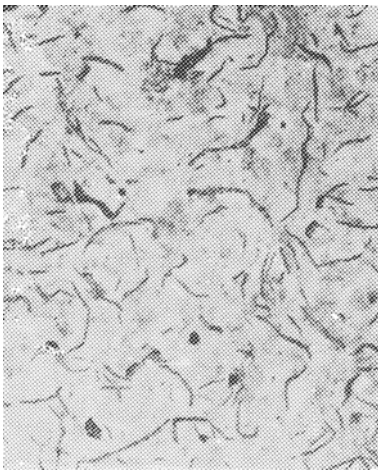


## 10. Valuraudan sulatus ja käsittely

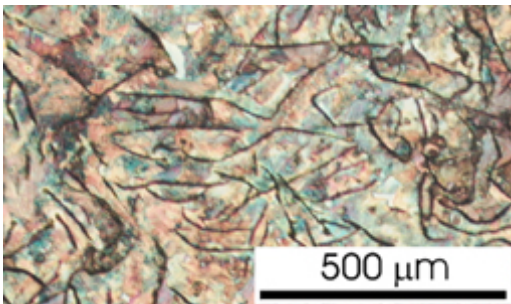
Raimo Keskinen

Pekka Niemi - Tampereen ammattiopisto



Valuraudan hiilipitoisuus on korkea, yleensä 2,4 – 3,6 % ja se on noin 10 – 15 kertainen teräksen hiilipitoisuuteen verrattuna. Jos valuraudan valmistukseen käytettävä romu sisältää niukkahiilistä terästä, niin kuin usein on, jää valmiin valuraudan hiilipitoisuus vähäiseksi, ellei sulaan lisätä hiiltä. Tätä toimenpidettä kutsutaan hiilettämiseksi.

**Kuva. Suomugrafiittivaluraudan hiilestä valtaosa esiintyy grafiittina. 100-kertainen suurennos**



Kupoliuunisulatuksessa riittävä hiilimäärä liukenee sulaan rautaan polttoaineena käytettävästä koksista, joten hiiltä ei yleensä tarvitse lisätä. Jos hiilipitoisuutta kuitenkin halutaan nostaa, saadaan se aikaan esimerkiksi käyttämällä romun ohella runsashiilistä harkkorautaa.

**Kuva. Suomugrafiittia**

Kupoliuunissa valmistetun valuraudan hiilipitoisuus voidaan likimääräisesti laskea kokemusperäisestä kaavasta:

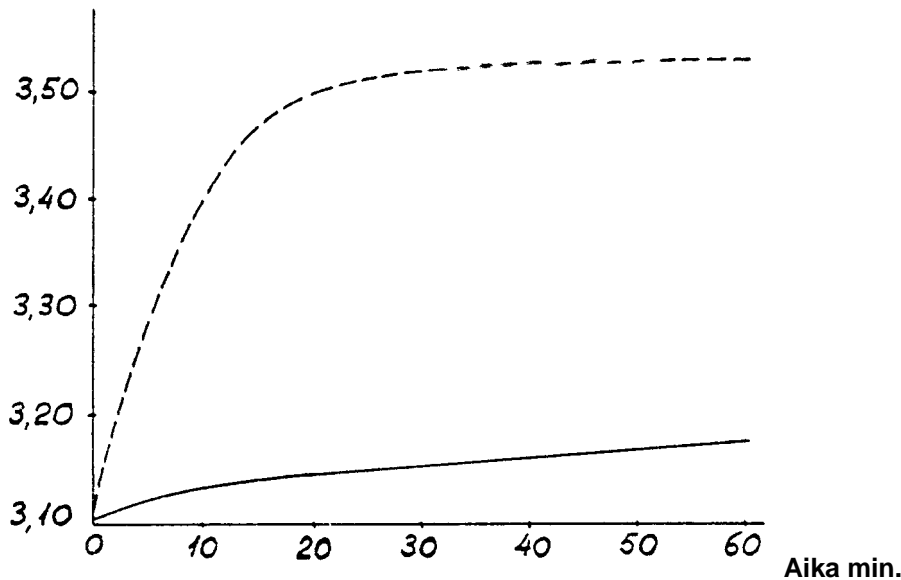
$$C \% = \frac{\text{panoksen } C \%}{5} + 2,7 \%$$

5

Kaavasta nähdään, että vaikka panostukseen käytettäisiinkin niukkahiilistä teräsromua, muodostuisi valmistetun valuraudan hiilipitoisuudeksi kuitenkin yli 2,7 %. On huomattava, että eri uuneilla ja koksilaaduilla hiilettämiskyky on hieman erilainen, joten kaavan vakiotermejä on muutettava sen mukaan.

Koska öljy- ja kaasukäyttöisistä kupoliuuneista puuttuu hiilettävä koksi, joudutaan rautaa hiilettämään esimerkiksi injektio menetelmää käyttämällä. Menetelmästä on enemmän kohdassa **Hiilipitoisuus**.

Hiilipitoisuus %



Kuva. Sulan virtauksen vaikutus hiiletysteeseen

## 10.1 Hiilipitoisuus

Induktiouuneilla valurautaa valmistettaessa käytetään panokseen runsaasti teräsromua sen halvan hinnan vuoksi. Teräsromusta valmistettua valurautaa kutsutaan synteettiseksi valuraudaksi. Hiilipitoisuus nostetaan toivotulle tasolle käyttämällä sopivia hiiletysaineita.

Hiiletysaineista grafiitti liukenee parhaiten rautaan. Se voi olla esimerkiksi valokaariuunien elektrodijätteistä murskattua 4 -5 mm:n raekokoon..

Sulan virtaus uunissa nopeuttaa hiilettymistä. Jos hiiletysaine jäisi sulan panoksen pintaan, olisi hiilettyminen lähes olematonta suuren osan hiilestä palaessa pois. Tästä syystä voimakkaan metallin virtauksen aikaansaava verkkojaksoinduktiouuni onkin valuraudan sulatukseen sopiva (vrt. luku "induktioupokasuunit" ). Edellä olevasta kaaviosta Luku 10, nähdään sulan virtauksen vaikutus hiiletysteeseen eräällä valuraudalla.

Koska valokaariuuneissa sulan sekoittaminen on puutteellista, käytetään niitä harvoin valuraudan sulatukseen. Kuumapanituuneiksi ne eivät myöskään sovellu, koska niistä pitää tyhjentää koko sulatettu metallimäärä samalla kertaa pois.

### **10.1.1 Hiiletysaineet**

Suomen valimoissa käytetään pääsääntöisesti sähkösulatusta.

Sähkösulatuksessa tyypillinen hiiletysainelisäys on 1-2 %, jotta sulan hiilipitoisuus saadaan nostettua valuraudalle tyypilliselle tasolle.

Hiiletysaineet voidaan jakaa kahteen ryhmään:

- Grafiittiset hiiletysaineet, joissa hiilellä on kiteinen olomuoto
- Ei-grafiittiset hiiletysaineet, joissa hiilellä on amorfinen olomuoto

Kaikista hiilen esiintymismuodoista on grafiitti sulaan rautaan helppoliukoisin. Liukenevuus on sitä parempi mitä pienempi on grafiitin tuhkapitoisuus.

Grafiittisilla hiiletysaineilla, joilla hiili on kiteisessä muodossa, on edullinen vaikutus sulan ydintymiskykyyn ja grafiitin morfologiaan eli muotoon sekä GJL- että GJS - raudoilla.

Ei-grafiittiset hiiletysaineet eivät vaikuta yhtä edullisesti ydintymiskykyyn Näitä ei-grafiittisia hiiletysaineita käytetään pääosin GJL:n valmistuksessa.

Oikean ja sopivan hiiletysaineen valintaan vaikuttavat

- tekniset näkökohdat
- taloudelliset näkökohdat.

#### **Tekniset näkökohdat**

- Saanto (kuinka monta prosenttia uuniin lisätystä hiilestä liukenee sulaan)
- Metallurgiset tekijät (rikki- ja typpipitoisuus, vaikutus grafiitin ydintymiseen)
- Vaikutukset työympäristöön

#### **Taloudelliset näkökohdat**

- Hiiletysaineen hinta (ostohinta + kuljetus valimoon)

### **Grafiittiset hiiletysaineet – synteettinen grafiitti**

Synteettistä grafiittia käytetään runsaasti grafiittielektrodien tuotannossa. Grafiittielektrodit valmistetaan muotissa kalsinoidun petrolikoksin ja sopivan hiilipitoisen sideaineen seoksesta, joka kuumennetaan aina 2800°C:een saakka. Korkeassa lämpötilassa petrolikoksin hiili muuttuu grafiitiksi.

Korkeassa lämpötilassa hiilestä poistuu myös rikkiä ja typpeä. Grafiittielektrodeja käytetään pääosin valokaariuunin elektrodeina teräksen valmistuksessa. Elektrodien lopullinen muoto saadaan aikaan koneistamalla. Koneistuksesta jäävä materiaali voidaan edelleen jalostaa (oikea raekoko) valimoiden hiiletysaineiksi.

### **Ei-grafiittiset hiiletysaineet - petrolikoksi**

Valimoissa käytetyn petrolikoksin raaka-aineena on ´tuore` (kosteaa) petrolikoksi, jota syntyy öljynjalostusprosessin tuotteena. Raaka-aine sisältää noin 10% vettä ja 10% haihtuvia ainesosia.

Kosteaa petrolikoksi kalsinoidaan uunissa 1100-1400°C lämpötilassa, jolloin haihtuvien ainesosien määrä alenee 0,5%:iin

Petrolikoksi jaetaan usein rikkipitoisuutensa mukaan kahteen luokkaan (low sulphur calcined ja medium sulphur calcined), joista korkeampirikkistä ja halvempaa voidaan käyttää GJL:n valmistuksessa.

### **Ei-grafiittiset hiiletysaineet - piikarbidi**

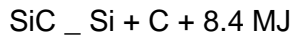
Piikarbidi (SiC) käytetään FeSi:n sijasta vaihtoehtoisena raaka-aineena sulan piipitoisuuden nostamisessa. Sisältämänsä hiilen vuoksi piikarbidi toimii myös hiiletysaineena.

Metallurginen SiC valmistetaan sähköuunissa kvartssia (SiO<sub>2</sub>) pelkistämällä. Pelkistyksessä käytetään petrolikoksia. SiC on rakeista ja rakenteeltaan kiteistä. SiC on useimmiten kooltaan < 20 mm.

Metallurginen SiC sisältää

- Si 63%
- C 30%
- S 0,02-0,04%
- N<sub>2</sub> 0,025-0,04%
- Alumiinioksidi 0,35%
- Loput lähinnä kvartssia

SiC ei sula vaan liukenee sulaan



SiC:in saanti sähköuunissa on noin 90%. Näin 1 kg SiC-lisäyksestä saadaan 560g piitä ja 270g hiiltä.

## 10.2 Piipitoisuus

Pii on hiilen jälkeen valuraudan tärkein seosaine, koska se aiheuttaa grafiitin erottumisen. Jos piitä ei valuraudassa olisi, jähmettyisi se valkoisena valurautana. Piin taipumus yhtyä kemiallisesti rautaan on suurempi kuin hiileen, joten lämpötilan laskiessa hiili ei enää ”mahdukaan” liuenneena sulaan, vaan erottuu siitä grafiittina.

Piin määrä valuraudassa on 1 – 3 %. Myös sulan raudan kyky liuottaa hiiltä itseensä laskee piipitoisuuden kasvaessa. Ylimääräinen hiili erottuu sulasta kuohugrafiittina, joka aiheuttaa valuvikoja.

Kupoliuunisulatuksessa suuri osa tarvittavasta piistä saadaan tavallisesti harkkoraudasta tai valurautaromusta. Tarvittava lisäys tapahtuu ferropiin (FeSi) avulla panoksen mukaan.

## 10.3 Ferroseokset

Rautavalimon sulatossa ensisijaisesti käytettäviä ferroseoksia ovat

- Ferropii – FeSi
- Ferromangaani – FeMn
- Ferropiimagnesium – FeSiMg
- Ferrorikki – FeS

Toissijaisesti käytettyjä ferroseoksia ovat mm.

- Ferrokromi – FeCr
- Ferromolybdeeni – FeMo
- Ferrovanadiini – FeV

Myös ympäysaineet ovat ferroseoksia

## **Ferropii – FeSi**

FeSi voidaan tavallisesti jakaa:

- Uunilaatuun (suurempi palakoko aina noin 80mm saakka), jossa Alpitoisuus on noin 1%. Uunilaatua käytetään ensisijaisesti sulatuksen aikana piipitoisuuden nostamiseen ja täsmäämiseen sulatuksen loppuvaiheessa.
- Ymppäyslaatuun (pienempi rae/palakoko noin 0,2mm:stä noin 10mm:iin), jossa Al < 1,5%

Tyypillinen koostumus

- Si 73-78% (tyypillisesti 75%)
- Al 1,0-1,5% (tyypillisesti 1,2%)
- Ca 0,5-1,0% (tyypillisesti 0,8%)

Tavanomainen FeSi:n ymppäyslaatukaan ei ole yhtä tehokas etenkin ohuiden seinämien valmistuksessa varsinaisiin ymppäysaineisiin verrattuna, jotka sisältävät myös esim. Ba (barium) ja Zr (zirconi). Ferromangaani - FeMn

FeMn toimitetaan tavallisesti paloina, joiden Mn-pitoisuus on 75%. Sitä käytetään sulatusuunissa mangaanipitoisuuden nostamiseen (GJL-sula). Sitä voidaan lisätä myös suoraan valusenkkään. esim. seoksina FeCr, FeMo, FeV

Näitä ferroseoksia käytetään useimmiten senkkalisäyksiä tiettyjen ominaisuuksien, kuten kulumisenkestävyyden aikaansaamiseksi.

## **Ferromolybdeeni – FeMo**

FeMo:a käytetään usein kuparin ja nikkelin kanssa ADI- materiaalin seostuksessa. FeMo sisältää 65-75% molybdeeniä ja se toimitetaan joko paloina tai murskattuna raekoon mukaan luokiteltuna. Saanti on noin 95%.

## **Ferrokromi – FeCr**

FeCr sisältää 60-70% kromia ja 4-6% hiiltä liukenevuuden lisäämiseksi.

## Ferrovanadiini - FeV

FeV sisältää joko 50% tai 80% vanadiinia. Saanti on noin 90%.

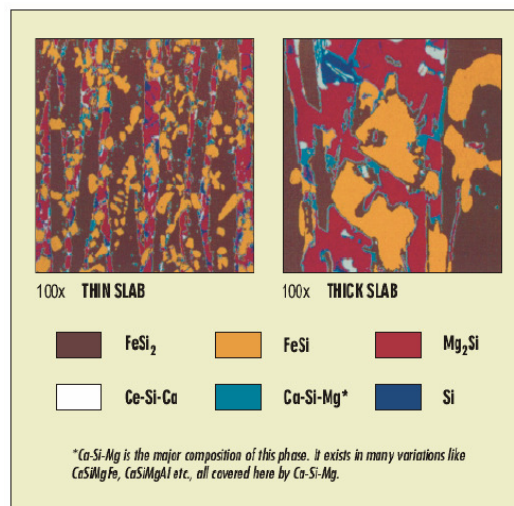
## Ferropiimagnesium – FeSiMg

FeSiMg on erittäin tärkeä raaka-aine pallografiittiraudanvalmistuksessa.

Lähes kaikki maailmassa tuotettu pallografiittirauta valmistetaan magnesiumia lisäämällä.

Magnesium on erittäin reaktiivinen metalli ja sen kiehumispiste, noin 200 °C on selvästi matalampi kuin sulan raudan lämpötila.

Magnesiumin liukenevuus sulaan rautaan on rajallinen.



**Kuva. Hie**

Magnesium lisätään sulaan usein käyttäen sopivaa kantaja - ainetta, jolla ei heikennetä raudan ominaisuuksia ja vähentää magnesiumin höyrynpainetta ja reaktiivisuutta. Esim. 45% piitä sisältävä FeSi on em. vaatimukset täyttävä kantaja-aine.

Käsittlemättömän perusraudan alhainen rikkipitoisuus vähentää grafiitin palloutukseen tarvittavan magnesiumin lisäsmäärää.

FeSiMg:n magnesiumipitoisuus on tavallisesti 4-6%. Mitä alhaisempi FeSiMg:n Mg-pitoisuus on sitä parempi saanto materiaalilla on reaktiivisuuden vähetessä.

FeSiMg valmistetaan upottamalla magnesiumia sulaan FeSi:iin. Sulaa sekoitetaan jatkuvasti, jotta sen koostumus olisi mahdollisimman tasainen myös koko valuprosessin ajan. Sula FeSiMg valetaan ohuiksi laatoiksi ja jäähdytetään vedellä pian valun jälkeen. Nopealla jäähdytyksellä saadaan aikaan hieno ja homogeeninen rakenne, jossa eri alkuaineet ovat tasaisesti jakautuneet matriisiin.

Valuraudan valmistuksessa sulaan voi joutua panosraaka-aineiden mukana magnesiumin läsnäolosta huolimatta grafiitin palloutumista häiritseviä alkuaineita kuten antimonia (Sb), lyijyä (Pb), vismuttia (Bi) tai titaania (Ti). Näiden alkuaineiden häiritsevää vaikutusta voidaan lieventää, jos FeSiMg sisältää pieniä määriä ceriumia tai muita harvinaisia maametalleja RE=rare earths (lantaani, praseodymium, neodymium).

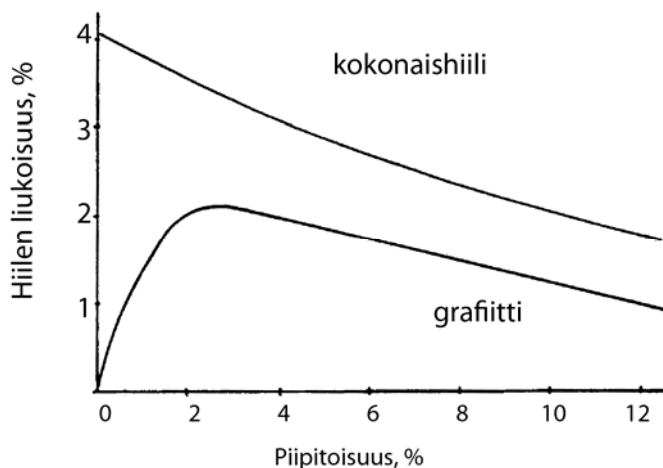
Sopiva FeSiMg:n RE-taso on täsmättävä toimittajan kanssa sulan epäpuhtaustasoa vastaavaksi. Suuri Cerium -pitoisuus johtaa ongelmiin, jos ei sulassa ole haitta-aineita, joiden vaikutuksia neutraloida. Yleisin Ceriumista johtuva ongelma on ns. Chunkygrafiitin muodostuminen. (katso 10.8.1)

Joskus (kun on kyse normaalia hitaammasta jäähtymisajasta eli paksuseinämaisistä valukappaleista) on tarpeen 'myrkyttää' sula pienellä antimonilisäyksellä, esim. Chunky-grafiitin syntymisen estämiseksi.

Pienellä kalsiumlisäyksellä FeSiMg:hen voidaan vähentää Mg:n reaktiivisuutta ja pienentää savunmuodostusta sekä parantaa Mg:n saantia. Kalsium toimii edullisesti myös ytimenmuodostuksessa. Korkea kalsiuminkäyttö FeSiMg:ssä lisää sulan kuonanmuodostusta.

Alumiinia on kaikissa ferroseoksissa pieniä määriä. Alumiinin läsnäolo ei merkittävästi muuta FeSiMg:n ominaisuuksia, mutta suurempi alumiinimäärä voi lisätä sulan kuonapitoisuutta.

Pallografiittiraudan kiertoromusta sulaan joutuva alumiini palaa usein sulatuksen aikana, joten valukappaleen lopulliseen alumiinipitoisuuteen vaikuttaa ymppäysaine-, FeSiMg- ja muiden ferroaineslisäysten määrä sulatuksen jälkeen.



Oheisesta kaaviosta ilmenee, että piimäärän kasvaessa 2 – 3 %: siin saavuttaa grafiitti - pitoisuus maksiminsa.

**Kaavio. Hiilen liukoisuus piin vaikutuksesta**

Myös induktiouuneissa käytetään piipitoisuuden nostamiseen ferropiitä. Koska piin läsnäolo sulassa raudassa hidastaa hiilen liukenevuutta, lisätään se vasta hiiletyksen jälkeen.

Piistä palaa sulatuksen yhteydessä osa pois, mikä on otettava huomioon sitä lisättäessä.

## 11.5 Rikinpoisto

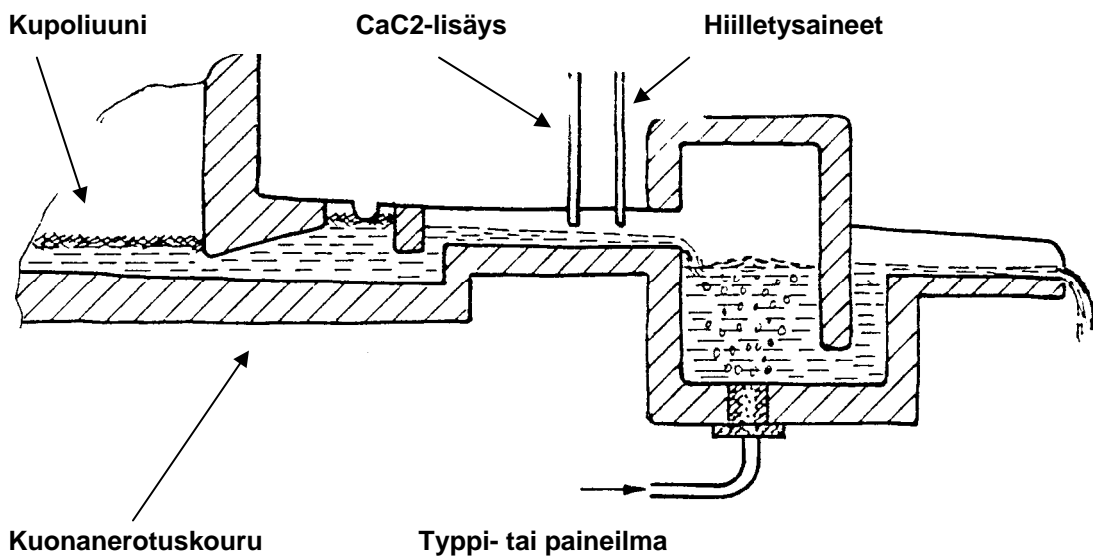
Valuraudan rikki on peräisin osaksi rautamalmista ja osaksi kupoliuunin koksista. Rikki voi olla valuraudassa kahdessa muodossa, rautasulfidina tai mangaanisulfidina. Rautasulfidina se vastustaa grafiitin muodostumista ja tekee raudan kovaksi ja hauraaksi. Lisäksi se erottuu ohuena kalvona rautakiteiden rajoille. Koska rautasulfidin sulamispiste on huomattavasti pienempi kuin valuraudan, vain 985°C, heikentää se valuraudan lujuutta korkeissa lämpötiloissa.

Jos valuraudan mangaanipitoisuus on riittävän korkea, esiintyy rikki mangaanisulfidin muodossa, joka on harmiton raerakenteen osa. Kuitenkaan mangaanilla ei korjata kohtuuttoman suuria rikkipitoisuuksia, vaan rikin määrä pyritään vähentämään. Tavallisesti valuraudan rikkipitoisuus on 0,1 – 0,12 %. Pallografiittivaluraudassa sen pitää olla huomattavasti pienempi, noin kymmenesosa edellisestä eli 0,01%.

Happamassa kupoliuunissa rikkipitoisuuden alentamisessa on omat vaikeutensa. Rikinpoistoon soveltuvat aineet, jotka ovat luonteeltaan emäksisiä, syövyttävät voimakkaasti hapanta vuorausta, eikä sulan rikkipitoisuus sanottavammin alene. Jos pitoisuutta pitää alentaa esimerkiksi hyvänlaatuisia valurautoja tai pallografiittivalurautaa valmistettaessa, käytetään duplex- sulatusta. Siinä varsinainen sulatus tapahtuu kupoliuunissa, minkä jälkeen sula siirretään esimerkiksi induktioupokasuuniin rikinpoistoa varten.

Emäksisessä kupoliuunissa saadaan rikkipitoisuus pudotettua melko pieneksi, ei kuitenkaan niin pieneksi, että valmiin pallografiittivaluraudan valmistus olisi sillä mahdollista. Rikinpoisto tapahtuu lisäämällä uuniin emäksistä kalsiumkarbidia, joka sitoo rikkiä itseensä eikä reagoi vuorauksen kanssa.

Kupoliuuniraudan jatkuvaan rikinpoistoon soveltuu Gazal- menetelmä. Siinä sijoitetaan kuonanerotuskourun jatkoksi erityinen rikinpoistoallas. Kalsiumkarbidijauhe tai hiiletukseen tarkoitettu grafiittijauhe johdetaan syöttöputkilla kuonattoman raudan pintaan ennen sen joutumista rikinpoistoaltaaseen. Sekoittuminen tapahtuu altaan pohjassa olevan huokoisen tiilen lävitse puhallettavan reagoimattoman kaasun, esim. typen avulla. Kaasuvirta saa raudan pyörteilemään, jolloin jauhemaiset seosaineet sekoittuvat siihen tehokkaasti.



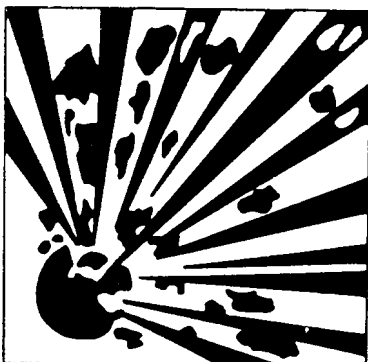
Kuva. Gazal-Menetelmä

Induktioupokasuunilla valurautaa valmistettaessa voidaan valita vähärikkisiä raaka-aineita, kuten teräsromua, joten rikinpoistoa harvoin tarvitaan. Kuitenkin rikinpoisto onnistuu induktioupokasuuneilla, etenkin verkkojaksoinduktioupokasuuneilla hyvin, koska niiden aiheuttama metallin pyörteily sekoittaa tehokkaasti rikinpoistoaineena käytetään yleisesti kalsiumkarbidia.

Induktioupokasuuneilla päästään erittäin alhaisiin rikkipitoisuuksiin. Koska kalsiumkarbidi on voimakkaasti emäksinen aine, kuluttaa se uunin hapanta vuorausta voimakkaasti.

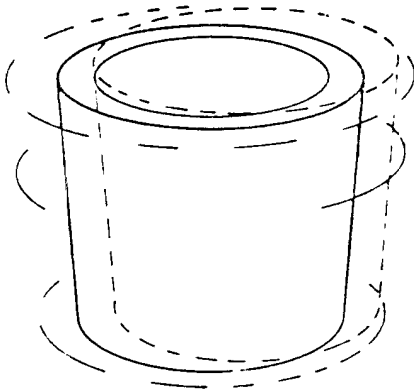
Joutuessaan veden kanssa kosketukseen kehittää kalsiumkarbidi asetyleenikaasua.

Asetyleeni muodostaa ilman kanssa räjähtävän kaasuseoksen. Noudata työpaikalla annettavia turvallisuusmääräyksiä

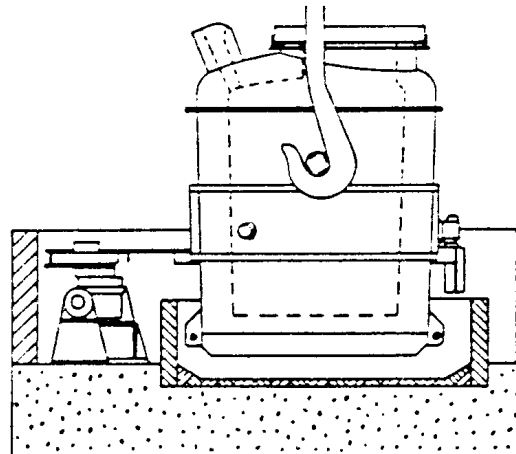


Kiepposankoa käytetään valuraudan rikinpoistoon ja hiilipitoisuuden nostamiseen. Rikinpoisto voidaan suorittaa esim. kalsiumkarbidin ja hiilettäminen koksimumurskan avulla.

Sula valurauta kaadetaan kannellisen tulenkestävällä vuorauksella varustettuun sankoon, joka laitetaan kiertämään tietyn säteistä ympyrää kieputusalustan päällä.



Kuva. Kiepposangon liike



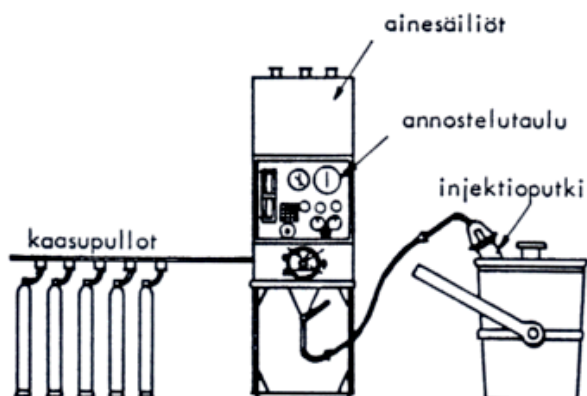
Kuva. Kiepposanko

Oikealla pyörimisnopeudella muodostuu sulan raudan pinnalle aaltoliike, joka meren rantahyökyjen tapaan murtuu jatkuvasti sekoittaen pinnalla olevat seosaineet sulaan. Kun käsittely on suoritettu, siirretään sanko nosturin avulla kieputusalustalta. Ja rauta tyhjenetään kannessa olevan aukon kautta valusankoon.

Sankojen vetoisuus vaihtelee 1 ja 15 tonnin välillä.

Injektiomenetelmässä puhalletaan sekoittavat aineet hienona jauheena sulan raudan pinnan alle. Puhalluskaasuna käytetään jotakin reagoimatonta kaasua esim, typpeä. Kaasu ja jauhe johdetaan mahdollisemman syväälle sulan pinnan alle grafiittisen injektioputken avulla. Käsittely voidaan kupoliuunin etusäiliössä, sähköuunissa tai valusangossa.

Injektiolaitteessa on säiliöt useampaa eri seosainetta ainetta varten.



Kuva. Injektiolaite

Raudan hiilipitoisuus voidaan ensin nostaa toivotulle tasolle esim. grafiitti-jauheen avulla, minkä jälkeen suoritetaan rikkipitoisuuden alentaminen kalsiumkarbidijauheella ja lopuksi suoritetaan ymppeäys siihen sopivalla jauhemaisella aineella.

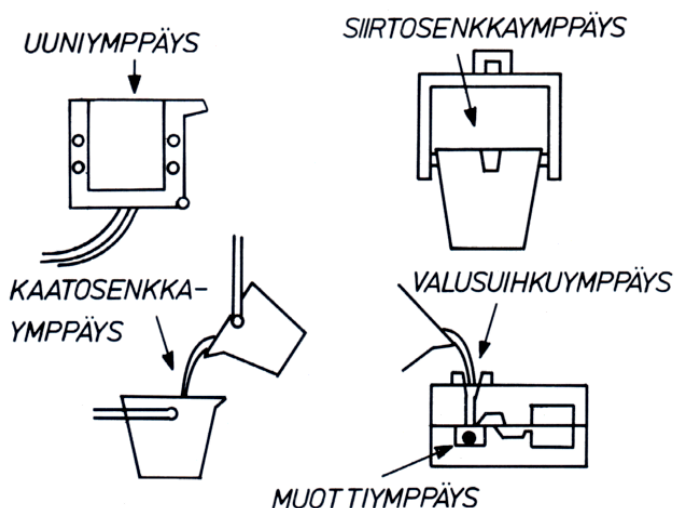
Laitteen toiminta on usein automatisoitu siten, että rautaan puhallettavat ainemäärät voidaan etukäteen annostella sopiviksi.

## 11.6 Valuraudan ymppeäys

Jos jäähtyvässä sulassa metallissa ei ole lainkaan kiinteitä alkeishiukkasia, kiteytymis-ytimiä, jäähtyy se alle jähmettymislämpötilansa ennen kuin jähmettymiseen johtava kiteytyminen alkaa. Metallin sanotaan tällöin alijäähtyvän. Näin muodostuva kiderakenne on usein karkea ja metallin lujuuden kannalta epäedullinen. Valurautoilla on myös taipumus alijäähtyyään jähmettyä valkoisena.

Jos sulaa valurautaa pidetään korkeassa lämpötilassa, köyhtyy se kiteytymisytimistä. Tämä ilmiö esiintyy usein rautaa sulattaessa sähköuuneissa.

Ymppeäyksessä lisätään sulaan valurautaan hieman ennen sen jähmettyessä kiinteitä rakeita, jotka toimivat kiteytymisytiminä.



Kuva. Erilaisia ymppeäysmenetelmiä

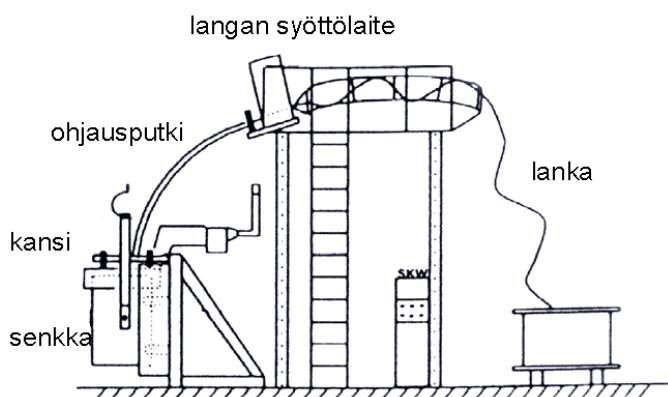
Kiteytyminen alkaa välittömästi rakeitten pinnalta, eikä sulan alijäähtymistä pääse tapahtumaan. Grafiitti- ja kiderakenteesta muodostuu hienojakoinen ja raudan lujuuden kannalta edullinen.

Kiteytymisytimiksi käyvät periaatteessa mitkä hyvänsä hiukkaset.

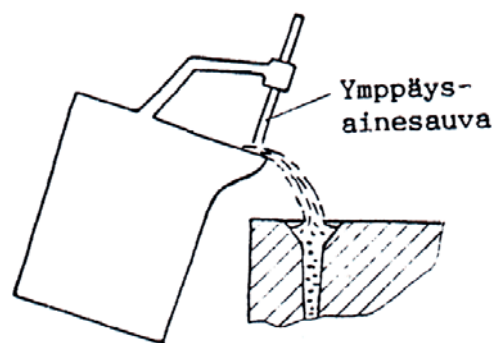
Ymppäyksessä käytetään tavallisimmin ferropiitä (FeSi), jonka raekoko valamiseen käytettävästä rautamäärästä riippuen on 1 – 6mm.

Ymppäyksen on tapahduttava muutamia minutteja ennen valua, muuten ymppäysvaikutus vaimenee. Usein ympätään kahdessa erässä. Perusympäys suoritetaan tavallisesti laskettaessa rautaa uunista valusankoon., jolloin ymppäysaine kaadetaan tasaisena virtana valusuihkuun. ja rakeet sekoittuvat raudan pinnana alle.

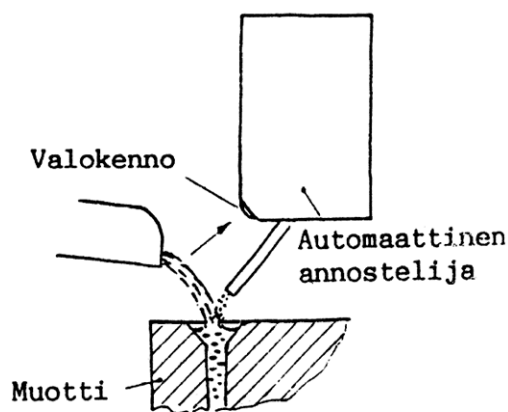
Jos ymppäystä joudutaan tekemään usein, on edullista käyttää automaattista annostelijaa. Laite sopii käytettäväksi esim. kaadettaessa rautaa induktiuunista valusankoon. Automaattisella annostelijalla saadaan tasaisempi tulos kuin käsin kaadettaessa. Ymppäysaine voidaan myös injektoida joko uuniin tai valusankoon.



**Kuva. Injektointilaite**



**Kuva. Sauvaymppäys**



**Kuva. Annostelija ymppäys**

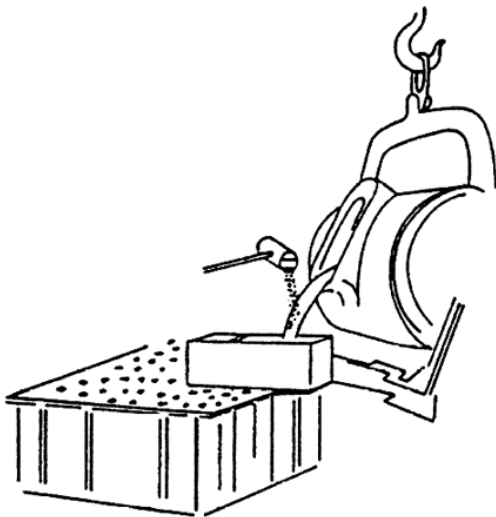


Perusymppäys häviää nopeasti, joten usein joudutaan tekemään hieman ennen valamista elvytysymppäys. Se voidaan toteuttaa joko kaatamalla aine käsin valusuihkuun tai esim. sauvaymppäyksenä. Siinä kiinnitetään ymppäysaineesta valmistettu sauva valusankoon kiinni siten että sauvan ohi virtaava sula liuottaa ainetta mukaansa.



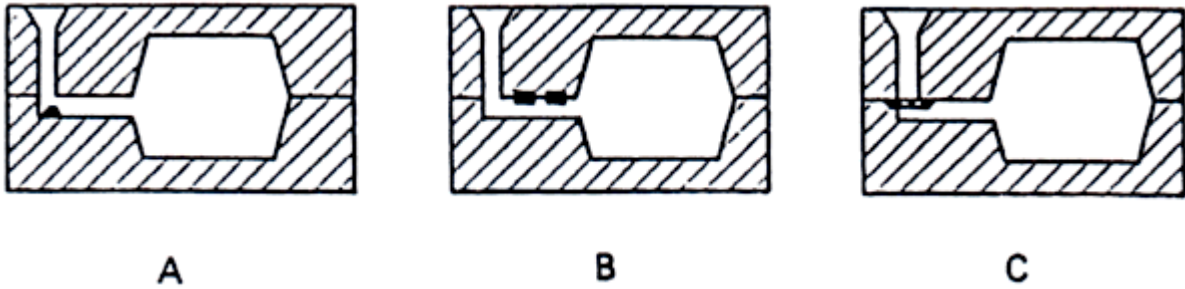
**Kuva. Ymppäyslaite senkan päällä**

**Kuva. Annostelija**



**Kuva. Ymppäys käsin**

Ymppäys voidaan suorittaa myös muotissa. Tällöin sijoitetaan ymppäysaine valukanavistoon siten, että virtaava rauta liuottaa aineen mukaansa.



Kuvasarja A- B. Muottiympäys A) ympäysaine kaatokanavan pohjalla B) nappiympäys C) siiviläkeernaympäys



Kuva. Ympäysaine palana muotissa

### 10.6.1 Valuraudan ympäyksen periaate

Peruseriaatteena on heterogeenisen ydintymisen mahdollistaminen stabiileilla sulkeumilla , joiden pinnalle grafiitti pääsee ydintymään ja kasvamaan. Sopivat hivenaineet ydintävät ja stabiloivat kasvava grafiittia niin, ettei se liukene uudelleen. Ympäymällä pyritään ydintämään sulan sisältämä hiili grafiitiksi karbidisen rakenteen sijaan, koska tällöin valkoisen valuraudan olomuoto-vaara kasvaa.

Ydintymisestä on useita teorioita, mutta voidaan tarkastella kahta teoriaa:

- Homogeeninen ydintyminen, jolloin kiinteä ydin muodostuu sulan faasin sisään(tämä energettisesti vaikeaa koska luodaan uutta pintaa). Olennaisena osana tässä

tapauksessa tarvitaan alijäähtymistä, koska ilman sitä energian tarve kasvaa suureksi, jotta ytimen säde sulassa kasvaisi.

- Heterogeeninen ydintyminen , jossa jähmettyvä ydin muodostaa kiinteän faasin pintaan, jolloin energiaa uuden pinna luomiseen tarvitaan vähemmän.

Ydintyminen vaimenee ajanfunktiona, jolloin ympäysovoima on suurimmillaan välittömästi ympäyksen jälkeen.

Keraamiset partikkelit liukenevat takaisin tai nousevat pois sulasta, jolloin teho vaimenee.

Rakenteen muokkaamalla pyritään saamaan materiaaliin lisää vetolujuutta ja venymää, kun taas kovuus laskee. Alemman kovuuden ja lastun katkeamisen ansiosta koneistettavuus paranee ja tehokkaamman ydintymisen ansiosta mikrorakenne hienonee, materiaaliominaisuudet tasoittuvat ja seinämäherkkyys (materiaaliominaisuudet riippuvat ainepaksuudesta) vähenee. Alijäähtyminen (aine pysyy jäähtyessään väliaikaisesti nesteenä, vaikka se on jo alittanut jähmettymispisteensä) on minimoitava.

Oleellisia tekijöitä, jotka vaikuttavat myös käytettävän ympäysovoiman valintaan, ovat mm.: sulatuksessa käytettävät raaka-aineet, sulatusprosessi, sulan esikäsittelyt ja elvytys, seostus, pitoaika ja lämpötila, mahdollinen palloutuskäsittely, kaato- ja senkka käytännöt sekä tietenkin ympäysovoima ja sen vaimeneminen.

Raaka-aineiden mukana prosessiin tulee myös itse ympäysovoimaa parantavia osia. Tällaisia ovat mm. harkkojen mukana tuleva mahdollinen ruosteessa oleva happi.

Sulanpitoaika ei saa olla liian pitkä tai sulatuslämpötila liian korkea, koska tällöin kiteytymisytimet voivat tuhoutua. Erilaisten seos ja hiilletysaineiden mukana sulaan muodostuu suotuisia kiteytymisytimiä. Joihin seosaineisiin on lisätty ydintämisvaikutusta parantavia hivenaineita.

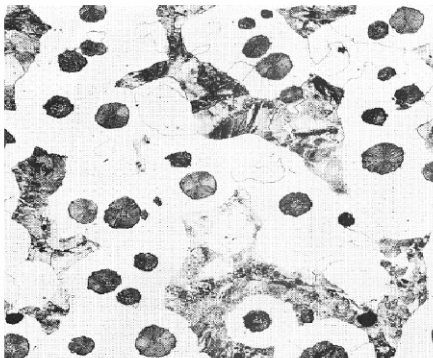
Ympäysovoiman vaimeneminen aiheutuu kiteytymisytimien liukenemisestä ja karmenemisestä ajan funktiona . Optimaalisin tapa suorittaa ympäysovoima, on tehdä se riittävän pienirakeisella aineella mahdollisimman lähellä valua, jolloin vaimenemisaika jää lyhyimmäksi.

Ympäysovoimalla ja hallitulla seostuksella voidaan siis muotoilla grafiitin muotoa ja valuraudan rakennetta voidaan ohjata. Kuitenkin kaiken tämän perustana on että tiedetään itse raaka-aineen koostumus tarkasti, sillä jos sitä ei tiedetä, ei tiedetä myöskään millaista perussula on, puhumattakaan hiventasolla. Tällöin itse prosessi on ”arvaus” ja tarkkuus kärsii. Tästä syystä on ensiarvoisen tärkeää tuntea ja vakioida prosessi.

## 10.7 Pallografiitin valmistus

Pallografiittirauodoissa pyritään grafiitti kiteyttämään pallomaiseen muotoon., jolloin raudalle saadaan paremmat lujuusominaisuudet, suurempi vetolujuus ja parempi sitkeys.

Korkealaatuisilla pallografiittilaaduilla lujuusominaisuudet ovat jopa valuterästä vastaavia. Pallomainen grafiitti rikkoo vähemmän raudan sisäistä rakennetta kuin suomumainen, joten kuormitetussa valukappaleessa pääsevät voimaviivat suurempaa tietä lävitse.



Grafiitin palloutuminen saadaan aikaan lisäämällä sulaan rautaan hieman ennen valua palloutusainetta, joka tavallisesti sisältää magnesiumia. Jotta palloutuminen tapahtuisi, pitää rikkipitoisuuden olla pieni, 0,01 – 0,02 %.

**Kuva. Pallografiittirautaa**

Tästä syystä ei kupoliuuniraudasta voida valmistaa pallografiittirautaa, ellei sille suoriteta rikin poistoa uunin ulkopuolella, esim. induktiouunissa.

Koska magnesium on herkästi palava ja myös kallis metalli, pitää se saada liuotettua sulaan rautaan siten, että sitä palaisi pois mahdollisimman vähän, ts. saanto muodostuisi suureksi.



Palloutusaineen lisäämistä avonaiseen valusankoon käytetään yleisesti menetelmän yksinkertaisuuden vuoksi. Käyttöön liittyy kuitenkin voimakas MgO - kaasujen muodostus, kirkas valoilmio ja huono saantoprosentti.

Avosanko menetelmässä yleisin on Sandwich- eli voileipämenetelmä.

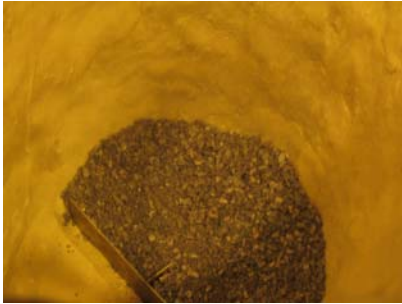
Siinä palloutusaine asetetaan valusangon pohjalle ja peitetään ohuilla teräslevyn palasilla, jotta palaminen hidastuisi. Valusangossa voi olla myös syvennys palloutusainetta varten.

**Kuva. Sandwich- menetelmä**

## Pallografiittikäsittelyesimerkki

Seuraavassa kuvasarjassa havainnollistetaan esimerkinomaisesti erään pallografiittivaluseoksen käsittelytapahtuma.

Ympäysaineen sijoitus senkkaan.



Kuva. Lisätään FerroSiMg



Kuva. Lisätään Cu



Kuva. Lisätään peittolevyt

Mg on laimennettu Ferro Si seokseksi, jotta reaktio ei olisi liian nopea. Si edistää ydintymistä. Samaan ympäykseen lisätty Cu:ta koska sitä tarvitaan sulatetussa materiaalissa, joka kuuluu lujiin pallografiittimateriaaleihin.



Kuva. Teräslevyt



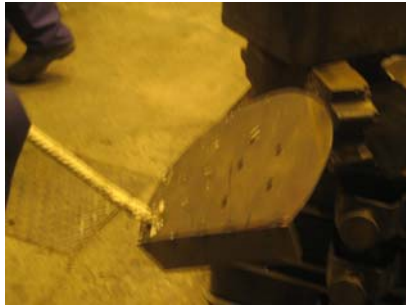
Kuva. Teräslevyn päällä hiekkaa

Teräslevyn päälle voidaan tarvittaessa lisätä sen liukenemista estävää materiaalia, esim. tässä tapauksessa hiekkaa. Teräslevyt voivat olla hyvinkin yleistä terästä, kunhan eivät vain ole ruosteisia tai sinkittyjä, jolloin niistä seuraa laadullisia ongelmia.

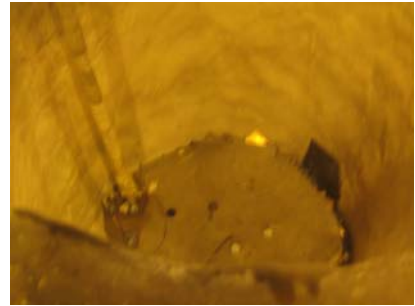
Mikäli senkassa ei ole erillistä koloa ympärysaineelle, voidaan käyttää eräänlaista upotinta, joka on muotoiltu ympäysmateriaalin tilavuuden mukaisesti. Tämä tapa voi olla valimokohtainen apukeino.



**Kuva: Upotin**



**Kuva: Upottimen muotoilu**



**Kuva. Ympäysaine upottimen alla**

Sulatusvaiheen jälkeen poistetaan kuona.



**Kuva. Kuonan sidonta**



**Kuva. Kuonaus uunista**



**Kuva. Kuona astiaan**

Kaadetaan sulasta 2/3 osaa senkkaan



**Kuva. Ympäysainetta suojataan upottimella**



**Kuva. Mg-reaktio**

Suljetaan senkka kannella ja annetaan reaktion tapahtua n. 15 -25 sekuntia.



**Kuva. Mg- reaktio käynnissä, senkka suljettu kannella**



**Kuva: Reaktio loppuu**



**Kuva. Kansi avataan**



**Kuva. Lisätään 1/3 sulaa senkkaan**



**Kuva. FeSiMg kauhassa**



**Kuva. FeSiMg lisätään**



**Kuva. FeSiMg lisätään kaatosuihkuun**



**Kuva. Mg lisätään kaatosuihkuun**



**Kuva. Mg-reaktio**

Sulan pinnalla on sulatustapahtumassa syntyneitä epäpuhtauksia ja käsittelyaineiden jäämiä. Näitä aineita kutsutaan kuonaksi. Kaadon lopuksi senkasta poistetaan kuona. Tämä voidaan tehdä joko sulatusuunilla välittömästi kaadon jälkeen tai erityisellä kuonaus- ja käsittelyasemalla



**Kuva. Kuonaus**



**Kuva. Kuonaus**



**Kuva. Kuona poistettu**



**Kuva . Valulämpötilan mittaus  
kuonattaessa**

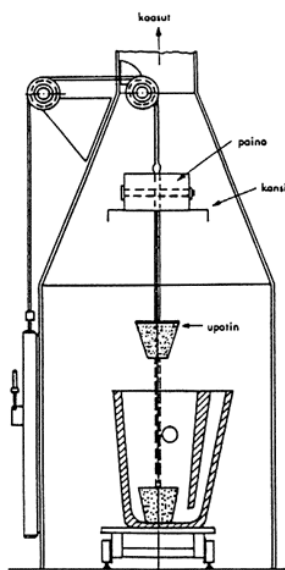


**Kuva. Valutapahtuma**

Teollisuudessa käsittelet tapahtuvat käsittelyasemilla. Tällöin esim. upotin - menetelmässä magnesiumseos upotetaan nopeasti sulan raudan pinnan alle tulenkestävällä vuorauksella varustetun upottimen avulla (kuva alla)

Upottimen yläpuolella oleva painava kansi sulkee valusangon niin, että kiivaan reaktion aiheuttamat räiskeet eivät lennä ympäristöön. Valusanko siirretään käsittelyn ajaksi imulaitteella varustettuun kaappiin, jolloin syntyvät runsaat MgO- kaasut eivät pääse leviämään työpaikalle.

Grafiitin pallouttamisaine voidaan lisätä sulaan rautaan myös aikaisemmin esitetyllä kiepposangolla tai injektio menetelmällä.



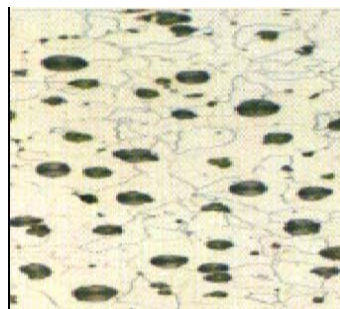
**Kuva. Upotin menetelmä**



**Kuva. Palloutumisasteen määrittäminen laboratoriossa**



**Kuva. Ferriittinen rakenne**



**Kuva. Ferriitis-perliittinen rakenne**



**Kuva. Perliittinen rakenne pallon ympärillä hieman grafiittia**

## 10.8 Ymppäysaineet

Ymppäyksellä vaikutetaan valuraudan rakenteeseen ja ominaisuuksiin lisäämällä grafiitin muodostumisen kannalta välttämättömien kiteytymisytimien lukumäärää sekä GJS:llä että GJL:llä. Ymppäysaine on aine, joka lisätään sulaan juuri ennen valua riittävän kiteytymisytimien määrän aikaansaamiseksi.

Tyypilliset ymppäysaineet sisältävät runsaasti piitä Si. Ferropii – pohjaiset (FeSi) ymppäysaineet ovat kaikkein tavallisimpia.

Grafiittipohjaisia ymppäysaineita voidaan myös käyttää, mutta tällöin vaaditaan suurta puhtautta ja kiteistä rakennetta.

### 10.8.1 Ymppäysainekoostumuksia

Ymppäysaineiden tehoa on pyritty parantamaan lisäämällä perusaineena olevaan ferropiihin (FeSi) pieniä määriä eri alkuaineita, kuten alumiinia(Al), kalsiumia (Ca), bariumia (Ba), strontiumia ( Sr), zirkoniumia (Zr) ja mangaania (M). Em. aineet voivat esiintyä yksittäin tai toistensa yhdistelminä riippuen siitä mitä ymppäysaineen ominaisuuksia halutaan painottaa.

Ymppäysaineiden koostumus voi olla:

- Si + Al + Ca
- Si + Al + Ca + Ba
- Si + Al + Ca + Sr
- Si + Al + Ca + Zr
- Si + Al + Ca + Ba + Mn
- Si + Al + Ca + Zr + Mn
- Si + Ca + Ba + Zr + Mn

**Alumiini.** Alumiini on läsnä kaikissa ferroaineiksissa ja sen ymppäysvaikutus on melko vähäinen. Raudan korkea alumiinipitoisuus (> 0,007%) lisää 'pinhole'-kaasurakkulavaluvirheen riskiä tuorehiekkakaavatuissa valuissa.

**Kalsium.** Kalsium on tunnettu jo kauan ymppäysaineen tärkeänä ainesosana. Kalsiumin ja bariumin yhdistelmä Ca + Ba tekee ymppäysaineesta tehokkaan suuremmalla lämpötila-alueella kuin kalsium yksin.

**Barium.** Barium on tehokas kun sitä sisältävä ympäysainelisäys tehdään korkeintaan 1480 °C lämpötilassa olevaan sulaan. Barium on tehokas grafiitin syntymistä edistävä alkuaine ja sen vaimenemisnopeus on hidas. Se on 1370 – 1430 °C lämpötiloissa kalium on tehokkaampi kuin barium.

**Zirkonium.** Zirkonium on vaikutukseltaan keskinkertainen yleisesti sulan alijäähtymistäipumusta pienentävä aine. Zirkonium toimii myös typen N<sub>2</sub> neutraloijana muodostamalla harmitonta zirkoniumnitridiä ZrN<sub>2</sub>.

**Strontium.** Strontium on ehkä tehokkain ympäysaine suomugrafiittiraudoille. Se on erityisen tehokas ohuille seinämille ja sen vaikutuksen vaimenemisnopeus on erittäin hidas. Strontiumia sisältävä ympäysaine on tehokas myös ceriumvapaalle pallografiittiraudalle, mutta ceriumin läsnä ollessa, strontiumin teho on huono ceriumin neutraloidessa sen ydintymiskyvyn.

**Mangaani.** Mangaanin vaikutus perustuu sen taipumukseen alentaa ympäysaineen sulamispistettä. Näin ollen mangaania sisältävä ympäysaine sopii erityisesti erittäin matalille valulämpötiloille (GJS ja GJL).

Tyypillinen matalille valulämpötiloille soveltuva ympäysaine sisältää: 65% Si, 2,5% Ca, 9% Mn, 4,5% Ba, 1,5% Al Tällaista ympäysainetta voidaan käyttää 1300 °C:ssa.

Grafiitin palloutumisen lisäksi on tärkeää saada palloutuminen halutun muotoiseksi. Epätavallisia pallomuotoja ovat mm. chunky-, spiky-, räjähtänyt grafiitti ja vermikulaarinen grafiitti.

### Chunky-grafiitti

Chunky-grafiitti voidaan nähdä jopa paljaalla silmällä. Se heikentää erityisesti mekaanisia ominaisuuksia, kuten murtolujuus-, venymä-, ja väsymislujuus.

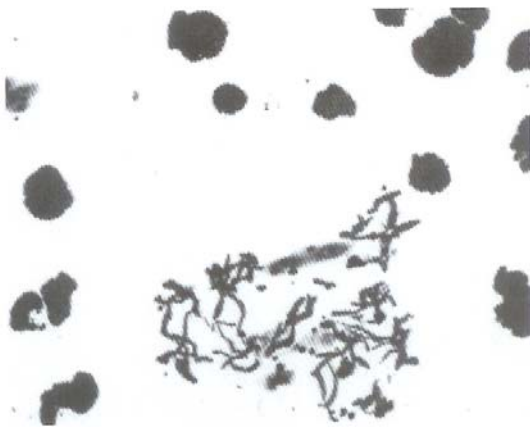
Chunky-grafiitin muodostuminen voidaan estää mm. seuraavilla tavoilla:

- pitää ekvivalentti riittävän alahaalla, vaikka se voi johtaa imuvirheiden kasvuun
- tarkkailla Chunky-grafiitin muodostumista edistävien materiaalien määrää (Cerium, Kalsium, Nikkeli, Pii, Alumiini ja harvinaiset maametallit. Estävät metallit ovat Arseeni, Wismutti, Boori, Lyijy, Antimoni ja Tina)
- käyttää ongelma-alueilla kokilleja (jäähdytsrautoja)

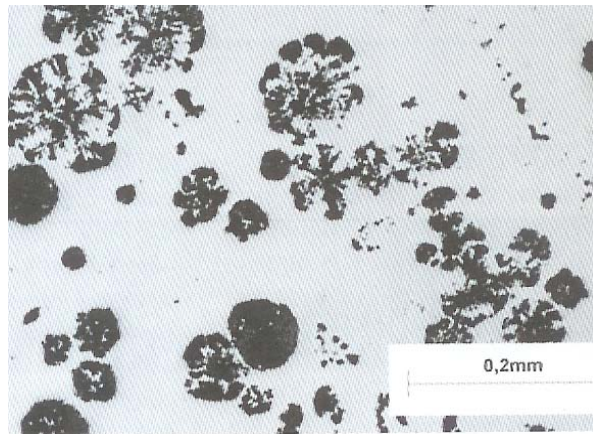
### Spiky-grafiitti

Spiky-grafiitti on kiusallinen, mutta ei kovin yleinen . Se epäedullisuus johtuu voimakkaasta lovivaikutuksesta. Spiky-grafiittia tavataan yleensä konvertterirautojen valmistuksen yhteydessä. Sen syntyä voidaan estää käyttämällä maametalleja sisältäviä ympäysaineita.

Räjähäntyt grafiitti syntyy yleensä, kun käytetään liiksi harvinaisia maametalleja sulan valmistuksessa tai niitä esiintyy sulassa liikaa. Näiden maametallien käyttö perustuu hyviin ominaisuuksiin tehostaa magnesiumin vaikutusta, toimivat ydintäjinä ja neutraloivat haitallisten aineiden vaikutusta. Maametallit helposti rikastuvat kiertoromussa. Mikäli räjähtänyttä grafiittia ilmenee, on paras tapa selvittää se tehdä panos puhtaista materiaaleista.



**Kuva. Spiky –grafiitin mikrorakennetta**

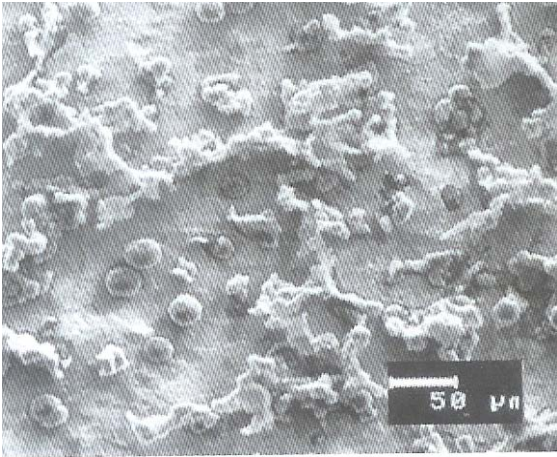


**Kuva. Räjähäntyttä grafiittia**

### Vermikulaarinen grafiitti

Vermikulaarinen grafiitti heikentää pallografiittia Koska se heikentää huomattavasti mekaanisia ominaisuuksia. Tällainen grafiitti voi syntyä, jos palloutusaineen määrä on laskettu väärin, jolloin sulassa on liikaa magnesiumia kuluttavia aineita kuten rikkiä.

Lisäksi korkea valulämpötila ja valuaika voi pahentaa ongelmaa. Myös hiiliekvivalentti tai pitkä jäähtymisnopeus voivat vaikuttaa asiaan.



Kuva. Vermikulaarinen grafiitti

## KERTAUSKYSYMYKSIÄ

1. Miksi kupoliuunilla ei voida sulattaa valuterästä?
2. Mitä on synteettinen valurauta?
3. Miksi verkkojaksoinduktioupokasuuni soveltuu hyvin valuraudan sulatukseen?
4. Miksi valokaariuuni ei sovellu erityisen hyvin valuraudan sulatukseen?
5. Mikä on piin tehtävä valuraudassa?
6. Mitä on muistettava valuraudan rikinpoistoon käytettävän kalsiumkarbidin varastoinnista ja käsittelystä?
7. Selvitä injektioimenetelmän periaate.
8. Selvitä valuraudan ympäyksen periaate.
9. Miksi tavallisesta kupoliuuniraudasta ei voida valmistaa pallografiittirautaa?
10. Selvitä pallografiittiraudan valmistuksessa käytettävä sandwich- menetelmä.