrattavissa yleisesti käytettävään elektrolyttisesti kovetettuun kupariin (C11000), kaupallisesti puhdas valettu kupari (C81100) ja valettu kupariseos (C83400) materiaalien kanssa (TAULUKKO 6). Kaupallisesti puhdas kupari on vaikea valaa, ja sillä on alhaisempi lämmönjohtokyky kuin taotulla kuparilla, johtuen deoksidaation käytettävistä materiaaleista, kuten pii, tina, sinkki, alumiini ja fosfori. Seostuksia tarvitaan tekemään kupari helposti valettavaksi, mutta se vähentää merkittävästi lämmönjohtokykyä. MIM - teknologialla kuparista voidaan valmistaa monimuotoisempia kappaleita kuin koneistamalla ja niillä on parempi lämmönjohtokyky kuin valetuilla kupariseoksilla.

TAULUKKO 6. Kuparimateriaalien vertailu (Johnson 2004).

| | MIM | Wrought C11000 | Cast C81100 | Cast C83400 |
|--------------------------------|-----------|-------------------------|----------------------|----------------|
| Density (g/cm ³) | 8.5 | 8.9 | 8.9 | 8.7 |
| Thermal Conductivity (W/mK) | 320-330 | 380-390 | 340-350 | 180-190 |
| Net-Shape Capability | Excellent | Difficult to Machine | Difficult to Cast | Good |

4.1.3 Jäähdytyslevy komposiitti materiaaleista

Molemmat, alumiini ja kupari kärsivät suuresta lämpölaajenemisesta, mikä aiheuttaa haasteita jäähdytyslevyn asennuksessa piilevylle tai keraamiselle alustalle. Uudet varta vasten kehitetyt komposiitit ilmaantuvat markkinoille, näistä esimerkkinä ovat volframi-kupari, molybdeeni-kupari ja piikarbidi-alumiini, joissa yhdistyy korkea lämmönjohtokyky ja monenlaiseen asennukseen soveltuva lämpölaajenemisarvo. Näiden komposiittien materiaaleilla on hyvin erilaiset sulamislämpötilat, ja ne eivät seostu keskenään, joten niitä yleensä käytetään pulverimetallurgian tekniikoin. Yleensä huokoinen runko valmistetaan materiaalista, jolla on suurin sulamislämpötila ja se yhdistetään materiaalin kanssa, jolla on vähäisempi sulamislämpötila. Ruiskuvalua voidaan käyttää huokoisen rungon valmistuksessa tai jos kyseessä on volframi-kupari tai molybdeeni-kupari, sekoitettu pulveri voidaan ruiskuvalaa ja sintrata jäähdytyslevyn vaatimiin muotoihin.

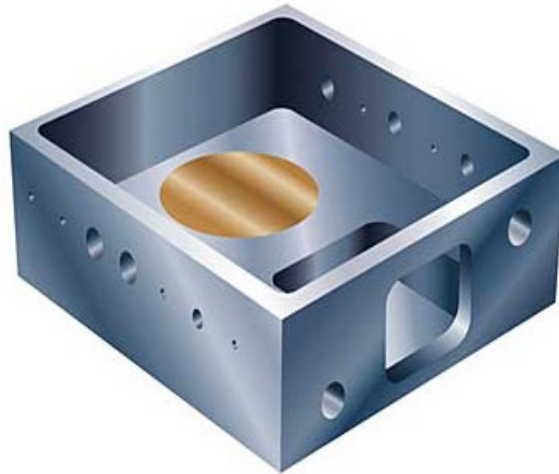
Volframi, missä on 15 -20 % painosta kuparia (W-15Cu ja W-20Cu) on yleisesti käytetty jäähdytyslevy komposiitti. Molybdeenillä, jossa on 18 % painosta kuparia (Mo-18Cu), on pienempi lämmönsiirtokyky, mutta sen vähäisempi tiheys tekee siitä suositun kohteisiin, joissa painolla on suuri merkitys. Nämä komposiitit vaativat hyvin hienojakoisen pulverin saavuttaakseen sintrauksessa suuren tiheyden, sillä kupari on huono sintrautumaan, vaikka lämpötila olisi yli sen sulamislämpötilan (1083 ° C). Ruiskuvaletun volframi-kuparin ja molybdeeni-kuparin ominaisuudet

TAULUKKOSSA 7. ovat vertailtuna solutettuihin levyihin. Koska molemmat ovat valmistettu pulverista, ominaisuudet ovat hyvin samanlaiset, mutta ruiskuvalu tarjoaa mahdollisuuden valmistaa vaikeita verkko-muotoja.

TAULUKKO 7. Komposiittimateriaalien vertailu (Johnson 2004).

| | MIM W-15Cu | Infiltrated W-15Cu Sheet | MIM Mo-18Cu | Infiltrated Mo-15Cu Sheet |
|---------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Density (g/cm ³) | 15.6-16.2 | 16.4 | 9.3-9.5 | 10.0 |
| Thermal Conductivity (W/mK) | 180-190 | 190 | 140-160 | 160 |
| Thermal Expansion Coefficient (ppm/K) | 7.2 | 7.4 | 7.0 | 7.0 |
| Net-Shape Capability | Excellent | Sheets Only | Excellent | Sheets Only |

Volframi-kupari komposiitista on tullut kasvamassa määrin käyttöön piirilevyn osakokoonpanoissa ja runkojäähdytinlevynä optoelektronisissa laitteissa, perusmateriaalina tai jäähdytinripana integroiduissa piireissä ja pohjana monipalaisille piirilevyille. Tähän mennessä suunnitelmat ovat olleet pääasiassa mikroelektronikan pakkauksille. Uusimmissa mahdollisuuksissa, joita MIM -mahdollistaa, voidaan pakkauksiin suunnitella räätälöityjä ominaisuuksia tai toimintoja. KUVIO 21 on eräs suunnitelma lasi – metalliin, tiivisteseoksesta lämmön haihduttamista varten, käyttämällä volframi-kupari komposiittia liitettyinä perusmateriaaliin. Jäähdytyslevyjen jatkuva kehittäminen tuottaa mielenkiintoisia mahdollisuuksia metallien ruiskuvalulle, edistäen elektroniikka teollisuuden lämmönjohto-ongelmien ratkaisevien vastausten löytämistä. (Johnson 2004.)



KUVIO 21. Mikroelektroninen pakkaus (Johnson 2004).

Jokaisessa näistä vertailuesimerkeistä todettiin että MIM - prosessilla valmistetut tuotteet olivat fysikaalisilta ominaisuuksiltaan muita parempia. Jos otetaan vielä huomioon valmistusprosessien ominaisuuksia, kuten TAULUKKO 3. tuo esille voidaan todeta, että MIM teknologiaa kannattaisi hyödyntää näille tai vastaavalaikaisille tuotteille.

4.2 Kustannukset

Jokaisella valmistusmenetelmällä on tietyt peruskustannukset, jotka rakentuvat joko laitteiston ja käytettävien materiaalien sekä työvoimatarpeen kustannuksista. Kustannusvertailu voi siten olla kovin hankalaa, mikä kuitenkin riippuu halutusta tuloksen tarkkuudesta.

Kuten jo aiemmin tässä työssä on käynyt ilmi, MIM teknologiaa on verrattu perinteisempiin valmistusmenetelmiin teknisissä ominaisuuksissa. Myös kustannusvertailu tehdään näiden menetelmien välillä, jotta valmistusprosesseista saataisiin parempi kokonaiskuva valintoja tehtäessä.

4.2.1 Kustannusten vertailu

MIM teknologia kilpailee painevalun kanssa ainoastaan geometrisillä ominaisuuksilla. Verrattuna alumiinin, sinkin, tai magnesiumin painevaluun, MIM tuotteet tarjoavat huomattavasti paremman kestävyuden, kovuuden ja korroosionkestävyyden. Useasti paremmat ominaisuudet tulevat maksamaan enemmän kuin verrataan painevalettuihin tuotteisiin. MIM teknologia kilpailee meistauksen tai perinteisen pulverimetallurgian kanssa, ollen niitä edullisempi jos kaksi tai useampi komponentti saadaan suunniteltua yhteen MIM osaan. (Phillips Plastics Corporation 2007.)

Jo aiemmin esille tuotu KUVIO 18 mainitsee ensimmäisessä vaiheessa sanan volyyymi. MIM teknologia on kustannusten puolesta kilpailukykyinen vain silloin, kun kyseessä olisi massatuotanto, jolloin yksittäiskappaleelle kerääntyvät kustannukset vähenevät riittävästi.

Ruiskuvalukoneitten ja sintraus uunien kova hankintahinta ja prosessin opetteluun kuluva aika ja pääoma, vaikuttavat siihen, ettei suurin osa yrityksistä halua aloittaa MIM tuotantoa. (Gaines 2007.)

Yrityksen on maksettava alkukustannuksia noin 30 000 \$ käyttäessään MIM - teknologiaa, kun taas painevalun ja muovien ruiskuvalun aloituskustannukset ovat luokkaa 10 000 \$. Vaikkakin MIM saattaa alussa maksaa enemmän, niin sillä pystytään tekemään tehokkaammin ja pidempään, joten siitä syystä se on halvempi kuin kilpailijansa. (Wentland 2007.)

Tuotteen valmistuskustannus voi joissakin tapauksissa pudota huomattavasti, kun otetaan huomioon kaikki edellä mainitut näkökulmat.

MIM on pystynyt kilpailemaan menestyksekkäästi perinteisten, koneistuksen ja painevalun kanssa, pienten osien valmistamisessa. Esimerkiksi, osa joka saattaa koneistettuna maksaa 100 \$, voidaan metallista ruiskuvalua noin 20 \$ kustannuksilla keskimääräisen volyymin suhteen. Jos tuotantomäärä on yli 130 – 140 tuhatta kappaletta, voi kustannukset pudota vielä 5 \$ per kappale. Verrattuna valuun tai painevaluun, MIM teknologian työkalukustannukset ovat minimaaliset. Hyvänlaatuinen yksipesäinen muotti voi maksaa jotain välillä 15 000 – 25 000 \$ ja 4-pesäinen muotti noin 50 000 – 60 000 \$. (Gaines 2007.)

Valmistuskustannukset per menetelmä voidaan tiivistää TAULUKKO 8, mistä voidaan nopeasti arvioida tulevat aloitus – ja valmistuskustannukset.

TAULUKKO 8. Arvio keskimääräisistä kustannuksista

Vertailu kustannuksista

| | MIM | Koneistus | painevalu | muovien ruiskuvalu |
|---|--|--|---|-----------------------------------|
| Aloituskustannus (koneet ja laitteet) | ruiskuvalukone 80 000\$,sintraulaatt. 100 000 \$ | koneistuskeskus 80 000 \$ | 100 000 \$ | ruiskuvalukone 80 000 \$ |
| Muotti tai työkalu | (4-pesäinen muotti) 50 000 \$ | (terätyökalu) 5000 \$ | (2-pesäinen muotti x 10 muottia) 100 000 \$ | (4-pesäinen muotti) 40 000 \$ |
| kappalehinta (arvio yleistuotteesta n.150 000 kpl) | 15 -20 \$ | 100 \$ | 30 \$ | 10 \$ |
| lisätietoja kustannuksen synnystä | muotti kestää n.500 000 kpl | työaika per kappale on korkeampi. Muotorajoituksia | Muottien kesto rajoituksena. 15 000 kpl per muotti | vain muovituotteita ! |

4.3 Markkinat ja kehitysnäkymät

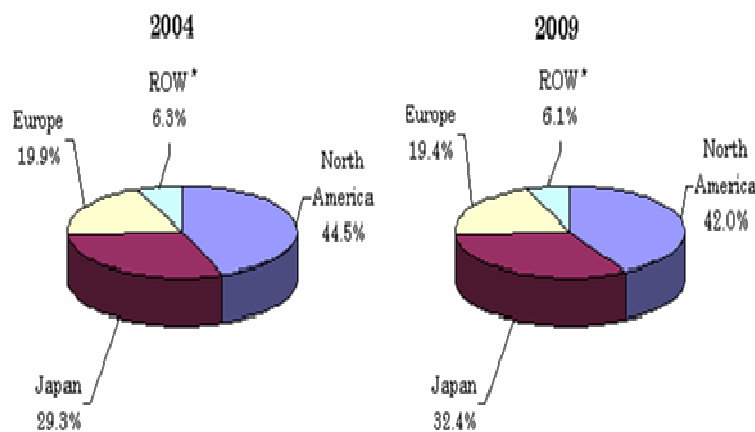
MIM - teknologia on jo saavuttanut suosiota globaalisti, mutta Euroopassa ja Skandinaviassa sen käyttö valmistuksessa ei ole laajalle levinnyt kuin Japanissa ja Yhdysvalloissa. Tämä käy ilmi KUVIOSTA 22, joka on otettu Palaji Patal ja Thomas Abrahamin tutkimustuloksesta vuodelta 2005.

Global Sales of MIM Components by Region, through 2009
(\$ Millions, % Share)

| | 2004 | | 2009 | | AAGR, % 2004-2009 |
|---------------|--------------|-----------|--------------|-----------|----------------------|
| | (\$ Million) | (% Share) | (\$ Million) | (% Share) | |
| North America | 170 | 44.5 | 240 | 42.0 | 7.1 |
| Japan | 112 | 29.3 | 185 | 32.4 | 10.6 |
| Europe | 76 | 19.9 | 111 | 19.4 | 7.9 |
| ROW * | 24 | 6.3 | 35 | 6.1 | 7.8 |
| Total | 382 | 100.0 | 571 | 100.0 | 8.4 |

*Rest of the world, mainly Asia.
Source: BCC, Inc.

Regional Percentage Share of Sales of MIM Components



*Rest of the world, mainly Asia.
Source: BCC, Inc.

KUVIO 22. MIM ennustettu kehitys globaalisti (Metal Powder Report 2007).

Globaali MIM - teknologian markkinat kasvavat keskimääräisen vuosittaisen kasvutahdilla (AAGR) 8,4 % , vuonna 2004 saavutetusta 382 miljoonasta \$ aina 571 miljoonaan \$ asti vuoteen 2009 mennessä.

Japanin markkinat kasvavat nopeimmin, niiden AAGR:n ollessa 10,6%, ja sen on odotettu saavuttavan 185 miljoonaa \$ vuoteen 2009 mennessä.

Yhdysvaltain markkinat ovat suurimmat, mutta niiden kasvu on hitaampaa, AAGR:n ollessa 7,2% . Vuoteen 2009 mennessä se on saavuttanut 240 miljoonaa \$.

Loput Aasiasta, (mukaan lukien Kiina) ja Euroopan markkinat nousevat myös molemmat AAGR:n ollessa 7,9 % , joten vuoteen 2009 mennessä saavutuksena olisi 35 miljoonaa \$ APAC:ssa ja Euroopassa 111 miljoonaa \$.

Vuonna 2007 Floridassa pidetyssä PIM 2007 kongressissa esiteltiin pulveri- ja metallien ruiskuvalutekniikan tulevaisuuden näkymiä. Kongressista tehdyssä raportissa esitellään Kato Yoshiyukin ja Paul Daviesin tekemät markkinatutkimukset. Näistä käy ilmi että Japanissa on 30 yritystä, jotka tekevät MIM - valmistusta, ja vuonna 2006 heidän markkinoidensa osuus oli 130 miljoonaa \$. Pääasiallisesti tuotteet menivät autoteollisuuden, mutta jatkossa he pyrkivät pääsemään sisälle lääketeollisuuden ja korkean teknologian tuotteisiin. Koreassa MIM - yrityksiä oli 9 kappaletta ja heidän markkinansa perustuivat telekommunikaatio ja automaatio sektoreille. Taiwanista löytyy 15 yritystä, joissa valmistetaan tuotteita MIM – tekniikalla, ja yleisesti Taiwanin MIM - markkinat ovat hyvin kilpailukykyiset. Kiinan markkinoilta статистиikka ei ollut aivan valmis, mutta noin 15 – 30 yritystä valmistaa MIM tekniikalla tuotteita, jotka menevät telekommunikaatiomarkkinoille, aseisiin ja kelloihin. Kiinassa tämän alan teollisuus on kovassa nousussa.(Metal Powder Report 2007.)

Paul Davies esitteli vastaavia tuloksia Euroopan osalta ja MIM - sekä PIM - markkinat näyttävät olevan pienessä nousussa, joskin Eurooppalaisen autoteollisuuden avustuksella. Euroopassa päämateriaalina on ruostumaton teräs ja nikkelseokset. Vaikka uusi REACH säädös aiheuttaa haasteita Eurooppalaisille MIM valmistajille rekisteröitymisen suhteen, niin Daviesin mukaan asiat näyttävät lupaavilta Eurooppalaiselle MIM/PIM teollisuudelle. (Metal Powder Report 2007.)

5 YHTEENVETO

Metallien ruiskuvalu (MIM) teknologia on varteenotettava vaihtoehto perinteisille valmistusmenetelmille, kuten koneistus tai metallien painevalu. Suurimmat syyt valita MIM prosessi tuotteelle soveltuvaksi ovat volyymin tarve ja tuotteen muotoilun mahdollisuus. Näillä kahdella ominaisuudella MIM - teknologia tuo erinomaisuutensa parhaiten esille ja valmistuskustannukset ovat kilpailukykyiset verrattuna perinteisiin menetelmiin.

MIM - teknologialla voidaan saavuttaa jopa 98 % metallimateriaalin tiheydestä, joten kappaleet ovat kovia ja kestäviä ilman erillisiä käsittelyitä. Prosessi perustuu raaka-aineen sekoitukseen, ruiskuvaluun, sidosaineiden poistoon ja sintraukseen. Tuotteen kutistuma on noin 20 % sintrauksen jälkeen verrattuna ruiskuvalettuun aihioon.

Tuotantokoneina käy muovien ruiskuvaluun tarkoitetut koneet, muutettuna MIM - teknologiaan soveltuvalla ruuvilla. Lisäksi tarvitaan sidosaineiden poistolaitteisto ja sintrauskammio.

Nykyään MIM teknologiaa käytetään auto-, lääkintä- ja telekommunikaatioteollisuudessa, mutta Suomen teollisuudessa sen tutkiminen tai käyttö ei ole yleistä, vaikka parhaimmat hyödyt kyseisestä valmistustekniikasta saisi korkean teknologian massatuotannossa.

Yleisimmin käytetyt materiaalit ovat ruostumaton teräs, alumiini, kupari ja niistä johdetut seokset. MIM soveltuu hyvin monelle metallimateriaalille.

LÄHTEET

Advanced Vacuum System Inc. 2007. [verkkojulkaisu]. MIM – Metal Injection Molding. [viitattu 14.5.2007]. Saatavissa:

http://www.globalspec.com/FeaturedProducts/Detail/AdvancedVacuumSystems/MIM_Metal_Injection_Molding/22435/1

Divya, P & Singhal, A & Pattanayak, Deepak K & Rama Mohan T.R. 2005. Injection Molding of Titanium Metal and AW-PMMA Composite Powders. Julkaisussa Trends Biometer [online] . Vol. 18. [viitattu 10.5.2007]. Saatavissa:

<http://medind.nic.in/taat/t05/i2/taat05i2p247.pdf>

Fu, G & Loh, N.H & Tay, B.Y & Tor, S.B. 2007 . [verkkojulkaisu] Experimental Study on the Demolding Force in Micro Metal Injection Molding. [viitattu 11.5.2007]. Saatavissa:

<http://dspace.mit.edu/bitstream/1721.1/35810/1/MST002.pdf>

Gaines, D. 2007. [verkkojulkaisu]. Metal Injection Moldig Offerst Complex Geometry For Small Parts. [viitattu 16.5.2007]. Saatavissa :

http://www.alberox.com/mim_article.htm

Gordon, L. 2007. Metal Injection Technology, and more. Julkaisussa: Medical Design Magazine. [online]. [viitattu 4.6.2007]. Saatavissa:

<http://www.medicaldesign.com/articles/default.aspx?ID=13520>

Injectamax. 2006. [verkkojulkaisu]. The Metal Injection Molding Advantages. [viitattu 16.5.2007]. Saatavissa: <http://www.injectamax.com/advantage.htm>

Johnson, John. L. 2004. Metal Injection Molding of Heat Sinks. Julkaisussa: Electronics Cooling. [online]. [viitattu 6.6.2007]. Saatavissa:

http://electronics-cooling.com/articles/2004/2004_nov_a2.php

Megamet Solid Metals Inc. 2007. [verkkojulkaisu]. The Complete, Bootgedded, MIM tutorial. [viitattu 4.6.2007]. Saatavissa: <http://www.megamet.com>

Metal Powder Report. 2007. [verkkojulkaisu]. Confidence in Future Prospects High in the PIM Industry. [viitattu 7.6.2007]. Saatavissa: http://www.metal-powder.net/newsview/archive/newsview_march07.html

Morgan Advanced Ceramics. 2004. [verkkojulkaisu]. MIM Technology Provides Low-Cost, High-Quality Alternative To Machining. [viitattu 16.5.2007]. Saatavissa: <http://www.morganadvancedceramics.com/articles/mim.htm>

Morgan Advanced Ceramics. 2004. [verkkojulkaisu]. Metal Injection Molding (MIM) Design Guide. [viitattu 16.5.2007]. Saatavissa : <http://www.morganadvancedceramics.com/materials/mimc.htm>

PHILLIPS PLASTICS CORPORATION. 2006 [verkkojulkaisu]. MIM Metal Injection Molding Design Guide [viitattu 8.5.2007]. Saatavissa: http://www.phillipsplastics.com/capabilities/capabilities_metal.html

Tomlinson, R. 2003. Injection Molding with Metal. [verkkojulkaisu]. Plastic Molding Solutions. [viitattu 15.5.2007]. Saatavissa: <http://www.pcn.org/Technical%20Notes%20-%20Metal%20Injection%20Moulding.htm>

Wentland, A. 2002. Wisconsin Engineer. [verkkojulkaisu]. Metal Injection Molding: Shaping the Future of Machined Parts. [viitattu 14.5.2007]. Saatavissa: <http://www.engr.wisc.edu/wisc engr/sept02/metal.shtml>

VTT.2005. [verkkojulkaisu]. Design and Manufacturing of Micromechanical Components and Devices. [viitattu 10.5.2007]. Saatavissa: http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/MASINA/en/Do kumenttiarkis-to/Viestinta_ja_aktivointi/Seminaarit/KoreaFinn_jointWS_Salmi.pdf

LITE 1

PHILLIPS PLASTICS CORPORATION™
Typical Mechanical Properties of Metal Injection Molded Alloys

| Material | Yield Strength (MPa) | UTS (MPa) | Elongation (%) | Density (g/cm ³) | Hardness (HRC) |
|--------------------------------|----------------------|-----------|----------------|------------------------------|----------------|
| Low Alloy Steels | | | | | |
| 42CrMo4(4140) as-sintered | ≥400 | ≥650 | ≥3 | ≥7.4 | 130-230 HV10 |
| 42CrMo4(4140) heat treated | ≥1250 | ≥1450 | ≥2 | ≥7.4 | ≥45 HRC |
| 8620 | ≥400 | ≥650 | ≥3 | ≥7.4 | 190-230 HV10 |
| 8620 heat treated | | | | ≥7.4 | ≥650 HV1 |
| 4605 as-sintered | ≥400 | ≥600 | ≥5 | ≥7.55 | ≥150 HV1 |
| 4605 heat treated | 1500 | 1900 | ≥2 | ≥7.55 | ≥55 HRC |
| Fe-2% Ni as-sintered | ≥150 | ≥260 | ≥25 | ≥7.5 | 90-110 HV10 |
| Fe-2% Ni heat treated† | | | | ≥7.5 | ≥55 HRC |
| Fe-8% Ni as-sintered | ≥210 | ≥380 | ≥15 | ≥7.5 | 90-140 HV10 |
| Fe-8% Ni heat treated† | | | | ≥7.5 | ≥600 HV10 |
| Stainless Steels | | | | | |
| 316L | ≥180 | ≥510 | ≥50% | ≥7.8 | 120 HV10 |
| 310 N ₂ sintered | ≥450 | ≥600 | 16 | ≥7.22 | 235 HV1 |
| PANACEA | ≥690 | ≥1090 | ≥35 | ≥7.50 | 270-300 HV10 |
| 17-4PH heat treated | ≥950 | ≥1100 | ≥5 | ≥7.6 | 38 HRC |
| 420 heat treated | ≥1300 | ≥1600 | ≥2 | ≥7.3 | ≥48 HRC |
| 440 B (sinc and HIP) | | | | ≥7.65 | ≥45 HRC |
| 440 B heat treated | | | | ≥7.65 | ≥55 HRC |

† Refers to typical properties for through-hardened Fe-2% Ni and Fe-8% Ni. These alloys can be heat-treated to achieve a range of case or through hardness depending on the application. The corresponding strengths and ductilities vary depending on the heat-treated condition.

1 Mpa = 145 psi

Note:

All properties are typical. Phillips' Metal Injection Molding does not warranty that these materials are fit for any particular purpose. All materials need to be tested by the customer to assure they meet minimum performance criteria.

LIITE 2

PHILLIPS PLASTICS CORPORATION™
Typical Mechanical Properties of Metal Injection Molded Alloys

| Material | Yield Strength (MPa) | UTS (MPa) | Elongation (%) | Density (g/cm ³) | Hardness (HRC) |
|---|----------------------|-----------|----------------|------------------------------|----------------|
| Tool Steel | | | | | |
| M2 as-sintered | ≥800 | ≥1200 | ≥1.0 | ≥7.9 | ≥50 HRC |
| M2 heat-treated | | | | ≥7.9 | ≥64 HRC |
| Soft Magnetic Alloys | | | | | |
| Fe-50% Ni | ≥150 | ≥400 | ≥20 | ≥7.6 | 100-140 HV1 |
| F (pure iron) | ≥110 | ≥230 | ≥40 | ≥7.8 | 50-60 HV10 |
| Fe-3% Si | ≥300 | ≥500 | ≥20 | ≥7.5 | 120-160 HV1 |
| 430 | ≥200 | ≥350 | ≥30 | ≥7.6 | 100-150 HV10 |
| Special Alloys | | | | | |
| HX (Hastelloy X) sintered and solution annealed) | ≥280 | ≥610 | ≥35 | ≥7.87 | 140-160 HV10 |
| Titanium (CP Grade 4) | ≥480 | ≥550 | ≥5 | ≥4.2 | 160-240 HV1 |
| Kovar® (F15) | ≥300 | ≥450 | ≥24 | ≥7.8 | 110-140 HV1 |
| Tungsten (W) non-magnetic | | | | ≥17.8 | 320 HV1 |

1 Mpa = 145 psi

Note:

All properties are typical. Phillips' Metal Injection Molding does not warranty that these materials are fit for any particular purpose. All materials need to be tested by the customer to assure they meet minimum performance criteria.

Kovar® is a registered trademark of Carpenter Technology Corporation

LIITE 3

PHILLIPS PLASTICS CORPORATION™
Nominal Chemical Composition (%) of Metal Injection Molding Alloys

| Material | Fe | Ni | Cr | C | Si | Mo | Cu | Mn | Others |
|---|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|----------------------------------|
| Low Alloy Steels | | | | | | | | | |
| 42CrMo4(4140) | Bal. | | 0.9-1.2 | 0.32-0.42 | | 0.15-0.30 | | | |
| 8620 | Bal. | 0.4-0.7 | 0.4-0.6 | 0.12-0.23 | | 0.15-0.30 | | | |
| 4605 | Bal. | 1.50-2.50 | | 0.40-0.60 | 1.0 max | 0.20-0.50 | | | |
| Fe-2% Ni | Bal. | 1.90-2.20 | | ≤0.10 | | | | | |
| Fe-8% Ni (sintered in H ₂) | Bal. | 7.50-8.50 | | ≤0.10 | | | | | |
| Fe-8% Ni (sintered in N ₂) | Bal. | 7.50-8.50 | | 0.4-0.6 | | | | | |
| Stainless Steels | | | | | | | | | |
| 316L | Bal. | 10-14 | 16-18 | 0.03 max | 1.0 max | 2.0-3.0 | | 2.0 max | |
| 310 | Bal. | 19.0-22.0 | 24.0-26.0 | 0.2-0.5 | 0.75-1.75 | | | ≤1.5 | 1.2-1.5 Nb |
| PANACEA | Bal. | ≤0.10 | 16.5-17.5 | ≤0.20 | ≤1.0 | 3.0-3.5 | | 10-12 | 0.75-0.90 N |
| 17-4PH | Bal. | 3-5 | 15-17.5 | 0.07 max | 1.0 max | | 3.0-5.0 | 1.0 max | 0.15-0.45 (Nb + Ta) |
| 420 | Bal. | | 12-14 | 0.18-0.30 | ≤1.0 | | | ≤1.0 | |
| 440 B | Bal. | | 16-18 | 0.75-0.95 | ≤1.0 | ≤0.75 | | ≤1.0 | |
| Tool Steel | | | | | | | | | |
| M2 | Bal. | | 3.80-4.50 | 0.95-1.05 | | 4.5-5.5 | | | W 5.50-6.75 V 1.75-2.20 |
| Soft Magnetic Alloys | | | | | | | | | |
| Fe-50% Ni | Bal. | 49.5-50.5 | 49.5-50.5 | ≤0.10 | | | | | |
| F (pure iron) | Bal. | | | ≤0.10 | | | | | |
| Fe-3Si | Bal. | | | ≤0.10 | 2.50-3.00 | | | | |
| 430 | Bal. | | 15.5-17.5 | ≤0.08 | ≤1.0 | | | ≤1.0 | |
| Special Alloys | | | | | | | | | |
| HX (Hastelloy X) | 17-20 | Bal. | 20.5-23.0 | 0.05-0.15 | ≤1.0 | 8-10 | | ≤1.0 | 0.5-2.10 Co, 0.20-1.0 W, 0.008 B |
| Titanium (CP Grade 4) | | | | ≤0.20 | | | | | Ti Bal. (O ≤ 0.40, N ≤ 0.10) |
| Kovar® (F15) | Bal. | 28.5-29.5 | | | | | | | Co 16.5-17.5 |
| Tungsten (W) | | | | | | | | | ≤94% W Bal. (Ni, Cu, Co) |

Kovar® is a registered trademark of Carpenter Technology Corporation

LIITE 4

PHILLIPS PLASTICS CORPORATION™
Typical Magnetic Properties of Metal Injection Molded Soft-Magnetic Alloys

| | Residual Induction | Coercive Force | Maximum Permeability | Induced Magnetic Field | Induced Magnetic Field | Induced Magnetic Field |
|---------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | Br (kG) | Hc (Oe) | μ_{max} (B/H) | B25 (kG) | B50 (kG) | B500 (kG) |
| Fe-50% Ni | 8 | 0.125 | 27,270 | 14 | 8 | 14.6 |
| F (Pure Iron) | 12.4 | 0.36 | 14,236 | 12.4 | 15.7 | NA |
| Fe-3% Si | 11.5 | 0.918 | 5,215 | 11.5 | 14.9 | NA |
| 430 | 6.4 | 0.92 | 3,311 | 6.4 | 12 | -- |

1 Oersted (Oe) = 79.55 ampere/meter (A/m)
 1 kilogauss (kG) = 0.10 tesla (T)

Note:

All properties are typical. Phillips' Metal Injection Molding does not warranty that these materials are fit for any particular purpose. All materials need to be tested by the customer to assure they meet minimum performance criteria.

New Special Alloys

| Material | C | Cr | Fe | Co | Al | Ti | Mn | Si | Ni |
|----------------------------------|-----------------------|-----------|------------|-------------------|-----------|----------------|-----------------|-----------|-----------|
| Nimonic 90 after sintering | ≤0.13 | 18-21 | ≤1.5 | 15-21 | 1.0-2.0 | 3.0-4.0 | ≤1.0 | ≤1.0 | Bal. |
| | Yield Strength | | UTS | Elongation | | Density | Hardness | | |
| sintered + heat-treated | 730 MPA | | 1220 MPA | 14 | | 8.0 | 350 HV10 | | |
| HIP + heat-treated | 790 | | 1270 | 33 | | 8.18 | 385 HV10 | | |
| Material | C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | V | W | Fe |
| CHS-4 after sintering at 20°C | 2.2 | 1.6 | 1.0 | 12.0 | 39.0 | 6.0 | 0.9 | 0.5 | Bal. |
| | Yield Strength | | UTS | Elongation | | Density | Hardness | | |
| | ≤600 MPA | | ≤800 MPA | ≤2.0 | | ≤7.9 | ≤33-37 HRC | | |

LIITE 5

MPIF Standard 35

Materials Standards for Metal Injection Molded Parts*

Table of Contents—2007 Edition

| | |
|--|-------|
| EXPLANATORY NOTES AND DEFINITIONS | |
| Minimum Value Concept | 3 |
| Minimum Mechanical Property Values | 3 |
| Minimum Magnetic Property Values | 3 |
| Minimum Controlled-Expansion Property Values | 3 |
| Practical Methods of Demonstrating Part Performance | 3 |
| Typical Values | 4 |
| Chemical Composition | 4 |
| Mechanical Properties | 4 |
| Heat Treatment | 4 |
| Surface Finish | 4 |
| Microstructure | 4 |
| MIM Material Designation | 4 |
| Material Selection | 4 |
| Grade Selection | 5 |
| Density | 5 |
| Ultimate Tensile Strength | 5 |
| Yield Strength | 5 |
| Elongation | 6 |
| Elastic Constants | 6 |
| Young's Modulus (E) | 6 |
| Shear Modulus (G) | 6 |
| Poisson's Ratio (ν) | 6 |
| Impact Energy | 6 |
| Macrohardness (Apparent) | 6 |
| Microindentation Hardness | 6 |
| Corrosion Resistance | 6 |
| Sulfuric Acid Testing | 6 |
| Copper Sulfate Testing | 7 |
| Boiling Water Testing | 7 |
| Soft Magnetic Properties | 7 |
| Magnetizing Field (H) | 7 |
| Induction (B) | 7 |
| Maximum Induction (B_m) | 7 |
| Maximum Permeability (μ_{max}) | 7 |
| Coercive Field (H_c) | 7 |
| Residual Induction (B_r) | 7 |
| Controlled-Expansion Alloys/Coefficient of Thermal Expansion (CTE) | 7 |
| SI Units | 7 |
| Comparable Standard | 7 |
| DATA TABLES – INCH-POUND UNITS | |
| Low-Alloy Steels | 8-9 |
| Stainless Steels | 10-11 |
| Soft-Magnetic Alloys | 12-13 |
| Controlled-Expansion Alloys | 14-15 |
| DATA TABLES – SI UNITS | |
| Low-Alloy Steels | 16-17 |
| Stainless Steels | 18-19 |
| Soft-Magnetic Alloys | 20-21 |
| Controlled-Expansion Alloys | 22-23 |
| SI Units Conversion Table | |
| Quantities/Terms Used in MPIF Standards | 24 |
| Index | |
| Alphabetical Listing & Guide to Material Systems & Designation Codes Used in MPIF Standard 35 | 25 |
| Standards Availability/MPIF Standing Order Form | 29 |

LIITE 6

| Stainless Steel | Type | Tensile Strength | | Yield Strength | | Elongation | Hardness |
|--|----------------------|------------------|------|----------------|------|------------|----------|
| | | MPa | ksi | MPa | ksi | % | |
| 304L austenitic | MIM ³ | 620 | 90 | 310 | 45 | 30 | 65 HRB |
| | Wrought ⁴ | >480 | >70 | >170 | >25 | >30 | <92 HRB |
| 316L austenitic | MIM ³ | 515 | 75 | 170 | 25 | 50 | 65 HRB |
| | Wrought ⁴ | >480 | >70 | >170 | >25 | >35 | <95 HRB |
| 420 martensitic ⁵ | MIM ⁵ | 1750 | 254 | 1560 | 226 | 2 | 52 HRC |
| | Wrought ⁴ | >1720 | >250 | 1480 | 215 | 8 | 52 HRC |
| 430 ferritic | MIM ³ | 415 | 60 | 240 | 35 | 25 | 65 HRB |
| | Wrought ⁴ | >415 | >60 | >205 | >30 | >20 | <88 HRB |
| 440C martensitic ⁵ | MIM ³ | 1670 | 242 | 1615 | 235 | 2 | 55 HRC |
| | Wrought ⁴ | 1970 | 285 | 1900 | 275 | 2 | 57 HRC |
| 630 precipitation hardening ⁵ | MIM ³ | 1185 | 172 | 1090 | 158 | 6 | 33 HRB |
| | Wrought ⁴ | >1170 | >170 | >1070 | >155 | >10 | <35 HRB |

⁵Heat treated

Table II. Typical mechanical properties of commonly available stainless steels for metal injection molding (MIM) in comparison with wrought materials.³⁻⁵

| Material | Implant Applications |
|--------------|--|
| 316L | Bones, plates, screws, staples, pins, and nails Stents |
| Co-28Cr-6Mo | Prosthetic replacements of hips, knees, elbows, shoulders, ankles, and fingers Bone plates, screws, staples, and rods Heart valves |
| Unalloyed Ti | Bone plates, screws, rods, and staples Heart valves and pacemaker casings |
| Ti-6Al-4V | Prosthetic hips, knees, elbows, shoulders, ankles, and fingers |
| Unalloyed Ta | Wire, foils, sheets, clips, staples, and meshes Electrodes |

Table III. Materials used for medical implants¹²

| Material, ASTM Specification | Type | Tensile Strength | | Yield Strength | | Elongation | Reduction in Area |
|------------------------------|------------------------|------------------|------|----------------|------|------------|-------------------|
| | | MPa | ksi | MPa | ksi | % | % |
| 316L | MIM ³ | 515 | 75 | 170 | 25 | 50 | Not reported |
| F745 | Cast ¹ | >480 | >70 | >205 | >30 | >30 | 50 |
| F138 | Wrought ¹ | >490 | >71 | >190 | >28 | >40 | — |
| Co-28Cr-6Mo | MIM ¹³ | 1000 | 145 | 520 | 75 | 40 | 515 |
| F75 | Cast ¹ | >655 | >95 | >450 | >65 | >8 | >480 |
| F1537 | Wrought ¹ | >900 | >130 | >520 | >75 | >20 | >490 |
| Unalloyed Ti | MIM ^{5,14,15} | 575 | 84 | 500 | 73 | 16 | Not reported |
| F67 grade 4 | Wrought ¹ | >550 | >80 | >480 | >70 | >15 | >25 |
| Ti-6Al-4V | MIM ¹⁶ | 910 | 132 | 800 | 116 | 11 | Not reported |
| F1108 | Cast ³ | >860 | >125 | >760 | >110 | >8 | >14 |
| F1472 | Wrought ¹ | >930 | >135 | >860 | >125 | >10 | >25 |
| Unalloyed Ta | MIM | — | — | — | — | — | — |
| F560 | Wrought ¹ | 210 | 30 | 140 | 20 | 25 | — |

Table IV. Mechanical properties of metal injection molding materials in comparison with ASTM specifications for cast and wrought metallic implants materials.^{1, 3, 5, 13-16}