

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

AOD-prosessin 4-vaiheen puhalluksen optimointi

Miika Krunniniva

Konetekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö
Konetekniikka
Insinööri(AMK)

KEMI 2012

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Outokumpu Stainless Oy:n JT-sulatolle. Koulun puolesta ohjaajana toimi yliopettaja Timo Kauppi ja Outokumpu Tornio Worksin puolesta valvojana toimi DI Topi Ikäheimonen.

Kiitän kaikkia jotka ovat mahdollistaneet opiskeluni vuorotyön ohessa. Sekä kiitän heitä jotka ovat olleet avustamassa ja ohjaamassa opinnäytetyötä.

Erityisesti kiitän vaimoani Eijaa, joka on ymmärtänyt ja kannustanut opiskeluitani töiden ohessa.

TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala	
Koulutusohjelma	Konetekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Miika Krunniniva
Opinnäytetyön nimi	AOD-prosessin 4-vaiheen puhalluksen optimointi
Työn laji	Opinnäytetyö
päiväys	17.02.2012
sivumäärä	32 + 4 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	TkL Timo Kauppi
Yritys	Outokumpu Tornio Works
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	DI Topi Ikäheimonen

Opinnäytetyö tehtiin Outokumpu Tornio Worksille. Opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa hiilen palamista sulattolinja2:n AOD-prosessissa 4-vaiheella. Parannus nopeuttaisi prosessia, sekä toisi kaasua ja materiaalisäästöjä. Työ rajattiin koskemaan ainoastaan ruostumattoman teräksen lajia 720-1.

Hiilen palamisen tehokkuus todettiin ottamalla teräsnäytteitä ennen sekä jälkeen 4-vaihetta. Vertailukohtana käytettiin teräsnäytteitä, joita otettiin ennen kuin muutoksia tehtiin.

Hiilen palamiseen käytettäviä kaasuja 4-vaiheella ovat happi ja typpi sekä happi ja argon. Näiden kaasusuhteita muuttamalla vaikutetaan hiilen palamiseen. Kaasusuhteiden muutoksia tehtiin kolme kappaletta, joista jokaisesta otettiin useita teräsnäytteitä muutoksen toteamiseksi.

Opinnäytetyöhön liitettiin myös kalkin vaikutus hiilen nousuun pelkistyksessä, sekä 720-1 teräslaadun muuttuneiden tavoitteiden vaikutus Md30-lämpötilaan. Kalkkia, josta saatiin seulomisen myötä tasaisempaa, käytettiin ainoastaan pelkistyksessä. Teräsnäytteitä otettiin ennen ja jälkeen pelkistyksen, jolloin nähtiin hiilen nousu pelkistyksessä.

Opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin parantuneen hiilen palamisen johdosta. Myös seulotun kalkin vaikutus hiilen nousuun pelkistyksessä pieneni verrattuna aikaisemmin käytettyyn kalkkiin. Teräslaadun 720-1 muutettujen tavoitteiden takia Md30-lämpötila läheni haluttua lämpötilaa.

Johtopäätöksenä on, että hiilen palamista parantavan ajoprofiilin käyttö tuo säästöjä sekä nopeuttaa AOD-prosessia. Seulotun kalkin käyttö pelkistyksessä jatkossakin pienentää hiilen nousua nopeuttaen osaltaan AOD-prosessia.

Asiasanat: hiili, teräsnäyte, kaasusuhte, AOD, hiilen palaminen

ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Name	Miika Kruuniniva
Title	Optimizing the Blast in Phase 4 of an AOD Process
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	17 February 2012
Pages	32 + 4 appendixes
Instructor	Timo Kauppi, Lic.Sc. (Tech.)
Company	Outokumpu Tornio Works
Contact Person/Supervisor from Company	Topi Ikäheimonen (MSc)

The bachelor's thesis was assigned by Outokumpu Tornio Works. The target was to improve the decarburization in phase 4 in AOD process in smelter line 2. The improvement would speed up the process and bring savings in gases and materials. The work was limited only to steel type 720-1 of stainless steel.

The efficiency of decarburization was noted by taking steel samples before and after phase 4. As a point of reference for improvement, were taken before the changes.

The gases used in the decarburization in phase 4, are oxygen and nitrogen or oxygen and argon. Decarburization can be influenced by changing the gas ratio. The gas ratio changes were made three times, and from each of them were taken several steel samples to detect the change.

Bachelor thesis also includes the effect of lime on the rising of carbon in reduction and the effect of the changed objectives of Md30 temperature in the steel grade 720-1. By screening the more consistent quality lime was only used in reduction. The steel samples were taken before and after reduction, those show the rising of carbon in reduction.

The objectives of the bachelor's thesis were achieved by improved decarburization. Also the effect of screened lime on carbon was decreased, compared to the previously used lime. The Md30 temperature was approached to the desired temperature, because of the changed objectives.

In conclusion, the use of the profile that improved the decarburization, brings savings and speeds up the AOD process. Using the screened lime in reduction reduces the rising of carbon, which also speeds up the AOD process.

Keywords: carbon, steel sample, gas ratio, AOD, decarburization.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	I
TIIVISTELMÄ	II
ABSTRACT	III
SISÄLLYSLUETTELO	IV
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	V
1. JOHDANTO	1
2. TERÄSSULATTO	2
2.1. Raaka-ainepiha	2
2.2. Valokaariuuni	3
2.3. AOD	4
2.4. Senkka-asema	5
2.5. Jatkuvalukone	5
3. AOD-MENETELMÄ	7
4. AOD-PROSESSI	9
4.1. Mellotus	9
4.2. Pelkistys	10
4.3. Rikinpoisto	10
5. KOOSTUMUKSEN VAIKUTUS TERÄKSEEN	12
5.1. Raaka-ainepohja linjalla 1 ja 2	12
5.2. MD30	12
5.3. MD30 liittyminen työhön	13
5.4. MD30-ero linjalla 1 ja 2	14
5.5. MD30-koostumuksen tähtäyksen muutos	15
6. TEHDYT KOKEET	17
6.1. Vertailujakso	17
6.2. Ensimmäinen koesarja	20
6.3. Toinen koesarja	22
6.4. Kolmas koesarja	24
7. MD30-TOTEUTUMAT 20-NÄYTTEESSÄ	27
8. PARANNUSEHDOTUKSET	28
9. YHTEENVETO	29
10. LÄHDELUETTELO	31
LIITELUETTELO	32

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AOD	argon oxygen decarburization
SZ-valssain	senzimir-valssain
CRK	kromikonvertteri
VKU	valokaariuuni
C	hiili
N	typpi
Si	pii
Mn	mangaani
Cr	kromi
Ni	nikkeli
Cu	kupari
Mo	molybdeeni
Nb	niobi
Md-lämpötila	lämpötila jossa martensiittia muodostuu
CaF ₂	flusbaatti

1. JOHDANTO

Outokumpu Oyj on monikansallinen yritys, joka valmistaa ruostumatonta terästä. Toiminnan tavoitteena on olla ruostumattoman teräksen valmistuksessa ehdoton ykkönen. Outokumpu toimii yli 30 maassa ja sen palveluksessa on yli 8000 ihmistä.

Outokumpu Tornio Worksin tuotanto-organisaatioon kuuluvat Kemissä Elijärven kaivos, Torniossa ferrokromitehdas, terässulatto, kuumavalssaamo, kylmävalssaamo, satama- ja kuljetuspalvelut sekä Hollannissa sijaitseva Outokumpu Stainless B.V. Terneuzen. /7/

Aiheena opinnäytetyössä on tutkia hiilen palamista sulattolinja2:n AOD-prosessissa (argon oxygen decarburization) 4-vaiheella. Opinnäytetyöhön liitettiin myös hiilen nousun tutkiminen pelkistyksessä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia sulattolinja2:n AOD-prosessin 4-vaiheella tapahtuvaa hiilen palamista ja mahdollisesti saada siihen hiilen palamista nopeuttava parannus. Työ rajattiin koskemaan ainoastaan ruostumattoman teräksen lajia 720-1. Hiilen palamisen nopeuttamisen myötä saadaan AOD2-prosessia nopeammaksi, saadaan säästöjä materiaalikustannuksissa sekä konvertterin vuorauksen kestoikää pidemmäksi.

Työssä ei tulla esittämään numeroin kaasujen seossuhteita tai määriä.

2. TERÄSSULATTO

Terässulaton tehtävä on valmistaa valamalla teräsaihoita. Ennen kuin aihiot voidaan valaa, pitää sitä varten valitut materiaalit sulattaa sekä seostaa haluttuun koostumukseen. Terässulatto 2-linjalla on viisi eri prosessipaikkaa, jotka koostuvat raaka-ainepihasta, valokaariuunista, AOD:sta, senkka-asemasta sekä jatkuvavalukoneesta.

2.1. Raaka-ainepiha

Raaka-ainepihalla kerätään siltanosturin avulla materiaaleja panostuskoriin, joka liikkuu diesel-käyttöisen junan päällä. Kun tarvittavat materiaalit on kerätty, juna ajetaan seosaineannostelijan alle, josta tiputetaan panostuskoriin vielä sulatuserän tarvittavat seosaineet. Tämän jälkeen kori joko panostetaan valokaariuuniin tai laitetaan kuivaimen.

Raaka-ainepihalla käytettäviä materiaaleja on useita, yleisimmin käytettäviä materiaaleja ovat nikkeli sekä kierrätysteräs. Kierrätysteräksenä käytetään purkuterästä, jota ostetaan ympäri maailmaa. Koska kierrätysteräksen osuus sulatuksissa on suuri, pitää niistä välillä ottaa näytteitä, jotta voidaan varmistua materiaalien pitoisuuksista. Koska 2-linjalla ei ole CRK:ta, (kromikonvertteri) siellä käytetään sulan ferrokromin sijaan palakromia. Kuvassa 1 nähdään kierrätysterästä raaka-ainepihalla.



Kuva 1. Raaka-ainepiha. /4/

2.2. Valokaariuuni

Valokaariuunilla sulatetaan raaka-ainepihalta tulleet materiaalit sähkövirran avulla. Valokaariuunin päällä oleva holvi voidaan kääntää sivuun, jolloin voidaan panostaa panostuskorin sisältö uuniin. Uunin päällä olevien elektrodien kautta johdetaan suuri määrä sähkövirtaa materiaaleihin, jotka valokaarien johdosta alkavat sulaa. Kun koko panos on saatu sulatettua, uunia kallistetaan, jolloin sula valuu alla olevaan siirtosenkkaan. Kaadon jälkeen sula lähetetään AOD:lle.

Vaikka valokaariuunin tärkein tehtävä on saada materiaalit sulatettua, voidaan valokaariuunilla myös vaikuttaa sulan koostumukseen seostamalla sitä. Keskimääräisesti yhden sulatuksen kesto on 40 - 50 minuuttia, josta tulee noin 140 tonnia terästä. Yhden sulatuksen aikana kuluu sähköä n. 70 000 kWh. Kuvassa 2 on valokaariuunin panostus.



Kuva 2. Valokaariuuni 2. /7/

2.3. AOD

AOD:n tehtävä on poistaa sulasta teräksestä hiiltä, eli mellottaa, sekä seostaa sula asiakkaan haluamaan koostumukseen. Valokaariuunilta tulleesta sulasta otetaan teräsnäyte ja mitataan lämpötila, minkä jälkeen sula valmistetaan AOD:lla haluttuun koostumukseen. Hiiltä poltetaan sulasta käyttäen happea sekä inerttiä kaasua. Kun prosessiin on puhallettu riittävästi happea, sula pelkistetään. Pelkistyksessä kuonasta otetaan piin avulla talteen mellotuksen aikana hapettunut kromi. Pelkistyksen jälkeen sulasta otetaan teräsnäyte sekä mitataan lämpötila. Koostumuksen ollessa hyvä, sula kaadetaan valusenkkään ja lähetetään senkka-asemalle.

Palamisreaktioiden takia lämpötila nousee sulassa korkeaksi. Tämän johdosta sulaa pitää jäädyttää prosessin aikana, jolloin sulapaino myös kasvaa. AOD:n yläpuolella on useita seosainesiloja, joista sulaan pudotetaan täryjen avulla seosaineita. Tällöin lämpötila laskee sekä sula myös seostuu. AOD:lla voidaan helposti vaikuttaa panoskokoon sekä muuttaa sulan koostumusta. Kuvassa 3 nähdään sulan panostus AOD konvertteriin.

AOD:n puhallusaika on noin 40 minuuttia ja sen lähtöpanospaino on noin 150 tonnia.



Kuva 3. AOD2:n panostus. /4/

2.4. Senkka-asema

AOD:n pelkistyksen jälkeisen analyysin mukaan senkka-asemalla tehdään viimeiset seostukset. Kuvassa 4 nähdään senkka-aseman laitteistoa. Yleensä nämä seostukset ovat pieniä tarkennuksia tavoitekoostumukseen. Tiettyjä seostuksia voidaan tehdä vain senkka-asemalla juuri ennen valuun lähetystä. Sula myös jäädytetään valamislämpötilaan jäähymateriaaleilla sekä käyttämällä joko argon- tai typpihuuhtelua. Senkka-asemalla voidaan tehdä myös pieniä sulan lämmityksiä.



Kuva 4. Senkka-asema2. /7/

2.5. Jatkuvavalukone

Senkka-asemalta nostetaan valusenkka jatkuvavalukoneen kääntöhaarukkaan, josta sitä valetaan aihioiksi. (Kuva 5) Kääntöhaarukassa voi olla kaksi valusenkkaa, joita voidaan kääntää erikseen, tällöin valua ei tarvitse katkaista joka käänöllä.

Valusenkka asetetaan välialtaan päälle, jossa sen pohjasta aukaistaan valureikä. Valureiän kautta lasketaan sulaa välialtaaseen, joka toimii valusenkan vaihdon yhteydessä puskurina valulle. Välialtaasta sula lasketaan vesijähdytteiseen kuparikokilliin, jossa se jähmettyy ja saa aihion muodon. Kokillin kautta aihio menee valukaareen, jossa sitä edelleen jähdytetään ilmavesisuihkulla. Valukaaren lopussa on oikaisukone, joka estää kaaren muodon jatkumisen. Tämän jälkeen ahiot katkaistaan haluttuun pituuteen käyttämällä polttoleikkauskonetta. (Kuva 6) Kuumat ahiot voidaan lähettää suoraan kuumavalssaamolle, varastoida tai käyttää hionnassa poistattamassa pintavirheet. /4/

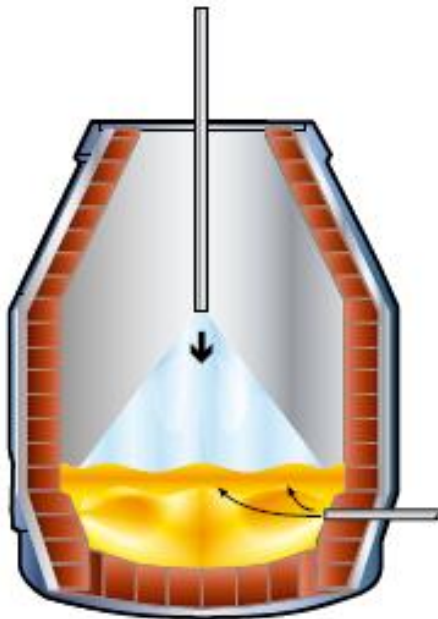


Kuva 5. Jatkuvavalukoneen kokilli. /7/ Kuva 6. Valukaari ja polttoleikkauskone. /7/

3. AOD-MENETELMÄ

Jotta teräkseen saadaan tiettyjä ominaisuuksia, on siitä poltettava hiilipitoisuus alle 0.030 %:iin. Hiilenpoisto voidaan suorittaa ainoastaan teräksen ollessa sulassa muodossa. Hiilenpoistoon on kehitetty menetelmä, jota kutsutaan AOD-menetelmäksi. AOD-menetelmässä hiilen polttamisessa käytetään hyväksi happea ja inerttiä kaasua. /8/

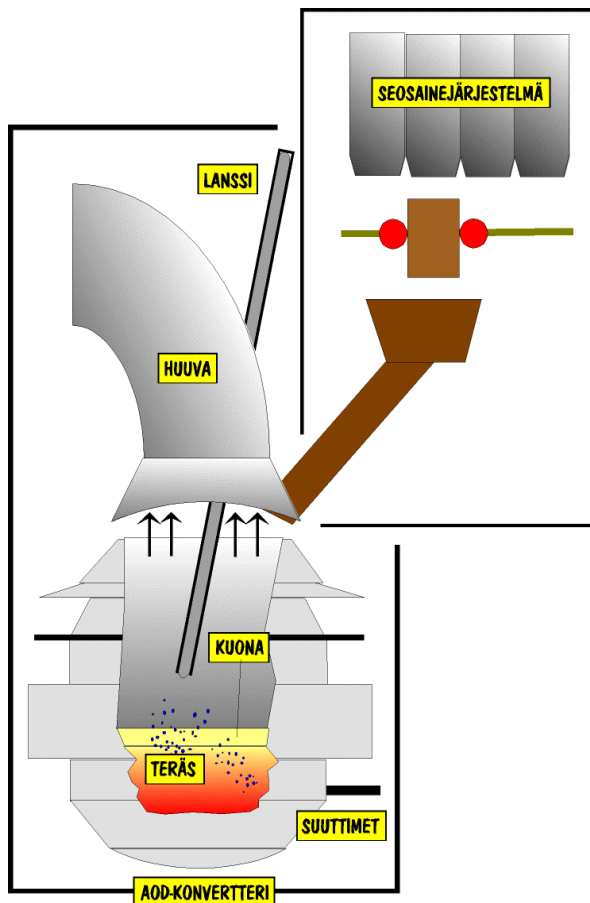
AOD-konvertteri on tulenkestävillä tiilillä vuorattu astia, johon puhalletaan sivussa olevien suuttimien kautta kaasuja. (Kuva 7) Konvertterista riippuen suuttimien määrät vaihtelevat. Konvertteriin voidaan puhaltaa kaasuja myös ylhäällä olevan happilanssin kautta, mikä nopeuttaa prosessia huomattavasti suuren kaasumäärän puhalluksen ansiosta. Hiilenpoiston lisäksi AOD-konvertterissa lisätään myös seosaineita, millä saadaan teräs asiakkaan haluamaan laatuun. /8/



Kuva 7. AOD-konvertteri. /8/

Kun sula tulee AOD-konvertteriin, siitä on mekaanisesti laapalla poistettu kuona ja otettu teräsnäyte sekä lämpötila. Kuonalla on hiilen palamista estävä vaikutus, joten sen mukanaoloa sulassa varsinkin lanssivaiheilla on vältettävä. Teräsnäytteen analyysin sekä lämpötilan mukaan lasketaan mellotussuunnitelma haluttuihin analyysitavoitteisiin sekä haluttuun panospainoon. Tämän suunnitelman mukaan ajetaan sulatukseen kaasuja sekä seosaineita. /4/

Konvertterin yläpuolella on monia siloja, joissa on erilaisia seosaineita. (Kuva 8) Yleisimmin käytettäviä seosaineita ovat nikkeli, kromi sekä ruostumaton tai haponkestävä kierrätysteräs. Näitä seosaineita ajetaan konvertteriin täryillä sekä kuljetushihnalla.



Kuva 8. AOD-seosainejärjestelmä. /4/

4. AOD-PROSESSI

AOD-prosessiin kuuluu kolme vaihetta: mellotus, pelkistys ja rikinpoisto

4.1. Mellotus

Mellotus eli hiilenpoisto jakaantuu eri vaiheisiin:

1+2-lanssivaihe: Koska sulatuksessa on mellotuksen alussa runsaasti hiiltä ja piitä, puhalletaan siihen mellotuksen alussa pelkästään happea. Hiilen sekä piin palamisreaktioiden takia lämpötila nousee sulassa. Sulaan syötetään seosaineita jolloin siihen saadaan haluttu lämpötila sekä koostumus. Näissä vaiheissa myös sulan typpipitoisuus laskee.

3-lanssivaihe: Kun mellotus etenee ja hiilipitoisuus tippuu, osa hapesta polttaa kromia kuonaan, tätä estääkseen hapen määrää pienennetään ja inertin kaasun osuutta lisätään. Inerttinä kaasuna käytetään typpeä, jolloin typpitaso nousee sulassa. Lämpötilan kohotessa sulaan syötetään edelleen seosaineita.

4-suutinvaihe: Kun lanssivaiheet loppuvat, muuttuu kaasusuhde enemmän typpipitoisemmaksi. Puhallus jatkuu konvertterin pohjassa olevista suuttimista. Lämpötila nousee edelleen osittaisen hapensyötön takia. Tässä vaiheessa sulaan ei enää syötetä seosaineita, vaan keskitytään hiilen polttamiseen.

14-suutinvaihe: Inerttikaasu vaihdetaan tyyppistä argoniksi. Kaasusuhteen ollessa enemmän argon-pitoinen, hiilipitoisuutta poltetaan edelleen alemmaksi. Typpitaso lähtee laskemaan kohti haluttua tasoa sekä sulan lämpötila konvertterissa nousee edelleen palamisreaktioiden takia.

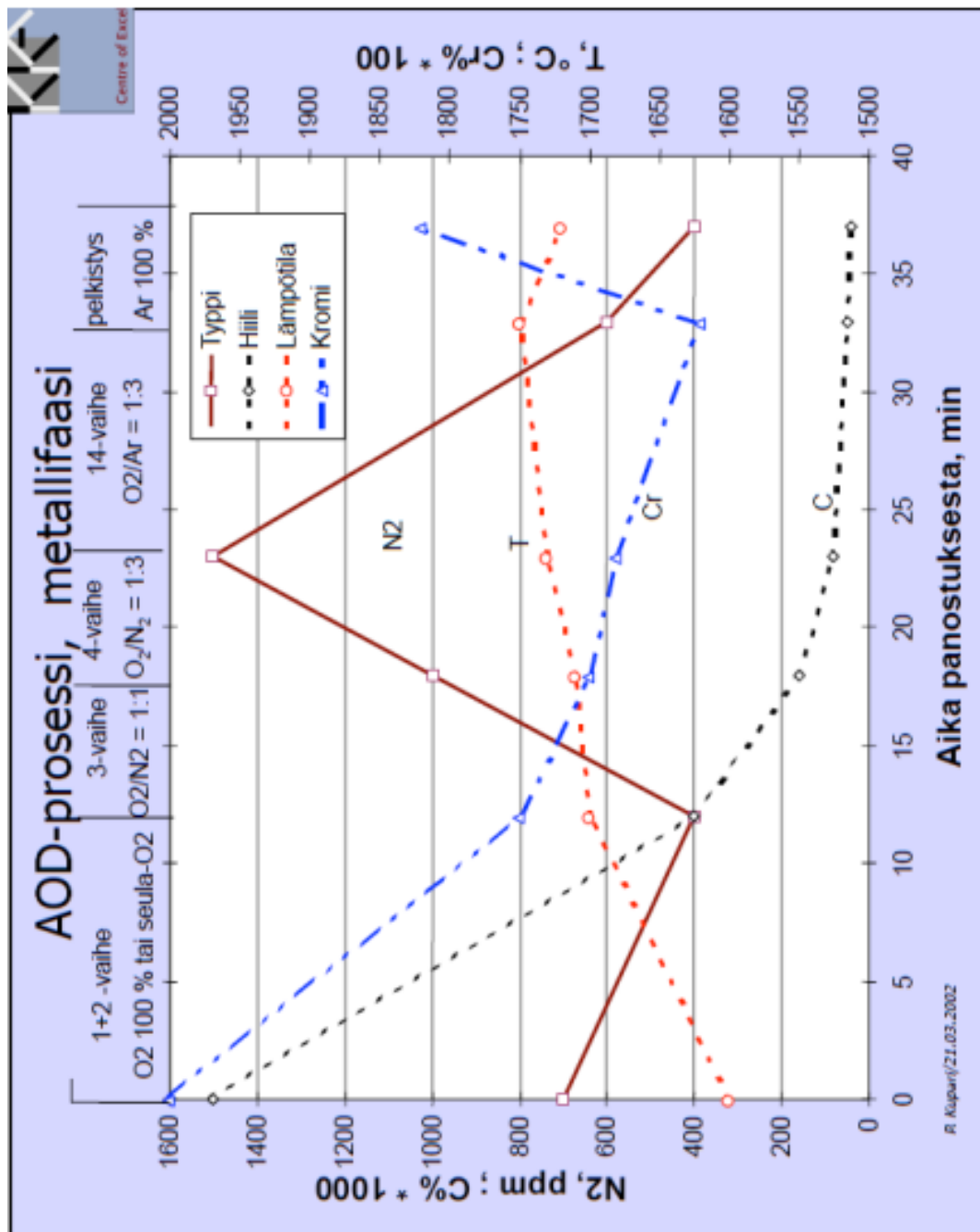
4.2. Pelkistys

Kun hiilipitoisuus on saavuttanut halutun tason, happipuhallus lopetetaan ja sula pelkistetään. Pelkistyksessä sulaan puhalletaan pelkästään argonia, millä saadaan typpitaso tiputettua haluttuun pitoisuuteen. Argonpuhalluksen aikana sulaan syötetään seosaineita, jolloin saadaan aikaan pelkistystapahtuma. Piin avulla kuonaan hapettunut kromi saadaan takaisin sulaan sekä ylimääräinen happi saadaan sulasta sidottua syntyvään kuonaan. /2,4/

4.3. Rikinpoisto

Jotta sulasta saadaan rikki pois, pitää sinne syöttää pelkistyksen aikana kalkkia ja fluspaattia. Riittävä kalkkimäärä tekee kuonasta emäksistä, mikä sitoo sulasta rikkiä. Fluspaatti laskee kalkin sulamispistettä ja viskositeettia, jolloin näytteenoton aikana konvertterin ollessa kallellaan, kuona poistuu näytteenoton aikana

Kuvassa 9 nähdään AOD-prosessin aikana tapahtuvat muutokset.



Kuva 9. AOD-prosessi, metallifaasi. /2/

5. KOOSTUMUKSEN VAIKUTUS TERÄKSEEN

Jokaisella teräslaadulla on omat koostumuksensa, näitä muuttamalla voidaan vaikuttaa teräksen ominaisuuksiin.

5.1. Raaka-ainepohja linjalla 1 ja 2

Terässulaton molemmilla linjoilla on käytössä raaka-ainepiha, jossa panostuskoriin kerätään siltanostureiden avulla tarvittavia raaka-aineita. Eniten käytettävä raaka-aine ruostumattoman teräksen tekoon on kierrätysteräs.

Kierrätysteräksen lisäksi linjalla 1 voidaan hyödyntää ferrokromisulatoilta tullutta sulaa ferrokromia. Torniossa kehitetty CRK kykenee käyttämään sulaa ferrokromia ja laimentamaan siitä koostumukseltaan sopivaa AOD:lle. Käytettäessä kromisulaa, on linja 1 tuotantotehokas, koska sen ei tarvitse käyttää energiaa kromin sulattamiseen VKU:lla.

Linjalla 2 käytetään sulan ferrokromin sijasta palakromia, joka lisätään raaka-ainepihalla panostuskoriin. Linjalla 2 maksimoidaan myös kierrätysteräksen käyttö, joten näistä tuleva molybdeeni ja kupari vaikuttavat osaltaan Md30-lämpötilaan.

5.2. MD30

Lämpötila, jossa martensiittia muodostuu, kutsutaan Md-lämpötilaksi. /5/ Muutos austeniittisestä martensiittiseksi käynnistetään kylmämuokkauksella. Austeniittisen teräksen muutoksen vakautta mitataan käyttämällä Md30-lämpötilaa. Tämä määrittää lämpötilan jossa 50 % austeniittista muuttuu martensiittiseksi 30 % kylmämuokkauksella /1/

Md30 Noharan kaava:

$$\text{Md30 (}^\circ\text{C)} = 551 - 462 \cdot (\text{C} + \text{N}) - 9.2 \cdot \text{Si} - 8.1 \cdot \text{Mn} - 13.7 \cdot \text{Cr} - 29 \cdot (\text{Ni} + \text{Cu}) - 18.5 \cdot \text{Mo} - 68 \cdot \text{Nb}$$

Kaavassa käytetään koostumuksen tavoitetta. Jos sulatuksessa on asiakasraja, ei Md30-lämpötila toteudu. /6/

5.3. MD30 liittyminen työhön

Kylmävalssaamon SZ-valssaimilla (senzimir-valssain) suurin laatuongelma on ollut pintavirhe (virhekoodi 256). Jälkeä on tutkittu usean vuoden ajan ja sen on huomattu syntyvän MD30-lämpötilatavoitteen heitosta. Varsinkin heitto negatiiviseen suuntaan aiheuttaa pintavirheitä. Taulukossa 1 nähdään rulla määräiset jakautumiset Md30-arvoihin. /3/

Kylmävalssaamolla on tutkittu yhteensä 985 rullaa ja näiden rullakohtaisia Md30-arvoja. Kaikki rullat olivat 720-1 laatua. /3/

Taulukko 1. 720-1 rullat SZ2:lta jaoteltuna MD30-arvojen mukaan pintavirheprosentteineen. /3/

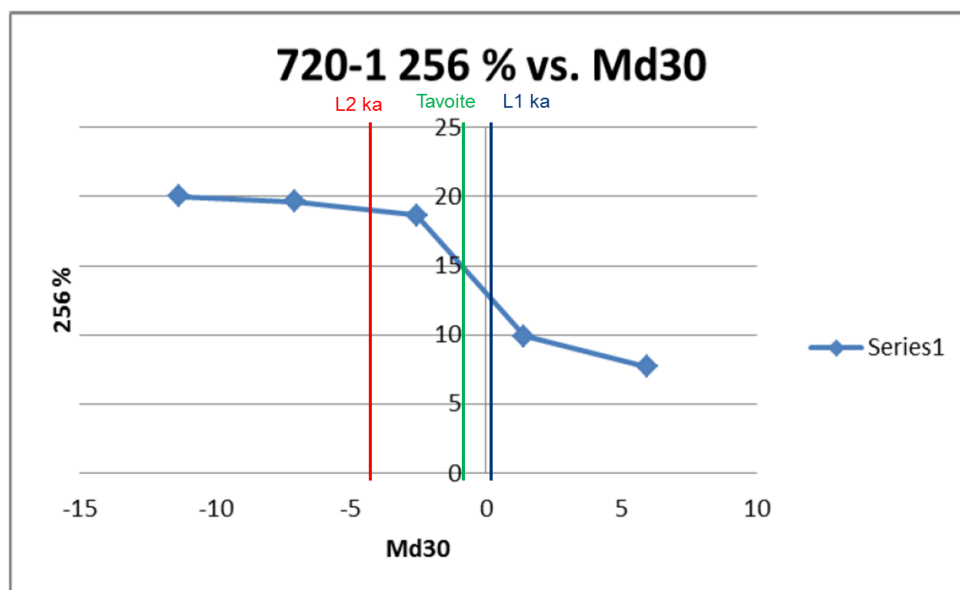
MD30 väli	Rullat yhteensä	256 rullat kpl	256 %	256 EI OK rullat kpl	KT tai SRS %
10 tai yli	0				
5 – 10	13	1	7,69 %	0	0,00 %
0 – 5	212	21	9,91 %	1	0,47 %
-5 – 0	536	100	18,66 %	14	2,61 %
-10 - -5	209	41	19,62 %	6	2,87 %
alle 10	15	3	20,00 %	0	0,00 %
yli -1,8	374	43	11,50 %	2	0,53 %
alle -1,8	611	123	20,13 %	19	3,11 %
Kaikki	985	166	16,85 %	21	2,13 %

AOD-prosessilla on suurin vaikutus teräksen koostumukseen, jolloin siellä tehtävät muutokset vaikuttavat suoraan MD30-arvoihin ja sen kautta voidaan vaikuttaa pintavirheisiin.

5.4. MD30-ero linjalla 1 ja 2

Molempien linjojen Md30-tavoite on ollut $-0,8^\circ$, mutta vuoden 2011 tammi-toukokuun välillä otettujen näytteiden keskiarvojen mukaan nämä tavoitteet eivät ole toteutuneet. Linjalla 1 Md30-tavoite on mennyt positiiviseen suuntaan lukuun $+0,5^\circ$, jolloin eroa on tullut $1,3^\circ$. Linjalla 2 Md30-tavoite on mennyt negatiiviseen suuntaan ollen $-3,9^\circ$, jolloin eroa on tullut $-3,1^\circ$. Näiden lukujen tarkastelu osoittaa että varsinkin linjalla 2 on tavoitteen ja toteutuman välillä suuri ero. Ero johtuu linja-2:ssa käytettävän kierrätysteräksen suuresta osuudesta sulatuksissa. /6/

Kuten edellä todettiin, aiheuttaa negatiiviseen suuntaan mennyt Md30-tavoite irtopartikkeleita, jotka aiheuttavat pintavikaa SZ-valssaimilla. Kuvassa 10 nähdään Md30-tavoitteet ja keskiarvot selkeästi.



Kuva 10. Md30-tavoite ja erot linjalla 1 ja 2 /6/

5.5. MD30-koostumuksen tähtäyksen muutos

Koska vuoden 2011 tammi-toukokuun Md30-keskiarvo lajilla 720-1 on ollut -3.9° , on ryhdytty toimenpiteisiin, jotta keskiarvoksi saadaan haluttu -0.8° . Tämä tarkoittaa 720-1 laadun valmistustavoitepitoisuuksien muutoksia. Taulukossa 2 nähdään teräs lajin 720-1 vanhat rajat ja taulukossa 3 nähdään uudet rajat. /6/

Taulukko 2. Lajin 720-1 vanhat rajat. /6/

720-1 Vanhat rajat:									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb	N
luokitus min	0,0065	0,245	1,395	17,95	7,95		0,295		0,0345
valmistus min	0,015	0,35	1,70	18,00	8,04		0,30		0,040
valmistus tavoite	0,022	0,40	1,83	18,20	8,10		0,45		0,050
valmistus max	0,03	0,55	1,95	18,4	8,16	0,40	0,60	0,205	0,065
luokitus max	0,0305	0,755	2,005	19,05	8,55	0,705	0,645	0,205	0,0705

Taulukko 3. Lajin 720-1 uudet rajat. /6/

720-1 Uudet rajat:									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb	N
luokitus min	0,0065	0,245	0,995	17,95	7,95		0,295		0,0345
valmistus min	0,015	0,35	1,45	18,00	8,00		0,30		0,040
valmistus tavoite	0,025	0,40	1,55	18,15	8,05		0,45		0,050
valmistus max	0,030	0,55	1,65	18,30	8,10	0,40	0,60	0,205	0,065
luokitus max	0,0305	0,755	2,005	19,05	8,55	0,705	0,645	0,205	0,0705

Kovin suuria muutokset eivät ole, ainoastaan Mn:n tavoitetta on pudotettu eniten. Valmistustavoitteiden muuttaminen pienemmiksi aiheuttaa sen että Md30-tavoite siirtyy

positiiviseen suuntaan, Näillä muutoksilla päästään lähemmäksi tavoitetta -0.8° . Hiilipitoisuuden valmistustavoitteen nostaminen ylöspäin lyhentää prosessiaikaa, joka osaltaan tuo kustannussäästöjä.

6. TEHDYT KOKEET

Ennen koesarjoja kerättiin sulista ainoastaan tietoa, eikä yritetty muuttaa ajotapaa mitenkään. Tietoa kerättiin kalkin vaikutuksesta hiilen nousuun pelkistyksessä, 4-vaiheen kestojen jakautumisesta sekä hiilen palamisnopeudesta. Koesarjoissa yritettiin saada 4-vaiheen muutoksilla aikaan muutosta hiilen palamiseen. Myös uuden seulotun kalkin vaikutusta pelkistykseen tutkittiin.

6.1. Vertailujakso

Hiilen palamisen nykytilan selvittämiseksi, otettiin useista sulatuksista 13 ja 14 välinäytteitä. Hiilen palamisnopeus laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$d\%C/dt = (\%C13 - \%C14) / (t14 - t13)$$

Missä

$d\%C/dt$ on hiilen palamisnopeus

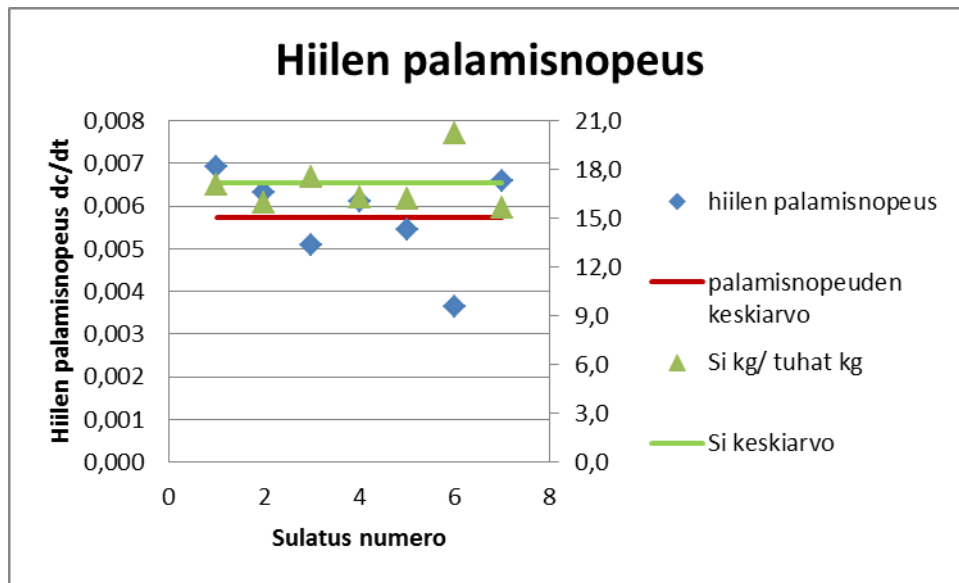
$\%C13$ on näytteen 13 hiilipitoisuus

$\%C14$ on näytteen 14 hiilipitoisuus

$t13$ on näytteen 13 ottoaika (ddhhmm)

$t14$ on näytteen 14 ottoaika.

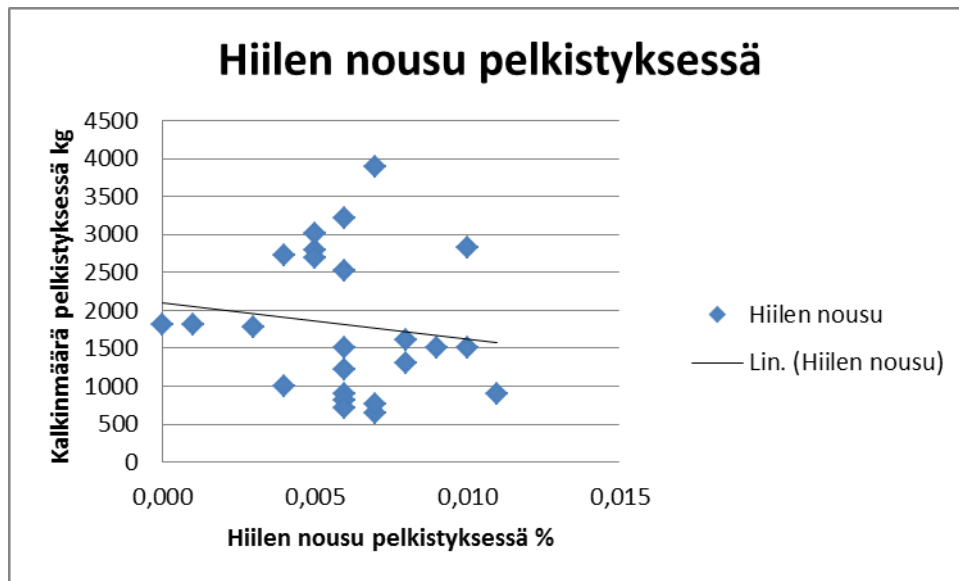
4-vaiheiden ajat lasketaan suhteessa tippuneeseen hiilipitoisuuteen 13- ja 14-näytteiden välillä. Keskiarvo hiilen palamisnopeudelle oli 0.0057 % minuutissa. Kuvassa 11 nähdään hiilen palamisnopeus sulatuksittain, sekä niiden keskiarvo. Myös FeSi:n kulutus tuhatta kiloa kohden on laskettu. Laskun tuloksesta nähdään, onko sen kulutus sulatuksessa ollut normaalilla tasolla. Normaalitasona voidaan pitää kulutusta 15 - 20 kiloa tuhatta kiloa kohden. Kuvassa 11 on hiilen palamisnopeus sekä Fesi:n kulutus.



Kuva 11. Hiilen palamisnopeus ja FeSi:n kulutus vertailujaksossa. (Liite 1)

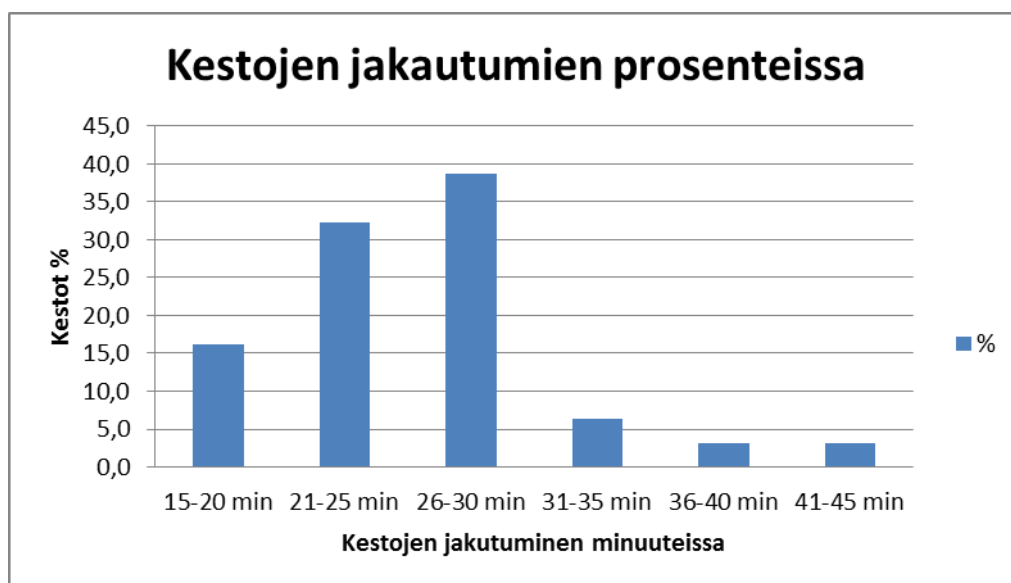
Tietoa kerättiin myös hiilipitoisuuden noususta pelkistyksessä. Mellotuksen ja pelkistyksen kalkinajon ihanteellinen malli olisi, että kalkkia ajettaisiin vain mellotuksen lähdössä sekä pelkistyksessä. Kalkin sisältämän hiilen takia sitä syötetään myös 4-vaiheessa, tällä estetään hiilen liiallinen nousu pelkistyksessä.

Kuvassa 12 voidaan havaita, että hiilen nousu pelkistyksessä ei ole samassa suhteessa käytetyn kalkin määrään. Jos kalkki olisi tasalaatuista, lineaarinen viiva olisi nouseva. Tässä tapauksessa viiva on laskeva, joten voidaan siis todeta että kalkki ei ole tasalaatuista. (Liite 1)



Kuva 12. Hiilen nousu pelkistyksessä vertailujaksossa. (Liite 1)

Seuraava kaavio kertoo prosentuaalisesti, mihin aikaluokkiin 4-vaiheen kestot jakaantuvat. Kestojen jakautumisesta näkee suoraan kuinka tehokkaasti hiili palaa. Vertailujakson ajat jakaantuvat suurimmaksi osan 21 – 30 minuutin kohdalle. Kuvaa 13 käytetään vertailuna myöhempiin kestojen jakautumisiin. Kuvaan liittyvät täydelliset tulokset on annettu erillisessä liitteessä. (Liite1)

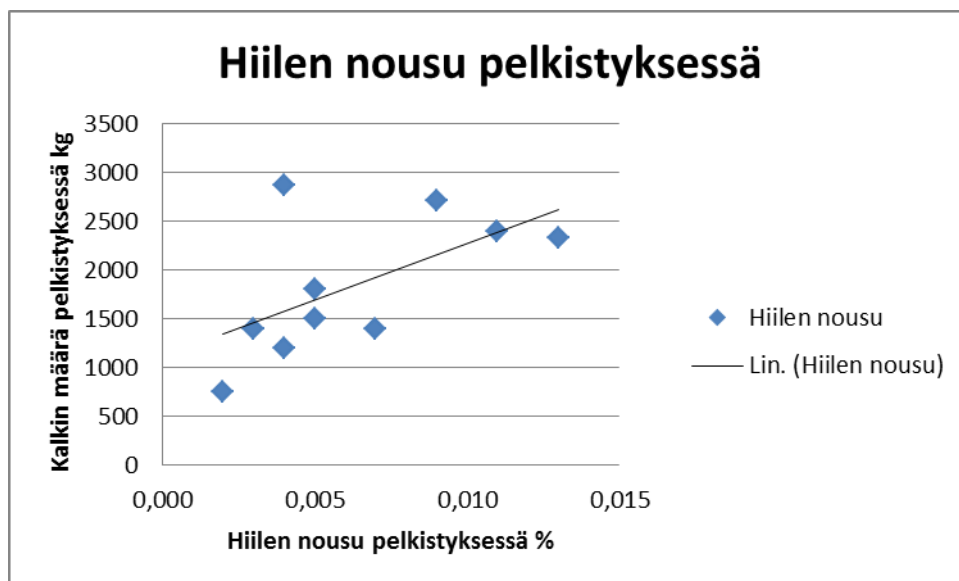


Kuva 13. Mellotuksen 4-vaiheen kestojen jakautuminen prosentteina vertailujaksossa.

6.2. Ensimmäinen koesarja

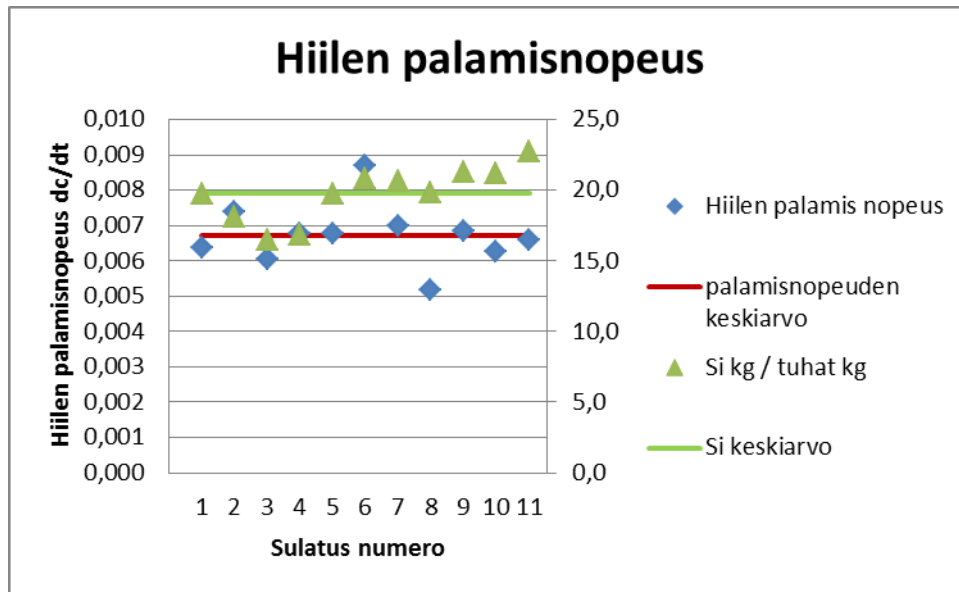
Kaasuvaiheiden muutosten testausta tehtiin samaan aikaan kuin kalkkimuutostenkin. Koesarjojen aikana pelkistyksessä käytetään ainoastaan seulottua poltettua kalkkia. Tämä seulottu kalkki on palakooltaan samansuuruista, joten sen hiilipitoisuus voidaan vakioida paremmin.

Kalkkia pitää käyttää pelkistyksessä mahdollisimman vähän, mutta kuitenkin riittävästi rikin poistamiseen. Heti ensimmäisten sulatusten jälkeen havaittiin, että teräksen hiilipitoisuus nousee pelkistyksessä vähemmän kuin kokeita edeltäneellä jaksolla. Kuvasta 14 näkee että hiili nousee muutamaa poikkeuksetta lukuun ottamatta samassa suhteessa kalkin määrään nähden. Kuvaan liittyvät yksityiskohtaiset mittaustulokset on annettu erillisessä liitteessä. (Liite 2)



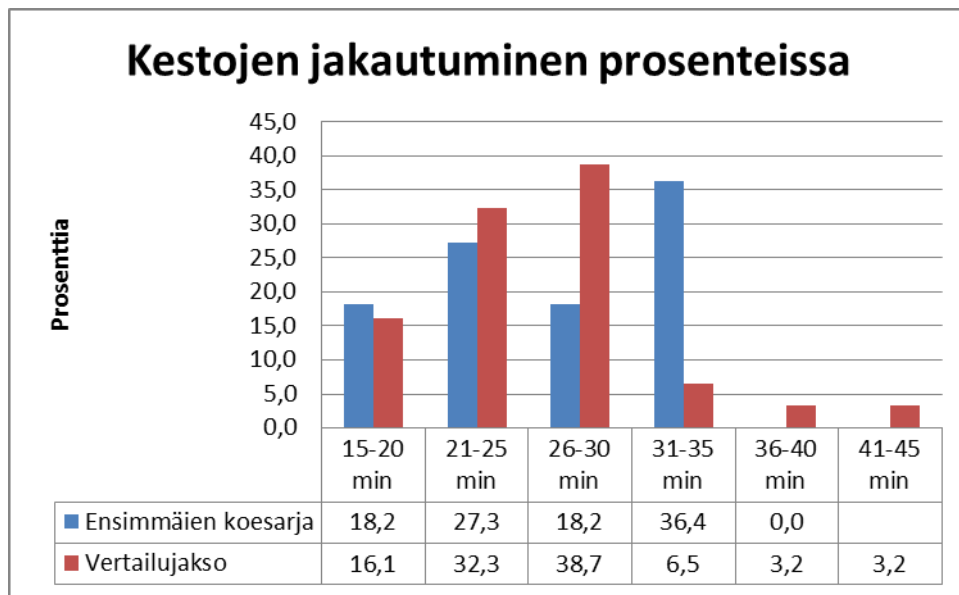
Kuva 14. Hiilen nousu pelkistyksessä ensimmäisessä koesarjassa.

Ensimmäinen kaasusuhdemuutos ja kaasuvirtausten muutos 4-vaiheeseen nopeutti hiilen palamista. Keskimääräisesti hiilen palamisnopeus kasvoi hyvin keskiarvon ollessa 0.0067 % minuutissa. (Kuva 15) FeSi:n kulutuksen keskiarvo pysyi juuri 20 kg:n alapuolella, joka on normaalissa tasossa, mutta hieman korkeampi kuin vertailujaksossa. (Liite 2)



Kuva 15. Hiilen palamisnopeus ensimmäisessä koesarjassa.

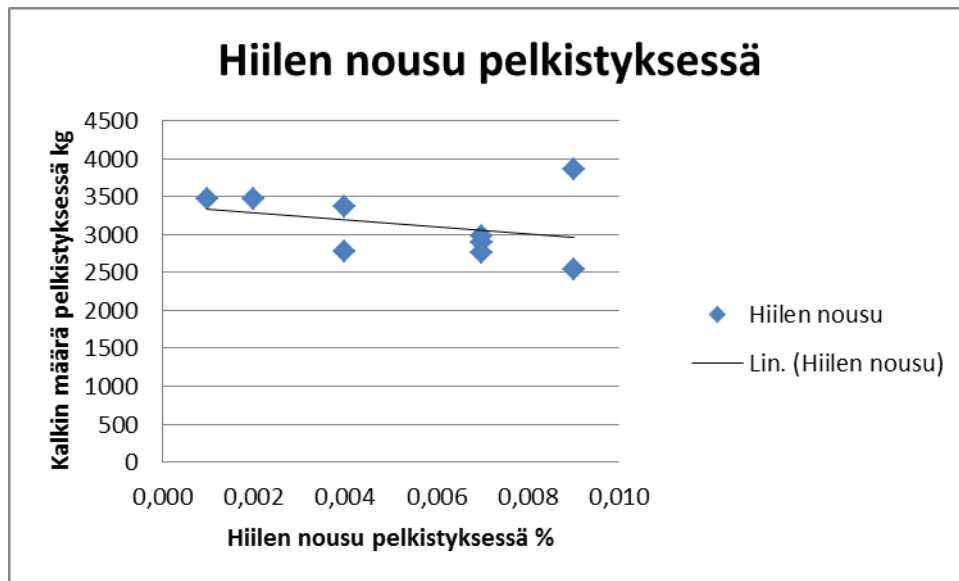
Ensimmäisen muutoksen jälkeen 4-vaiheen keston jakautuminen näyttää kuvan 16 perusteella olevan huonompi kuin ennen muutosta. Tarkastelu hiilen palamisnopeuteen näyttää että sulatusaika on lyhentynyt. (Kuva 16) Suuri poikkeavuus kestoissa johtuu myös konvertterista, hiili palaa uudella vuorauksella hitaammin ja taas vanhalla vuorauksella nopeammin. Yli 35 minuutin kestoja ei enää ole. Piin kulutuksen väheneminen voi myös johtua edeltäneestä syystä. (Liite 2)



Kuva 16. Kestojen jakautuminen prosenteissa ensimmäisessä koesarjassa. (Liite 2)

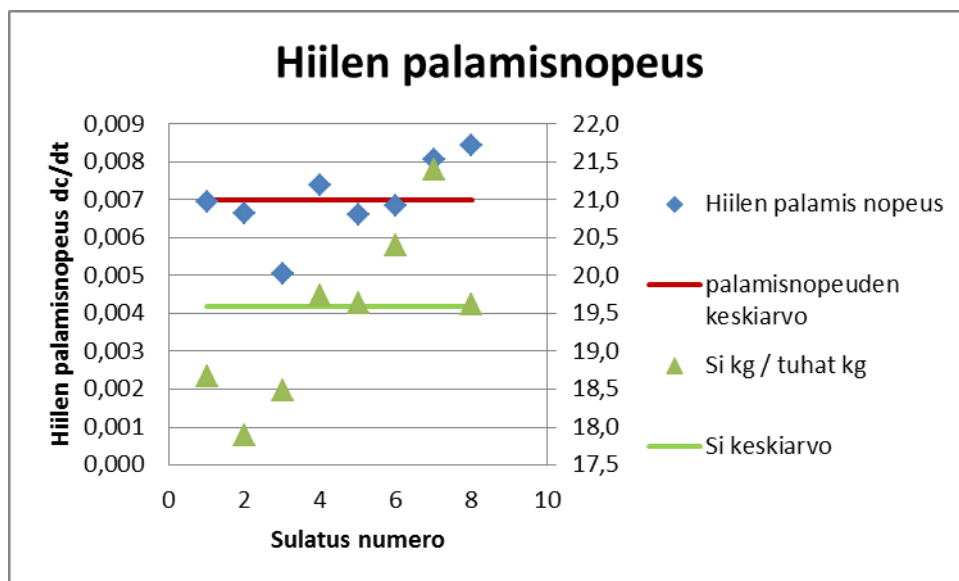
6.3. Toinen koesarja

Toisen muutoksen aikana 4-vaiheelta siirrettiin pelkistykseen enemmän kalkkia, koska huomattiin että tämä seulotun kalkin hiilipitoisuus pysyy paremmin vakiona. Tämä muutos vaikuttaa suoraan hiilen palamiseen 4-vaiheella, koska ns. korkeampi hiilistä kalkkia jätetään pois ja parempaa seulottua kalkkia lisätään pelkistykseen. Hiilen nousussa on vieläkin heittoa, mutta maltillisemmin. Kuvassa 17 nähdään hiilen nousu suhteessa pelkistyksessä käytettyyn kalkkiin. (Liite 3)



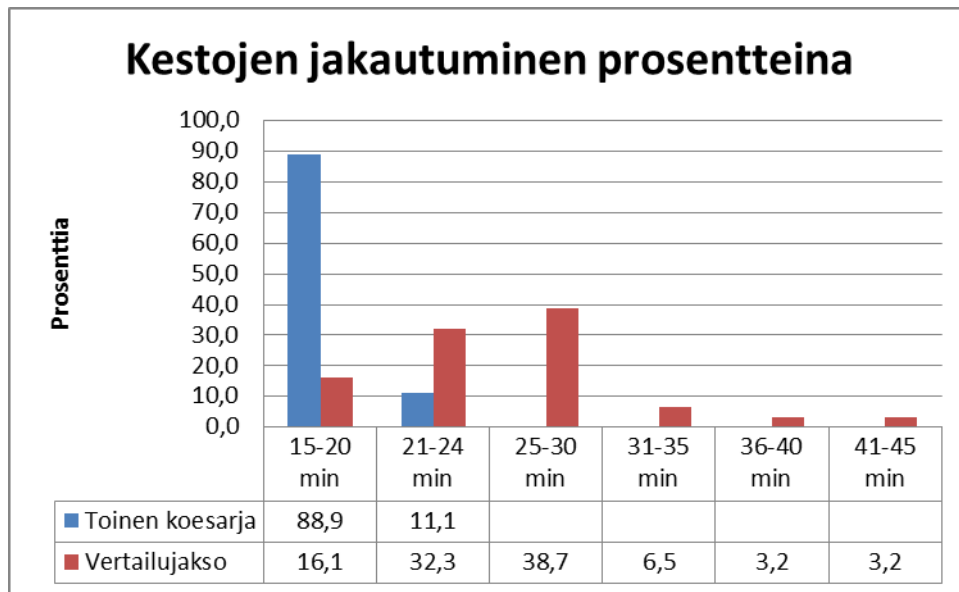
Kuva 17. Hiilen vaikutus pelkistyksessä toisessa koesarjassa. (Liite 3)

Toisen kaasusuhteen muutoksen myötä päästiin hiilen palamisessa vieläkin nopeampaan tapaan. Näiden sulatusten hiilen palamisen keskiarvo oli 0.007 % minuutissa, joka on nähtävillä kuvassa 18. Vaikutusta nopeutumiseen aiheuttaa myös 4 vaiheelta siirretty kalkki pelkistykseen. Si:n kulutus jäi toisessakin koesarjassa alle 20 kg:aan, ollen näin normaalissa tasossa. (Liite 3)



Kuva 18. Hiilen palamisnopeus toisessa koesarjassa. (Liite 3)

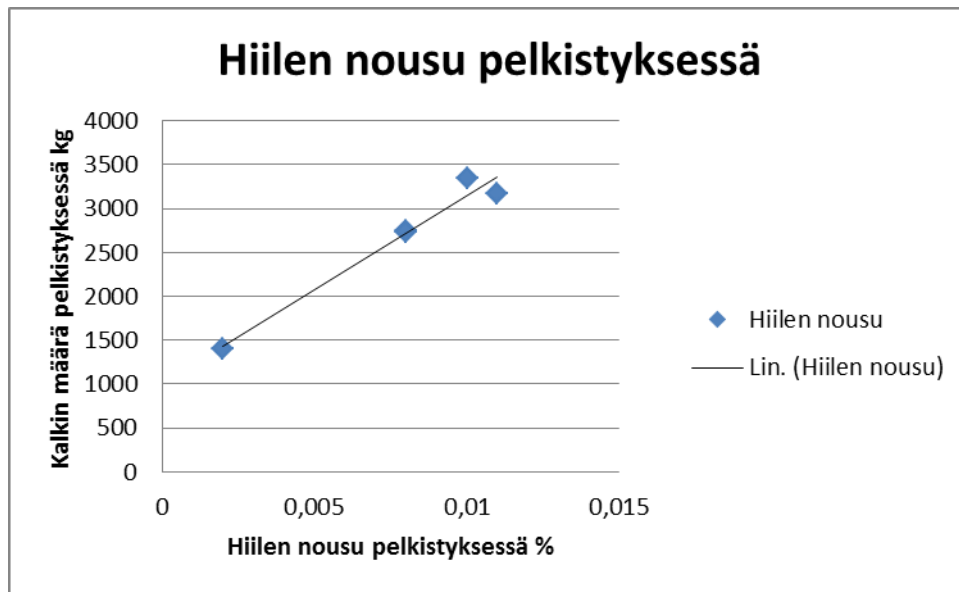
Hiilen liiallisen nousun vähentyminen pelkistyksessä ja hiilen tehokkaan palamisen johdosta, voitiin sula pelkistää aikaisemmin. Kuvassa 19 nähdään kestojen jakautuminen 4-vaiheella. Keskimäärin hiili jäi sulissa arvoon 0.022 %. Tämän johdosta 4-vaiheen keston hajonta pieneni huomattavasti. (Liite 3)



Kuva 19. Kestojen jakautuminen prosentteina toisessa koesarjassa. (Liite 3)

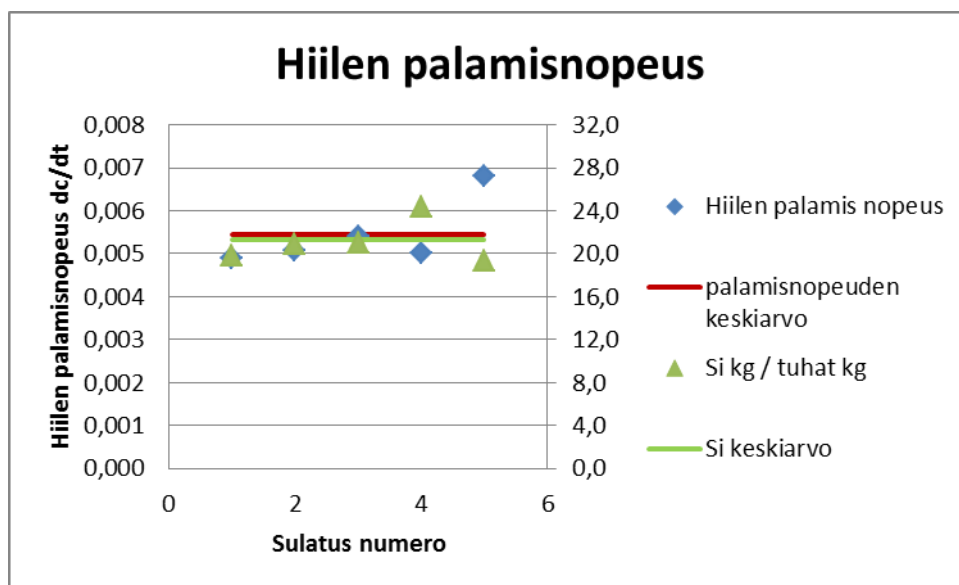
6.4. Kolmas koesarja

Kalkkien ajoa pelkistykseen jatkettiin samaan malliin. Hiilen nousu pysyi ensimmäisen muutoksen kaltaisena. Hiilen nousu oli useassa sulatuksessa yhtä suuri, tämän takia kuvassa 20 näyttää olevan vähän sulatuksia. (Liite 4)



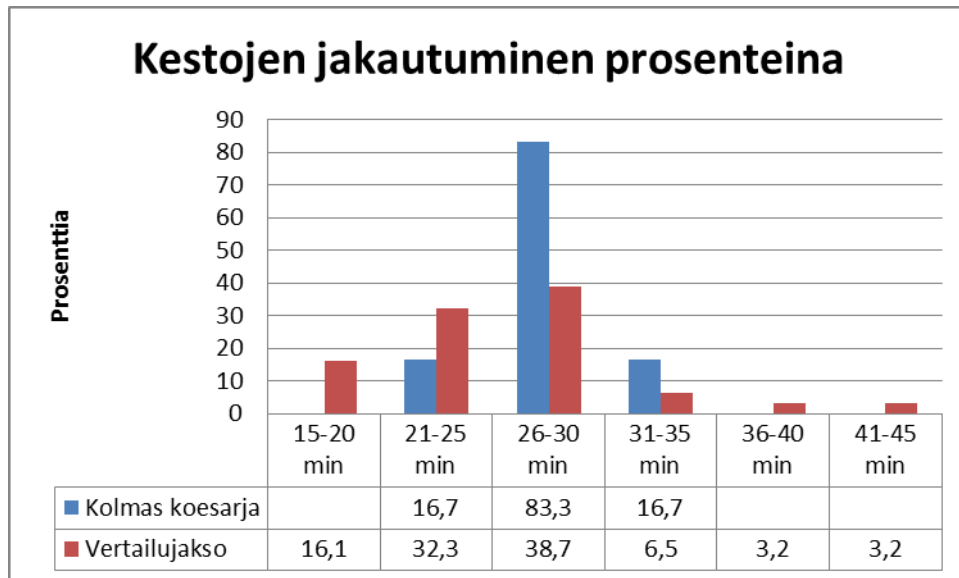
Kuva 20. Hiilen nousu pelkistyksessä kolmannessa koesarjassa. (Liite 4)

Kolmas kaasusuhdemuutos sai aikaan muutoksen huonompaan suuntaan. Kuvassa 21 nähdään, kuinka hiilen palamisnopeus heikkeni huomattavasti, mikä aiheutti AOD-ajan pitenemisen. Hiilen keskimääräinen palamisnopeus tippui arvoon 0.0054 % minuutissa. Myös FeSi:n kulutus kasvoi liian suureksi, johtuen liian suuresta hapen kulutuksesta. Yksityiskohtaiset mittaukset on annettu erillisessä liitteessä (Liite 4)



Kuva 21. Hiilen palamisnopeus kolmannessa koesarjassa. (Liite 4)

Kestot jakautuivat pääosin 26 - 30 minuutin kohdalle. Kestot ovat hiukan suurempia kuin aikaisemmissa koesarjoissa, mutta ovat kuitenkin jakautuneet kohtuullisen pienelle alueelle. Kestojen pienentynyt hajonta johtuu tasalaatuisesta kalkista. Verrattuna vertailujaksoon, jakautuma on paljon pienempi. Kuvassa 22 nähdään kestojen jakautuminen kolmannessa koesarjassa.



Kuva 22. Kestojen jakautuminen kolmannessa koesarjassa. (Liite 4)

7. MD30-TOTEUTUMAT 20-NÄYTTEESSÄ

Tehtyjen kokeiden näytteiden koostumukset otettiin talteen, mistä laskettiin pitoisuuksien keskiarvot alla olevaan taulukkoon.

Taulukko 4. Pitoisuuksien keskiarvot tehdyissä muutoksissa 20-näytteessä.

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	Cu	N		
Muutos 1	0,021	0,37	1,52	18,12	8,05	0,30	0,12	0,42	0,04	Md30 (°C)=	6,1
Muutos 2	0,022	0,43	1,52	17,98	7,93	0,30	0,12	0,45	0,05	Md30 (°C)=	6,8
Muutos 3	0,020	0,40	1,52	18,09	7,97	0,30	0,12	0,43	0,04	Md30 (°C)=	7,4

Taulukossa 4 olevat arvot ovat AOD2:lta otettuja 20 näytteitä. Kuten nähdään, ovat kaikki Md30-lämpötilat yli kuusi astetta, joka on huomattavasti enemmän kuin tavoiteltu -0,8. Nähtävillä on selvästi, että halutut tavoitteet varsinkin hiilipitoisuudessa sekä kromipitoisuudessa verrattuna taulukkoon 3 ovat menneet alakanttiin. On kuitenkin otettava huomioon, etteivät nämä arvot ole viimeisimmät. AOD:n jälkeen tulee vielä senkka-aseamalla lopulliset seostukset, jonka jälkeen voidaan katsoa mihin Md30-lämpötilatavoite on mennyt.

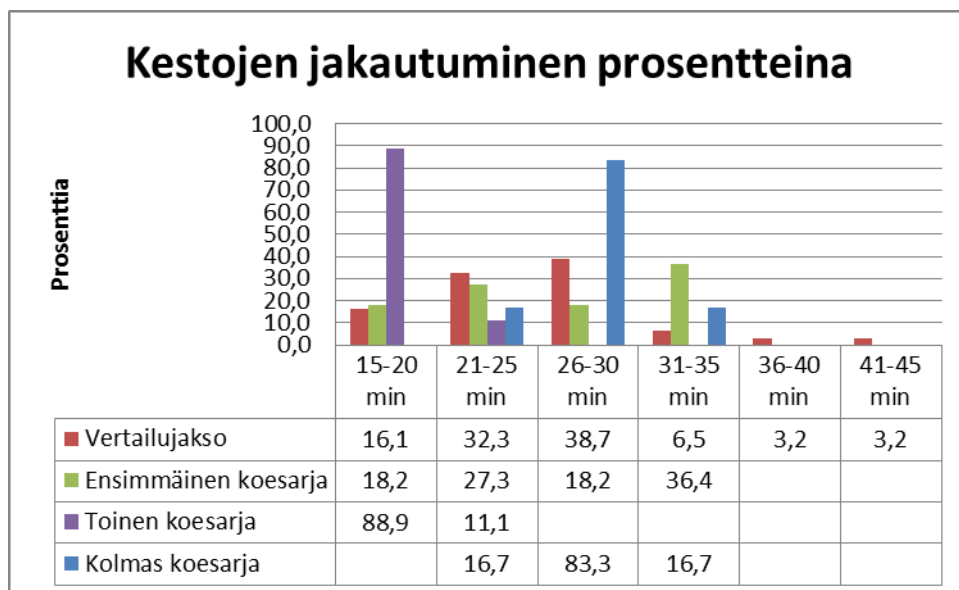
Md30-lämpötilan laskemiseen käytettävässä kaavassa käytetään 720-1 teräslaadulla kahta pitoisuus vakiota. Koska kyseiseen laatuun ei lisätä molybdeenia eikä niobia, käytetään siinä vakiota Mo=0.30, sekä Nb=0.12. /6/

8. PARANNUSEHDOTUKSET

Tehtyjen koesarjojen ja niiden tulosten analysoinnin pohjalta, suositellaan jatkossa otettavaksi AOD2:lla käyttöön koesarjassa kaksi testattu puhallusprofiili. Myös koesarjoissa käytettävänä ollutta seulottua kalkkia suositellaan käytettäväksi jatkossakin. Seulotun kalkin laadun pysyessä hyvänä, voidaan pelkistykseen siirtää 4-vaiheelta kalkkia. Koesarjan aikana kalkkia siirrettiin 1000 kg, joka ei aiheuttanut hiileen mittavaa muutosta.

Tutkimustyön alussa saatuja tuloksia vertaamalla koesarjan kaksi tuloksiin, voidaan nähdä selvää parannusta kaikkiin osa-alueisiin. Hiilen palamisnopeutta saatiin huomattavasti nopeammaksi, minkä avulla puhallusajat pienenevät. Pelkistyksessä käytössä ollut seulottu kalkki oli paljon tasalaatuisempaa kuin normaalisti käytössä ollut kalkki, minkä johdosta hiili ei käyttäytynyt niin mielivaltaisesti. Seulotun kalkin laadun seuranta on hyvä jatkaa tulevaisuudessakin, näin voidaan varmistua laadukkaasta materiaalista.

Todennäköisesti kaasusuhteen muutos vaikuttaa muihinkin teräslajien hiilen palamiseen, vaikka koesarjat tehtiin ainoastaan ruostumattoman teräksen lajilla 720-1.



Kuva 23. Kestojen jakautuminen prosentteina eri jaksoissa.

9. YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja optimoida hiilen palamista nopeuttava kaasusuhdeseos 4-vaiheella. Myös kalkin vaikutusta hiilen nousuun pelkistyksessä tutkittiin. Opinnäytetyön tekeminen oli opettavaa ja mielenkiintoista, koska sain tehdä tutkimusta omalla työpisteellä oman työn ohessa. Aikaisempi työkokemus AOD:lla auttoi paljon tässä työssä, koska osasi ja pystyi vaikuttamaan erilaisiin muuttujiin sekä ymmärsi tehdyt muutokset ja lopputuloksen.

Työn alussa selvitettiin 4-vaiheen hiilen palamisnopeuden nykytila. Useista sulatuksista otettiin välinäytteitä, jolloin voitiin nähdä ja laskea hiilen palamisnopeus. Tiedettiin myös että parempaa seulottua kalkkia oli tulossa prosessiin, joten ennen sen tuloa tutkittiin vanhan kalkin vaikutusta hiilen nousuun pelkistyksessä. Hiili nousi sattumanvaraisesti, eikä kalkin laatuun voinut luottaa.

Kaikkiaan tutkimuksen aikana käytiin läpi kolme eri kaasusuhdeseosta, sekä tutkittiin seulotun kalkin vaikutusta pelkistykseen. Huomattiin että hiilen palamiseen voitiin vaikuttaa pienelläkin muutoksella ja parempilaatuisen kalkin käyttö pelkistyksessä mahdollisti aikaisemman luotettavamman pelkistyksen.

Heti ensimmäisen kaasusuhdemuutoksen tehtyä, huomattiin että sulan käsittelyaika lyheni. Tämä johtui parantuneesta hiilen palamisnopeudesta. Kuvassa 23 nähdään kuinka kestot ovat jakautuneet eri ajanjaksoihin. Ennen muutosta kohdassa jakautuminen on ollut laajaa, kestoja on ollut 15 minuutista 45 minuuttiin. Suurin prosentuaalinen määrä on ollut 26- 30 minuutissa. Ensimmäisessä muutoksessa suurin osa osui 31- 35 minuuttiin, mikä on isompi kuin ennen muutosta. On kuitenkin huomattava, että tämän suurempia kestoja ei ole. Toisen muutoksen kestot jakoutuivat todella pieneen osaan, suurimman osan jäädessä 15- 20 minuutin kohdalle.

Paremmalla seulotulla kalkilla oli oma vaikutuksensa myös hiilen käyttäytymiseen. Pelkistyksessä hiili ei enää noussut vaihtelevasti, vaan se nousi samassa suhteessa käytetyn kalkin määrään. Katsottaessa vertailujaksoa sekä koesarjoja on nähtävillä lineaariset viivat, jotka kertovat kalkin laadun. Tasalaatuinen kalkki nostaa hiiltä samassa suhteessa käytetyn kalkin määrään. Punainen viiva nousee ylöspäin, joten tämän mukaan hiilipitoisuus seulotussa kalkissa on aika tasalaatuista. Sininen viiva menee alaspäin, joten hiilipitoisuuden vaihtelu on suurta vanhassa kalkissa.

10. LÄHDELUETTELO

- /1/ British stainless steel association, [<http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=5>],
25.1.2012
- /2/ Fabritius, Timo, Oulun yliopisto, Yksittäisen kuplan reaktiot AOD-konverterterissa,
luentomateriaali, 2011
- /3/ Haataja, Ville, Outokumpu Tornio Works, Raportti, 2011
- /4/ Kauppi, Timo, Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Rst ominaisuudet, käyttö ja
valmistus, luentomateriaali, 2012
- /5/ Leffler, Béla, Stainless steels and their properties, [www-dokumentti]
[<http://www.outokumpu.com/files/Group/HR/Documents/STAINLESS20.pdf>]
30.1.2012
- /6/ Mansikka, Jukka, Kehitysinsinöörin haastattelu, Outokumpu Tornio Works,
30.12.2011
- /7/ Outokumpu OYJ, intranet-esittelymateriaali, 2011
- /8/ Teknologiateollisuus, [www-dokumentti],
[http://www.teknologiateollisuus.fi/file/7431/L_RUOSTUMATTOMANVALMISTUS.pdf.html]
20.1.2012

LIITELUETTELO

Liite 1	Vertailujakso
Liite 2	Ensimmäinen koesarja
Liite 3	Toinen koesarja
Liite 4	Kolmas koesarja

Sul. Num.	CAO (kg)	Pelkistys CAO kg	Pelkistys Si	kokonaispaino	Si kg/ tuhat kg	ADOL (kg)	CAF2 (kg)	Näyte 13	Näyte 14	Näyte 20	Hiltien nousu	Keskiarvo	4 kesto	14 kesto	yht. kesto min
11364		1812	2732	153600	17,8								9,0	19,0	28,00
11366	2047	1812	2604	150900	17,3	511		0,018	0,019	0,020	0,001	0,006	9,0	15,0	24,00
11368	2000	2222	2296	146300	15,7	500		0,020	0,019	0,020	0,000	0,006	9,0	14,0	23,00
11370	2000	2794	2422	148700	16,3	500		0,017	0,022	0,022	0,005	0,006	9,0	16,0	25,00
11372	2218	3210	2858	156800	18,2			0,014	0,020	0,020	0,006	0,006	9,0	14,0	23,00
11446	2283	3218	2990	153300	19,5	217		0,051	0,025			0,006	9,0	19,0	28,00
11448	2000	2750	2321	151300	15,3	500		0,020	0,020	0,020		0,006	9,0	23,0	32,00
11450	2000	2698	2208	148400	14,9	500		0,015	0,020	0,020	0,005	0,006	9,0	21,0	30,00
11452	2000	2730	2356	153100	15,4	500		0,017	0,021	0,021	0,004	0,006	9,0	19,0	28,00
11454	2000	3890	2586	151300	17,1	361		0,017	0,024	0,024	0,007	0,006	9,0	23,0	32,00
11480	2400	1500	2722	154060	17,7	520	200	0,017	0,023	0,023	0,006	0,006	12,0	15,0	27,00
11482	2900	1504	3301	150400	21,9	600	220	0,011	0,020	0,020	0,009	0,006	9,0	20,0	29,00
11484	2300	1304	3343	159900	20,9	650	200	0,012	0,020	0,020	0,008	0,006	10,0	15,0	25,00
11486	2400	1004	2656	153500	17,3	500	200	0,017	0,021	0,021	0,004	0,006	10,0	17,0	27,00
11488	2600	752	3292	149760	22,0	500	200		0,011			0,006	10,0	31,0	41,00
11490	2600	1004	2712	148200	18,3	500	200		0,024	0,024		0,006	9,0	16,0	25,00
11618	2300	906	2262	142900	15,8	550	230	0,019	0,025	0,025	0,006	0,006	8,0	12,0	20,00
11620	2300	808	2134	144200	14,8	500	210	0,016	0,022	0,022	0,006	0,006	10,0	11,0	21,00
11622	2200		2503	153900	16,3	500	200		0,025			0,006	10,0	19,0	29,00
11668	2000		2832	151900	15,2	500		0,009	0,019	0,019	0,010	0,006	9,0	13,0	22,00
11670	2000	3006	2738	150600	18,2	500		0,014	0,019	0,019	0,005	0,006	9,0	8,0	17,00
11672	1500	2522	2644	155300	17,0	500		0,013	0,019	0,019	0,006	0,006	9,0	11,0	20,00
11674	1000	1814	2276	150960	15,1	500			0,019	0,019		0,006	9,0	9,0	18,00
11676	1000	1784	2210	143800	15,4	500		0,016	0,019	0,019	0,003	0,006	8,0	9,0	17,00
11704	2800	1512	2546	149060	17,1	500	220	0,172	0,013	0,023	0,010	0,006	11,0	12,0	23,00
11706	3000	1212	2276	142600	16,0	500	230	0,191	0,014	0,020	0,006	0,006	11,0	17,0	28,00
11764	2600	1610	2688	153000	17,6	500	230	0,141	0,011	0,019	0,008	0,006	7,5	18,0	25,50
11766	2400	652	2334	143600	16,3	500	200	0,167	0,011	0,018	0,007	0,006	10,0	15,5	25,50
11768	2200	766	2450	151300	16,2	550	200	0,153	0,011	0,018	0,007	0,006	11,0	15,0	26,00
11770	2500	896	3090	152600	20,2	500	200	0,146	0,004	0,015	0,011	0,006	15,0	24,0	39,00
11772	2250	720	2272	145400	15,6	500	230	0,170	0,012	0,018	0,006	0,006	10,0	14,0	24,00

Sul. Num.	CAO (kg)	Pelkistys CAO kg	Pelkistys Si	kokonaispaino	Si kg / tuhat kg	ADOL (kg)	CAF2 (kg)	Rikki (S) 14	Rikki (S) 20	Näyte 13	Näyte 14	Näyte 20	Hillien nousu	4 kesto	14 kesto	Yht. kesto min
11912	2000	2872	2944	149200	19,7	500		0,0193	0,0047	0,172	0,013	0,017	0,004	10,0	15,0	25,00
11914	2500	2400	2706	149460	18,1	500		0,0225	0,0041	0,182	0,012	0,023	0,011	9,0	14,0	23,00
11916	2500	2332	2518	152800	16,5	500		0,0167	0,003	0,169	0,012	0,025	0,013	9,0	17,0	26,00
11918	2200	1000	2568	152300	16,9	500			0,0048	0,169	0,018	0,019		10,0	15,0	25,00
11998	2500	755	3056	154700	19,8	500	150	0,016	0,0066	0,194	0,018	0,020	0,002	8,0	18,0	26,00
12000	2800	1500	3113	149700	20,8	500	200	0,0227	0,0046	0,184	0,019	0,024	0,005	8,0	11,0	19,00
12002	2850	1400	3186	154100	20,7	500	200	0,0193	0,004	0,154	0,021	0,024	0,003	8	11	19,00
12048	2000	2717	3034	152800	19,9	500		0,018	0,0052	0,17	0,009	0,018	0,009	10	21	31,00
12072	5100	1800	3262	152900	21,3	500	500	0,0106	0,002	0,232	0,013	0,018	0,005	12	20	32,00
12074	2500	1200	3308	155700	21,2	500	200	0,0086	0,022	0,210	0,016	0,020	0,004	14	17	31,00
12076	3000	1400	3474	152800	22,7	500	200	0,0084	0,0021	0,23	0,013	0,020	0,007	14	19	33,00

Sul. Num.	CAO (kg)	Pelkistys CAO	Pelkistys Si	kokonaispaino	Si kg / tuhat kg	ADOL (kg)	CAr2 (kg)	Rikki (S) 14	Rikki (S) 20	Näyte 13	Näyte 14	Näyte 20	Hilien nousu 4	kesto 14	kesto 14	kesto yht.
12208	2200	2900	2829	151500	18,7	500		0,0209	0,0025	0,163	0,010	0,017	0,007	9,0	13,0	22,00
12210	2000	3366	2641	147600	17,9	500		0,0241	0,0006	0,014	0,014	0,018	0,004	9,0	9,0	18,00
12212	2000	3857	2741	148300	18,5	500		0,0263	0,0006	0,119	0,013	0,022	0,009	8,0	8,0	16,00
12484	2000	2768	2779	140800	19,7	500		0,0222	0,0019	0,101	0,010	0,017	0,007	9,0	9,0	18,00
12486	1700	2545	2891	147260	19,6	500		0,0255	0,002	0,152	0,012	0,021	0,009	9,0	10,0	19,00
12488	1700	2782	3037	148900	20,4	500		0,018	0,002	0,137	0,018	0,022	0,004	9,0	9,0	18,00
12534	2000	3472	3159	147700	21,4	500		0,0185	0,0021	0,147	0,024	0,026	0,002	9,0	9,0	18,00
12536	2000	2981	3014	153660	19,6	500		0,0264	0,0026	0,169	0,016	0,023	0,007	9	10	19,00
12538	2000	3472	3231	158900	20,6	500		0,0163	0,0014	0,187	0,027	0,028	0,001	9	10	19,00

Sul. Num.	CAO (kg)	Pelkistys CAO	Pelkistys Si	kokonaispaino	Si kg / tuhat kg	ADDOL (kg)	CAF2 (kg)	Rikki (S) 14	Rikki (S) 20	Näyte 13	Näyte 14	Näyte 20	Hiilenousu	4 kesto	14 kesto	yht. kesto min
12772	2000	2743	3014	152400	19,8	500		0,0269	0,0063	0,147	0,010	0,018	0,008	8	20	28
12774	2400	3163	3241	155200	20,9	500		0,0205	0,0030	0,156	0,009	0,020	0,011	8	21	29
12776	2400	3342	3345	158800	21,1	500		0,0232	0,0033	0,162	0,011	0,021	0,010	8	20	28
12802	2700	1400	3847	157800	24,4	500				0,169	0,014	0,016	0,002	9	22	31
12804	2600	1600	3502	160500	21,8	550						0,024		9	14	23
12974	2000	2736	2930	151800	19,3	500		0,0178	0,0033	0,193	0,009	0,017	0,008	8	19	27
12976	2000	2988	3383	152400	22,2	500			0,0015	0,217		0,026		8	18	26