

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tuotekehitys

Tutkintotyö

Anttiveikko Vierula

PAKSUSEINÄISTEN VALUJEN PINNANLAADUN PARANTAMINEN

Työn ohjaaja lehtori Kaarlo Koivisto

Työn teettäjä Metso Lokomo Steels Oy, valmistuspäällikkö Kalevi Hangasmaa ja
suunnittelupäällikkö Kim Laine

Tampere 2007

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotekehitys

Anttiveikko Vierula

Tutkintotyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Paksuseinäisten valujen pinnanlaadun parantaminen

62 sivua + 3 liitesivua

lehtori Kaarlo Koivisto

Metso Lokomo Steels Oy, valvojana valmistuspäällikkö Kalevi

Hangasmaa ja suunnittelupäällikkö Kim Laine

Maaliskuu 2007

Hakusanat

valaminen, kaavaushiekat, peitosteet, peitostus, hiekan kiinnipureutuminen, metallin tunkeutuminen

TIIVISTELMÄ

Valimoissa hiekan kiinnipureutuminen kappaleeseen ja metallin tunkeutuminen

kaavaushiekkaan aiheuttaa lisätyötä kappaleen puhdistamisessa. Tästä seuraa

lisäkustannuksia, läpimenoaikojen pitenemisiä ja viivästyksiä toimituksiin.

Pahimmassa tapauksessa kappale hylätään ja valmistetaan uudestaan. Metso Lokomo

Steels Oy:ssä kiinnipureutumis- ja tunkeutumisongelmia päätettiin selvittää teettämällä

aiheesta tutkintotyö.

Tutkintotyö oli suurelta osin tiedon keräämistä eri lähteistä, ja saadun aineiston

kokoamista yhteen. Tietoa etsittiin pääasiassa kirjallisuudesta ja artikkeleista.

Ongelmat ovat yleisiä maailmanlaajuisesti, mutta ongelmiin vaikuttavien muuttujien

suuren määrän ja monimutkaisten vuorovaikutussuhteiden takia yleispäteviä

ratkaisukeinoja ei ole olemassa.

Lähdeaineistoista koottuja tietoja sovellettiin käytännön kokeiluilla. Kokeita alettiin

tehdä heti, kun mahdollisia parannusehdotuksia saatiin. Teorian keräämistä jatkettiin

kuitenkin koko työn ajan, joten joidenkin kokeiden suorittamisen jälkeen saatiin lisää

teoriatietoa (varsinkin mahdollisista kemiallisista reaktioista), joilla voitiin perustella

mahdollisia syitä kokeiden odottamattomiin tuloksiin.

Aiheen tärkeyden vuoksi selvittelyä ja kokeiluja jatketaan tutkintotyön jälkeenkin.

TAMPERE POLYTECHNIC

Mechanical and Production Engineering

Product development

Anttiveikko Vierula

Engineering thesis

Thesis supervisor

Commissioning Company

Improving the Surface Quality of Thick Walled Castings

62 pages + 3 appendix

Lecturer Kaarlo Koivisto

Metso Lokomo Steels Oy, Manufacturing

Manager Kalevi Hangasmaa and Technology Manager Kim Laine

March 2007

Keywords

casting, moulding sand, refractory coating, coating application, sand burn-on, metal penetration

ABSTRACT

Sand burn-on and metal penetration into moulding sand cause extra work on finishing of the casting. In consequence of these problems are additional costs, longer lead-times and delays on deliveries. In the worst case, casting has to be scrapped and redone. It was decided on Metso Lokomo Steels Oy to settle these problems by final thesis.

Making final thesis was mostly collecting information from various sources.

Information was mainly sought from books and articles. Problems are universal but because of great number of variables and their complicated interdependencies, there are no universal solutions.

Found information was tested in practice. Testing was started as soon as the first proposals for improvements were found. Collecting information was continued until the end of the project, and later information explained some unexpected results of first tests.

Because of great importance of matter, settling and testing will be continued also after the final thesis.

ALKUSANAT

Tämä tutkintotyö on tehty Metso Lokomo Steels Oy:lle syksyn 2006 ja kevään 2007 välisenä aikana. Hain tutkintotyöpaikkaa Lokomolta johtuen kiinnostuksestani valimotekniikkaa kohtaan, ja sainkin aiheen, jossa todella sai oppia valimotekniikkaa laajasti! Työhön motivoi myös tieto, että tuloksista voisi olla suurta hyötyä yritykselle.

Haluan kiittää valmistuspäällikkö Kalevi Hangasmaata ja suunnittelupäällikkö Kim Lainetta mahdollisuudesta tehdä tutkintotyö Metso Lokomo Steelsille. Lisäksi kiitän hyvää ohjauksesta ja opastuksesta. Kiitos kuuluu myös työn ohjaajalle Kaarlo Koivistolle.

Haluan myös kiittää valimon muuta henkilökuntaa tiedoista, neuvoista ja kokeiden suorittamisesta.

Tampereella 02.04.2007

Anttiveikko Vierula

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT.....	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
1 JOHDANTO.....	8
2 METSO LOKOMO STEELS.....	8
3 VALETTAVAT MATERIAALIT	9
3.1 Kulutusosat kivenmurskaukseen	9
3.2 Kelainrummut Steckel-kuumavalssaukseen	10
4 VALUJEN PINTAVIRHEET	11
4.1 Kiinnipureutunut hiekka.....	11
4.2 Metallin tunkeutuminen hiekkaan	12
4.3 Pintavirheiden syitä	12
4.3.1 Valun suoritusvirheet.....	12
4.3.2 Muottiainevirheet	13
4.3.3 Muotin valmistusvirheet.....	13
4.3.4 Peitostusvirheet.....	13
4.3.5 Muut virheet	13
5 KAAVAUSHIEKAT.....	14
5.1 Kvartsihiekk.....	16
5.2 Kromiittihiekka.....	16
5.3 Oliiviinihiekk.....	17
5.4 Zirkonihiekka.....	18
5.5 Metso Lokomo Steelsin kaavaushiekat	18
5.6 Hiekan tutkimusmenetelmät.....	19
6 MUOTTIIN KOHDISTUVAT RASITUKSET	21

6.1 Termiset rasitukset.....	21
6.2 Mekaaniset rasitukset	23
6.3 Kemialliset rasitukset	26
7 VALULÄMPÖTILAT	30
8 PEITOSTEET	31
8.1 Peitosteen koostumus	31
8.1.1 Tulenkestävä materiaali.....	32
8.1.2 Nestemäinen väliaine.....	36
8.1.3 Sakkautumista estävä aine.....	37
8.1.4 Sideaine	37
8.2 Hyvän peitosteen ominaisuudet.....	37
9 PEITOSTUSMENETELMÄT	38
9.1 Yleistä peitostusmenetelmistä	38
9.2 MLS:ssä käytettävät peitostusmenetelmät.....	40
10 KOKEELLINEN OSA	40
10.1 Lämmön poistaminen hiekasta ongelma-alueilta	40
10.1.1 Ratkaisu 1: Lämmön sitominen.....	41
10.1.2 Ratkaisu 2: Lämmön johtaminen pois ongelma-alueilta	41
10.2 Hiekan laadun testaaminen.....	47
10.2.1 Hiekan sintraantuminen.....	47
10.2.2 Sintraantuneen hiekan analyysi	48
10.3 Hiilen käyttäminen peitostamisessa.....	49
10.4 Peitostepinnan virheiden vaikutus pinnanlaatuun	52
10.5 Peitostepinnan paksuuden vaikutus pinnanlaatuun	54
10.6 Peitoste-erien tasalaatuisuuden seuranta	56
10.7 Kvartsihiekan käyttö kaavauksessa	56
11 JATKOTOIMENPITEITÄ.....	58
12 YHTEENVETO	59

LÄHTEET	60
LIITTEET.....	63

1 JOHDANTO

Hiekan kiinnipalaminen valukappaleen pintaan ja metallin tunkeutuminen hiekkaan aiheuttavat suuria työmääriä kappaleen puhdistamisessa. Näistä virheistä aiheutuu lisätyötä, kustannuksia ja läpimenoaikojen pitenemisiä, sekä pahimmassa tapauksessa kappaleen hylkääminen ja uudelleen sulattaminen. Lisäksi ylimääräinen työ siirtää työjonossa seuraavana olevien kappaleiden aloitusaikoja, joten vahinko kertautuu. Metso Lokomo Steelsin teräsvalimossa ongelmia päätettiin tutkia teettämällä aiheesta päättötyö.

Työn tavoitteena on selvittää lähdeaineistosta pintavirheiden syitä, ja kokeellisessa osassa testata eri tekijöiden vaikutusta laadun parantamiseksi. Lisäksi henkilökohtaisena tavoitteenani oli oppia mahdollisimman laajasti valimotekniikkaa.

Pintavirheistä keskitytään hiekan kiinnipureutumaan kappaleeseen ja metallin tunkeutumiseen hiekkaan. Kokeellisessa osassa keskitytään syihin, joiden katsotaan olevan merkityksellisimpiä ja joista halutaan saada lisätietoa. Kokeellinen osa rajataan kelaimiin ja kulutusosiin.

2 METSO LOKOMO STEELS

Metso Lokomo Steels on osa kansainvälistä Metso-teknologiakonsernia. Metso-konsernilla on kolme liiketoiminta-aluea: Metso Paper, Metso Minerals ja Metso Automation. Työn alkaessa oli lisäksi neljäs liiketoiminta-alue, Metso Ventures, mutta 1.1.2007 kyseinen liiketoiminta-alue purettiin. Metso-konserni toimii massa- ja paperiteollisuudessa, kiven- ja mineraalienkäsittelyssä, energiateollisuudessa sekä joillakin muilla valituilla teollisuudenaloilla. Metson liikevaihto vuonna 2006 oli noin 5 mrd. euroa. Toimintaa on yli 50 maassa, ja työntekijöitä n. 26 000.

Metso Lokomo Steels Oy (jatkossa lyhenne MLS) on osa Metso Mineralsia. Metso Minerals toimittaa kiven- ja mineraalinkäsittelylaitteistoja. Metso Mineralsin osuus konsernin liikevaihdosta oli 43 % vuonna 2006.

MLS on Pohjoismaiden suurin teräsvalimo, vuosikapasiteetti on 12 000 tonnia. MLS on perustettu 1916. Päätuotteita ovat murskaimen valut (rungot ja kulutusosat), kuumavalssaamoiden kelainrummut, vesiturpiinivalut, venttiilivalut ja puunjalostuskonevalut. MLS on ollut edelläkävijä ruostumattoman teräksen valmistuksessa. Työntekijöitä on n. 250 henkilöä. /8; 19; 20/

3 VALETTAVAT MATERIAALIT

MLS:ssä valetaan seuraavanlaisia teräslaatuja:

- hiiliteräkset
- matalaseosteiset teräkset (sisältää korkealujuuksiset, ilman esilämmitystä hitsattavat teräkset)
- martensiittiset ruostumattomat teräkset
- ferriittis-austeniittiset (duplex) ruostumattomat teräkset
- kuumankestävät teräkset
- austeniittiset mangaaniteräkset.

/19/

3.1 Kulutusosat kivenmurskaukseen

Kivenmurskaimessa kulutusosat liikkuvat toisiinsa nähden, ja kivet murskaantuvat näiden välissä iskumaisen kuormituksen seurauksena, ks. kuva 1. Kulutusosat valetaan austeniittisestä mangaaniteräksestä. Mangaaniteräksestä valmistetut kappaleet työstökarkenevat voimakkaasti joutuessaan iskumaisen rasituksen tai suuren pintapaineen alaiseksi. Tällöin kappaleen pintaan muodostuu jopa 5 millimetrin paksuinen kovettunut kerros. Kovettumisessa martensiitti ja karbidit ovat erkautuneet austeniittirakeitten rajoille sekä austeniittirakeitten liukutasoille, joita pitkin muokkautuminen tapahtuu. Mangaaniteräs ei sovellu kohteisiin, joissa sen pinta ei

kovetu lainkaan tai joissa hiertävä kulutus kuluttaa sen pintaa nopeammin kuin uutta kovaa kerrosta ehtii kovettua työstökarkenemalla. /2 s. 310-311; 8/



Kuva 1. Kiviä murskaimen kulutusosaleukojen välissä. /24/

3.2 Kelainrummut Steckel-kuumavalssaukseen

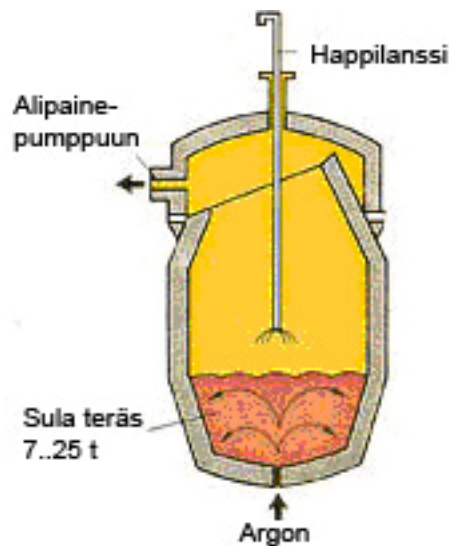
Kelainrumpuja (kuva 2) käytetään Steckel-kuumavalssaimissa, joissa käyttölämpötilat ovat lähellä 1000 °C :tta. Lisäksi mekaaniset rasitukset ovat suuret.



Kuva 2. Steckel-kelain

MLS on kehittänyt kelaimiin oman kuimalujan DRUMLOK 1000 Vaculok® -teräksen. Sula käsitellään VODC (Vacuum Oxygen Decarburization Converter) –konvertteriuunilla alipaineessa (<5 mbar), ks. kuva 3. Sulan sekaan puhalletaan

ylhäältäpäin mellotushappea, ja pohjasta sulan sekoittamiseksi inerttiä argonkaasua. Käsittelyn avulla epäpuhtauksien määrä sulassa pienenee, ja saadaan sitkeämpiä ja tasalaatuisempia teräksiä./2 s.329-330; 19/



Kuva 3. VODC-konverterteri.

4 VALUJEN PINTAVIRHEET

Tässä työssä keskitytään kahteen pintavirhetyyppiin. Ensimmäinen on kiinnipureutunut hiekka ja toinen metallin tunkeutuminen hiekkaan. Nämä ovat saman valuvirheen eri voimakkuusasteita, joten niille pätevät samat perussyyt. /7 s.50; 8/

4.1 Kiinnipureutunut hiekka

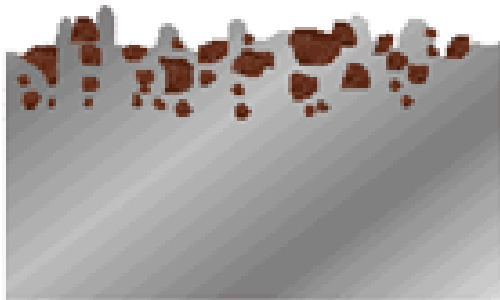
Valukappaleen pintaan on pureutunut hiekkaa, jota ei ole voitu poistaa tavallisessa puhdistuksessa, ks. kuva 4.



Kuva 4. Kiinnipureutunutta hiekkaa mangaaniteräsleuan urissa

4.2 Metallin tunkeutuminen hiekkaan

Kaavaushiekkaa on tarttunut valukappaleeseen metallin tunkeuduttua hiekkaan, ks. kuva 5.



Kuva 5. Metalli tunkeutunut hiekkaan /1/

4.3 Pintavirheiden syitä

Hiekan kiinnipureutumisen kappaleeseen ja metallin tunkeutumisen hiekkaan perussyöt jaetaan valun suoritusvirheisiin, muottiainevirheisiin, muotin valmistusvirheisiin, peitostusvirheisiin ja muihin virheisiin. /7 s.51-58/

4.3.1 Valun suoritusvirheet

- Liian korkea valulämpötila.
- Liian suuri metallostaattinen paine.

- Liian nopea muotin täyttö.
- Metallin alhainen pintajännitys.

4.3.2 Muottiainevirheet

- Ylisuuret huokokset muotin pinnassa.
- Muottiaineen pH ei sovellu teräksen koostumukseen.
- Kaavaushiekan huono tulenkestävyys.
- Hiekan sideaineen kuumalujuus on riittämätön tai sitä on liian vähän.

4.3.3 Muotin valmistusvirheet

- Muotin huono sullontatiiviys.

4.3.4 Peitostusvirheet

- Liian nopea tai voimakas kuivaus on polttanut peitosteen sideaineen.
- Liian ohut peitostekerros.
- Liian paksu peitostekerros (lohkeilu).
- Peitosteen huono sekoitus (sakkautuminen).
- Kemiallisesti sopimaton peitoste tai peitosteen riittämätön tulenkesto.

4.3.5 Muut virheet

- Vääränlaiset sisäänmenokanavat voivat johtaa eroosioon tai muottiseinämän kuumenemiseen.

5 KAAVAUSHIEKAT

Kemiallisesti katsoen hiekat ovat oksideja, silikaatteja tai niiden yhdisteitä. /12 s.8/
Muotin valmistuksessa tulenkestävään hiekkaan lisätään sideaineet, jotka pitävät muottihiekan koossa. /2 s. 135/

Tässä työssä käsiteltyjen virheiden kannalta käytettävälle kaavaushiekalle asetetaan seuraavia vaatimuksia:

- Korkea valulämpötila edellyttää kaavaushiekalta hyvää tulenkestävyyttä, erikoisesti sen rakeiselta aineelta.
- Hiekan ja teräksen välillä ei saa tapahtua kostutusta eikä sellaisia kemiallisia reaktioita, joista seuraa hiekan kiinnipureutuminen kappaleen pintaan.

/2 s.185/

Tavallisesti käytettävien raakahiekkojen ominaisuuksia taulukossa 1.

Taulukko 1. Raakahiekkojen ominaisuuksia. /2 s.140/

	Kvartsi	Kromiitti	Oliiviini	Zirkoni
Väri	puhtaan valkea	musta	harmahtavan vihreä	valkea tai vaaleanruskea
Tiheys (g/cm³)	2,65	4,5	3,3	4,65
Tilavuuspaino sullottuna (kg/ m³)	1490	2670	1700	2770
Puhtaan mineraalin sulamislämpö- tila °C	1700	1780...1900	1750	2400...2550
Kaupallisten laatujen sintrauslämpö- tila °C	1250...1500	1450...1500	1370...1500	>1500
Lineaarinen laajeneminen 1000°C:ssa (%)	1,8	0,75	1,37	0,35
Lämmönjohta- vuus (0-1200°C) W/(m*K)	1,4	1,65	1,1	2,8
Sovellus	yleinen	penetraation esto, jäädytys	Mangaaniteräs	tulenkesto, jäädytys

5.1 Kvartsihiekkä

Kvartsin sulamislämpötila on korkea, n. 1700 °C. Lisäksi se on kovaa ja sillä on hyvä mekaaninen kestävyys. Toisaalta kvartsin tilavuus muuttuu voimakkaasti lämpötilojen muuttumisen yhteydessä, mistä voi aiheutua kuoriutumavalmavikoja. Kvartsihiekkassa on kvartsin (SiO_2) lisäksi yleensä sivukivenä maasälpää. Maasälpä sulaa jo 1200...1300 °C:ssa alentaen näin hiekan kuumuudenkestoa. Maasälpä kompensoi kvartsin laajenemista lämpötilojen vaihdellessa, mutta aiheuttaa kiinnipureutumia, joten käytettävässä kvartsihiekkassa ei tulisi olla suuria määriä maasälpää. Hiekkassa on lisäksi mm. Al_2O_3 :a, Fe_2O_3 :a ja CaO :a.

Kvartsilla on taipumus muodostaa huonosti kuumuutta kestävää fayaliittia rautaoksidin (FeO) kanssa (tarkempi kuvaus kappaleessa 6.3). Puhtaasta kvartsista muodostuvan pölyn hienoin osa aiheuttaa silikoosia eli kivipölykeuhkoa. Hienoa pölyä muodostuu erityisesti kvartsirakeiden murskautuessa, esimerkiksi kappaletta puhdistettaessa. Korkeassa lämpötilassa muodostuvat tridymiitti ja kristobaliitti ovat erityisen vaarallisia olomuotoja. /2 s.135-138/

Kvartsihiekan hinta on edullinen suhteessa muihin yleisesti käytettäviin hiekkoihin (noin seitsemäsosa kromiittihiekan kuutiohinnasta työn tekohetkellä). Tästä syystä saadaan suuria säästöjä, jos voidaan käyttää kvartsihiekkää muiden hiekkojen asemesta./8/

5.2 Kromiittihiekkä

Kromiitin kemiallinen kaava on $FeO \cdot Cr_2O_3$. Lisäksi kaupalliset kromiittihiekat sisältävät erilaisia määriä mm. alumiinioksidia (Al_2O_3), kvartsia (SiO_2), magnesiumoksidia (MgO) ja kalsiumoksidia (CaO). Puhtaan kromiitin sulamispiste on n. 1900 °C, mutta hiekkassa oleva sivukivi alentaa sulamispistettä.

Kromiittihiekkamuotin pintaan muodostuu 1000...1200 °C:ssa sintraantunut hiekkakerros, joka estää metallin tunkeutumisen hiekkään. Kromiittihiekkää käytetään

myös haluttaessa kvartsihiekkaa parempi lämmönjohtavuus. Kromiittihiekkamuotit ovat kuitenkin raskaita. Lisäksi hiekan tulenkesto huononee jatkuvassa käytössä, jollei siitä poisteta kuumuudessa huonontunutta magneettisempää jaetta. /2 s.139; 11 s.98/

5.3 Oliviinihiekk

Oliviinin (90 % fosteriittia, Mg_2SiO_4 ja 10 % fayaliittia, Fe_2SiO_4) sulamislämpötila on 1750 °C. Epäpuhtauksina esiintyvät karbonaatit sekä kidevettä sisältävät kloriitti, talkki ja serpentiini. Hapettunut teräs ei kostuta oliviinia eikä reagoi kemiallisesti sen kanssa. Oliviini on suurimmaksi osaksi magnesiumsilikaattia, joten siinä oleva SiO_2 on tavallaan tyydytetty. Se ei "halua" yhtyä rautaoksidiin. Rautametallien ja oliviinin välinen kostutuskulma on pieni, 120°. Tästä syystä oliviinihiekkalla saadaan hyviä valupintoja ja estetään kiinnipureutumista. Oliviinihiekk soveltuu erityisesti mangaaniteräksen valamiseen. /2 s.141; 12 s.34/

Oliviini- ja kvartsihiekan sekoittumista tulee varoa, koska tämä mahdollistaa valussa reaktion $Mg_2SiO_4 + SiO_2 = 2MgSiO_3$. Näin syntynyt klinoenstatiitti ($MgSiO_3$) sulaa 1450 °C:ssa, joka on alhaisempi kuin kvartsin tai oliviinin sulamislämpötila. Oliviinihiekan rakeet ovat erittäin kulmikkaita, mistä johtuen tarvitaan paljon sideainetta. Oliviinihiekk on emäksistä, minkä takia sideaineena ei voi käyttää furaanihartsia. Sen sijaan voidaan käyttää ns. Alphaset-menetelmää (fenoliformaldehydi-esterimenetelmä). Alphaset-menetelmän etuna on, ettei se sisällä pinnanlaatua huonontavia tyyppiä ja rikkiä. Alphaset-menetelmän käyttö ei kuitenkaan ollut päättötyön aikana ajankohtaista, sillä käytössä oleva hapan furaaniharts-sideaine ei saa sekoittua järjestelmässä emäksisen Alphaset-sideaineen kanssa. Lisäksi Alphaset-menetelmällä hiekan kierrätettävyys on huonompaa kuin furaanihartsia käytettäessä. Oliviinihiekkalle sopii myös vesilasi-sideaineet, mutta niiden ongelmana on muotin huono tyhjennettävyys hiekan kovettuessa kuumuuden vaikutuksesta. Hiekan kierrätettävyys on myös huono. Fenoliformaldehydi-isosyanaattimenetelmä (Pep-Set) sopii oliviinille, mutta se ei ole yleisesti käytössä Euroopassa (ilmeisesti ympäristösyöt). /2 s. 391-392, s. 141; 3 s.152; 8; 11 s.98; 12 s.49/

5.4 Zirkonihiekka

Zirkonihiekka muodostuu zirkonsilikaatista ($ZrSiO_4$). Sen sulamislämpötila on yli 1500 °C. Useimmat metallit eivät kostuta zirkonihiekkaa, mistä johtuen teräsvaluissa voidaan estää kiinnipureutumia. Hyvän lämmönjohtavuuden takia sitä voidaan käyttää haluttaessa parempaa muotin jäähdytystä. Zirkonihiekan pienen lämpölaajenemistaipumuksen sitä voidaan käyttää erittäin tarkkoissa valuissa. Lisäksi vältetään muotin lämpölaajenemisesta aiheutuvia pintavikoja.

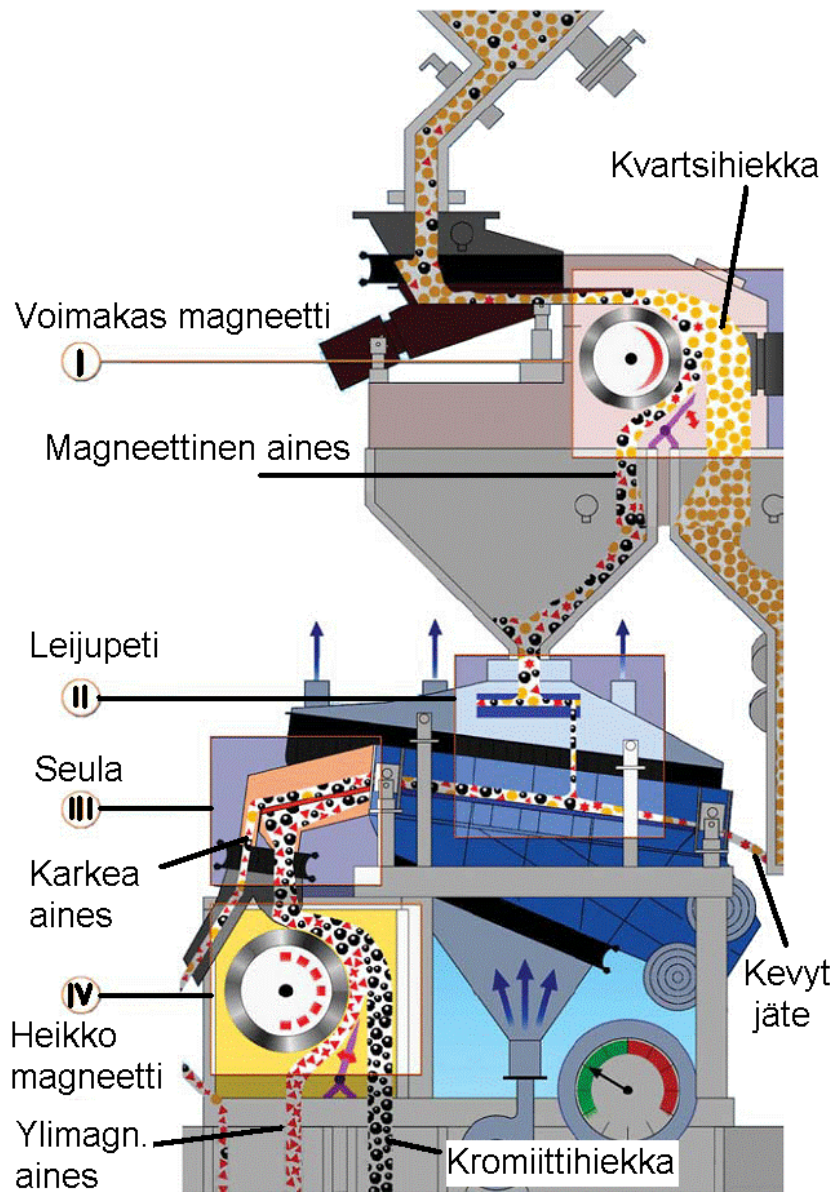
Korkean tiheyden takia muoteista tulee raskaita. Zirkonihiekan korkea hinta rajoittaa sen käyttöä, ja se on myös lievästi radioaktiivista. Lisäksi zirkonihiekan on todettu sopivan huonosti mangaaniteräkselle. /2 s.141-142; 8; 11 s.99 3 s.151/

5.5 Metso Lokomo Steelsin kaavaushiekat

MLS:ssä käytetään kaavaushiekkana kvartsi- ja kromiittihiekkaa. Normaalina kaavaushiekkana käytetään seosta, jossa on 30-50 % uutta kvartsihiekkaa ja 70-50 % kiertokvartsihiekkaa. Joissakin tilanteissa voidaan käyttää 100 % uutta kvartsihiekkaa. Massiivisilla kappaleilla (erityisen suurissa lämpörasituksissa) käytetään valun pinnassa kromiittihiekkaa. Tavoitteena on, että kromiittihiekasta 20 % on uutta kromiittia ja 80 % kiertokromiittia. Täytehiekkana valuissa käytetään 100 % kiertokvartsihiekkaa. /8/

Käytetty kaavaushiekka erotellaan kromiitinerottimella, ks. kuva 6.

Kromiitinerottimen ensimmäisessä vaiheessa voimakkaasti magneettinen rumpu erottaa kvartsin ja magneettisen aineksen (mukaanlukien kromiitti) toisistaan. Seuraavaksi magneettisesta aineksesta erotetaan leijupedillä kevyt jäte pois. Tämän jälkeen seulotaan karkea aines jätteeksi. Lopuksi vielä kromiitin seasta erotetaan heikosti magneettisella rummulla ylimagneettinen osa pois. Näin erotellusta kromiittihiekasta on saatu huonosti kuumuuttakestävä osuus pois. /25/



Kuva 6. Kromiitinerottimen toiminta. /25/

5.6 Hiekan tutkimusmenetelmät

Tasarakeisilla hiekoilla rakeet ovat lähes samankokoisia. Hyvin erikokoisista rakeista koostuneet hiekat taas ovat hajarakeisia. Hajarakeinen hiekka ei sulloudu suuremman sisäisen kitkan johdosta yhtä tiiviiksi kuin tasarakeinen. Hiekan raejakauma ja keskiraekoko selvitetään hiekan **seula-analyysillä**. Seulomisessa käytetään

Kone- ja tuotantotekniikka, tuotekehitys

standardisoitua (DIN 4188) seulasarjaa, jossa perättäisten seulojen silmäsuuruuksien suhde on $\sqrt{2}$.

Kullekin seulalle jäänyt hiekkamäärä punnitaan, ja lasketaan osuus hiekan kokonaismäärästä. MLS:lle toimitettavan hiekan seulomisessa käytetään yhdeksää seulaa mitasta 0,045 mm mittaan 0,707 mm. Lisäksi on pohja vielä hienommalle osalle. Suositellaan, että pääosa hiekasta olisi kolmella perättäisellä seulalla, ja hienon jakeen osa olisi mahdollisimman pieni. Hienoksi jakeeksi käsitetään pohjan ja kahden alimman seulan osuus. Näistä voidaan laskea kertoimia käyttämällä hiekan keskiraekoko.

Keskiraekoosta ja hiekan seulojen osuuksista on laatudokumentaatioissa määräykset, joita tavarantoimittajan tulee noudattaa. Kromiittihiekalla seulan pohjan osuus ei saa ylittää 0,5 %, eikä hienon jakeen yhteismäärä 2,5 %. Keskiraekoon tulee olla 0,26-0,35 mm. Kvartsihiekalla pohjan osuus saa olla korkeintaan 0,2 % ja hienon jakeen 2 %. Keskiraekoon tulee olla 0,30-0,36 mm. /2 s.142-147/

Hiekan **sintraantumislämpötilan mittaamisella** saadaan selville sen tulenkestävyys. Hiekkaa pidetään eri lämpötiloissa uunissa, jolloin nähdään lämpötila, jossa hiekkarakeet kiinnittyvät toisiinsa. Hiekan mineraalikoostumus ja puhtaus vaikuttavat sen tulenkestävyyteen. Sivukivi ja lietalajite alentavat tulenkestävyyttä.

Hiekan **kemiallinen koostumus** analysoidaan kustakin toimitettavasta laivaerästä. Kemiallisesta koostumuksesta on laatudokumentaatioissa raja-arvot, joita tavarantoimittajan tulee noudattaa.

Palohäviöllä tutkitaan tulenkestoa huonontavan orgaanisen aineksen määrä hiekassa. Upokkaassa punnitaan hiekkaa tietty määrä ennen ja jälkeen yhden tunnin hehkutusta 900 °C:ssa. Palohäviön tulisi olla MLS:ssä käytettävissä hiekoissa alle 2,5 %.

Jokaisesta MLS:lle toimitettavasta hiekkaerästä tavarantoimittaja antaa todistuksen, josta tulee näkyä keskiraekoko ja seula-analyysi, kemiallinen koostumus ja hehkutushäviö. /8/

6 MUOTTIIN KOHDISTUVAT RASITUKSET

Muottiin kohdistuu termisiä, mekaanisia ja kemiallisia rasituksia. Nämä rasitukset ovat yhteydessä toisiinsa, esimerkiksi lämpötila vaikuttaa sulan juoksevuuteen ja tätä kautta mekaanisiin rasituksiin. Lisäksi korkea lämpötila vaikuttaa sula-peitoste-muotti – rajapinnoissa tapahtuviin kemiallisiin reaktioihin. Siksi rasitusten vähentäminen tai poistaminen on monimutkaista. /2 s.113; 8/

6.1 Termiset rasitukset

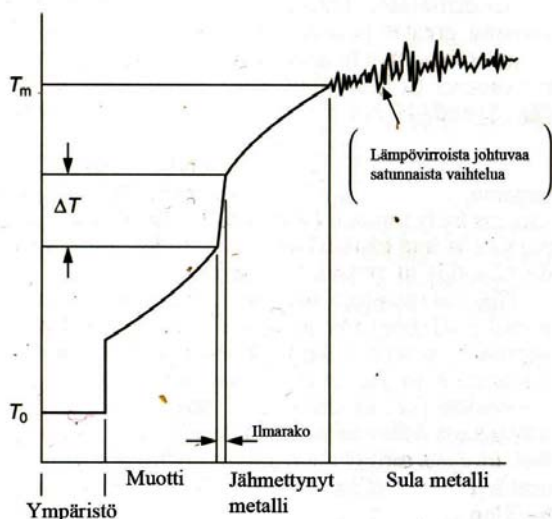
Liian korkea valulämpötila aiheuttaa pintavirheitä, jos peitosteen tulenkestöominaisuudet ja hiekan sintraantumislämpötila eivät ole tarpeeksi korkeita.

Kaavaushiekan kiinnipalamista pahentaa tilanne, jossa muotti on kauan tekemisissä korkean lämpötilan kanssa. Tällöin hiekan huonon lämmönjohtavuuden vuoksi muotin lämpötila nousee korkeaksi ja hiekka voi sintraantua. /8/

Sula alkaa jähmettyä, kun siitä poistuu lämpöä. Lämpövirran nopeuteen valun keskeltä vaikuttaa kuitenkin monta lämmönvastusta. Näitä ovat:

1. Sula
2. Jähmettynyt metalli
3. Metallimuotti rajapinta
4. Muotti
5. Muotin ympäristö

Kaikki nämä vastukset vaikuttavat ikään kuin sarjassa, ks. kuva 7. Kuvasta nähdään jäähtymistä hidastavien lämmönvastuksien vaikutus.



Kuva 7. Lämpötilaprofiili muotissa jäähdyttävän sulan ympärillä. Eri lämmönvastusten vaikutus sulan jäähtymiseen. /10 s.117/

Yleensä sulan vastus on merkityksetön suhteessa muihin. Sulan sekoittuminen valettaessa siirtää nopeasti lämpöä ja näin pienentää lämpögradientteja. Monesti myös muotin ympäristö voidaan jättää huomioimatta. Sulan pyörteisyys ja liian korkea valulämpötila hidastavat jäähdyttämisen alkamista. Metallin ja muotin rajapinnassa voi olla lämpöä eristävä peitoste, joka hidastaa lämmön johtumista muottiin. Samoin tapahtuu, kun metallin ja muotin väliin muodostuu ilmarako sulan jäähdyttyessä ja kutistuessa ja muotin kuumentuessa ja laajentuessa.

Muottihiekan lämmönjohtavuus vaikuttaa lämmön siirtymiseen muotista pois. Muottiin kohdistuvan korkean lämpötilan vaikutusaikaa voidaan lyhentää käyttämällä lämmönjohtavuudeltaan parempaa hiekkaa. Kromiittihiekan lämmönjohtavuus on parempi kuin kvartsi- ja oliviinihiekan. Lämmönjohtumista voidaan lisätä laittamalla muottiin jäähdyttäviä kappaleita tai laittamalla sulaan ripoja lisäämään pinta-alaa, josta lämpö johtuu pois. /10 s.117-126/

Valettaessa samalla kertaa erilaisia kappaleita pienemmät ja ohuempalla seinämävahvuudella olevat kappaleet tulisi valaa kuumemmalla sulalla. Käytännössä

sulan riittävyuden varmistamiseksi suuret kappaleet valetaan monesti ensin. /2 s.113;
8/

6.2 Mekaaniset rasitukset

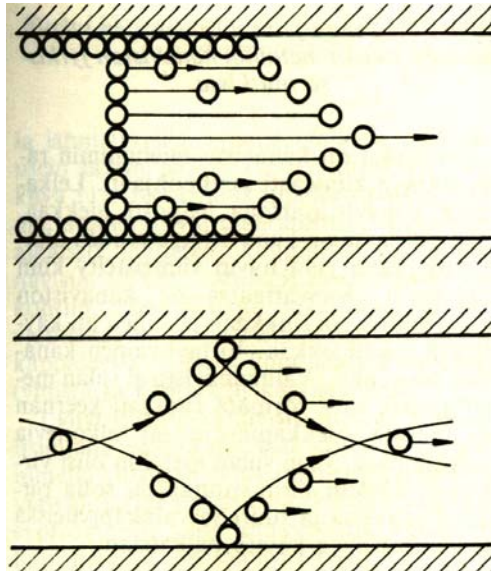
Liian suuri muotin **täyttönopeus** valun alkuvaiheessa voi aiheuttaa eroosiota, jolloin muotin pinnassa oleva suojaava peitostekerros kuluu pois. /7 s.51/ Lisäksi metallin suuri nopeus voi aiheuttaa metallin ryöppyämistä.

Sulan virratessa liian hitaasti metalli jäähtyy liian aikaisin, jolloin voi muodostua kylmäjuoksuja, -saumoja ja -poimuja sekä hiekkasulkeumia ja pintarikkoja.

Valusenkan pohjasta tulevan sulan nopeuteen muotissa vaikuttaa senkassa olevan sulan painekorkeus, senkan korkeus muottiin nähden valussa, metallin tiheys ja valulämpötila.

Sulan nopeuteen muotissa voidaan vaikuttaa muotin täyttöjärjestelmän suunnittelulla (esimerkiksi jakamalla metalli usealle sisäänmenokanavalle tai mahdollisesti suodattimia käyttämällä), käyttämällä oikeaa valulämpötilaa sekä pitämällä valusenkan mahdollisimman lähellä muottia valettaessa.

Metalli virtaa joko **laminaarisesti** (suuntaisvirtauksena) tai **turbulenttisesti** (pyörteisvirtauksena), kuva 8.



Kuva 8. Sulan metallin hiukkasten virtaaminen laminaarisessa (yllä) ja turbulentiisessa virtauksessa (alla). /2 s.117/

Sulan virratessa laminaarisesti valukanaviston seinämiin ja muottiin muodostuu liikkumaton kerros, joka suojaa muottia. Jos taas virtaus on turbulentiista, muodostuva pintakalvo uudistuu lakkaamatta, ja virta kuluttaa muottia ja valukanavistoa. Lisäksi sulaan sekoittuu kaasuja ja kuonaa, ja sula voi hapettua. Pyörteivirtausta edesauttavat suuri virtausnopeus sekä metallin suuri tiheys ja pieni viskositeetti. /2 s.113-117; 8; 16/

Virtauksen pyörteilyä voidaan vähentää tuomalla sula metalli muottiin useitten valukanavien kautta, ja mieluiten nousevana valuna. Lisäksi muotti tulisi täyttää mahdollisimman hitaasti ja korkeaa valulämpötilaa välttäten. /2 s.117/

Liian korkea **metallostaattinen paine** voi aiheuttaa metallin pureutumista hiekkaan. Metallostaattisen paineen p suuruus saadaan yhtälöstä (1) /4 s.112; 7 s.51/.

$$p = h \cdot \rho \cdot g \quad (1)$$

jossa h on sulan metallin yläpinnan ja muotin kontaktipinnan korkeusero, ρ on sulan tiheys ja g on normaaliputoamiskiikkyvyys.

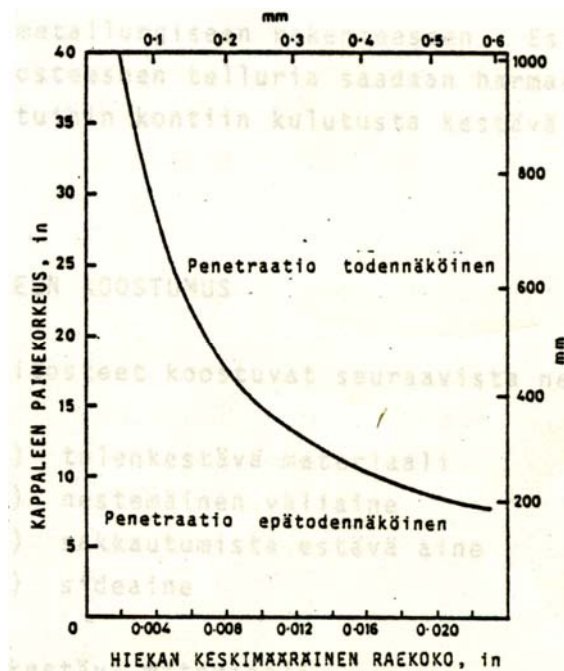
Metallostaattisen paineen ylittäessä kriittisen arvon P_C alkaa metalli tunkeutua muotin hiekkarakeiden väliin. Kriittinen paine saadaan laskettua yhtälöstä (2).

$$P_C = -\frac{2 \cdot B \cdot \cos \theta}{r} \quad (2)$$

jossa metallin pintajännitys B , metallin ja muottimateriaalin välinen kostutuskulma θ ja hiekassa olevien huokosten suuruus (huokossäde) r .

Metallostaattinen paine on suurin muotin alimmissa kohdissa, ja näissä paikoissa kiinnipureutuminen on pahinta. /3 s.226/

Huokossäde r on käytännössä noin puolet hiekan rakeiden säteestä. Kuvan 9 käyrästä nähdään hiekan keskimääräisen raekoon ja ferrostaattisen paineen vaikutukset penetraation todennäköisyyteen. Peitostamisella saadaan pienennettyä huokossädettä, koska peitoste tunkeutuu rakeiden väleihin. Tällöin kriittinen paine kasvaa kuvan mukaisesti. /13 s.9/



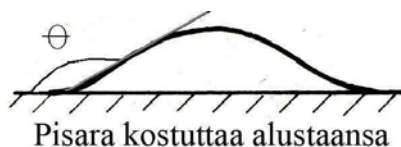
Kuva 9. Hiekan keskimääräisen raekoon ja ferrostaattisen paineen vaikutus penetraation todennäköisyyteen /13 s.9/

MLS:ssä käytettävän kromiittihiekan keskiraekoko on n. 0,3 mm, ja tällöin penetraatio on kuvan 8 mukaan todennäköistä n. 300 mm:n painekorkeudesta alkaen.

Kulutusosaleuoissa tällaisia painekorkeuksia on syötön kohdalla, kelaimissa painekorkeudet ovat useita metrejä. Tästä johtuen peitosteella on tärkeä osuus penetraation estämisessä työssä käsitellyissä kappaleissa. Leuoissa kiinnipalamisia ei kuitenkaan ole yleensä tasaisissa hammaspinnoissa, joiden kohdalla painekorkeus on suurin, vaan hampaiden välisissä urissa, joita varten muotissa on sulan ympäröimäksi jäävä kohouma.

6.3 Kemialliset rasitukset

Muottimateriaalin ja sulan (tai näiden reaktiotuotteiden) välinen kostutuskulma kuvaa metallin taipumusta tunkeutua hiekkaan. Mitä pienempi on kostutuskulma θ , sitä pienempi on metallin taipumus tunkeutua hiekkaan, ks. kuva 10. Esimerkiksi hapettuneen raudan (FeO) ja kromiitin välinen kostutuskulma on suuruusluokkaa 140° , ja raudan ja kvartsihiekan välillä noin 148° . Joissakin lähteissä kulma ilmoitetaan toisella tavalla, jolloin se on $180^\circ - \theta$, eli pienellä kostutuskulmalla tapahtuu kostutusta ja suurella ei. /2 s.140; 12 s.33/



Kuva 10 . Metallipisara hiekan päällä. Ylemmässä kuvassa suuri kostutuskulma, alemmassa pieni./12 s. 33/

Metallin alhainen pintajännitys voi aiheuttaa pintavirheitä. Normaalisti terässulan pintajännitys on suuri, mistä johtuen sula ei kostuta hiekkaa, eikä metallia tunkeudu

Kone- ja tuotantotekniikka, tuotekehitys

hiekkarakeiden väliin. Seosaineista pintajännitystä alentavat C, P, S sekä kohentavat Al, Cr ja O. Tunkeumavirheiden syntyyn näillä seosaineilla ei kuitenkaan ole nähty olevan merkitystä, vaan suurempi vaikutus on pintajännityksen muuttumisella muotin pinnalle syntyneiden reaktiotuotteiden vaikutuksesta, jolloin metalli alkaa kostuttaa hiekkaa. MLS:llä furaanihartsisideaineen kovetteena käytettävän paratolueenisulfonihapon (PTS) hajoamisessa muodostuvan rikin vaikutusta kostutukseen tulisi tutkia. Aikaisemmin MLS:ssä on havaittu ongelmia (pintavirheitä) rikin rikastuessa hiekkaan haposta. Ongelma oli tällöin ratkaistu fosforihapolla, mutta tämän käytöstä taas seuraa ajan kuluessa fosforihapon rikastuminen hiekkaan ja ongelmien ilmaantuminen uudestaan. /2 s. 162; 7. s.51; 8/

Kvartsihiekkareagoi helposti happipitoisen teräksen kanssa. Tällöin tapahtuu kuvan 11 mukainen ilmiö. Teräspisara muotin pinnassa on suhteellisen pyöreä, eikä se juuri kosketa alustaansa. Kuitenkin teräspisaran ja kvartsin välille muodostuu alhaisessa lämpötilassa (1205 °C) jähmettyvä tumma väliaine, rautaoksidin (FeO) ja kvartsin (SiO_2) reaktiotulos rautasilikaatti (fayaliitti) (Fe_2SiO_4), joka kostuttaa muottia voimakkaasti. Tämän reaktion seurauksena kvartsihiekkareagoi sintraantuu voimakkaasti kappaleen pintaan. /12 s.18, 33; 10 s.112/



Kuva 11. Teräspisara kvartsihiekan päällä. Tummaa fayaliittia pisaran ja hiekan välissä. /12 s. 33/

Kromiittihiekan saavuttaessa 1250 °C:n lämpötilan hiekassa oleva rauta pelkistyy Fe :ksi. Tämä rauta kulkeutuu pisaroiksi hiekkarakeiden pinnalle. Rakeiden pinnalla pisarat liittyvät yhteen. Hapettavassa olosuhteessa rauta hapettuu FeO :ksi, ja muodostuu vaikeasti irrotettava pureutuma. Teräs kostuttaa helpommin kromiittia,

Kone- ja tuotantotekniikka, tuotekehitys

joka on raudan päällystämä. FeO voi reagoida myös kromiittihiekassa olevan jäännöskvartsin kanssa muodostaen fayaliittia. /14 s.6,12; 10 s.112/

Rauta Fe ei reagoi suoraan kvartsin kanssa, vaan sen on täytynyt hapettua rautaoksidiksi. Tästä syystä fayaliitin muodostuminen voidaan estää jos muottiin saadaan muodostumaan pelkistävä kaasukehä. Tämä voidaan saada aikaan hiililisäaineella muotissa tai peitosteessa./15; 10 s.112/

Teräksen, peitosteen ja kaavaushiekan pH:iden tulee olla keskenään sopivat. Alkuaineiden oksidit voidaan jakaa kemiallisissa reaktioissa käyttäytymisen mukaan happamiin, neutraaleihin ja emäksisiin. Useimmat metallioksidit ovat emäksisiä. Happamen ja emäksisen oksidin ollessa kosketuksissa korkeassa lämpötilassa muodostuu oksideja, joiden sulamispiste on matalampi kuin näiden oksidien. Esimerkiksi magnesiittipeitosteen (MgO tulenkestävä aine) ja kvartsihiekan (SiO_2) välillä voi tapahtua kaavan (3) reaktio korkeassa lämpötilassa /21/.



Jos happamen ja emäksisen vyöhykkeen on oltava vierekkäin, tulisi välissä olla neutraali eristyskerros, esim. hiilipeitoste happamen kvartsin ja emäksisen teräksen välillä. Neutraaleilla oksideilla on kuitenkin kaksoisluonne, sillä ne voivat käyttäytyä vahvasti happamien oksidien suhteen emäksisesti ja emäksisten oksidien suhteen happamesti. Tulenkestävien aineiden ryhmittely taulukossa 2. /2 s.90/

Taulukko 2. Tulenkestävien aineiden ryhmittely kemiallisen reagoinnin mukaan. /2 s.90-97/

Hapan	Neutraali	Emäksinen
Kvartsi	Kromiitti	Magnesiitti
Zirkoni	Hiili	Oliiviini
Alumiinioksidi (korundi)	Sulatettu alumiini- oksidi	CaO

Mangaanipitoisen teräksen (kulutusosat) korkea Mn-pitoisuus voi kvartsihiekan kanssa tekemisissä ollessaan aiheuttaa matalassa lämpötilassa sulavien MnO/SiO_2 -silikaattien muodostumista. Mangaaniteräs voi myös pelkistää SiO_2 :a, kun teräksen Mn/Si-suhde on korkea, ja Si-pitoisuus alhainen. / 17 s.5/

Joskus kromiittihiekassa mineraaleina olevat magnesiumsilikaatti $3MgO \cdot 2SiO_2$ ja alumiinisilikaatti $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ alentavat hiekan tulenkestoa. /18 s.2/

Erään lähteen mukaan mangaanin höyrystyminen mangaaniteräsvaluja tehtäessä on ongelma. Tämän teorian mukaan mangaani höyrystyy teräksestä muottiin muodostaen mangaanisilikaatteja, ja mangaanin määrä kappaleen pinnassa vähenee jopa 8 mm:iin asti. MLS:ssä tämän ei ole kuitenkaan katsottu olevan käytännössä ongelma. /10 s.113/

Korkeassa lämpötilassa tapahtuvat kemialliset reaktiot hidastuvat lämpötilan laskiessa, ja jossakin tietyssä lämpötilassa pysähtyvät kokonaan. Tämä lämpötila on alin reaktiolämpötila, joka on kullekin kemialliselle reaktiolle ja materiaalille ominainen. Kemiallista rasiutusta voidaan hidastaa ja estää termodynaamisesti stabiileilla materiaaleilla tai alentamalla reaktioalueen lämpötiloja. /23 s.12/

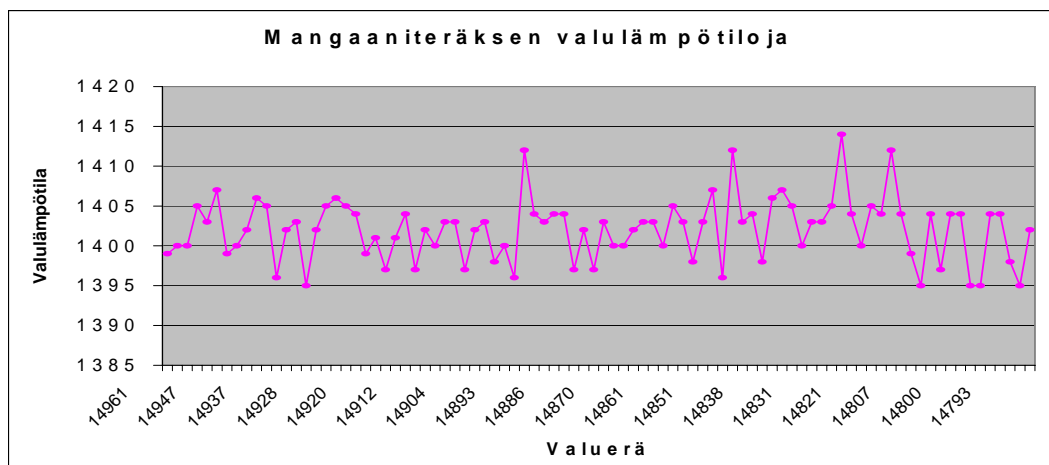
7 VALULÄMPÖTILAT

Valulämpötila ei saa olla liian korkea, sillä tällöin termiset rasitukset kasvavat suuriksi. Lisäksi sulan suuri juoksevuus voi kasvattaa mekaanisia rasituksia. Liian korkea lämpötila voi myös aiheuttaa teräksessä liiallista rakeenkasvua, mikä vaikuttaa kappaleen lujuusominaisuuksiin. Liian alhaisella valulämpötilalla taas on riski kylmäjuoksujen muodostumiseen ja sulan jähmettymiseen senkkaan. Lisäksi matalammalla lämpötilalla valuajan piteneminen voi lisätä rasitusten kestoaikaa. /22 s.21/

Sulasta mitataan ja kirjataan ylös lämpötilat kaadettaessa sula uunista valusenkkään ja lähdeettäessä langansyöttöasemalta valualueelle. Valuseoksille on määritetty tavoitellut valulämpötilat, ja sulaa jäähdytetään langansyöttöasemalla tarpeen mukaan. Kelaimissa käytettävän Drumlokin tavoiteltu valulämpötila on 1440 °C ja kulutusosissa käytettävän mangaaniteräksen 1400 °C. /8/

Kuvassa 12 on mangaaniteräksen valulämpötilojen vaihtelua vuoden 2007 alkupuolella. Valulämpötiloissa ei ole suuria vaihteluja, eikä tämänsuuruisilla vaihteluilla näyttänyt olevan vaikutusta kiinnipureutumiin.

Kelaimia valetaan harvemmin, eikä valulämpötiloja ollut saatavilla kovin monesta erästä, mutta mitatut valulämpötilat eivät vaihdelleet montaa astetta.



Kuva 12. Mangaaniteräsvalujen valulämpötilan muutoksia alkuvuonna 2007.

8 PEITOSTEET

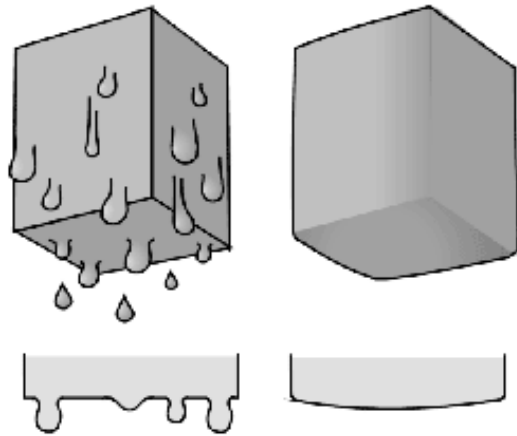
Peitosteet ovat muotin ja keernan pinnan viimeistelyaineita, joiden tarkoitus on hiekan huokosia täyttämällä muodostaa sileä, metallia läpäisemätön kalvo hiekan ja sulan rajapintaan. Peitostamisella pyritään parantamaan kappaleen pinnan tasaisuutta sekä estämään metallin tunkeutuminen hiekkaan, hiekan kiinnipalaminen valukappaleen pintaan sekä haitalliset kemialliset reaktiot (esim. fayaloituminen). Peitosteella voidaan myös vähentää eroosiota, kaasuvirheitä, kuoriutumia ja halkeamapurseita.

Metallin tunkeutuminen hiekkaan voidaan estää peitostamisella, koska peitoste tunkeutuu rakeiden väleihin pienentäen huokossädettä ja kasvattaen näin kriittistä painetta. Peitoste voi myös vähentää metallin ja muotin välistä kostutusta. Usein peitosteen tulenkestävyys on parempi kuin muotin, esimerkiksi käytettäessä kvartsihiekan pinnassa alumiinioksidia tai hiiltä.

Oikein tehty peitostus muodostaa suojan sulan metallin ja hiekan väliin vähentäen valuvikoja, mutta väärin valittu peitoste tai huolimattomasti tehty peitostus aiheuttaa valuvikoja. Peitosteella ei voida korvata kuitenkaan hiekan huonoa laatua tai muotin huonoa sullontaa. /2; 8; 9; 13 s. 8-10/

8.1 Peitosteen koostumus

Peitosteet toimitetaan valimolle yleensä tahnana tai sakeana pastana. Tahnassa väliainetta ei ole ollenkaan, ja slurryssakin sitä on vain vähän. Molempia ohennetaan ennen käyttöä. Peitosteita on sekoitettava sakkautumisen estämiseksi. Riittämättömästä sekoittamisesta seuraa peitosteen kiinteiden aineiden laskeutuminen astian pohjalle, jolloin homogeenisuus ja viskositeetti muuttuvat. Liian rajusti sekoitettaessa peitosteeseen joutuu ilmaa ja muodostuu vaahtoa, mistä seuraa huokoinen peitostekerros. Peitosteen tulisi olla hyvin tiksotrooppista (pieni viskositeetti liikkeessä, suuri paikoillaan ollessaan), jotta se on helposti levitettävissä eikä muotin pintaan synny valumisjälkiä, ks. kuva 13./9/



Kuva 13. Vasemmassa kappaleessa on peitostettaessa muodostunut tippoja kappaleen pintaan. Oikealla peitoste on hyvin tiksotrooppinen, ja pinnasta on muodostunut sileä /9/.

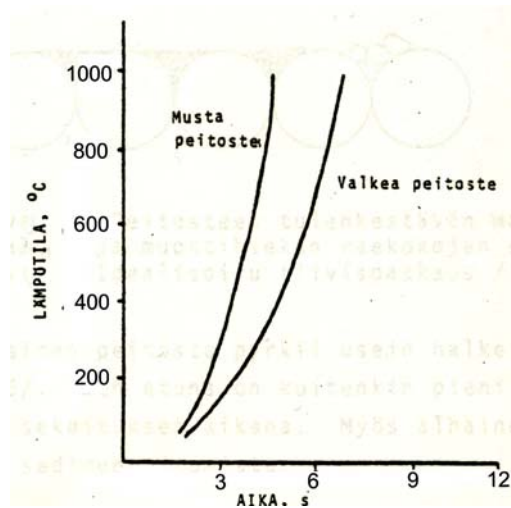
Yleensä peitosteet koostuvat tulenkestävästä materiaalista, nestemäisestä väliaineesta, sakkautumista estävästä aineesta ja sideaineesta.

8.1.1 Tulenkestävä materiaali

Tulenkestävä materiaali on peitosteen tärkein osa. Muut osat auttavat tulenkestävää materiaalia toimimaan halutulla tavalla.

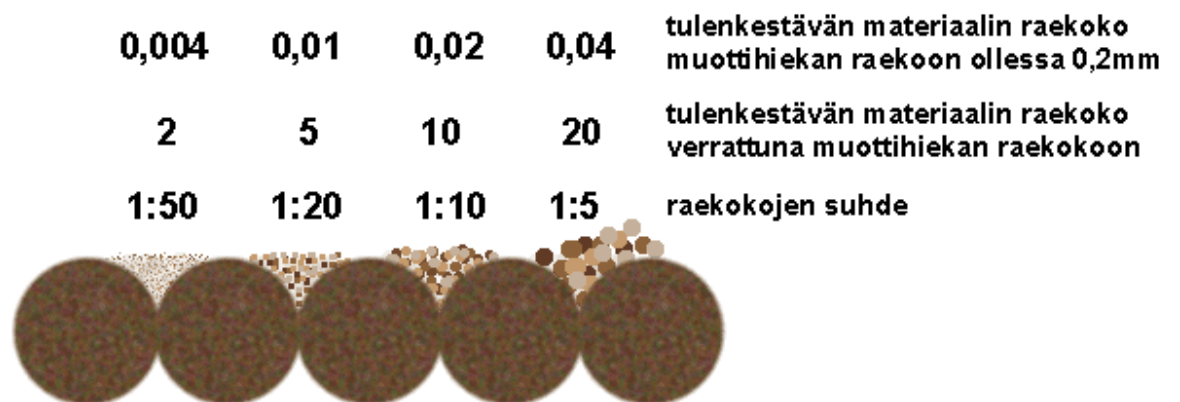
Valulämpötilan ylittäessä peitosteen sintraantumislämpötilan peitostekerrokset pääsevät liikkumaan, ja metalli tunkeutuu muottiin peitostekerroksen läpi.

Tulenkestävän materiaalin liian suuri lämmön absorptio ja lämmönjohtavuus taas voivat aiheuttaa hiekan liiallista kuumentumista. Tästä johtuen vaaleat peitosteet ovat tummia parempia, ks. kuva 14.



Kuva 14. Peitosteen värin vaikutus muotin kuumenemiseen. /13 s.11/

Tulenkestävän aineen hiukkaskoon tulee olla riittävän pieni, jotta peitoste täyttää hiekkarakeiden väliset kolot ja näin estää metallin tunkeutumisen hiekkarakeiden väliin. Jos hiekka muodostaisi tiivispakkauksen (kuva15), sopiva hiukkaskoko olisi 2...5 % hiekan raekoosta. Käytännössä hiekka ei pakkaudu näin hyvin, ja hiukkaskoon tulee olla hieman karkeampaa. Peitosteen hiukkaskoko ei saa kuitenkaan olla liian hieno, sillä tällöin hiukkaset voivat tunkeutua liian syvälle hiekkarakeiden väliin jättäen pinnan ilman suojaa ja kosketuksiin sulan kanssa. /2 s.413; 9; 13 s.12/



Kuva 15. Peitosteen tulenkestävän materiaalin hiukkaskoon ja hiekan raekoon suhteita.

Kone- ja tuotantotekniikka, tuotekehitys

Peitosteissa käytetään monia erilaisia tulenkestäviä materiaaleja, käyttötarkoituksen mukaan. Peitosteen tulenkestävä aines voi koostua yhdestä tai useammasta tulenkestävästä materiaalista. Taulukossa (3) on näiden materiaalien ominaisuuksia.

Grafiitin etuna on hyvä tulenkestävyys ja voimakas sulan metallin ja kuonan hylkimisominaisuus sekä pieni rikkipitoisuus. Lisäksi hiilipohjaiset peitosteet muodostavat pelkistävän ilmakehän muotissa ja näin estävät raudan hapettumisen. Haittana taas on suuri lämmönjohtavuus ja lämmön absorbointi, mikä vaikeuttaa sen käyttöä raskaissa valuissa. Teräsvaluissa valun pinta voi hiilettyä. /13 s.15; 2 s.413-415/

Zirkoni on yksi yleisimmin käytetyistä peitosteiden tulenkestävistä aineista. Sen reaktiivisuus ja kostutus sulan metallin kanssa on yleensä alhainen, tulenkestävyys on hyvä, se estää penetraatiota ja eroosiota hyvin. Lisäksi zirkonipeitoste on väriltään vaaleaa. Toisaalta mangaaniteräsvaluissa zirkonipeitosteilla on havaittu peitosteen aiheuttamia muotti/metalli-rajapintareaktioita. Suuren tiheyden vuoksi zirkonipeitoste sakkautuu voimakkaasti, mikä vaikeuttaa sen pitämistä tasalaatuisena. /13 s.15; 9; 2 s.415/

Taulukko (3) Peitosteissa käytettävien tulenkestävien materiaalien ominaisuuksia. /2
s.414; 13 s.13/

Tulenkestävä aine	Koostumus	Tiheys (g/cm ³)	Sulamispiste (°C)
<u>Hiilipohjaiset aineet:</u>			
Koksijauhe	C 86-92%	1,6-1,8	-
Grafiitti	C 90-99%	2,1-2,3	>3000
<u>Oksidi- ja silikaattipohjaiset:</u>			
Kvartsi	SiO ₂	2,65	1700
Zirkoni	ZrSiO ₄	4,0-4,8	2400-2500
Talkki	Mg ₃ Si ₂ O ₇ (OH) ₂	2,7	800-1350
Oliviini	Mg ₂ SiO ₄ * Fe ₂ SiO ₄	3,2-3,3	1750
Kromiitti	FeO * Cr ₂ O ₃	4,8	2180
Alumiinioksidi	Al ₂ O ₃	3,5-3,7	2050
Alumiinisilikaatti	Al ₂ O ₃ * SiO ₂	2,6-3,0	1600-1700
Poltettu magnesiitti	MgO	3,5-3,7	2800

Oliviinipeitosteita käytetään harvoin, mutta niillä on saatu hyviä tuloksia mm. mangaaniterästä valettaessa.

Kromiittikin on harvinainen aine peitosteissa. Sillä on hyvä tulenkestävyys ja vähäinen kostutus teräksen suhteen. Kromiittipeitoste soveltuu samankaltaisille teräksille kuin

oliviinipeitoste. Kromiitti-peitosteet ovat tummia väriltään, ne ovat huonosti sekoitettavia ja voivat aiheuttaa puhallusvirheitä. /13 s.16; 2 s.415/

Poltettu magnesiitti sopii emäksisyytensä johdosta erityisesti mangaaniteräsvaluun peitosteeksi. Tällöin väliaineena on käytettävä alkoholia. /2 s.415/

8.1.2 Nestemäinen väliaine

Nestemäisen väliaineen tehtävänä on toimia peitosteen muiden komponenttien kuljetusvälineenä muotin pintaan. Lisäksi nesteeseen voidaan lisätä sideaineet peitosteen kiinnittämiseksi. Väliaineena voi olla joko vettä tai alkoholia (vesi ja alkoholipeitoste), joihin peitosteen muut komponentit joko sekoittuvat tasaiseksi suspensioksi tai liukenevat. Väliaineen valintaan vaikuttavat muotin sideaineet ja muotin kuivaukseen liittyvät tuotantotekniset syyt. Nestemäinen väliaine tulee kuivata pois ennen valua./11 s.132; 13 s.17/

Vesipeitosteiden käytössä muotin hidas kuivuminen on ongelmallista. Tästä syystä kuivaukseen käytetään uuneja, infrapunasäteilijöitä ja puhaltimia. Suurilla kappaleilla tästä aiheutuu ongelmia. Vesipeitoste voi heikentää muottihiekan kemiallisia sidoksia. /3 s.228; 13 s.17; 2 s.415/

Alkoholipeitoste kuivataan polttamalla. Alkoholipeitosteissa suosituin väliaine on isopropyylialkoholi eli isopropanoli, joka palaa hitaasti ja suhteellisen alhaisella lämpötilalla. Myös etanoli on käyttökelpoinen väliaine. Metanoli taas palaa yleensä liian nopeasti ja on lisäksi myrkyllinen.

Alkoholipeitosteen kuivauksessa lämpötila ei saa nousta liian korkeaksi, muutoin on vaarana orgaanisilla sideaineilla (hartsisideaineet) sidottujen muottien haurastuminen varsinkin särmä- ja kulmakohdista. /13 s.17-18; 2 s.415/

Jos alkoholi tunkeutuu liian syväälle hiekkaan, se voi jäädä poltossa syntyvän tiiviin peitostekerroksen alle haihtuen vasta valussa. Käytettäessä hartsisideaineita hiekan on

annettava kovettua täysin ennen alkoholipeitostetta, koska alkoholi heikentää kovettumattomia hartsisidoksia. /13 s.18/

8.1.3 Sakkautumista estävä aine

Tulenkestävän materiaalin ja nestemäisen väliaineen tiheyseron takia tulenkestävä materiaali pyrkii peitosteissa laskeutumaan alas eli sakkautumaan. Liuoksen suspension ylläpitämiseksi peitosteeseen lisätään sakkautumista estäviä aineita.

Vesipeitosteissa sakkautumista estävänä aineena käytetään yleensä bentoniittia. Tällöin peitosteelle saadaan hyvät tiksotrooppiset ominaisuudet. Bentoniitti toimii samalla sideaineena. Huonona puolena bentoniitilla on halkeiluerkkyys ja taipumus kerääntyä aaltomaisiksi keräytymiksi muotin pinnalle.

Alkoholipeitosteissa sakkautumista estävinä aineina käytetään yleensä bentoneja. Ne on valmistettu bentoniitista korvaamalla montmorilloniittikerrosten välillä olevat metalli-ionit orgaanisella aineksella. Näin materiaali on saatu alkoholissa paisuvaksi. Huonona puolena on halkeilutaipumus. /2 s.415; 13 s. 19-21/

8.1.4 Sideaine

Peitosteen sideaineen tehtävänä on sitoa tulenkestävät hiukkaset toisiinsa ja hiekan pintaan. Sideaineen tarve kasvaa tulenkestävän aineen hiukkaskoon pienentyessä. Liian suurista sideainepitoisuuksista aiheutuu peitostekerroksen halkeilua sekä hartsisideaineita käytettäessä kaasuhuokosia. Sideaineen ja tulenkestävän materiaalin välinen sitomiskyky on kullekin aineparille ominainen. Lisäksi käytettävä väliaine vaikuttaa valintaan. /2 s.416; 13 s.21/

8.2 Hyvän peitosteen ominaisuudet

Hyvälle peitosteelle asetetaan seuraavia vaatimuksia: /2; 3/

1. Peitoste ei saa reagoida valumetallin kanssa.
2. Tulenkestävyyden on oltava riittävä.
3. Peitosteen on oltava hyvin ja helposti levitettävissä.
4. Peitosteella on oltava hyvä tartuntakyky alustaan.
5. Peitoste ei saa kuivumisen jälkeen kuplia tai hilseillä.

9 PEITOSTUSMENETELMÄT

9.1 Yleistä peitostusmenetelmistä

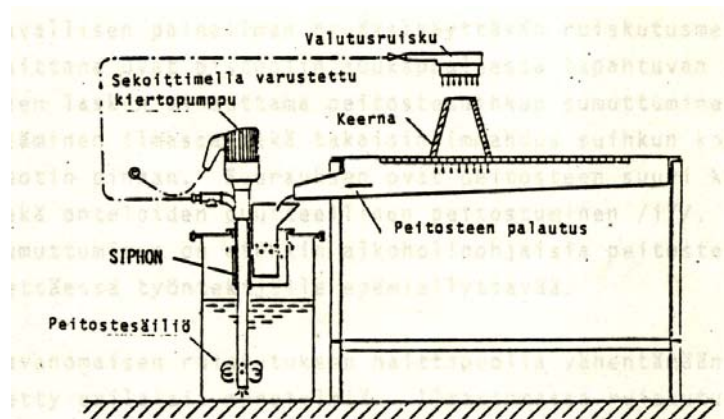
Peitosteet levitetään muotin pinnalle yleensä upottamalla, valuttamalla, ruiskuttamalla tai sivelemällä. Peitostusmenetelmän ratkaisee ennen kaikkea muottien ja keernojen koko sekä sarjasuuruus. /13 s.25/

Upotus on nopein peitostustapa, mutta se soveltuu vain keernojen peitostukseen.

Upotuksessa syntyvä hydrostaattinen paine helpottaa peitosteen tunkeutumista hiekkaan. Keernassa oleviin syvennyksiin voi syntyä peitostekerroksen muodostumista estäviä ilmataskuja, ja toisaalta syvennyksiin voi jäädä valutuksen jälkeenkin liikaa peitostetta. Upottamisessa yleensä myös keernakannat peitostuvat, mikä vaikeuttaa kaasujen poistumista keernasta muottihiekkaan. /13 s.26/

Valuttamalla peitostettaessa peitoste pumpataan sekoittimella varustetulla kiertopumpulla valutusruiskulle. Ruiskulla valutetaan keräysaltaan päällä olevan muotin/keernan päälle peitostetta. Ylimääräinen peitoste palautuu peitostesäiliöön, ks. kuva 16. Valutus sopii hyvin suhteellisen suurten muottien peitostamiseen. Peitosteen tulee olla juoksevaa valutuksen ajan, jotta peitostekerroksesta ei tule porrasmaista. Liian juokseva peitoste taas muodostaa liian ohuen peitostekerroksen. Peitosteen tullessa liian kovalla paineella ruiskusta juokseva peitostevirta "pese" jähmettymässä olevaa kerrosta pois, ja kerroksen paksuus vaihtelee. Tästä syystä virran tulisi olla

rauhallinen ja silti riittävä tilavuusvirraltaan. Tähän voidaan vaikuttaa ruiskun suuttimen muodolla. /13 s.27-28; 8/



Kuva 16. Valuttamalla peitostamiseen käytettävän laitteiston periaate. /13 s.27/

Ruiskuttamalla voidaan peitostaa nopeasti laajoja pintoja. Peitostekerroksen tasaisuuteen ja paksuuteen vaikuttaa suuresti työntekijän ammattitaito.

Ruiskutuspuistoolin suukappale täytyy valita tulenkestävän aineen raekoon mukaan tukkeutumien välttämiseksi. Paineilmaa käytettäessä peitostesuihku sumuttuu ja leviää ilmassa ilmanpaineen laskiessa puistoolin suukappaleessa. Lisäksi peitostesuihku voi kimmahda pois päin kohdatessaan hiekan pinnan. Näistä syistä peitosteamina kuluu paljon, ontelot peitostuvat heikosti ja muodostuu epämiellyttäviä peitostesumuja. /13 s.28/

Peitosteen levittäminen sivelemällä vaatii suorittajaltaan ammattitaitoa. Lisäksi peitosteen tiksotrooppisuuden tulee olla sellainen, että pensselin jäljet ehtivät tasoittua ennen jähmettymistä. Siveilyä ei voida käyttää suurille kappaleille menetelmän hitauden vuoksi. /13 s.26-27/

9.2 MLS:ssä käytettävät peitostusmenetelmät

MLS:ssä peitostus suoritetaan yleisimmin valuttamalla, ks. kuva 17. Joitakin muotteja peitostetaan ruiskuttamalla muotin kääntelyn välttämiseksi. Myös siveltimellä tasataan paksuja peitostekerroksia ja levitetään erilaisia peitosteita, joita ei ole valutuslaitteistoissa.



Kuva 17. Peitosteen valutus kulutusosamuotin pintaan.

10 KOKEELLINEN OSA

Kokeellisessa osassa testattiin käytännössä teorian tutkimisessa syntyneitä ehdotuksia pinnanlaadun parantamiseksi. Tuloksien vertailua tehtiin saman valuerän muihin kappaleisiin, aikaisempiin kappaleisiin, ja joissakin kokeissa saman valukappaleen eri osien välillä.

10.1 Lämmön poistaminen hiekasta ongelma-alueilta

Manganiteräsleukojen ongelma-alueet ovat leuan hampaiden välissä, erityisesti syöttökuvun alla. Näissä paikoissa muotin uloin osa on pitkään kuumaa metallin ympäröimänä. Lisäksi lämpö johtuu muotissa huonosti pois, koska hampaiden urien

pohjan pinta-ala on pieni. Lämmön poistamisella hiekasta voidaan vaikuttaa hiekassa tapahtuviin kemiallisiin reaktioihin ja mahdollisesti höyryn tai sulan kulkeutumiseen.

10.1.1 Ratkaisu 1: Lämmön sitominen

Muottiin laitetaan harjateräs, joka sitoo lämpöä.

Ominaislämpökapasiteetti c kuvaa, miten paljon materiaaliin sitoutuu lämpöenergiaa lämpötilaeroa ja massaa kohden. Teräksen ja kromiittihiekan ominaislämpökapasiteetissa ei ole suuria eroja.

Kappaleen kykyä varastoida lämpöä kuvataan lämpökapasiteetilla C .

Vaikka lämpökapasiteeteissa ei ole suuria eroja, harjateräksen parempi lämmönsitominen tilavuutta kohden johtuu hiekkaa suuremmasta tiheydestä.

$$C = c * m \text{ /5 s.381-382/}$$

Tulos

Hiekka, ja sen mukana harjateräkset, olivat pureutuneet uriin kiinni, ks. kuva 18. Tästä pääteltiin, että lämmön sitominen ei ole hyvä menetelmä.



Kuva 18. Kiinnipureutunut hiekka ja harjateräkset

10.1.2 Ratkaisu 2: Lämmön johtaminen pois ongelma-alueilta

1. koe Muottiin laitetaan kaksi kuparilevyä johtamaan pois lämpöä, ks. kuva 19.

Kone- ja tuotantotekniikka, tuotekehitys

Materiaalin lämmönjohtokykyä kuvataan lämmönjohtavuudella, λ . Kuparin lämmönjohtavuus ($400 \frac{W}{m \cdot K}$) on paljon suurempi kuin hiekan (luokkaa $1 \frac{W}{m \cdot K}$), joten levyn tulisi siirtää lämpöä hiekkaa paremmin pois ongelma-alueelta.

Kokeessa käytettiin 460 mm x 100 mm x 5 mm kuparilevyä. /4; 6 s.479/



Kuva 19. Muotissa kahden uran kohdalla kuparilevyt

Tulos

Urissa ei ollut kiinnipureutunutta hiekkaa, ks. kuva 20. Saman valuerän kahdessa muussa vastaavanlaisessa kappaleessa (ilman jäähdytyslevyjä) oli pahoja kiinnipureutumia. Tästä pääteltiin, että lämpöä oli johtunut pois, ja koe oli onnistunut.



Kuva 20. Hiekka ei sintraantunut

2. koe: Muotissa kupari- ja teräslevy

Kupari on huomattavasti kalliimpaa kuin teräs, joten seuraavaksi muottiin laitetaan teräslevy, ja vertailun vuoksi kuparilevy, ks. kuva 21. Näin nähdään, riittääkö lämmönjohtavuudeltaan heikompi teräs ($45 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$) johtamaan lämpöä tarpeeksi pois. Kuparilevy oli samanlainen kuin edellisessä kokeessa, teräslevyn mitat olivat: $480 \text{ mm} \times 80 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$. /4./



Kuva 21. Kupari- ja teräslevy muotissa

Tulos

Sekä kupari- että teräslevyllä varustetut urat olivat auki, ks. kuva 22. Teräslevyllä varustetussa urassa oli lievästi enemmän kiinnipalanutta hiekkaa, mutta käytännössä

tällä ei ole merkitystä. Tulos oli rohkaiseva, joten päätettiin tehdä lisää kokeita teräslevyllä.



Kuva 22. Lämpöä poistettiin teräs- ja kuparilevyillä. Vasemmassa urassa oli teräslevy, oikeassa kuparilevy.

3. Koe: Molemmissa urissa teräslevy

Edellisen kokeen hyvät tulokset haluttiin varmistaa uusintakokeella, jossa molempiin uriin laitettiin teräslevyt, ks. kuva 23. Kokeessa käytettiin aikaisempaa korkeampia ja ohuempia levyjä, mitat 500 mm x 100 mm x 5 mm.



Kuva 23. Teräslevyt kahdessa urassa.

Tulos

Urissa ei ollut paljoa kiinnipalanutta hiekkaa, joten koe oli onnistunut. Toinen levy oli irronnut muotin tyhjennyksessä, toinen oli liian lähellä sulaa ja oli melko tiukasti kiinni kappaleessa, mutta irtosi kuitenkin siirrettäessä kappaletta kuljetuslavalle, ks. kuva 24.



Kuva 24. Molemmat urat auki, toinen levy kiinni kappaleessa.

4. Koe: Toisessa urassa teräslevy, toinen ilman levyä

Kokeen tarkoituksena oli vertailla saman kappaleen kahta vierekkäistä uraa, joista toisessa oli teräslevy ja toisessa ei ollut, ks. kuva 25. Kappale ja vertailtavat urat ovat samat kuin aikaisemmissa kokeissa. Teräslevy oli samanlainen kuin edellisessä kokeessa. Tällä kokeella voitiin vertailla teräslevyllä varustettua ja ilman levyä olevaa uraa mahdollisimman samankaltaisissa valuolosuhteissa.



Kuva 25. Yksi teräslevy urassa.

Tulos

Teräslevyn kohdalla hiekkaa oli sintraantunut uraan selvästi vähemmän kiinni kuin viereisessä, ilman teräslevyä olleessa urassa, ks. kuva 26. Ongelmia kokeessa oli levyn sijoittamisessa hiekkaan. Uran pohja oli levyn pituussuunnassa kaareva, joten riittävää hiekkakerroksen paksuutta levyn alla ei voitu kaikissa kohdissa varmistaa. Tästä johtuen levy saattoi olla muutamasta kohdasta kiinni tai todella lähellä sulaa, mikä taas vaikeutti levyn irrotusta hiekasta.



Kuva 26. Yhdellä lattaraudalla varustetulla muotilla valettu kappale. Rauta taittunut muotin tyhjennyksessä.

Jäähdyttävien levyjen käyttö auttaa poistamaan lämpöä, ja hiekan kiinnipureutumia on vähemmän kuin ilman levyjä. Levyjen käyttöä ei tulisi kuitenkaan ajatella lopullisena ratkaisuna, koska ongelmakohtia on useassa mallissa ja monissa kohdissa. Levyjen asennusta hiekkaan tulisi helpottaa mahdollisilla ohjureilla mallissa, jolloin levyn paikka ei vaihtelisi eikä olisi pelkoa levyn sulamisesta kiinni kappaleeseen.

10.2 Hiekan laadun testaaminen

Teoriassa kromiittihiekan tulisi olla sopivaa teräsvaluihin (myös mangaaniteräkselle) /2. s.185/. Kuitenkin sintraantumisongelmat ja aikaisemmat sintraantumistestit osoittivat, että käytettävän kromiittihiekan tulenkesto oli liian alhainen.

10.2.1 Hiekan sintraantuminen

Koe

Kromiittihiekan sintraantumiskoe teetettiin Valimoinstituutissa. Kokeesta saadaan selville lämpötilan suuruusluokka, jossa hiekka alkaa sintraantua. Tarkoituksena oli saada selville eri raekokojen ja -laatuojen mahdollisesti erilainen tulenkesto. Kokeessa käytettävä hiekka jaettiin kolmeen osaan.

1. Tehtaalle toimitettava hiekka sellaisenaan.
2. Magneetilla eroteltu hiekka. Sivukivi, joka heikentää hiekan tulenkestävyyttä, ei ole magneettista, joten se saatiin erotettua pois sintrattavasta hiekasta.
3. Seula-analyysin kahden alimman seulan ja pohjan hiekat. Hiekalle tehtiin seula-analyysi, ja pohjan sekä kahden alimman seulan hiekat yhdistettiin sintraantumistestiin. Hiekka seulottiin 29:stä valimolle toimitetusta hiekkaerästä saaduista näytepusseista.

Lisäksi sintrauskokeessa oli mukana kvartsi-kromiittihiekkaseos (50 %- 50 %).

Hiekat laitettiin alumiinioksidisiin uunitusastioihin. Sintraantumislämpötilasta tehtiin arvaus, jonka perusteella ensimmäiseksi lämpötilaksi valittiin 1000 °C. Tästä saatujen tulosten perusteella valittiin seuraavat lämpötilat.

Tulos

Kromiittihiekan sintrauksessa eri osien välillä ei havaittu suuria eroja, vaan hiekat alkoivat sintraantua n. 900 - 1000 °C:ssa. Tästä johtuen syytä huonoon kuumuudenkestoon ei löydetty. Näin alhainen sintraantumislämpötila on huono lähtökohta valamiselle, sillä peitosteelle asetetaan suuret vaatimukset (jopa liiat suuret).

Kvartsi-kromiittihiekka kesti yllättäen jopa 1350 °C:n lämpötilan sintraantumatta.

10.2.2 Sintraantuneen hiekan analyysi

Mangaaniteräksen valussa sintraantunutta kromiittihiekkaa lähetettiin Tampereen teknilliselle yliopistolle tarkasteltavaksi. Tarkoituksena oli, että hiekkaa katsottaisiin pyyhkäisy-elektronimikroskoopilla (SEM), jolloin nähtäisiin hiekkarakeiden välille muodostuneet sidokset. Alkuaineanalyysointorin avulla nähdään näiden faasien koostumukset. Tästä voitaisiin päätellä johtuuko sintraantuminen valuteräksen kulkeutumisesta hiekkaan vai ovatko sidokset hiekassa olevista aineista muodostuneita.

Tulos

Raportti SEM-tarkastelusta, ks. liite 1. Hiekkarakeiden välinen faasi, joka on raportissa selitetty sulaksi, ei koostumukseltaan ole lähelläkään käytetyn sulan analyysia. Mittaus oli suoritettu muutamasta eri kohdasta, ja raporttiin valittu tulos oli samansuuntainen muiden kanssa; vaihtelu määrissä oli vain n. yhden prosenttiyksikön luokkaa. Tästä johtuen analyysin tulosta voidaan pitää luotettavana.

Faasin koostumus ei ole kromiittihiekkaan koostumusta lähellä, joten hiekan sulaminenkaan ei vaikuta todennäköiseltä. Selitystä faasin koostumukselle ei kuitenkaan päättötyön aikana saatu, ja selvitystä jatketaan uusilla SEM-tarkasteluilla.

10.3 Hiilen käyttäminen peitostamisessa

Grafiitin lisäyksellä peitostepintaan halutaan estää kappaleessa 6.3 esitetty fayaliitin muodostuminen kromiittihiekassa. Hiilen on tarkoitus muodostaa pelkistävä kaasukehä hiekkaan ja estää raudan hapettuminen.

1. koe Alumiinisilikaatti-grafiitti-peitosteen käyttö magnesiitti-peitosteen alla.

Kokeessa käytettiin Hüttenes-Albertus GmbH:n Koalid 2290 LS alkoholipohjaista peitostetta. Siinä on tärkeimpinä tulenkestävinä aineina erilaisia alumiinisilikaatteja, mutta myös grafiittia. Peitostetta levitettiin sivelemällä leuan yhteen nurkkaan, ks. kuva 27. Peitosteen annettiin kuivaa vähän aikaa haihtumalla, ilman polttamista. Tämän jälkeen muotin pintaan valutettiin magnesiitti-peitoste normaaliin tapaan, ja peitoste kuivattiin polttamalla.



Kuva 27. Alumiinisilikaatti-grafiitti-peitoste mangaaniteräsleukamuotin pinnassa.

Tulos

Kappaleessa oli kiinnipureutumia alueella, jossa oli käytetty alumiinisilikaatti-grafiittipeitostetta, ks. kuva 28. Muuten kiinnipureutumia ei ollut, joten käytetty peitoste ei soveltunut käyttöön. Kappaleessa 6.3 mainitun alumiinisilikaatin kromiitihiekan tulenkestoa alentavan vaikutuksen takia alumiinisilikaattipeitoste ei välttämättä sovellu kromiitihiekalle, joten kokeen perusteella ei voida varmuudella päätellä grafiitin vaikutusta pinnanlaatuun.



Kuva 28. Kiinnipureutunutta hiekkaa alumiinisilikaatti-grafiittipeitostetta käytettäessä.

2. koe Grafiitti-kivihiilijauheen sekoitus tavallisesti käytettävään magnesiittipeitosteeseen

Seuraavaksi kokeiltiin hiilen lisäystä leukojen kaavauksessa tavallisesti käytettävään magnesiittipeitosteeseen. Muotti peitostettiin magnesiittipeitosteella muuten normaalisti, mutta yksi nurkka peitostettiin sivelemällä magnesiitti-hiilipeitostetta, ks. kuva 29.



Kuva 29. Magnesiittipeitoste-hiili-seos alakulmassa, muuten normaali peitoste.

Tulos

Kappaleessa oli kiinnipureutumia alueella, jossa oli käytetty magnesiittipeitoste-hiili – seosta, muuten kappale oli melko hyvä. Tästä pääteltiin, että hiili ei parantanut, vaan huononsi tulenkestoa. Tämä saattoi johtua siitä, että muotissa on hiilen aiheuttama voimakas pelkistävä ilmacehä, minkä takia rauta pelkistyy tehokkaammin hiekan pintaan. Tällöin hiekan pinnassa oleva rauta muodostaa rakeiden väliset sidokset ilman hapettumista ja fayaliitin muodostumista (vrt. kappale 6.3).

3. koe Magnesiitti-hiilipeitoste kromiitti-kvartsihiekkään

Leuka kaavattiin hiekkaseokseen, jossa oli 50 % kromiittihiekkää ja 50 % kvartsihiekkää. Puolet muotista peitostettiin sivelemällä myös edellisessä kokeessa käytettyä magnesiittipeitostetta, johon oli sekoitettu grafiitti-kivihiilijauhetta. Loppuosa peitostettiin normaalilla tavalla, ks. kuva 30. Kvartsi-kromiittihiekkää haluttiin kokeilla hyvän sintraantumiskokeen tuloksen takia.



Kuva 30. Magnesiittipeitoste-hiili-seos oikeassa reunassa. Kvartsi-kromiitti - hiekka.

Tulos

Kappaleessa oli kiinnipureutumia lähes kaikissa hampaanväleissä, ks. kuva 31.

Tilannetta saattoi huonontaa happamen kvartsin ja emäksisen magnesiittipeitosteen reagoiminen.



Kuva 31. Kiinnipureutumia kvartsi-kromiittihiekkaan kaavatussa leuassa.

10.4 Peitostepinnan virheiden vaikutus pinnanlaatuun

Peitostepinnan laatuun voidaan vaikuttaa paljon huolellisuudella peitostettaessa.

Muotissa olevaan kuivattuun peitostepintaan tehtiin tarkoituksellisesti virheitä, jotta voitiin nähdä peitostepinnan virheiden vaikutus pinnanlaatuun, ks. kuva 32. Virheet

olivat kaukana sisääntulosta ja syötöstä, ja muutenkin lämpörasituksen kannalta suhteellisen helppossa paikassa, jotta muut tekijät eivät vaikuttaisi häiritsevästi kokeeseen.



Kuva 32. Peitostepintaan tehdyt virheet.

Tulos

Metallia oli tunkeutunut hiekkaan virheiden kohdissa, ja kappaleen pintaan jäi selvät virheiden muotoiset kohoumat metallia ja sintraantunutta hiekkaa, ks. kuva 33. Tästä voitiin päätellä, että peitostepinnan laadulla ja virheettömyydellä on suuri merkitys kappaleen pinnanlaatuun.



Kuva 33. Peitostepinnan virheistä aiheutuneet valun pintavirheet.

10.5 Peitostepinnan paksuuden vaikutus pinnanlaatuun

Koe 1

Leuan hammaspinta peitostetaan normaalisti valuttamalla kaksi kerrosta peitostetta. Ensimmäisen kerroksen annetaan kuivaa vähän aikaa, jotta seuraava kerros tarttuisi edellisen päälle. Kokeessa peitostetta valutettiin neljä kerrosta, jotta nähdään, estääkö paksumpi peitostekerros paremmin kiinnipureutumista. Peitoste pysyi hyvin kiinni polttamisen jälkeen eikä hilseilyt pois.

Tulos

Kappaleessa oli hieman pureutumia (ks. kuva 34), mutta vähemmän kuin kahdessa vastaavanmallisessa kappaleessa. Koe päätettiin toistaa vertailun vuoksi.



Kuva 34. Paksulla peitostepinnalla valmistettu kappale.

Koe 2

Leuan hammaspintaan (pullan alapuoli) valutettiin neljä kerrosta peitostetta. Leuan malli oli 200420, jossa on usein pahoja kiinnipureutumia. Peitoste ei halkeillut poltettaessa.

Tulos

Hampaan urat olivat hyvin auki, ainoastaan toisessa syötön alla olevassa urassa oli lievä kiinnipureutuma, kuva 35. Kokeita kuitenkin jatkettiin, sillä yhdellä kokeella vaikean mallisessa leuassa tuloksista ei voitu tehdä suuria johtopäätöksiä.



Kuva 35. Toinen paksulla peitostekerroksella tehty kappale.

10.6 Peitoste-erien tasalaatuisuuden seuranta

Käytettävän peitosteen viskositeettia seurataan mittaamalla. Kuitenkaan pelkkä viskositeetti ei kerro totuutta peitosteen laadusta tai sen vaihtelusta. Peitosteen eri komponenttien laatu voi vaihdella, mutta viskositeetti on silti oikea. Peitoste-erien käytön seuraamiseen tehtiin lomake (liite 1), josta voidaan jälkeenpäin tarkistaa erän käyttöjakso. Jos ongelmia kiinnipureutumien kanssa ilmaantuu erityisen paljon tiettyinä ajanjaksona, voidaan tarkastaa, onko tällöin käytetty yhtä peitoste-erää. Päätötyön aikana peitoste-erien vaihtumisella ei näyttänyt olevan vaikutusta laatuun. Erien seurantaa kannattaa kuitenkin jatkaa, sillä lisätyö ei ole suuri, ja käyttöajankohdan tietämisestä voi olla hyötyä jossain tilanteessa.

10.7 Kvartsihiekan käyttö kaavauksessa

Koe

Kelain kaavattiin puoliksi kromiittihiekkaan ja puoliksi kvartsihiekkaan.

Sylinteripinnan ylempi puoli oli puhdasta, uutta kvartsihiekkaa.

Kelaimessa käytettävän DRUMLOK-teräksen tavoiteltu valulämpötila (1440 °C) on seostuksen johdosta suhteellisen alhainen. Siksi lämpörasitus ei nouse kovin suureksi, joten kvartsihiekan käyttö voisi olla mahdollista. Tällä saataisiin vähennettyä kromiittihiekan käyttöä kaavauksessa. Peitostaminen tehtiin normaalisti

zirconi- ja kromiittihiikkakäyttöön. Syöttöjen ympärillä pidempikestoisten lämpörasitusten kohdat kaavattiin kromiittihiikkalla. Mahdollisten ongelmien ilmetessä peitosten koostumusta voitaisiin muuttaa.

Tulos

Kelaimen pinnassa oli sintraantunutta kvartsi- ja kromiittihiikkaa, mutta lämpökäsittelyn ja sinkopuhdistuksen jälkeen pinta oli puhdas (ks. kuva 36), joten kvartsihiikka ei ollut aiheuttanut ongelmia.



Kuva 36. Kvartsihiikkaan kaavatun kelaimen puhdasta pintaa.

Sintraantuneen kvartsihiikan mikroskooppikuvassa (kuva 37) ei näkynyt tunkeutunutta metallia, joten pinta oli kestänyt mekaanisen rasituksen. Mikroskooppikuvassa valkoisena heijastavat kohdat ovat kromiittihiikkaa, jota oli sekoittunut pieniä määriä kvartsihiikkaan syötön ympäriltä. Kokeen tulos oli hyvä, joten seuraavaksi päätettiin kokeilla koko kelaimen kaavausta kvartsihiikkaan.



Kuva 37 . Kelaimen pintaan sintraantunutta kvartsihiekkää.

11 JATKOTOIMENPITEITÄ

Seuraavassa on mahdollisia jatkossa tehtäviä toimenpiteitä ongelmien selvittämiseksi ja tuotannon vakioimiseksi.

Grafiittipeitosteen käyttöä tulisi kokeilla neutraalina kerroksena, ilman sekoitusta alumiinisilikaatteihin tai magnesiittipeitosteeseen. Mahdollisesti tämän päälle pantaisiin kemiallisesti kestävämpi peitoste.

Sullonnan vaikutusta puretumiin tulisi testata. Kulutusosien pullakaavauksessa sullonta on täryllä vakioitu, mutta kelaimia käsin sullottaessa vaihtelua voi olla enemmän.

PTS-hapon hajoamisessa syntyvän rikin vaikutusta pintajännitykseen, ja sulan käyttäytymiseen muotin pinnalla tulisi tutkia.

12 YHTEENVETO

Päättötyön tarkoituksena oli selvittää hiekan kiinnipureutumisen ja metallin hiekkaan tunkeutumisen syitä ja kokeilla käytännössä ratkaisuehdotusten toimivuutta. Työ oli haastava suuren muuttujamäärän takia. Monia muuttujia ei voitu valvoa tai mitata, joten niiden vaikutuksesta koetuloksiin (tai tuotannon ongelmiin) ei voida olla varmoja. Yhtenä esimerkkinä tästä on kaavaushiekan laadun mahdollinen vaihtelu hiekan luokitussa siilossa.

Tiedonhaussa ongelmia aiheuttivat ristiriitaiset tiedot eri lähteissä. Monia olettamuksia kerrottiin tosiasioina. Lisäksi korkean lämpötilan kemiallisista reaktioista oli vaikea löytää tietoa, joka olisi selittänyt sulan käyttäytymistä muotti-peitoste-metalli-rajapinnassa. Ongelmia aiheutti myös, ettei päättötyön aikana saatu SEM-tarkasteluista huolimatta varmasti selville pureutumien aiheutumismekanismeja. Selvittelyä kuitenkin jatketaan työn päätyttyä.

Päättötyössä toimivimmaksi keinoksi pinnanlaadun parantamiseksi saatiin lämmön johtaminen pois muotin kriittisistä kohdista. Lämpöjohtavien levyjen asennus muottiin tulisi kuitenkin tehdä helpommaksi, jos menetelmää käytetään tuotannossa.

Kromiittihiekan huonon tulenkeston syytä ei löydetty päättötyön aikana, joten syytä tulisi jatkossakin selvittää. Lisäksi hiekan tulenkeston seuraamisen tulisi olla jatkuvaa.

Peitostepinnan virheiden vaikutus pinnanlaatuun oli suuri, joten peitostettaessa tulisi olla huolellinen virheiden välttämiseksi. Peitosteen valuttamiseen käytettäviä ruiskuja tulisi kehittää niin, että käyttäjästä riippumatta peitoste valuisi rauhallisesti muotin pintaan.

Kvartsin ja kvartsi-kromiitin tulenkesto on riittävä monessa paikassa, jossa nyt joudutaan käyttämään kromiittia kemiallisen rasituksen vuoksi. Tästä syystä kemiallisesti estävän peitosteen käyttöä tulisi vielä tutkia.

LÄHTEET

- 1 Valuatlas. [www-sivu].[viitattu14.11.2006]. Saatavissa:
[http://webhotel.tut.fi/projects/valuatlas/tietomat/oppimateriaalit/
valimotekniikanperusteet/tiedostot/luennot/luento06f.html](http://webhotel.tut.fi/projects/valuatlas/tietomat/oppimateriaalit/valimotekniikanperusteet/tiedostot/luennot/luento06f.html)
- 2 Autere, Eugen - Ingman, Yrjö - Tennilä, Paavo , Valimotekniikka II. Insinööritieto Oy. 1986. 636 s.
- 3 Brown John R, Ferrous Foundryman's Handbook. Butterworth – Heinemann. Oxford, Englanti. 2000. 360 s.
- 4 Seppänen, R. – Tiihonen, S. – Kervinen, M. – Korpela, R. – Mustonen, L. – Haavisto, A. – Soininen, M. – Kiuru, V., MAOL-taulukot (8. painos). Kustannusosakeyhtiö Otava. Helsinki. 1996. 157 s.
- 5 Inkinen, Pentti – Tuohi, Jukka, Momentti 1 – Insinöörifysiikka. Kustannusosakeyhtiö Otava. Keuruu. 2002. 491 s.
- 6 Young, Hugh D, - Freedman Roger A, University Physics. Addison-Wesley Publishing Company. 2000. 1513 s.
- 7 Collan, K – Johansson, M – Katila, R – Sahari, H – Launis, P – Wiik, J-O – Lindvall, B, Valuvirhekäsikirja syyanalyysin. Suomen metalliteollisuuden keskusliitto, valimoiden toimialaryhmä. 1985.
- 8 Keskustelut Metso Lokomo Steelsin henkilökunnan kanssa syksyllä 2006 ja keväällä 2007.
- 9 Valuatlas. [www-sivu].[viitattu 4.12.2006]. Saatavissa:
[http://webhotel.tut.fi/projects/valuatlas/tietomat/
oppimateriaalit/kertamuottitekniikat/tiedostot/luennot/luento02e.html](http://webhotel.tut.fi/projects/valuatlas/tietomat/oppimateriaalit/kertamuottitekniikat/tiedostot/luennot/luento02e.html)

Kone- ja tuotantotekniikka, tuotekehitys

- 10 Campbell, John, Castings (2. painos). Butterworth – Heinemann. Oxford, Englanti. 2003. 335 s.
- 11 Svensson, Ingemar – Svensson, Ingrid, Gjuteriteknisk handbok. Gjuteriinformation I Jönköping AB. 2004. 528 s.
- 12 Keskinen, Raimo, Kaavausaineet. Hervannan ammattioppilaitos. Tampere. 1995. 123 s.
- 13 Eklund, Pentti, Peitoste (Loppuraportti). Valimoteknillinen tutkimusryhmä. Otaniemi.1982. 77 s.
- 14 Howden, J. D, Chromite Double Skin Defect on Heavy-Section Steel Casting, Artikkel. Eildon Refractories.
- 15 Valuatlas. [www-sivu]. [viitattu 4.1.2007]. Saatavissa:
<http://webhotel.tut.fi/projects/valuatlas/tietomat/oppimateriaalit/kertamuottitekniikat/tiedostot/luennot/luento02ac.html>
- 16 Valuatlas. [www-sivu].[viitattu 5.1.2007]. Saatavissa:
<http://webhotel.tut.fi/projects/valuatlas/tietomat/oppimateriaalit/valimotekniikanperusteet/tiedostot/luennot/luento05e.html>
- 17 J Kärjä, Vuorausmateriaalin vaikutus teräksen laatuun, luentomoniste. Terässulatun prosessiteknologiakoulutus. 21.1.1985. 10 s.
- 18 W.D. Scott – E.M. Thomas – L.L. Strohmayer, Quality Issues in the Selection of Chromite Sand for Steel Foundry Use, artikkeli. AFS Transactions 2003, American Foundry Society. 11 s.
- 19 Metso Lokomo Steels Oy. [www-sivu].[viitattu 26.2.2007]. Saatavissa:
<http://www.metsofoundries.com/foundries/FoundriesHome.nsf/FR?ReadForm&ATL=/foundries/MFsteel.nsf/WebWID/WTB-040504-2256E-0C846>

Kone- ja tuotantotekniikka, tuotekehitys

- 20 Metso Oy. [www-sivu]. [viitattu 26.2.2007]. Saatavissa:
http://www.metso.com/corporation/home_fin.nsf/fr?readform
- 21 Miekk-oja, H.M. – Lindroos, V. – Sultonen, M. – Veistinen, M., Uudistettu Miekk-ojan metallioppi. Teknillisten tieteiden akatemia. Kustannusosakeyhtiö Otava, Keuruu 1986. 841 s.
- 22 Nordlund H., Muottiperäisten valuvikojen eliminointi (Tutkimusraportti). Lokomo Steels. 23.5.1996.
- 23 Helelä, K., Tulenkestäviin vuorauksiin kohdistuvat rasitukset. Tiilipäivät (Tiilet korkealämpötilaprosesseissa) 17.-18.3.1986. Meka Ry.
- 24 Metso Minerals (Tampere) Oy, Intranet-sivut. [viitattu 19.3.2007]
- 25 Produktinformation Chromitsandtrennung, esite. GUT Giesserei Umwelt Technik GmbH.

LIITTEET

LIITE 1

16.2.2007

SINTRAANTUNEEN HIEKAN SEM-TARKASTELU

Metso Lokomo Steels Oy toimitti Tampereen teknillisen yliopiston Materiaaliopin laitokselle palan valuhiekkaa, joka oli sintraantunut valun yhteydessä. Sintraantuneesta hiekasta valmistettiin poikkileikkaushie, jota tarkasteltiin SEM-mikroskoopin ja siihen liitetyn EDS-alkuaineanalyysointilaitteen avulla. Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää sintraantuneen hiekan rakennetta ja eri faasien koostumuksia.

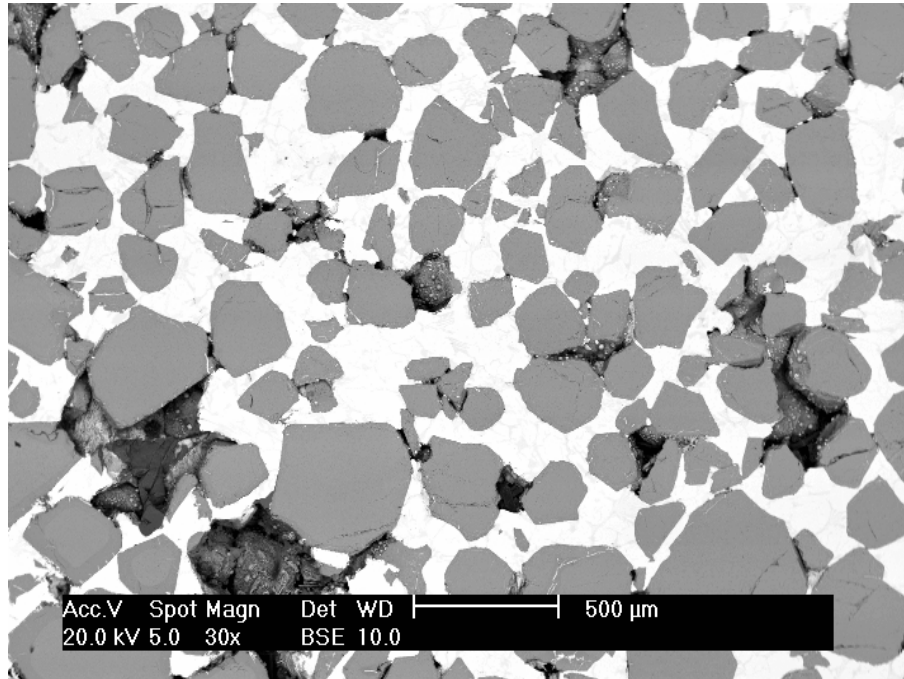
Kuvassa 1 on esitetty yleiskuvaa sintraantuneen hiekan mikrorakenteesta. Kuvassa vaaleana näkyvän, rakeiden välisen faasin koostumus on kvantitatiivisen EDS-alkuaineanalyysointilaitteen mukaan Cr 7.5%, Mn 0.5% ja Fe 92.0% (valuseos). Kuvassa tummanharmaina näkyvien partikkleiden koostumus on seuraava: Mg 9.8%, Al 13.0%, Ti 0.7%, Cr 47.1%, Mn 0.5% ja Fe 28.9% (kromimagnesiitti). Vasemmassa alakulmassa on havaittavissa tummemman harmaata faasia, jonka koostumus on 6.7% Al, 3.6% S ja Si 89.7% (vesilasi). Edellisten lisäksi havaittiin kolmaskin hiekkafaasi, jonka koostumus oli Mg 32.6%, Al 2.6%, Si 54.9%, Cr 1.5%, Mn 0.8% ja Fe 7.6% (oliviini).

Antti Hynnä

Päivi Henttu

Tekn. tri.

Tekn. Lis.



Kuva 1. SEM-kuva hiekan mikrorakenteesta.

LIITE 2

Pullan alapuolen peitostelavan vaihto

Merkitse uuden peitoste-erän tiedot taulukkoon!

	Batch No.	Date	Vaihtopvm.
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			