

Undersökning av centrumsegring

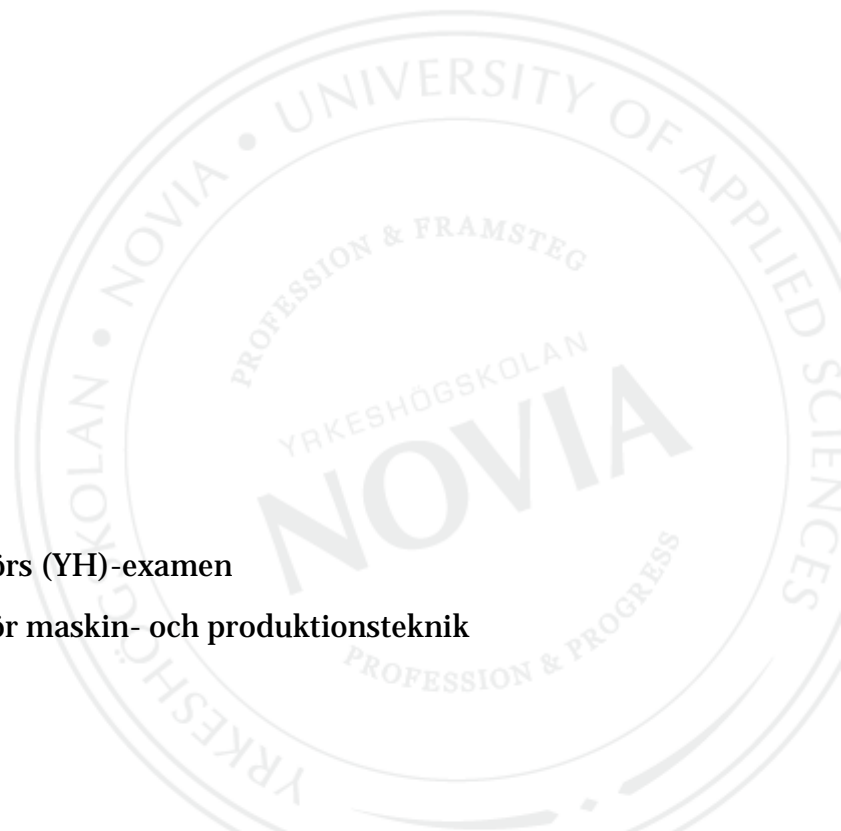
Gjutparametrars inverkan på centrumsegring vid stränggjutning

Jonas Lönngrén

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för maskin- och produktionsteknik

Vasa/Lappvik 2011



EXAMENSARBETE

Författare: Lönngrén, Jonas

Utbildningsprogram och ort: Maskin- och produktionsteknik, Vasa

Inriktning: Drifts- och energiteknik

Handledare: Sved, Holger & Räfså, Stefan

Titel: *Gjutparametrars inverkan på centrumsegring vid stränggjutning*

Datum: 31.07.2011

Sidantal: 42

Bilagor: 11

Abstrakt

Arbetet utfördes för FNsteel vid stålverket Koverhar i Lappvik. Syftet med detta arbete var att undersöka problemet med centrumsegring i stål med högre kolhalter (C-halt ~0,8%). Ett fåtal mätningar och analyser hade gjorts tidigare, men arbetsgivaren ville ha en grundligare undersökning samt större överblick av gjutparametrars inverkan på segringen. Arbetet inleds med ett beskrivande kapitel om bakgrunden till problemet, syftet med arbetet samt avgränsningar för att ge läsaren en klar bild av vad det handlar om. Därefter följer allmän information om företaget och gjutprocessen. Slutligen presenteras teorin bakom arbetet, utförande samt erhållna resultat. De erhållna resultaten visar att ökade gjuthastigheter har en mindre inverkan på centrumsegringen vid Koverhar än man tidigare trott och att en ökning utav hastigheterna skulle vara möjlig.

Språk: Svenska

Nyckelord: segring, gjutning, stål

Förvaras: Examensarbetet finns tillgängligt i webbiblioteket Theseus.fi eller vid Tritonia, Vasa vetenskapliga bibliotek.

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Lönngrén, Jonas

Koulutusohjelma ja paikkakunta: Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto: Käyttö- ja energiatekniikka

Ohjaaja: Sved, Holger & Råfså, Stefan

Nimike: *Valuparametrien vaikutus keskusuohtamaan jatkovalussa*

Päivämäärä: 31.07.2011

Sivumäärä: 42

Liitteet: 11

Tiivistelmä

Opinnäytetyö tehtiin FNsteelille Lappohjan Koverharissa sijaitsevassa terästehtaassa. Päättarkoituksena oli tutkia keskusuohtamaongelmaa korkeahiiliteräksissä (C-pitoisuus ~ 0,8%). Muutamia mittauksia ja analyysseja oli tehty ennenkin, mutta työnantaja halusi tutkia ongelmaa perusteellisemmin saadakseen paremman yleiskuvan valuparametrien vaikutuksesta suotaumaan. Työ alkaa kuvailevalla luvulla ongelman taustasta, työn tarkoituksesta ja rajoista, jotta lukija saa hyvän kuvan siitä, mistä on kyse. Sitten seuraa yleistä tietoa yrityksestä ja valuprosessista. Lopuksi esitetään työn liittyvää teoriaa, työn suoritus ja tulokset. Tulokset osoittavat että valunopeuksien nostaminen Koverharissa vaikuttaa keskusuohtamaan vähemmän kuin aiemmin on luultu ja tuloksien perusteella valunopeuksien nostaminen olisi mahdollista.

Kieli: Ruotsi

Avainsanat: suotauma, valu, teräs

Arkistoidaan: Opinnäytetyö on saatavilla joko ammattikorkeakoulujen verkkokirjastossa Theseus.fi tai Tritonia kirjastossa Vaasassa.

BACHELOR'S THESIS

Author: Lönngren, Jonas

Degree Programme: Mechanical and Production Engineering, Vasa

Specialization: Operational and energy technology

Supervisors: Sved, Holger & Räfså, Stefan

Title: *Casting parameters' effect on centerline segregation during continuous casting*

Date: 31.07.2011

Number of pages: 42

Appendices: 11

Summary

This thesis was done for FNsteel at the steelworks Koverhar in Lappvik. The purpose was to investigate the problem of centerline segregation in high carbon steel (C-content ~0.8%). Few measurements and analyses had been done before, so the company wanted a more thorough investigation to get a wider perspective of casting parameters' effect on centerline segregation. The work begins by describing the background to the problems, the purpose and the delimitations in order to give the reader a good picture of what the work is about. This is followed by general information about the company and the casting process. Lastly the theory behind the work, the work process and the obtained results are presented. The obtained results show that an increase in casting speed has less impact on central segregation than previously thought and that such an increase would be possible at Koverhar.

Language: Swedish

Key words: segregation, casting, steel

Filed at: The Bachelor's thesis is available either at the electronic library Theseus.fi or in the Tritonia Academic Library, Vaasa.

Bilageförteckning

Bilaga 1, Resultat från undersökning utförd av Larkimo, M.

Bilaga 2, Bauman-bild

Bilaga 3, Resultat från undersökningen utförd av Antikainen T. & Tukiainen M.

Bilaga 4, Resultat från undersökningen utförd av Stracken K., m.fl.

Bilaga 5, Exempel på resultat utav borrprov samt segringskoefficient

Bilaga 6, Segringskoefficienter 1 använda i hastighetsresultatet

Bilaga 7, Segringskoefficienter 2 använda i hastighetsresultatet

Bilaga 8, Segringskoefficienter använda i övertemperatursresultatet

Bilaga 9, Exempel på utförandeplan utav provtagning

Bilaga 10, Provexempel 1 och 2

Bilaga 11, Sammaställt exempelprov 1 och 2

Bildförteckning

Bild 1. FNsteels enheter	3
Bild 2. Översiktsbild – Koverhar	4
Bild 3. Järnets tillverkningsprocess vid Koverhar	7
Bild 4. LD-konverter	8
Bild 5. Stålets tillverkningsprocess vid Koverhar	9
Bild 6. Olika typer av stränggjutningsmaskiner	11
Bild 7. huvudtyperna av ämnen som gjuts genom stränggjutning	11
Bild 8. Böjd stränggjutningsmaskin för gjutning av slabs	11
Bild 9. Skyddad gjutning och sumpspets	12
Bild 10. Gjutlåda och gjutlinjer	13
Bild 11. Smältan, gjutpulver och slagg i kokillen	15
Bild 12. Kristallzoner för stål som stelnat i en kokill	16
Bild 13. Fasdiagram Fe-C	17
Bild 14. Ytdefekter	18
Bild 15. Interna defekter	19
Bild 16. Dentriter i ett mikroprov	21
Bild 17. Stelningsstruktur och V-segring	23
Bild 18. ibaAnalyzer	30
Bild 19. Exempel på borrhypor i diagram	31
Bild 20. Billetsprovets borrhypor	32
Bild 21. Borrprov och spån	32
Bild 22. Provpåse och spån	33
Bild 23. Varierande gjuthastighet vid övertemperatur 35–45°C	35

Bild 24. Resultat, varierande hastighet	36
Bild 25. Övertemperatur vid gjuthastigheter 1,4–1,55 m/min	37
Bild 26. Resultat, varierande övertemp	38

Ordförklaringar

PC-stål – Pre-stressed Concrete Steel, Spännlinestål. Hög kolhaltigt stål med kolhalt ~0,8 %.

EMS - Electro Magnetic Stirring, elektromagnetisk omrörning. Finns tre olika huvudtyper: MEMS – Mould EMS (kokillomrörning, används vid Koverhar), SEMS – Strand EMS (linjeomrörning) och FEMS – Final EMS.

Billet (stål-) - En stålblock med ett kvadratisk tvärsnitt ämnat för vidareförädling till t.ex. ståltråd. Tvärsnittsmått 100x100 mm – 180x180 mm.

Koks - Framställs genom syrefattig upphettning (pyrolys/torrdestillation) av organiska bränslen som kol, petroleum, biomassa eller avfall. Har ofta hög halt av aska och kol. Används bland annat som bränsle och reduktionsmedel i järnframställning.

BOF / LD-konverter - Basic Oxygen Furnace, Linz-Donawitz-Verfahren konverter är den vanligaste typen av dessa. En konverter är en tippbar ugn som används vid ståltillverkning.

Skänk - Används för att förvara och transportera smält metall i stålverk.

Slagg - (1) Slagg består huvudsakligen av oxider i form av oönskade ämnen samt metaller, och metall med alltför hög föroreningshalt. Avskiljs t.ex. som masugnsslagg eller vid oxidation av metall vid smält- och värmningsprocesser. (2) Slagg är dock inte bara ett ämne som skall frånskiljas och bortskaffas. Vid t.ex. svavelrening används reaktioner mellan slagg och metaller för rening utav smältan. Oxiderande slagg kan användas för att bortskaffa kol ur en kolhaltig smälta, s.k. slaggfärskning.

Övertemperatur - De grader (°C) som överstiger den angivna likvidus. Likvidustemperaturen varierar beroende på sammansättning men för PC-stål är den ca 1465 °C.

Termisk/Mekanisk Soft Reduktion - Termisk soft reduktion är en applicering utav vattenkylning vid sumpspetsen. Genom detta krymper ämnet så att smältan just före sumpspetsen pressas tillbaka något. Mekanisk soft reduktion fungerar i princip på samma sätt men med mekaniska rullager som pressar samman ämnet.

Förord

Utförande och färdigställande av detta examensarbete avslutar mina studier till ingenjör inom drifts- och energiteknik vid Yrkeshögskolan Novia. Examensarbetet gjordes för företaget FNsteel i Koverhar, Lappvik under tiden maj-juli 2011.

Ett tack riktas åt Matti Tukiainen, Ingmar Baarman, Tuomas Antola och handledare Stefan Räfså på utvecklingsavdelningen vid Koverhar samt min handledare vid Yrkeshögskolan Novia, Holger Sved. Den information ni delat med har underlätta skrivandet och undersökningen under tiden jag utfört arbetet. Speciellt vill jag tacka Stefan Räfså som varit till stor hjälp om problem eller frågor uppstått under arbetets gång.

Ett speciellt tack vill jag rikta åt min fru Johanna och dotter Jasmine som stöttat mig under arbetet, ni har alltid piggat upp mig. Till sist vill jag tacka mina vänner och bekanta för allt stöd under arbetets gång.

Kimito, augusti 2011

Jonas Lönnngren

Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Problemområdet.....	1
1.3	Syfte.....	2
1.4	Avgränsning.....	2
1.5	Företagsbeskrivning.....	2
1.6	Disposition.....	4
2.	Teori.....	5
2.1	Tillverkningsprocessen vid Koverhar.....	5
2.1.1	Järntillverkning.....	5
2.1.2	Ståltillverkning.....	7
2.2	Gjutning.....	9
2.2.1	Stränggjutning.....	10
2.2.2	Stränggjutning vid Koverhar.....	11
2.3	Stelningsstruktur.....	16
2.4	Gjutdefekter vid stränggjutning.....	17
2.4.1	Ytdefekter.....	18
2.4.2	Interna defekter.....	19
2.4.3	Defekters natur.....	20
2.5	Segring.....	21
2.5.1	Segringskoefficient.....	23
3.	Tidigare forskning.....	24
3.1	Intern forskning.....	24
3.1.1	Diplomarbete, Kork.hiil. terästen makrosuotaumaan vaikuttavat tekijät.....	25
3.1.2	Undersökning, Makrosuotautumatutkimus valukoneella no 1.....	26
3.2	Internationell forskning.....	27
3.2.1	Raport, Optimising the structure of high-carbon steel wire.....	27
3.2.2	Forskning, Strategies to minimise central segregation.....	28

4.	Arbetsbeskrivning.....	29
4.1	Planering och provtagning	29
4.2	Borrning och analysering av prover.....	31
4.2.1	Borrning.....	31
4.2.2	Analys.....	34
5.	Resultat	35
5.1	Gjuthastighetens inverkan.....	35
5.2	Övertemperaturens inverkan.....	37
6.	Diskussion	40
6.1	Sammanfattning av resultat.....	40
6.2	Förslag på förbättringar och fortsatt forskning	40
6.3	Avslutning.....	40
	Källförteckning.....	42

1. Inledning

Det inledande kapitlet ger en kort beskrivning om bakgrunden till problemet med segring, problemområde, syfte med arbetet samt avgränsningar. I slutet av kapitlet finns en beskrivning av företaget samt en disposition.

1.1 Bakgrund

Centrumsegring är en naturlig händelse under stelningen och uppstår pga. att olika ämnen som t.ex. kol och svavel är mer lösliga i flytande än fast stål. Under stelningen är då dessa ämnen mer benägna att flyttas till den flytande massan som inte stelnat och det leder till att halten av ämnena kan variera stort mot centrum av det gjutna ämnet.

En viss grad av segring kan inte undvikas vid kontinuerlig gjutning av högkolhaltiga HC- och PC-stål. Man har dock en möjlighet att reducera den genom att applicera vissa system eller ändra på olika parametrar vid gjutningen, t.ex. EMS (Electro Magnetic Stirring), variera gjutningshastigheten, reducera övertemperaturen, optimera sekundära kylningen m.m. Detta arbete är centrerat till övertemperaturers och gjuthastigheters inverkan på centrumsegringen.

Segringen leder till en varierande kolhalt i billettens centrum, var idealet skulle vara en konstant kolhalt i hela strukturen. Orsaken till att man vill reducera segringen är de problem som kan uppstå vid bearbetning av billeten eller användning av slutprodukter gjorda på en billet med kraftig centrumsegring.

Tidigare undersökningar har visat att EMS är en viktig faktor för att reducera segring, men det har också visat sig att höga gjuthastigheter samt hög övertemperatur påverkar segringen på ett oönskvärt sätt. Detta har lett till ett behov av en vidare utredning av hur mycket dessa parametrar inverkar på centrumsegringen i stålet som produceras vid Koverhar.

1.2 Problemområdet

Problemet med centrumsegring är att halterna av legeringsämne, främst kol, varierar i centrum jämfört med ytterskiktet i ämnet. På grund av denna kvalitetsvariation kan det uppstå problem i dragverket som t.ex. brister i produktionen pga. att

bearbetningsapparaturen har varit justerad för en viss kvalitet av stål. När sedan området med kvalitetsbrister bearbetas kan det hända att t.ex. apparaturen stannar eller till och med går sönder vilket leder till reducerad produktion och ekonomiska förluster.

Det finns också en risk att segringsområdet inte gjort något vid vidarebearbetningen, utan märks först i den slutliga produkten, som t.ex. spännlina som inte håller den angivna standardiserade belastningen, utan brister vid testing eller applicering.

1.3 Syfte

Genom att utföra arbetet skall man få en klarare bild av problemet med segring och hur man möjligtvis skulle kunna reducera den. Prover skall erhållas av stål som gjutits med olika övertemperaturer (ca 20, 30, 40 och 50 °C, konstant gjuthastighet) samt med olika gjutningshastigheter (ca 1,5–1,9, m/min, konstanta övertemperaturer). Resultaten skall sedan dokumenteras och jämföras med varanda för att få en klarare bild av vad som skulle kunna tänkas vara de optimala parametrarna för att erhålla så liten segring som möjligt i stålet. För tillfället är den rekommenderade gjuthastigheten för HC och PC-stål 1,5 m/min på gjutmaskin 1 och 1,65 m/min på gjutmaskin 2. Om det skulle konstateras att det finns en möjlighet att öka på hastigheten utan att höja chansen för ökad segring, skulle detta leda till en möjlighet för ökad produktionshastighet och i sin tur ekonomisk vinst.

1.4 Avgränsning

Till examensarbete hör provtagning av olika bitar från gjutet högkolhaltigt stål, analysering av proverna och jämförelse av dessa. Genom att sedan sammanställa och studera alla prover tagna från bitarna skall man förhoppningsvis erhålla nya rekommendationer för optimala gjutparametrar.

1.5 Företagsbeskrivning

FNsteel gruppen (tidigare Ovako) har ett brett utbud av olika stålsorter och man tillverkar bland annat kall- och varmastukningsstål, högkolhaltiga stål och olika stålsorter till spännlina och svetstråd. FNsteel gruppen ägs av Homberg Holdings BV (HHBV) och har ca 800 anställda i sex produktionsanläggningar i tre länder (Finland, Sverige och Nederländerna) med en omsättning på 350 miljoner euro. Stålproduktionen uppgår till ca

630 000 ton per år, av vilket största delarna går till verkstads-, bygg- och fordonsindustrierna.

FNsteel gruppen består av följande enheter:

- FNsteel Oy Ab, Koverhar stålverk och Dalsbruk valsverk, Finland.
- FNsteel BV, Ablasserdam valsverk och ståltrådsbearbetning, Nederländerna.
- FNsteel Hjulbro AB och FNsteel Dalwire Oy Ab, producerar PC-tråd, Sverige och Finland



Figur 1. FNsteel enheter (FNsteel presentation 2011)

Examensarbetet utfördes vid FNsteels stålverk i Koverhar, Lappvik. Koverhar har ca 270 anställda och största delen av dessa arbetar i skiften. Koverhars masugn startades i november 1961, men den första gjutningen vid stålverket skedde tio år senare, när stålverkets konvertrar (2 LD-konvertrar, BOF (Voest)) och gjutmaskiner (2 maskiner x 4-linjer (Concast)) var fullt startfärdiga.

Under stålprocessen tillförs legeringsämnen enligt kundspecifika kvaliteter och efter att smältan är färdig gjuts sedan stålet till billets. Vid Koverhar finns också en hamn för

lossning av råvaror och lastning av billets. Nästan hela Koverhars produktion vidareförädlas i Dalsbruks och Alblaserdams valsverk.

(FNsteel presentation, 2011)



Figur 2. Översiktsbild – Koverhar (FNsteel, Intern information 2011)

1.6 Disposition

Nedan följer en kort beskrivning av varje kapitel så att läsaren skall få en överblick av vad som ingår i detta examensarbete.

Kapitel 1: Allmän information om arbetet och företaget framförs. En yttlig inblick i examensarbetets syfte och bakgrund ges också.

Kapitel 2: Teorin samt tillverkningsprocessen bakom järn- och ståltillverkning förklaras kort. Gjutningsteorin presenteras mer grundligt och sedan beskrivs kvalitetsfel och segring vid gjutning.

Kapitel 3: Tidigare forskning inom problemområdet presenteras. Till först presenteras den forskning som gjorts vid Koverhar och sedan internationella undersökningar.

Kapitel 4: Tillvägagångssättet under arbetet samt använda metoder. Grundligare genomgång av borrhning och analysering.

Kapitel 5: Presentation av resultat. Gjuthastighetens och övertemperaturens inverkan på segringen.

Kapitel 6: Diskussion.

2. Teori

2.1 Tillverkningsprocessen vid Koverhar

Ståltillverkningen vid Koverhar skulle man kunna beskriva med tre skeden. Första skedet är transporten av råvaror som anländer till Koverhars egen hamn och lossas där. Från hamnen transporteras sedan råmaterialen till masugnen, där järntillverkningen börjar. I ugnen reduceras och smälts järnpellets till flytande råjärn och efter mixers och svavelrening är järnet redo att börja ombearbetas till stål.

Andra skedet, ståltillverkningen, börjar vid LD-konvertrarna där smältans kolhalt reduceras till önskad mängd genom syrgasblåsning. Smältan grovlegeras och fortsätter sedan till skänkungnen för finjustering av ämnessammansättningen och temperaturen. Efter skänkungnen är smältan klar för gjutning och sista skedet.

Gjutmetoden som används i Koverhar kallas stränggjutning vilket innebär att gjutningen sker kontinuerligt.

2.1.1 Järntillverkning

Råmaterial som koks, järnpellets och kalksten transporteras från råmateriallagret vid hamnen med transportband till toppen av masugnen. Råmaterialet som matas in i toppen av masugnen är i huvudsak järnpellets och koks, men tillsatsämnen som t.ex. kalksten och masugnsslagg används också. I nedre delen av ugnen blåses varmluft (bläster) in som har förvärmats i cowprarna. Lansinjektion av extra tung brännolja (ERP) och syrgas sker också där.

I masugnen reduceras järnpellets och smälte. Med bestämda intervall borras hål i nedre delen av ugnen så att det smälta råjärnet samt slagget tappas från ugnen. Råjärnet transporteras i rännor till två mixers som fungerar som mellanlager för råjärnet. Slagget transporteras till en slaggsänk som sedan förs bort och töms. Det finns två mixers som rymmer 300 ton vardera. Järnet har en temperatur på ca 1480 °C när det tappas ur ugnen. När ugnen är tom på smälta stängs hålet med en kanon som pressar in en massa i tapphålet. En tappning är den tid som hålet i masugnen är öppet. En normal tappning tar 90–120 min och på den tiden tappas 150–200 ton råjärn och 20–30 ton slagg. Den kolmonoxidhaltiga gasen som bildas vid förbränningen i masugnen eldas i cowprarna som förvärmer

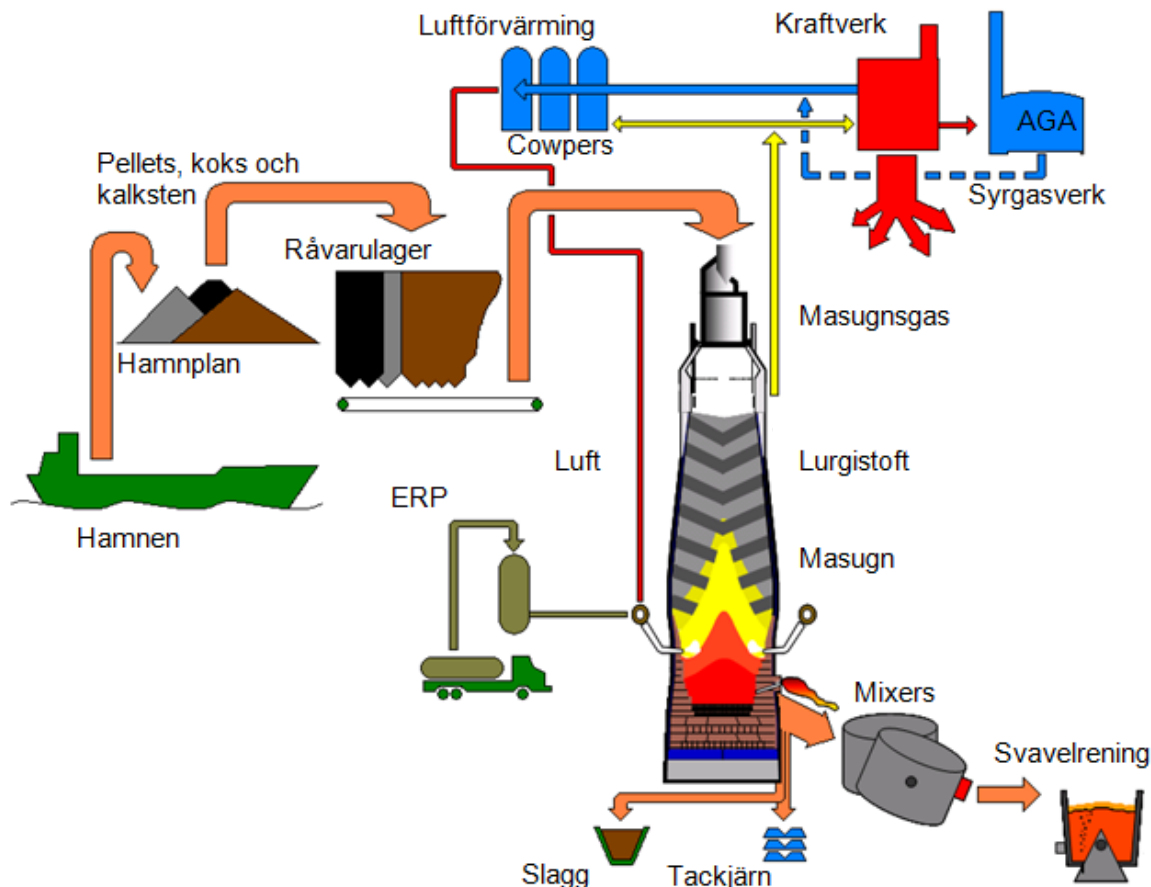
blästerluften, men gasen används också för att driva kraftverket. En exempelanlys för råjärnet finns i tabell 1.

(Räfså S. 2009, s. 3)

Tabell 1, Råjärnsanalys från tappning 54749, ämnessammansättning givet i procentenheter.
(FNsteel Intern information, SPS 22.6.2011)

Lasku	Aika	C	Si	Mn	P	S	Ti	Cu	Cr	Ni	Mo	Sn	Al	V	Co	Pb
54749	01:44	4.31	0.736	0.051	0.036	0.046	0.161	0.007	0.020	0.032	0.000	0.001	0.003	0.178	0.015	0.003

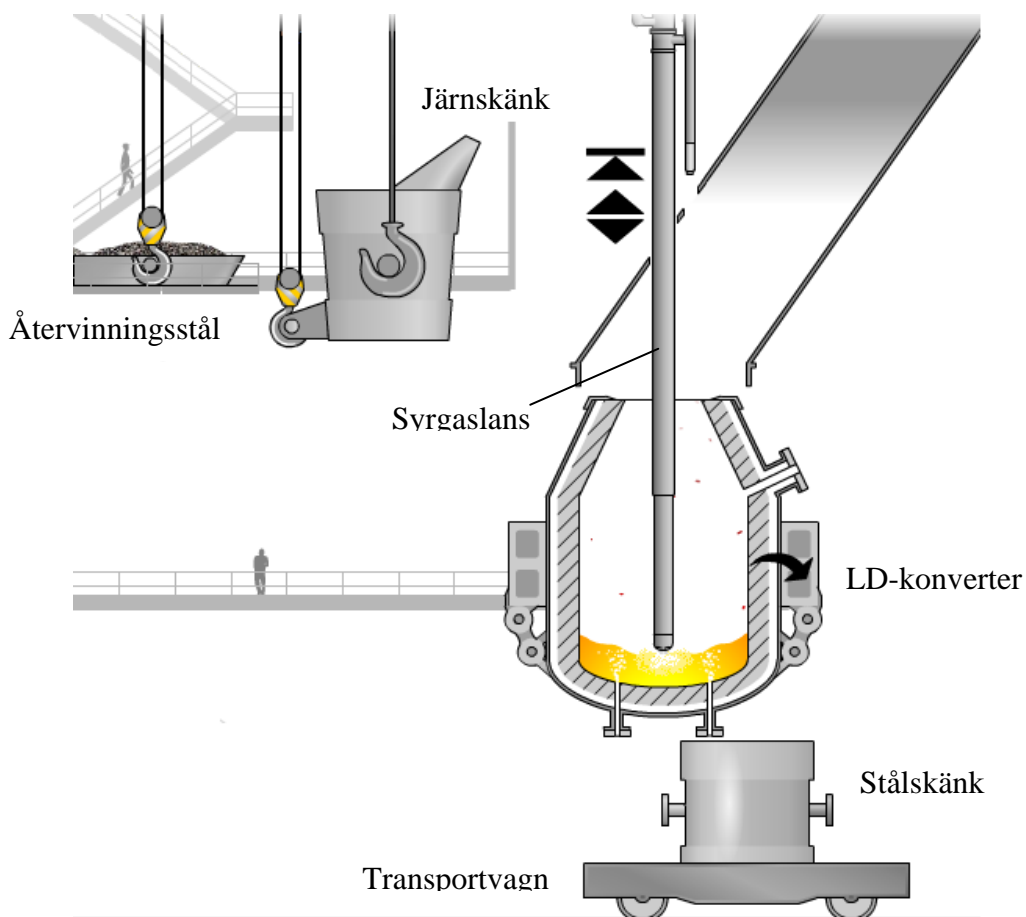
Från mixrarna flyttas järnet i en skänk till följande processteg som är svavelrening. Kranföraren håller 45–50 ton råjärn från en av mixrarna till skänken och flyttar den sedan till svavelreningen. Här blåses kalkbaserad reagens i pulverform in i botten av skänken. Kalken reagerar med svavlet i råjärnet enligt reaktionen [$(\text{CaO}) + \text{S} \rightarrow (\text{CaS}) + \text{O}$] och bildar sedan slagg på ytan. Slaggen tas bort mekaniskt genom att luta skänken och med en raka/skrapa dra bort slaggen från ytan. Vanligtvis sänker man svavelhalten från ca 0,045 % till under 0,01% men den regleras enligt vilken stålsort som tillverkas, och för vissa stålsorter krävs ingen svavelrening alls. Figur 3 visar tillverkningsprocessen för järn vid Koverhar.



Figur 3. Bild av järnets tillverkningsprocess vid Koverhar. (FNsteel presentation 2011)

2.1.2 Ståltillverkning

Efter svavelreningen transporteras järnsmältan till en av konverterna. I konvertern sänks kolhalten i smältan genom syrgasblåsning, vilket i sin tur leder till höjd temperatur. Koverhar har två LD konvertrar med ca 55 tons kapacitet vardera. I konvertern häller man först 6–14 ton återvinningsstål och därefter töms råjärnet från svavelreningen in i konvertern, man säger då att råjärn chargeras. Återvinningsstålet används för att smältans temperatur inte skall stiga för högt vid syrgasblåsningen. Förhållandet mellan råjärn och återvinningsstål som används är beroende på vilken stålsort som tillverkas. I regel använder man mindre järnskrot när man tillverkar högkolhaltiga stål och mera vid tillverkning av lågkolhaltiga.



Figur 4. Bild av LD-konverter. (Worldsteel association (2011))

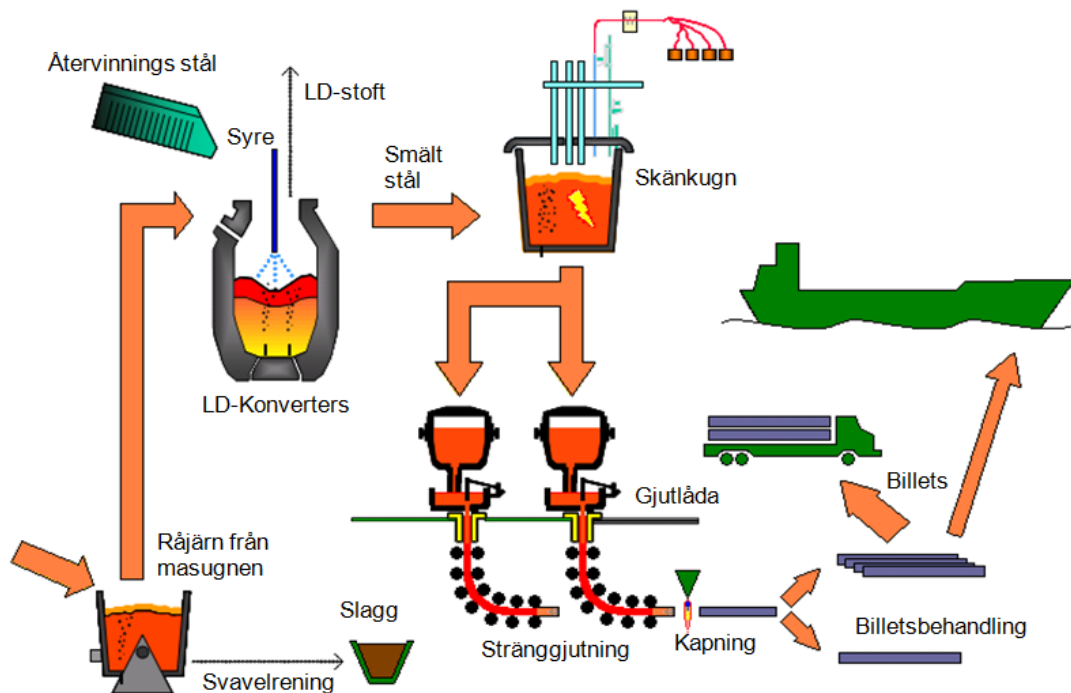
När konvertern är chargerad sänks en syrgaslans ner i den och syrgasblåsningen påbörjas. Under blåsningen tillsätts också slagbildare. Syrgasblåsningen sker med ca två gånger ljudets hastighet och gör att en krater bildas i metallbadet, den så kallade brännfläcken. Det

är här som oxidationsreaktioner sker. Syret reagerar i huvudsak med kol och kisel i järnet och bildar kolmonoxid (CO), koldioxid (CO₂) och kiseldioxid (SiO₂). Reaktionerna frigör energi och smältans temperatur höjs. Under blåsningen sänks smältans kolhalt till önskat värde beroende på stålsort som tillverkas. De stålsorter som tillverkas vid Koverhar har en kolhalt mellan 0,02–0,8 %. (Räfså S. 2009, s. 5)

Efter blåsningen har järnet blivit stål och har en temperatur på ca 1660 °C. Stålet tappas då från konvertern till en skänk. Under tappningen utförs tre viktiga processteg. Först desoxideras (tätas) stålet, därefter grovlegeras stålet och till sist tillsätts toppslag.

Desoxidation innebär att man sänker smältans syrehalt. Efter syrgasblåsningen i konvertern har stålet en syrehalt på 500–1200 ppm, beroende på kolhalt och legeringsinnehåll. Utan desoxidation skulle syre reagera med kol och bilda gasblåsor i det stelnade stålet. Utbytet för legeringsämnen blir också jämnare när stålet desoxideras. Desoxidation sker genom tillsats av ämnen som reagerar med syre och bildar oxider. Vanligen använder man aluminium eller kisel. Man kallar då stålet aluminium- eller kiseltätat. (Jernkontoret (2004), s. 14–18)

Nästa steg i processen är skänkung. I skänkung påverkas stålets gjutbarhet genom finjustering utav smältans sammansättning och temperatur. Man minskar och kontrollerar inneslutningarnas mängd och sammansättning. Slagg tillförs också för att reducera upptagningen av syre till smältan. Temperaturen justeras med elektrisk energi som tillförs med tre ljusbågselektroder. Finjusteringen av stålets temperatur sker med ca fem graders noggrannhet. Från ämnessilon, genom trådmatning och/eller för hand tillsätts legeringsämnen direkt i stålsmältan. För att få en jämn fördelning av legeringsämnena och en jämn temperatur i smältan används argongas för omrörning. Gasen blåses in i bottnet, genom spolstenen, på stålskänken och på så vis får man en effektiv omrörning i smältan. Efter skänkningsprocessen är färdig är smältan klar för det sista steget, gjutningen.



Figur 5. Bild av stålets tillverkningsprocess vid Koverhar. (FNsteel presentation 2011)

Gjutmetoden som används kallas stränggjutning och vid Koverhar gjuter man billets (se 2.2 Gjutning). Gjutningen sker kontinuerligt på fyra linjer (strängar). Stålet rinner först ner i gjutlådan som sedan fördelar stålet till de fyra linjerna. Stålet rinner därefter ner i en vattenkyld kokill i vilken smältan börjar svala. När stålet kommer ut ur kokillen har ett stelnat skal bildats och önskade formen har erhållits. Billetssträngen kyls ytterligare och dras rak i rikt- och dragverket. Gasskärare skär av billetssträngen i rätt längd och därefter flyttas den kapade billeten till kylbädden. Stränggjutning beskrivs mer ingående i nästa kapitel.

2.2 Gjutning

Gjutning av stål innebär att det flytande stålet omvandlas till fast fas och önskade dimensioner för fortsatt bearbetning. De tekniska målen vid gjutning är att bibehålla de halter av olika element man uppnått i den metallurgiska behandlingen av det flytande stålet samt att uppfylla de kvalitetskrav som ställs från efterföljande varm- och kallbearbetningssteg och slutanvändning. (Jernkontoret (2004), s. 22)

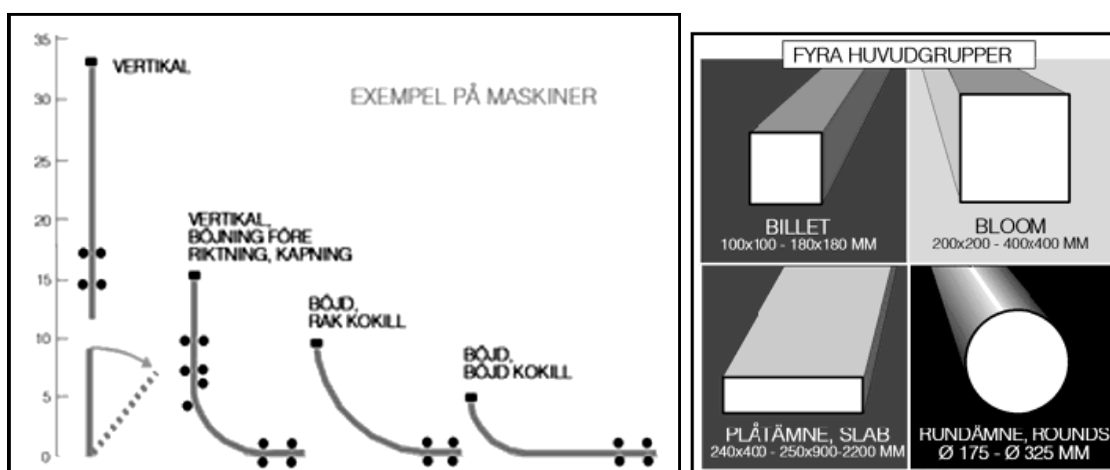
Före tillämpningen av stränggjutning tillverkade man stålprodukter genom att hålla smältan i en gjutform, s.k. götgjutning. Med denna gjutmetod krävdes ofta flera uppvärmningstillfällen innan man erhöll det rätta slutresultatet och kvalitetvariationerna

var stora. Redan i slutet av 1800-talet började man föra fram idéer om stränggjutning och fördelar med detta. Med kontinuerlig gjutning blir utbytet högre och kvaliteten på den gjutna varan jämnare än med göt gjutning. Mellanstegen till slutprodukten blev också färre, vilket ledde till kortare produktionstid och produktionsväg samt reducerade produktionskostnader. Trots att dessa idéer presenterades så tidigt som de gjorde tog det ännu ca 80 år innan de tillämpades i industriella anläggningar. (Schriever, H. (1987), s. 1–2)

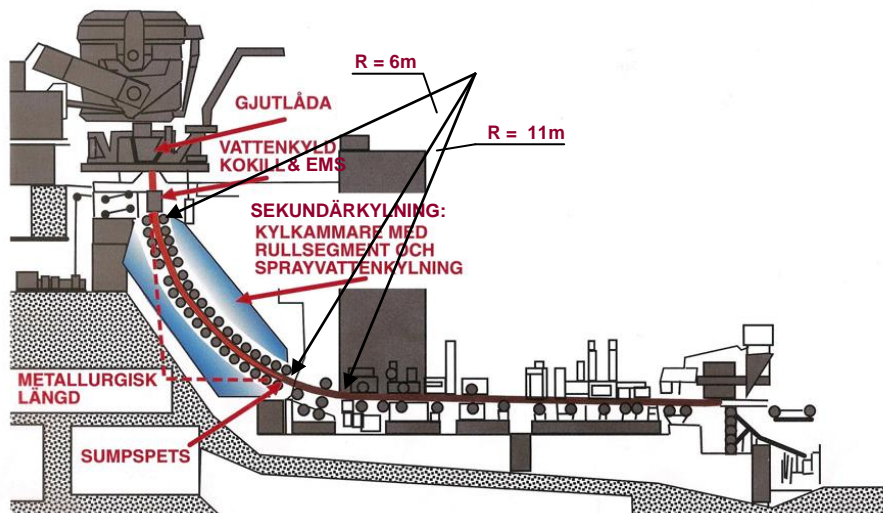
2.2.1 Stränggjutning

Idag är stränggjutningsprocessen den dominerande gjutprocessen i världen. I Europa, Japan och USA gjuts över 95 % av totala produktionen av flytande stål med stränggjutning. De första sträng-gjutmaskinerna togs i användning under 1940-talet och var av vertikal typ, se figur 6. På vertikala gjutmaskiner går ämnet som gjuts vertikalt genom gjutmaskinen.

Man producerar olika ämnen vid stränggjutning beroende på gjutmaskinens typ. De vanligaste ämnen är billets, blooms, slabs och rounds, se figur 7. Ämnet som gjuts kan inte kapas förrän det är helt stelnat, vilket gör att vertikala gjutmaskiner kräver stor bygghöjd. För att minska byggnadskostnaderna utvecklades böjda gjutmaskiner, figur 8 visar en gjutmaskin av denna typ. I dessa maskiner går ämnet som gjuts i en båge och riktas när det stelnat. Koverhars båda gjutmaskiner är av denna typ, men istället för att gjuta slabs som det står i figur 8 så gjuts det billets. (Jernkontoret, (2004), s. 32–36)



Figur 6 (vänstra). Bilden visar olika typer av stränggjutningsmaskiner. Figur 7 (högra). Bilden visar huvudtyperna av ämnen som gjuts genom stränggjutning. (Jernkontoret, (2004), s. 35 & 36)



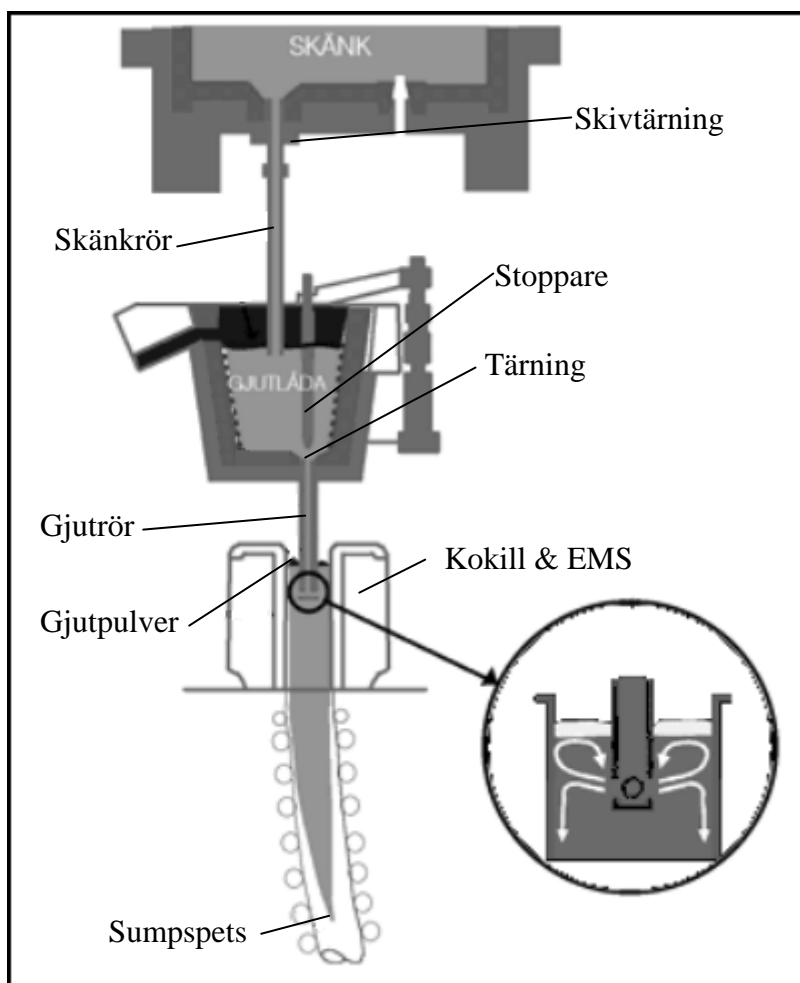
Figur 8. Böjd stränggjutningsmaskin för gjutning av slabs. (Jernkontoret, (2004), s. 32)

2.2.2 Stränggjutning vid Koverhar

Koverhar gjuter i huvudsak billets på två olika sätt, s.k. stoppargjutning (skyddad gjutning) och fririnnande gjutning. Stoppargjutning används för majoriteten av Koverhars stål. Vid stoppargjutning regleras stålnivån i kokillerna med stoppare. Man använder gjutrör för att skydda stålet från kontakt med luft när det rinner från gjutlådan till kokillen och gjutpulver används som smörjmedel i kokillerna. Vid fririnnande gjutning regleras stålnivån med gjuthastigheten och som smörjmedel i kokillerna används specialolja. Vid vissa fririnnande gjutningar används också en skyddande kväveatmosfär. I övrigt är gjutprocessen som beskrivs nedan lika för båda gjutsätten.

Stränggjutningen utförs genom att stålet transporteras till gjutstationen i en skänk. Från skänken tappas stålet i en gjutlåda. Tappningen görs genom botten av skänken genom en ventil, som kallas skivtärning, se figur 9. Med denna ventil kan man reglera flödet av smältan till gjutlådan. Ett skänkrör placeras också under ventilen så att smältan är omgiven medan den tappas ner i gjutlådan. Röret skyddar stålet från att reagera med syre före gjutningen.

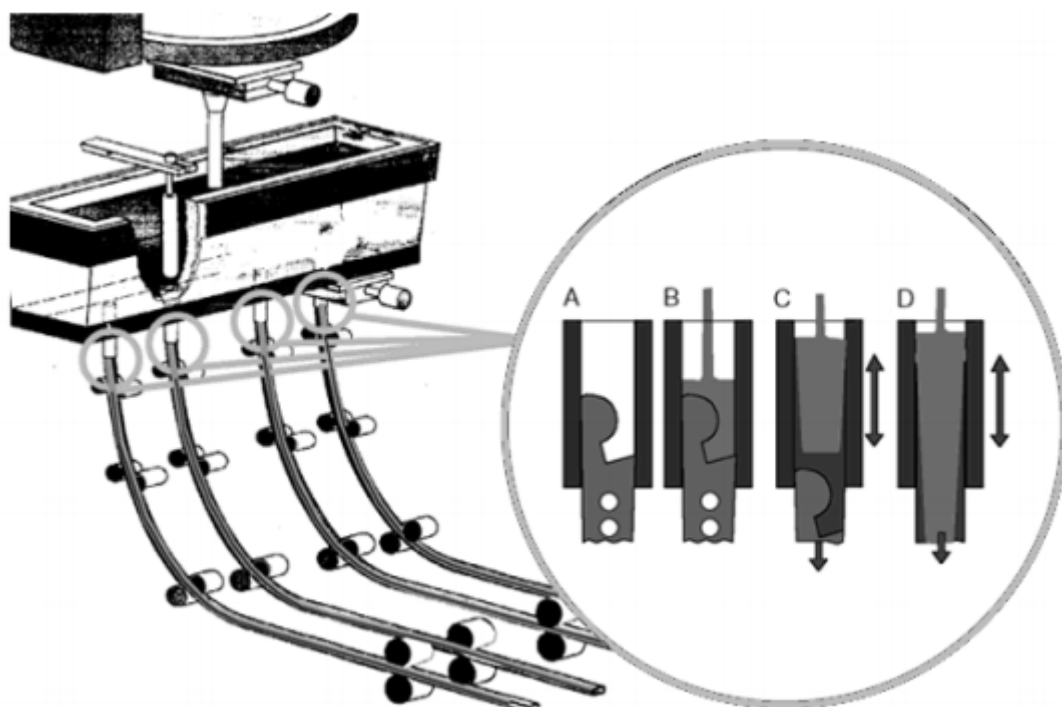
(Schriever, H. (1987), s. 7–11)



Figur 9. Bild över skyddad gjutning och sumpspets. (Jernkontoret, (2004), s. 33)

Oftast har man flera än en gjutlinje. Genom att tappa stålet i gjutlådan får man en jämn distribution av stål vid alla linjer. Gjutlådan fungerar också som ett mellanlager för stålet, vilket gör att man kan byta stålskänk utan att avbryta gjutningen. Det här kallas att gjuta i sekvenser. En sekvens vid Koverhar kan vara upp till tio skänkar lång. I gjutlådan avskiljs också en del inneslutningar och stålets temperatur hålls jämn. För att minska värmeförluster i gjutlådan och förhindra att stålet har direkt kontakt med luft används täckmedel på stålytan. Täckmedlet skall förutom att fungera som ett isolerande lager på stålytan också fånga upp inneslutningar som flyter upp till stålytan.

Om det finns för lite stål i gjutlådan kan det leda till virvelbildning ovanför kokillerna, vilket sedan suger ner slagg och andra oönskade material tillsammans med stålet i kokillen. Gjutlådan måste alltså innehålla tillräckligt med smälta så att inte stålets nivå går under den gräns där dessa virvlar kan bildas. (Räfså S. 2009, s. 8)



Figur 10. Gjutlåda och gjutlinjer, liknande princip som vid Koverhar. (Jernkontoret, (2004), s. 34)

Från gjutlådan rinner smältan sedan ner genom vattenkylda kopparformar, s.k. kokiller, i vilka metallen erhåller en för dess vidare användning lämplig form. För att starta strängjutningen har man en s.k. startstång som underifrån förs upp i kokillen, se figur 10. I ändan av stången sitter ett stort huvud som fungerar som en ”bottenkork” i kokillen. När sedan smältan tappas i gjutlådan och ner i kokillen stelnar den vid startstången och man kan då börja dra ut ämnet och gjutningen påbörjas.

Kokillen är kanske den viktigaste delen av stränggjutningsprocessen. Det är i kokillen som det flytande stålets yta stelnar och ger den slutliga billetsformen. Ytkvaliteten hos billets påverkas alltså mycket av förhållandena i kokillen.

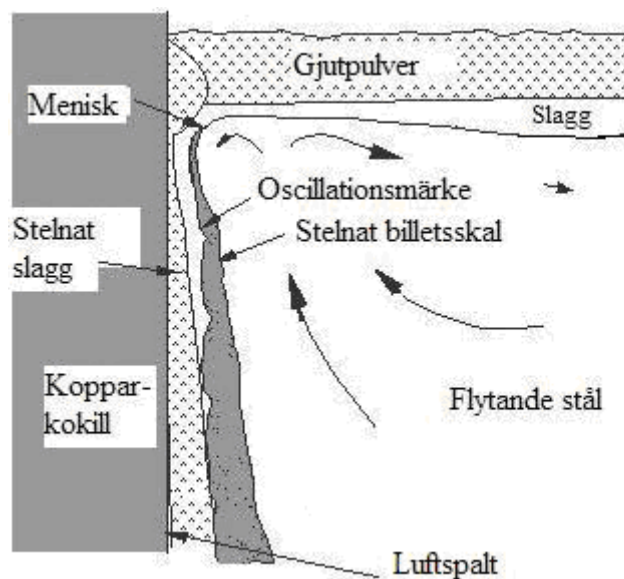
Under gjutningen tillsätts gjutpulver i kokillen. När gjutpulvret smälter bildas ett slagglager, vilket fungerar som ett smörjlagre mellan kokillen och billetssträngen. Det ger också en jämnare värmeöverföring mellan vägg och kokill. Gjutpulvret skyddar också den flytande stålytan mot luft. Regleringen av stålflödet genom kokillen sker med s.k. stoppare, som stryper eller öppnar flödet genom tärningen beroende på vilken gjuthastighet som krävs. När smältan rinner genom kokillen börjar ämnet stelna från ytterskiktet inåt, för att sedan vara fast vid sumpspetsen, se figur 8 & 9.

För att billetssträngen skall ha tillräckligt tjockt stelnat skal när den lämnar kokillen måste kylningen i kokillen vara mycket effektiv. Den del av kokillen som har kontakt med stålet kallas kokillrör och är gjord av koppar eller legerad koppar, eftersom det har bra värmeledningsförmåga. Kokillerna kyls med vatten av hög kvalitet för att förhindra beläggningar på kopparytan. Beläggningarna leder till försämrade värmeöverföring mellan kokillen och billeten.

Koverhar använder pannvatten i ett slutet system som kyls i värmväxlare med havsvatten. Kylvattnet har en strömningshastighet över 10 m/s längs kokillväggarna. Den höga strömningshastigheten krävs för att få en effektiv värmeöverföring samtidigt som kylvattnets ytemperatur hålls låg. Kylvattnets temperatur bör inte överstiga 50 °C eftersom detta är den högsta brukstemperaturen för stål nivåmätarna och elektromagnetiska omrörningen som också finns i kokillen. Man vill också hålla vattentemperaturen vid denna nivå för att undvika att det börjar koka.

För att stränggjutning skall vara möjligt måste också kokillerna röra sig i en ”gungande” rörelse upp och ner. Denna rörelse kallas kokilloscillation och regleras enligt gjuthastigheten.

Kokillrörets form har också stor betydelse för stränggjutningen. Gjutradien på Koverhars gjutmaskiner är sex meter och därför är också kokillerna böjda i sex meters radie. Kokillerna är desutom koniskt formade vilket minimerar luftspaltens storlek som bildas mellan kokillväggen och billetssträngen när den krymper. En stor luftspalt gör att värmeöverföringen bli mindre effektiv och ojämn. En ojämn värmeöverföring kan ge värmespänningar i billetssträngen som i sin tur kan leda till sprickbildning och dålig produkt. (Räfså S. 2009, s. 9–10)



Figur 11. Bild över smältan, gjutpulver och slagg i kokillen. (Räfså S. 2009, s. 10)

När billetssträngen lämnar kokillen är skalet stelnat, men det finns fortfarande flytande stål i mitten utav strängen och därför följer sekundärkyllning därefter. Sekundärkyllningens uppgift är att fortsätta kyla ner billetssträngen. Kylningen sker genom att vatten sprayas direkt på ytan av billetssträngen. I sekundärkyllningen är det viktigt att kylningen sker jämt över hela billetssträngen så att ingen värmespanning uppstår.

När billetssträngen lämnar sekundärkyllningen riktas den i rikt- och dragverket. På Koverhar sker riktningen i två steg, först från gjutradien på 6 m till 11 m radie och sedan riktas strängen rak, se figur 8. Rikt- och dragverkets andra uppgift är att dra billetssträngen framåt och reglera gjuthastigheten. Efter att ämnet stelnat och riktats, kapas det till önskvärda längder för att svalna sedan svalna. Ämnet svalnar på en svalbädd och medans det svalnar vänds det med bestämda intervaller 90°. Detta görs pga. att billeten inte skall ligga på samma sida hela tiden. Ligger den på samma sida böjs den under stelningen men pga. rotationen på bädden hålls den rak Efter svalbädden transporteras ämnet till vidarebearbetning.

Koverhar har två gjutmaskiner, med fyra linjer vardera, ämnade för gjutning av billets. På gjutmaskin ett tillverkas billets med dimensionen 160 x 160 mm och längden ca 7,2 meter. På gjutmaskin två tillverkas billets med dimensionerna 145 x 145 mm med längden ca 11,3 meter men möjligheten till andra dimensioner finns. Till hösten 2011 är det planerat att båda gjutmaskinerna skall gjuta lika dimensionerade billets, 160 x 160 mm.

2.3 Stelningsstruktur

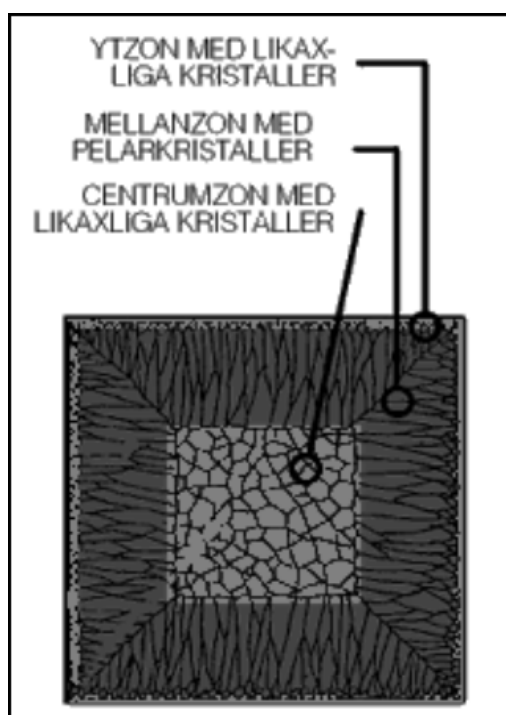
När stål stelns sker det i praktiken av en underkyllning, dvs. att ståltemperaturen ligger under likvidustemperaturen. Likvidustemperaturen är den temperatur när stålet är så svalt att det börjar stelna. Underkyllning behövs för att kärnbildning skall äga rum. Intill den kalla kokillytan får det först stelnade materialet en stark underkyllning och därför bildas många kärnor för nya kristallkorn, se figur 12. Den först stelnade ytzonen får pga. det stora antalet kärnor ett utseende som karaktäriseras av likaxliga kristaller. Denna zon blir i regel rätt tunn för att övergå i en mellanzon med pelarkristaller.

I mellanzonen har man en mindre underkyllning eftersom värmen måste transporteras genom den yttersta zonen. Den lägre underkyllningen leder till att tillväxten måste ske på redan existerande kärnor och därför växer materialet i en riktning.

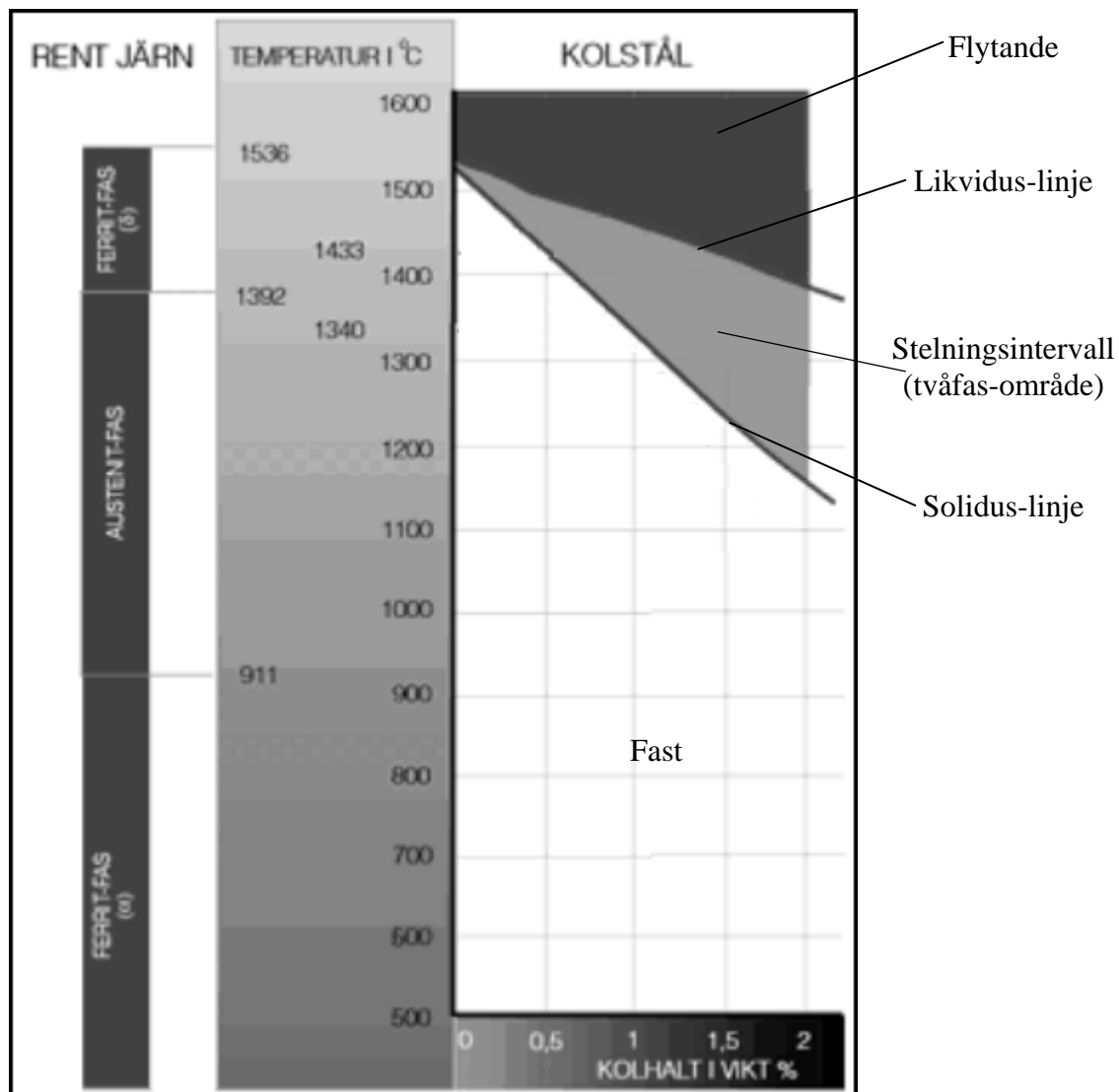
Oftast bildas en tredje zon kallad centrumzonen. Där är återigen kristallerna likaxliga dvs. de växer i alla riktningar. Detta beror på att den totala temperaturen sänkts under likvidus (men ovan solidus) så att en uppstart av många nya kristaller lättare kan äga rum.

Vid Koverhar används en MEMS, och genom dess omrörning utav smältan erhåller man likaxial struktur i hela gjutna ämnet.

(Jernkontoret (2004), s. 26)



Figur 12. Kristallzoner för stål som stelns i en kokill utan EMS. (Jernkontoret, (2004), s. 26)



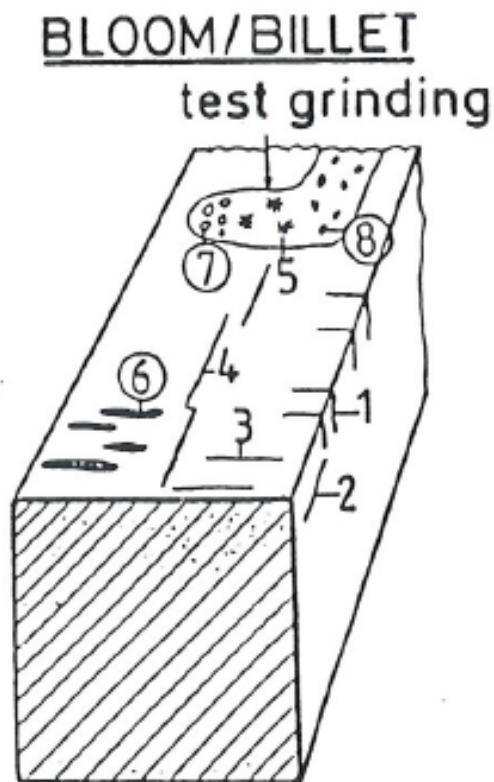
Figur 13. Fasdiagram Fe-C (Jernkontoret, (2004), s. 23)

2.4 Gjutdefekter vid stränggjutning

Kvaliteten på gjutna billets är viktig. Om det är brister i gjutgodset och det blir vidarebearbetat finns risken för dålig/bristfällig slutprodukt, vilket är oönskvärt att leverera till kunden. IISI (International Iron and Steel Institute) har kategoriserat olika typer av defekter som kan uppstå på ett kontinuerligt gjutet ämne. Goda ytor, sprick- och porfrihet, jämn struktur med minimala sammansättningskillnader, är krav som ställs på en färdig gjuten billett.

2.4.1 Ytdefekter

De ytdefekter som uppstår är följande:



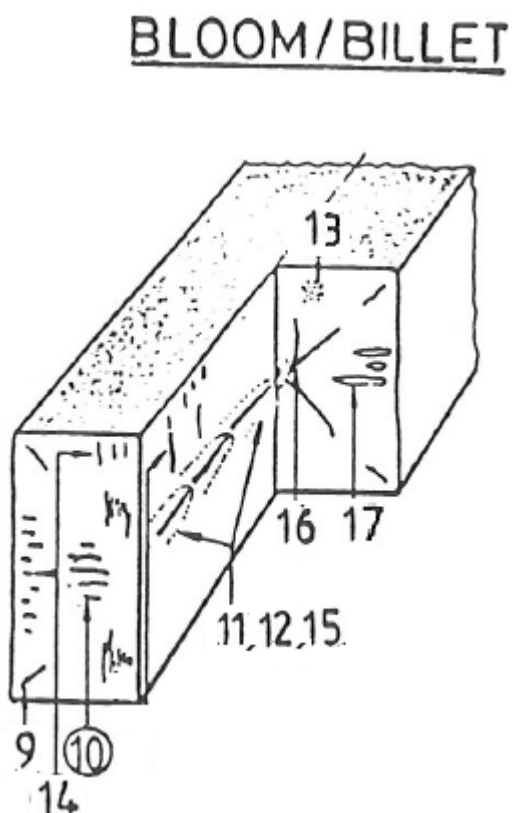
Figur 14. Ytdefekter (Irving, W. (1993), s. 95)

1. Tvärgående hörnsprickor
2. Längsgående hörnsprickor
3. Tvärgående sprickor
4. Längsgående ytsprickor
5. "Stjärn"-sprickor
6. Oscillationsmärken
7. "Pinholes"
8. Ytslagg

(Irving, W. (1993), s. 95–96)

2.4.2 Interna defekter

De interna defekter som uppstår är följande:



Figur 15. Interna defekter (Irving, W. (1993), s. 121)

9. Interna hörnsprickor
10. Interna sidosprickor
11. Centrumsegring
12. Porositet
13. Icke-metalliska inneslutningar
14. Interna dragdefekter
15. Krympningskavitet
16. Diagonala sprickor
17. "Blowholes"

(Irving, W. (1993), s. 120–122)

2.4.3 Defekters natur

Sprickor:

Sprickor är naturligtvis negativt för egenskaperna. Vissa sprickor uppstår till följd av spänningar vid stålets stelning och krympning. De spänningar som överskrider hållfastheten vid den aktuella temperaturen leder sedan till sprickbildning. Man måste alltså arbeta såväl med stålets högttemperaturegenskaper som konstruktion av gjutprocessen, så att spänningarna reduceras så mycket som möjligt. Genom att välja ofördelaktig kokillgeometrier eller fel kylningshastigheter vid strängjutning, kan spänningar uppstå som leder till sprickor i ämnet. Sprickor kan också uppstå av fel i oscillationsrörelser eller sliten kokill samt vid snabba gjuthastighetsvariationer.

Inneslutningar:

Inneslutningar även kallat slagginneslutningar är naturligt förekommande i stålprocessen och utmaningen ligger i att få inneslutningar med rätt sammansättning och storlek för kraven ställda på slutprodukten. Slagginneslutningar kan delas in i två huvudgrupper: exogena och endogena.

Definitionen av endogena inneslutningar är att de bildas av element i smältan till motsats mot de exogena som har sina källor utanför smältan. Ett exempel på endogena inneslutningar är oxider som bildas i stålet genom att syre reagerar med starka syrebindare som t.ex. Si, Al eller Ca.

De exogena inneslutningarna härrör sig oftast från toppslag, keramiskt infodringsmaterial eller liknande källor.

De primärt utskilda oxidiska inneslutningar (dvs. de som utskiljts innan gjutningen) vill man hålla nere i antal och begränsa maxstorleken på så mycket som möjligt. Det största avskiljningsarbetet sker under skänkbehandlingen men också i gjutlådan. En liten del sker dock också i kokillen. Även om man försöker skydda stålet från en återoxidation vid flödet av stål ner i kokillen är det oftast svårt att undvika helt och hållet.

Krympning:

Krympningen beror på ändring i tätheten pga. temperaturskillnader. En kubikmeter flytande stål (kolstål) väger ca 6,9 ton medan en kubikmeter stelnat stål väger ca 7,9 ton. På mikronivå betyder detta att material behövs sugas in i de sist stelning partierna mellan

växande dendritspetsar (stelnade stålformationer). Det kan då hända att transporten av material är så trög att smältan inte når ända fram, vilket leder till att porer bildas. Dessa porer välls dock lätt ihop vid varmbearbetningssteget.

Segring:

En förenklad förklaring av segringar är att smältan med lägre legeringsinnehåll stelnar tidigare än högre legerat stål. Detta leder till en variation av legeringshalt i det slutliga ämnet. Mera om segringar kan läsas i nästa kapitel.

Gasblåsor:

Gasblåsor kan naturligtvis vara mycket negativa för stålets egenskaper. Typen av gasblåsa spelar dock en stor roll. De gasblåsor som går ut till ytan, vars inre kan bli oxiderat av luften, är mycket negativa eftersom de inte går att välla ihop under valsningen. Vanligaste exemplet på detta är väteblåsor som beror på för hög lös vätehalt i det flytande stålet. Väteblåsorna kan kärnbildas direkt vid stålets stelning och går då ofta ut till ytan. Dessa typer av blåsor kallas pinholes.

I de sist stelade partierna blir det ibland undertryck pga. trögheten av stålet som skall in i de trånga kanalerna som uppstår. Därigenom kan porer som innehåller väte och kväve uppstå. Dessa porer välls dock i regel enkelt ihop vid påföljande varmbearbetning.

(Jernkontoret, (2004), s. 24–28 & Irving, W. (1993), s. 95–96, 120–122)

2.5 Segring

Segring i stål är en naturlig följd av stelningsprocessen och är så gott som omöjligt att eliminera. Vissa grundämnen finner sig lättare i smält än i fast metall t.ex. kol, svavel, magnesium m.fl. Till följd av detta sker då under stelningsprocessen en ökning av dessa ämnen i det område av stålet som inte ännu hunnit stelna. Man får då en högre koncentration av ämnena mot centrum gentemot ytorna.

Segring är alltså inte ett problem vid gjutning av låg-kolhaltigt stål, utan förorsakar större problem desto mer legeringsämnen smältan innehåller.

Man kan dela in segringen i tre olika delar:

1. Mikrosegring
2. Semi-makrosegring
3. Makrosegring

av dessa är semi-makrosegring och makrosegring varianter av centrumsegring, men man brukar oftast endast dela upp dessa i mikrosegringar och makrosegringar.

Mikrosegringar sker genom att det först stelnade materialet i dendritspetsen är annorlunda, analytiskt sett, än det sist stelnade materialet. Som ovan nämnt är en förenklad förklaring att material med lägre legeringsinnehåll stelnar tidigare än högre legerat. Eftersom det finns stelningsintervall mellan likvidus (påbörjad stelning) och solidus (avslutad stelning) finns ett utrymme för stålet att stelna med olika sammansättning som avviker från smältans genomsnittliga sammansättning.

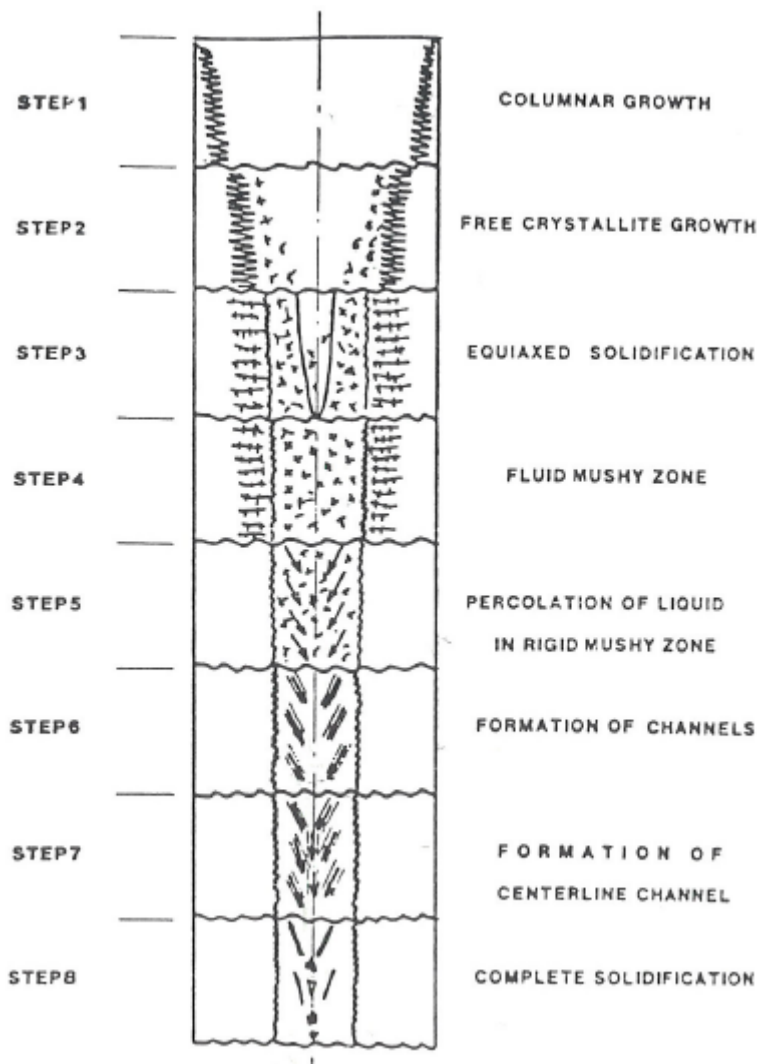


Figur 16. Exempel på dentriter i ett mikroprov. (Jernkontoret, (2004), s. 24)

Semi-makrosegring är en term som används när den kontinuerliga centrumsegringen löses upp till mindre separata zoner, även kallat fläcksegring (spot segregation).

Makrosegring/centrumsegring innebär analyskillnader över större avstånd. När en metall stelnar ökar dess densitet, dvs. dess molära volym minskar. Detta leder till stelnings- och svalningskrympningar pga. volymskillnader mellan smältan och den stelnade metallen. Det uppstår då oftast porer inuti ämnet. I dessa porer råder praktiskt taget vakuüm, vilket leder till att smälta kan sugas till porerna och fylla dem genom dendritnätverket. Därvid uppstår

lokala avvikelser i legeringssammansättningen jämfört med medelsammansättningen. Vid kontinuerlig gjutning av billets är det oftast så kallad V-segring (step 8 i figur 17) som uppstår.



Figur 17. Stelningsstruktur och V-segring. (Irving, W. (1993), s. 128)

Makrosegringarna är naturligtvis allvarigare för stålets egenskaper pga. den större skalan. Mikrosegaringar kan minska avsevärt genom diffusion vid vanlig värmebehandling medan makrosegringar ger önskade brister i materialet.

(Schriever, H. (1987), s. 121 & Ludlow V., m.fl. (2005), s. 68, 78–79)

2.5.1 Segringskoefficient

Segringskoefficienten (segregation index) är en internationellt använd formel och benämning på ett värde som visar hur kraftig segringen är. Vill man ha reda på hur

segringskoefficienten ser ut i t.ex. en biljet tar man prover och analyserar kolhalten, oftast från mitten var segringen uppstår. Referensprover tas också för att man skall kunna jämföra hur stor variationen i kolhalten är. Vid behov kan man analysera andra värden som svavel, magnesium, m.fl. och räkna ut segringskoefficient från dem.

Formeln som används för att räkna ut segringskoefficienten är:

$$\frac{C_{avg} + 2 * C_{std.dev.}}{C_{avg.ref.}}$$

där C_{avg} är genomsnittliga värdet av de prover man tagit, $C_{std.dev.}$ är standardavvikelsen av proverna och $C_{ref. avg.}$ referensprovernas genomsnittliga värde. Se bilaga 5 för exempel av analysering utav ett prov samt beräkning av segringskoefficienten.

3. Tidigare forskning

Tidigare forskning om gjutparametrars inverkan på segring har gjorts, både vid Koverhar och av andra företag inom samma bransch. Olika metoder för att reducera segringen har beprövats och vissa har visat sig vara mer gynnsamt än andra. Forskningsresultat presenteras här i korthet (fritt översatta från finska och engelska) för att sedan jämföras med resultaten som erhållits från proverna under tiden av examensarbete.

3.1 Intern forskning

Den interna forskningen vid Koverhar inom detta problemområde är fortgående genom att man följer med kvalitén på produkterna man skickar ut. Genom trådbrott i dragverken, slumpmässiga provtagningar eller reklamationer från kunder märks det att problemet finns, men det har varit svårt att lokalisera vad som leder till segringen. Mer grundlig segringsforskning och rapportering har också gjorts två gånger tidigare och processparametrar har justerats efter deras resultat. Trots det uppstår fortfarande segring i HC och PC-stål vid Koverhar som leder till reklamationer.

3.1.1 Diplomarbeta, Kork.hiil. terästen makrosuotaumaan vaikuttavat tekijät

Undersökningen är ett diplomarbete av Markus Larkimo från 1991. I det undersöktes gjutparametrars inverkan på makrosegring i centrum av det högkolhaltiga gjutgodset vid Koverhar. I diplomarbetet undersöktes sekundärkylnings, övertemperaturers och gjuthastigheters inverkan på centrumsegring samt inverkan av aktiverad eller avstängd EMS.

Prover togs från billets gjutna med varierande parametrar. Av provbilleten togs också prover från olika skeden i valsprocessen. Proverna analyserades först på basis av s.k. bauman bild, se bilaga 2, och efter det gjordes en segringsanalys vid Rautaruukkis forskningsavdelning och dragprov av de valsade bitarna. Vid Rautaruukki användes en mikroanalytator baserad på WDS-systemet, vilket baserar sig på igenkänning av röntgenstrålar som reflekteras av kolet i provbiten. För att försäkra sig om segringsanalysernas trovärdighet togs också förbränningsanalys av borrhål från billeten. Resultattabeller finns i bilaga 1.

På basis av de erhållna resultaten presenterade Larkimo följande förslag för gjutningen vid Koverhar:

1. Kokillomrörare (MEMS) skall vara aktiv.
2. Sekundära kylningen skall vara så lång, kraftig och jämn som möjligt. Termisk soft reduktion skall appliceras om möjligt, men kräver låg gjuthastighet.
3. Rekommenderade övertemperaturen på 40–45 °C, men högre övertemperatur är möjlig med MEMS.

Genom att införa dessa uppnår man följande kvalitetsförbättringar i billeten:

MEMS:

- Stelningsstrukturen jämn, ingen klar makrosegring. Den makrosegringen uppstår är små V-segringar.
- Porositeten mindre och mer fåtalig.
- Ingen klar ”pipe” i billetens ändor.

Termisk soft reduktion:

- Minskar porositeten.
- Hindrar flödet av smälta i slutet av stelningen, vilket reducerar makrosegring.

Övertemperatur:

- Får inte vara för hög, MEMS effekten slutar fungera vid för höga övertemperaturer.

(Larkimo, M. (1992) s. 33, 87–88)

3.1.2 Undersökning, Makrosuotautumatutkimus valukoneella no 1

Undersökningen utfördes 2006 av tekn.stud. Tomi Antikainen. Matti Tukiainen sammanfattade och rapporterade resultaten. Huvudsakliga målet med denna undersökning var att identifiera den dåvarande makrosegringen i billetsena producerade vid Koverhar. Undersökningen gjordes på gjutmaskin 1 och den högkolhaltiga stålsorten HC 72 Bead Wire (kod 07726), detta för att sorten är den mest krävande med avseende på segring.

Provbitar togs av gjutna billets med varierande gjuthastigheter utan specifika krav på övertemperaturen. Provbitarna borrades längs centrumlinjen samt i referenspunkten med en 10 mm borr. Spånen från borrarboringen analyserades sedan i LECO-analysatorn, se kapitel 4.2.

Av de erhållna analysresultaten räknades sedan segringskoefficienterna enligt formeln, se kapitel 2.5.1. Resultatena jämfördes med varandra och genom att studera vilka parametrar som specifika billets gjutits med ser man sedan vilka gjutparametrar som varit mer gynnsamma för segringen, se Bilaga 3 för resultat av proverna.

På basis av de erhållna resultaten föreslogs att följande parametrar skulle gälla vid HC-PC gjutning:

- Gjuthastigheten 1,5 m/min på gjutmaskin 1.
- MEMS skall alltid vara aktiv när man gjuter dessa stålsorter.
- Stora och hastiga ändringar i gjuthastigheten skall undvikas.
- För höga övertemperaturer skall undvikas.

Några förslag på hur man bättre skulle kunna kontrollera centrumsegringen i framtiden presenterades också. Förslagen bestod av följande metoder:

- Ökad sekundärkylning skulle möjligtvis reducera segringen men kräver noggrann planering så att inte gjutgodset deformeras.
- Termisk soft reduktion med en stark kylning vid sumpen skulle kräva konstanta gjutparametrar, vilket är praktiskt omöjligt med Koverhars produktsortiment.
- Mekanisk soft reduktion skulle appliceras vid platsen där makrosegringen är på väg att uppstå, men detta är också svårt att praktiskt utföra.
- Genom att installera en FEMS skulle segringsrisken minskas eller så skulle det finnas en möjlighet att öka gjuthastigheten, denna EMS är heller inte så beroende av varierande gjutparametrar. Detta borde övervägas att skaffa till båda gjutmaskinerna.

(Antikainen T. & Tukiainen M. (2006))

3.2 Internationell forskning

Den internationella forskningen kring problemet med segring har gjorts i större grad. En av undersökningarna utfördes av ett samarbete mellan ISPAT-Hamburger Stahlwerke och Centro Sviluppo Materiali. Undersökning av segring utgjorde endast en liten del av hela den rapporten. Den andra undersökningen utfördes genom ett samarbete mellan olika ståltillverkare, vars huvudsyftet var att minimera segringen i högkolhaltigt stål.

3.2.1 Rapport, Optimising the structure of high-carbon steel wire

Rapporten är skriven av K. Stracken m.fl. 1998. Testerna utfördes mellan tiden maj 1993 till april 1996 i ISPAT-Hamburger Stahlwerke, Tyskland och Centro Sviluppo Materiali, Italien. Huvudsyftet var att optimera strukturen av högkolhaltig ståltråd. Som en del av denna undersökning studerades därför segring eftersom den har en negativ inverkan på strukturen i gjutgodset av vilket ståltråden sedan produceras. Den 10 mm till 12 mm tråden vilken proverna togs från producerades av stränggjutna billets med dimensionerna 120 mm x 120 mm, dessa billets analyserades också. Prover för att studera strukturen visades vara bäst då man tog dem av en 45 m dragen ståltåd med 0,50 m mellanrum.

Olika gjutparametrar användes och resultaten visade sedan att billets samt tråden valssad från dem gjutna med en aktiv MEMS hade ett reducerat segringsområde. Analyserna

gjorda på billetena visade en kolhalts topp på 1,10 % om det var gjutet med aktiv MEMS och en topp på 1,35 % med MEMS avstängd. Se bilaga 4.

En ökning av gjuthastigheten från 3,6 m/min till 4,4 m/min ledde till en ökning i intensiteten av centrumsegring i billeten, vilket ledde till en sämre kvalitet i den valsade tråden. Ett prov att reducera segringsintensiteten med hjälp av SEMS gjordes. Detta reducerade segingen, men inte till samma värden som gjutgodset med 3,6 m/min.

Övertemperaturen sänktes också till 20 °C vid gjutning och detta ledde till mindre bildning av sekundär cementit.

Ett sammandrag av resultaten efter dessa tester är följande:

- MEMS leder till en tydligt reducerad segring i gjutgodset.
- Vid ökning av gjuthastigheten hjälpte appliceringen av en SEMS, men inte tillräckligt för att nå samma resultat som med normal gjuthastighet.
- Reducerad övertemperatur leder till mindre bildning av cementit.

(Stracken K., m.fl. (1998), s. 49–50, 55)

3.2.2 Forskning, Strategies to minimise central segregation

Corus R, D & T (föredetta British Steel), Teesside Technology Centre tillsammans med Scoutherpe Works, ISPAT-Hamburger Stahlwerke, Sidenor I+D och Corus NL (tidigare Hoogovens) färdigställde 2002 en omfattande undersökning som pågått sedan 1997 om optimering utav centrumsegring vid kontinuerlig gjutning av högkolhaltiga stålbillets. I undersökningen utfördes tester med kraftig sekundärkyllning, termisk soft reduktion, slutlig elektromagnetisk omrörning (FEMS), reducerad och kontrollerad övertemperatur samt mekanisk soft reduktion. Till dessa tester undersöktes ännu gjuthastigheters inverkan på centrumsegringen. Utifrån resultaten från dessa tester var det sedan möjligt att erhålla optimala parametrar för minimal seging under gjutning av högkolhaltiga stålbillets för de fyra involverade parterna.

Olika undersökningar utfördes vid olika anläggningar för att reducera kostnaderna och tiden alla dessa tester annars skulle kräva. Uppgifterna delades bland parterna så att ett test utfördes på minst två anläggningar. Genom att göra tester på flere anläggningar hade man möjlighet att jämföra resultaten med varandra och utesluta möjligheten för fel i den slutliga sammanfattningen.

Efter slutförda testkörningar och analysering av gjutna billets drogs följande slutsatser:

- Den mest lyckade tekniken som testades var kraftig sekundärkyllning. Det uppstod ändå problem med kvaliteten på billeten i form av interna sprickor genom återuppvärmning och försämring av ytkvaliteten pga. sprickor. Justering måste göras för att hitta den optimala balansen mellan sekundärkyllningen och kvaliteten.
- FEMS, termisk och mekanisk soft reduktion ledde alla till minskad segring, men krävde en specifik mängd fast ämne i smältan i den gjutna billeten.
- Med avseende på gjutparametrar märktes två saker som inverkar på segringen, övertemperatur och gjutmetod (skyddad gjutning eller fririnnande gjutning). Alla medverkande märkte en förbättring av centrumsegringen vid låga övertemperaturer och på basis av testerna är skyddad gjutning att föredra med avseende på segringen.

(Ludlow V., m.fl. (2005), s. 73–74)

4. Arbetsbeskrivning

Till arbetet hörde planering av provtagning, uppföljning av gjutning under provtagning, borring av prover och analysering av borrhövlarna. När resultaten erhållits jämfördes de med varandra för att sedan få en klarare bild utav vilka gjuthastigheter och övertemperaturer som är mest gynnsamma för segringen vid gjutning av högkolhaltigt stål vid Koverhar.

4.1 Planering och provtagning

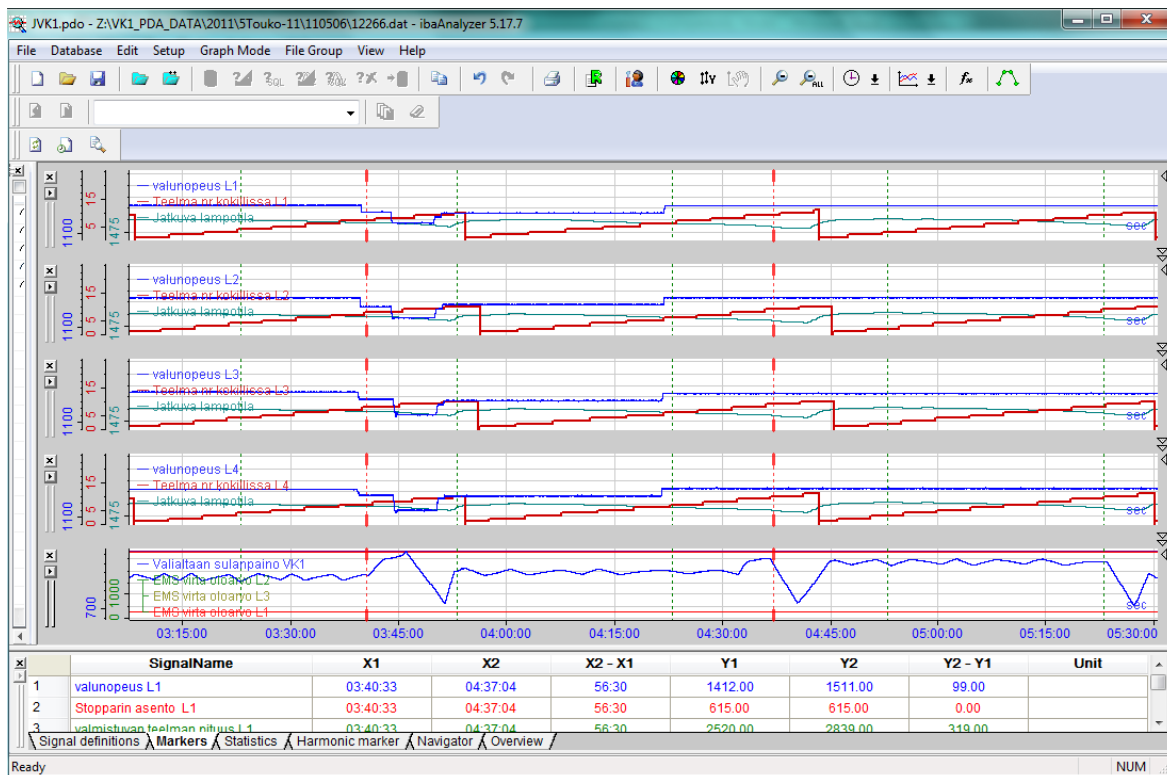
De intressanta gjutparametrarna av vilka man ville få provbitar var de gjutna med hastigheter mellan 1,5–1,9 m/min med liten temperaturvariation samt de gjutna med övertemperaturer mellan 20–60 °C med liten hastighetsvariation. Längden på provbitarna varierade mellan 140–210 mm.

Gjutmaskin 1 är den som används mest till att gjuta PC-stål så det var av den som största delen utav provbitarna erhöles. Den rekommenderade gjuthastigheten vid maskinen var 1,5 m/min. Gjuthastigheten går att ställa in manuellt för varje gjutlinje på maskinen. Den rekommenderade övertemperaturen varierar, beroende på stålsort, men ligger mellan 40–45°C. Övertemperaturen går dock inte att reglera på ett pålitligt sätt utan man måste

försöka få lämplig temperatur vid skänkungnen före gjutningen. Detta leder till att temperaturen kunde variera ganska kraftigt t.o.m. från en skänk till en annan i samma serie.

Provbitar som behövdes till arbetet kunde man till största del ta utav gjutserier av PC-stål utan att ändra på gjutparametrar och störa produktionen. Eftersom den rekommenderade gjuthastigheten är 1,5 m/min hölls hastigheten mellan 1,4–1,5 m/min, beroende på övertemperaturen, under största delen av provtagningarna. Bitarna från dessa hastigheter kunde man personligen övervaka, men de prover med högre gjuthastigheter måste en anställd från utvecklingsavdelningen eller en förman vara med och övervaka. I bilaga 9 är planen för provtagningen.

Under gjutningen och kappingen av provbitarna måste övervakning ske så att man visste vilka parametrar som gällde när ett specifikt prov togs, samt att märkningen utav provbiten blev korrekt. Man har möjligheten att se gjuthastigheten och övertemperaturen på en gjuten billet i efterhand, se bild 18, men om märkningen är inkorrekt vet man inte vilken bit som gjutits under vilken tidpunkt. När sedan övertemperaturen var passande för undersökningen meddelades personalen vilken linje och vilken billet provbiten skulle kapas ifrån.



Figur 18. ibaAnalyzer, program för att kontrollera gjutparametrar vid specifika tidpunkter. De fyra översta diagrammen representerar gjutmaskinens fyra linjer. Linjens gjuthastighet (blå) och gjutna billet (röd).

Vid högre hastigheter måste man ta i beaktande hur hög övertemperaturen var. Om övertemperaturen stiger för högt med snabbare gjuthastighet finns risk för genombrott. Genombrott är när det stelade billetskalet är för tunt och inte klarar att motså det ferrostatiska trycket, vilket leder till att smältan rinner igenom strängen. Provbitarna till den kategorin erhöles först vid andra försöket. Under den första PC-serien var övertemperaturen för hög så det fanns inte någon möjlighet att ta prover, men under den andra erhöles lämpliga provbitar med 1,7 m/min och 1,9 m/min.

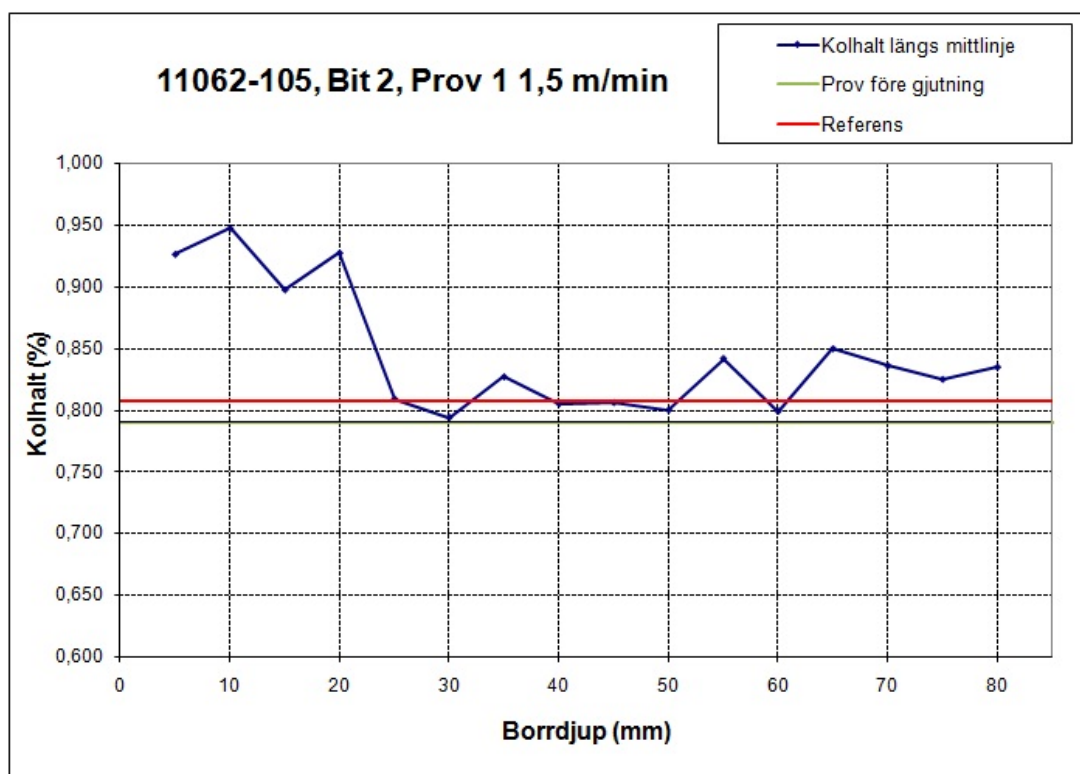
Under en PC-gjutning blev smältans temperatur så låg att smältan stelnade i gjutrören. De billets i serien som gjutits före detta klassades som skrot för att det fanns risk för defekter i dem. Billets som blev skrotklassade gav en unik möjlighet att få provbitar med låg övertemperatur, eftersom det annars är svårt att erhålla.

Allt som allt togs ca 35 provbitar från produktionen till undersökning.

4.2 Borrning och analysering av prover

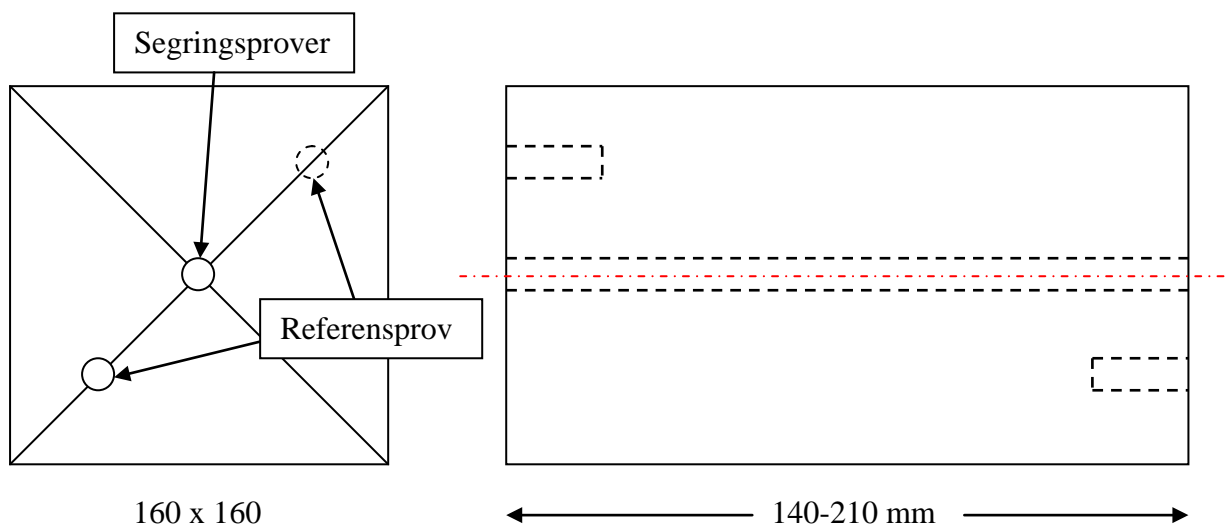
4.2.1 Borrning

Borrmaskinen som användes var en stationär borrhållare i underhållshallen bredvid fabriken. Borrarna som användes var av märket Dormer, borrhållare 10 mm med ytbelagd titannitridspets (A002 HSS, DIN338RN/BS328/ISO235). Borrarnas hållbarhet varierade, men byte av borrhållare gjordes efter en centrum- och en referensborrning. Dessa byten gjordes för att undvika att borrhållaren som användes för centrumborrning inte skulle vara för sliten. Med en allt för sliten borrhållare fanns risk för att spetsen blev trubbig och små bitar av borrhållaren kunde lossna. Om bitar av borrhållaren skulle lossna kunde de komma med bland provspånen och inverka på analysresultatet. Kolhalten i dessa borrhållare ligger mellan 0,6–1 % så det skulle endast vara en liten inverkan, men ändå värd att nämna.



Figur 19. Exempel på borrhöjningar i diagram.

Borrproverna gjordes med hastigheten 225 varv/min, matningen 0,05 mm/varv och utan kylvätska, detta för att stålspånen från borrhöjningen skulle få lämplig storlek. Kylvätska användes inte pga. att man ville ha spånen så rena som möjligt vid analysering. Före borrhöjningen putsades ytan ren med alkohol. Under borrhöjningen samlades stålspånen från varje 5 mm djup i provpåsar. Genom att analyser provspånen från dessa djup får man en bild av hur kolhalten varit längs med centrumlinjen, se figur 19. Mängden spån som krävs för ett gott analysresultat är mellan 0,8–1,2 g, därför är det svårt att borra och få tillräckligt med spån från mindre än 5 mm djup. Efter varje insamling av spån blåstes ytan och hålet rent med tryckluft så att inte spånen från ett tidigare mätdjup skulle blandas med de från det nästa djupet.



Figur 20. Biletens borrhållpunkter, segringsprover från mitten och referenser från kanterna.

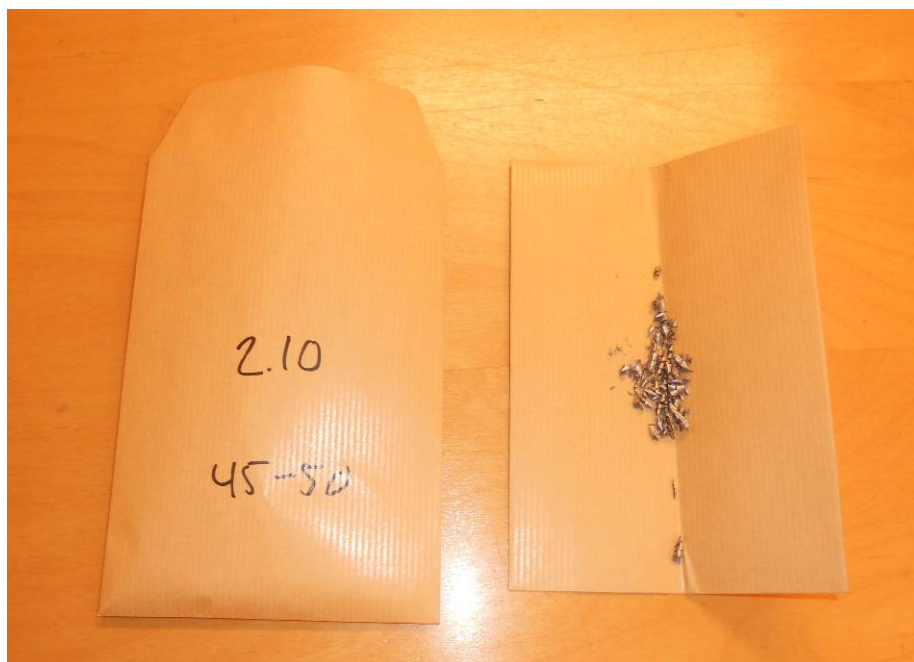
Om möjligt försökte man borra igenom hela biten. Borrarna har, enligt Dormer, ett effektivt borrhåll på 87 mm. Beroende på borrens hållbarhet kunde man ändå ibland borra så djupt som 100 mm per sida. Men eftersom bitarnas längd kunde vara upp till 210 mm ledde det till att bitar med längder över 180 mm sällan gick att borra helt igenom. Referenspunkten borrades efter centrumborringen och från den togs tillräckligt med spån för minst tre analyser.



Figur 21. Bild på ett borrhållprov och spån från ett 5 mm djup.

4.2.2 Analys

Spånen från borrhöverna samlades i provpåsar vilka markerades med vilket nummer provet var från biten och vilket djup provet var taget ifrån, se figur 22. Per sida erhöles 10–20 prover vilket ledde till ca 20–40 prover per bit. Dessa prover togs sedan till laboratoriet för att analyseras.



Figur 22. Provpåse och spån som skall analyseras, taget vid 45–50 mm djup.

Till analyseringen utav provbitarna användes en stationär automatisk analysator, LECO CS-200. LECO har två infraröda (IR) celler, den ena av dem används för mätning av svavel (S) och den andra för kol (C).

Spånen från ett borrhöver lades i en smältdegel. Mängden spån mättes upp till ca 0,9 gram för de flesta proven. För att få en trovärdig analys måste mängden vara mellan 0,8–1,2 gram. Tillsammans med provet läggs ett accelerationsämne i degeln, vars uppgift är att reducera spånens smältpunkt.

Analysatorn fungerar så att degeln läggs in i förbränningskammaren. Kammaren töms sedan på luft och fylls totalt av syre. Efter det tänds brännaren och provet förbränns i en atmosfär med endast syre. Under förbränningen binder sig kolatomer med syre och bildar huvudsakligen CO_2 men också CO , medan svavelatomerna bildar SO_2 . Efter förbränningen sugas atmosfären från kammaren till analysatorn. Svavelhalten mäts då i den första IR-cellen. Mellan den första och andra cellen finns till först en platinerad kisel-gelkatalysator

som arbetar vid 335°C. När gasen passerar igenom katalysatorn konverteras den mängd CO som finns till CO₂ och SO₂ konverteras till SO₃. Efter detta passerar ännu gasen igenom ett cellulosafilter som filtrerar bort SO₃. Kolhalten mäts sedan i den andra IR-cellen. En analys tar ca 40 sekunder.

Kolhalten var det intressanta i detta arbete och för att verifiera analysatorns resultat måste man ta standardanalyser mellan var 5–10 borrhålsanalys. Dessa standardiserade prover hade en specifik kolhalt. Under arbetets gång användes två standardprover, ett med C-halt 0,814 % ± 0,009 och det andra 0,834 % ± 0,011. Om proven visade sig vara inom de angivna gränsvärdena kunde man anta att LECO:n gav trovärdiga resultat. Var resultaten utanför de angivna gränserna måste flere standardprover tas och en justering utav mätaren ske. Helst skulle samma C-0,814 % standardprov använts genom hela undersökningen, men det hade tyvärr ersatts från tillverkarens sida med det andra provet.

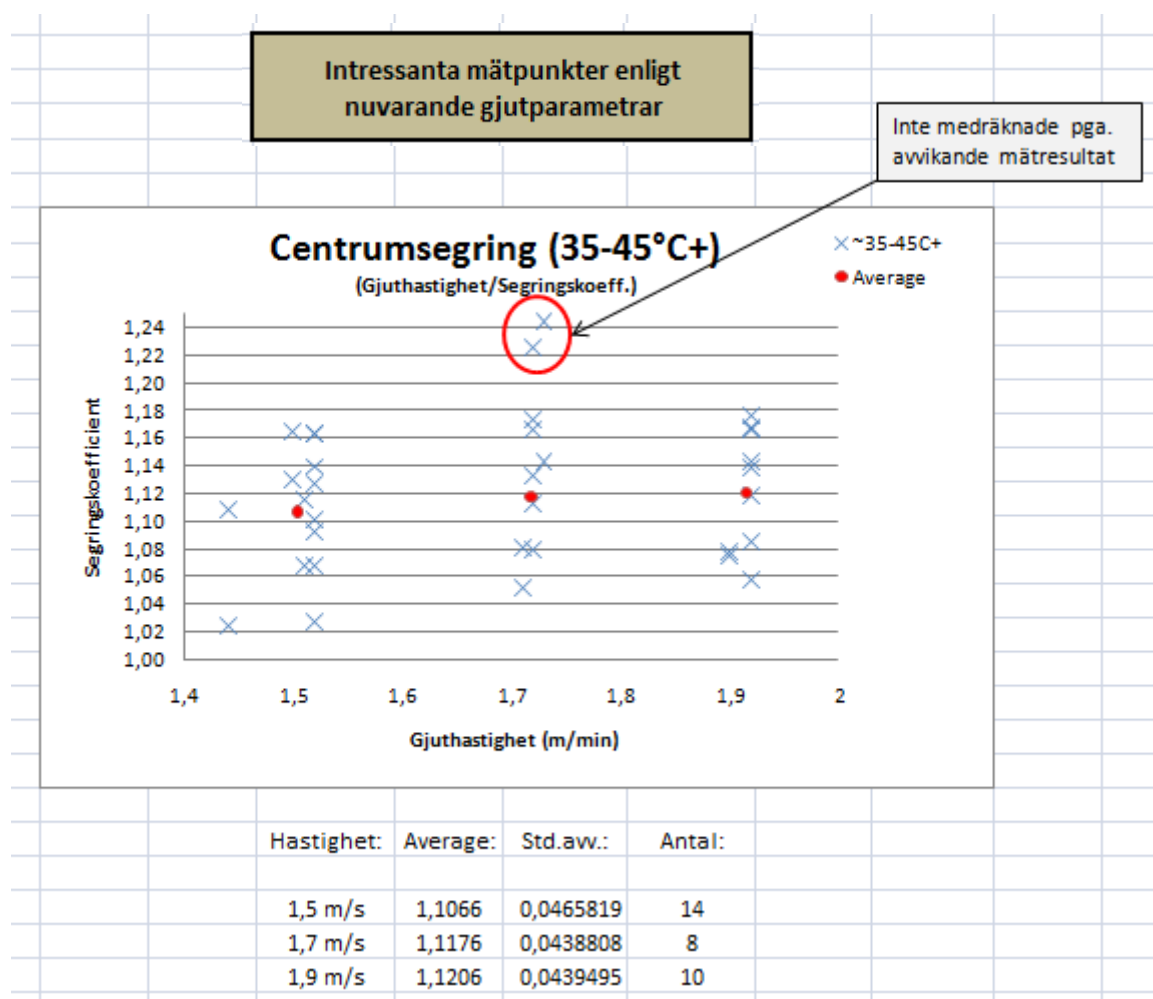
Analysresultaten antecknades på respektive påse för att sedan användas i uträkningarna utav segringskoefficienterna. Varje borrhål hade sedan en egen segringskoefficient och en egen graf vilken visade variationen i kolhalten vid de olika djupen och i de fall som borrhålet gick helt igenom biten kunde man föra samman resultaten från båda, se bilagorna 10 och 11 för ett exempel på två resultat (bilaga 10) som förts samman (bilaga 11). Efter alla prover analyserats kunde man börja studera de erhållna resultaten.

5. Resultat

De erhållna resultaten presenteras som följande. Alla segringskoefficienter som användes till dessa resultat finns som bilagorna 6–8, men en sammanfattning utav alla mätvärden, grafer och jämförelsepunkter finns på en CD-ROM tillhörande detta arbete.

5.1 Gjuthastighetens inverkan

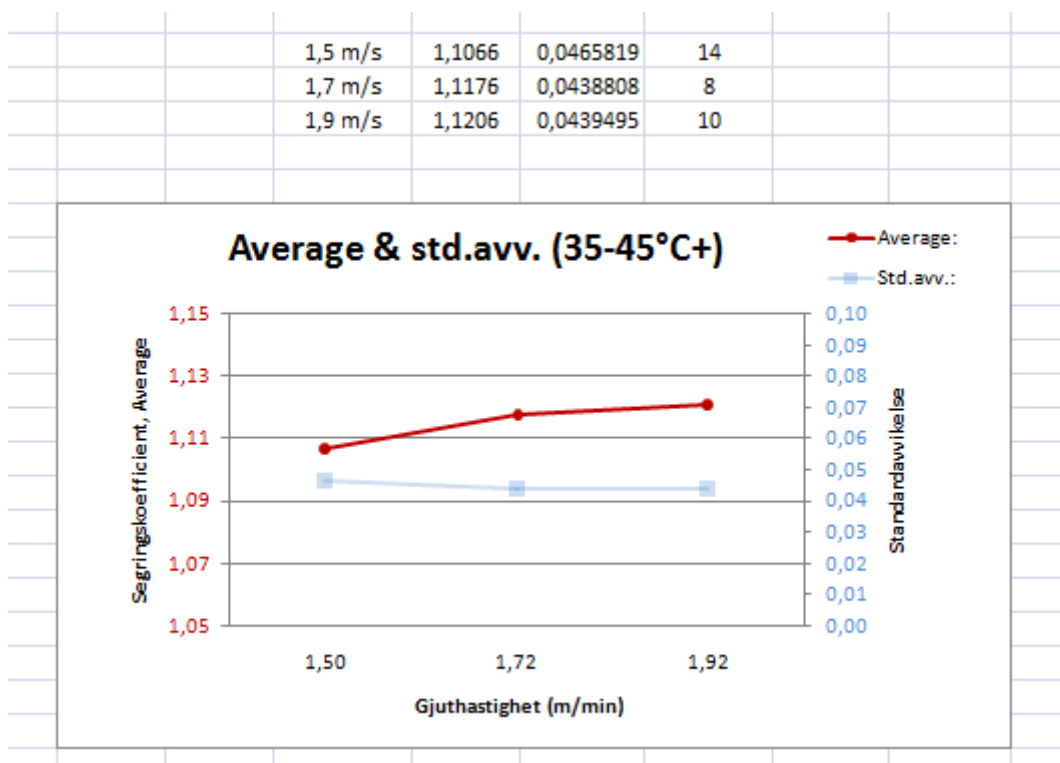
Den nuvarande rekommenderade övertemperaturen vid gjutning är mellan 35–45 °C, så resultaten vid det området var speciellt intressanta. De resultat från provbitar inom detta temperaturintervall jämfördes med varandra. För att få en bild utav hur segringskoefficienten förhöll sig till en ökad hastighet lades resultaten i ett diagram, se figur 23. I bilagorna 6 och 7 kan man se alla segringskoefficienter som är med i resultatdiagrammet.



Figur 23. Resultat, varierande gjuthastighet vid övertemperatur 35–45 °C.

I figuren visas de olika segringskoefficienterna (X) och genomsnittliga koefficientvärdet (O) vid hastigheterna 1,5, 1,7 och 1,9 m/min med en övertemperatur mellan 35–45 °C. Utav alla mätvärden är de två inringade de enda som varierat grovt från resten. De ansågs då vara missvisande och är därför inte medräknade i de slutliga resultaten. Totalt passade 32 borrprover till detta resultat.

Utav dessa segringskoefficienter räknades genomsnittliga värdet och standardavvikelsen. Genom att räkna ut genomsnittliga värdet vid de olika hastigheterna och sedan föra in det i ett diagram får man en linje som visar hur segringen varierar med hastigheten. Genom att räkna ut standardavvikelsen ser man hur mycket segringen kan variera från det genomsnittliga värdet vid de olika hastigheterna, se figur 24.



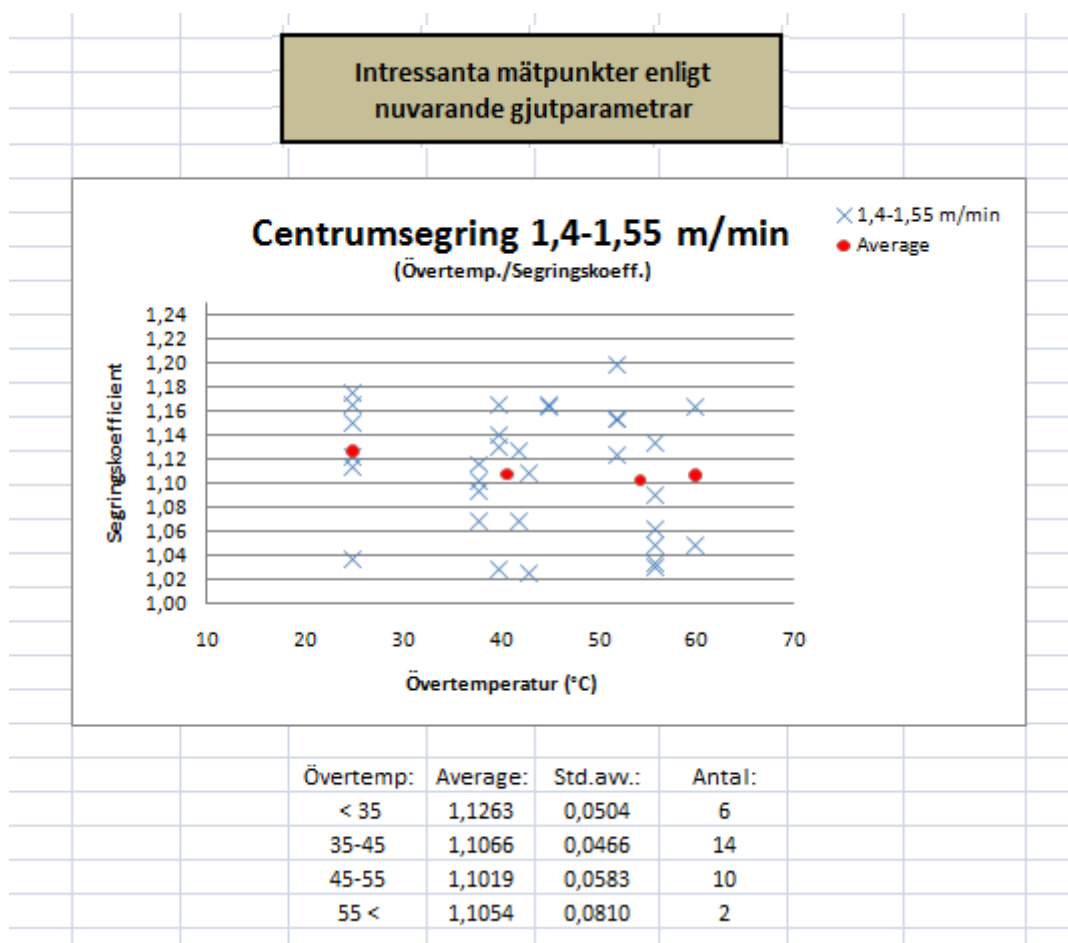
Figur 24. Resultat, genomsnittliga segringskoefficienten och standardavvikelsen, varierande hastighet.

Resultaten från den här undersökningen visar att ökningen utav gjuthastigheten leder till en liten ökning i segringen. När gjuthastigheten höjdes från 1,5–1,9 m/min höjdes den genomsnittliga segringskoefficienten med 0,014. Variationen i standardavvikelsen var minimal.

5.2 Övertemperaturens inverkan

Den rekommenderade gjuthastigheten är mellan 1,4–1,5 m/min för PC-stål vid Koverhar. Beroende på övertemperaturen och det aktiva antalet gjutlinjer kan hastigheten variera. Vid höga övertemperaturer måste man sänka hastigheten pga. risken för genombrott och vid färre linjer har man möjlighet att öka hastigheten ifall behovet finns. Men vid normala förhållanden är hastigheten som nämnt ovan.

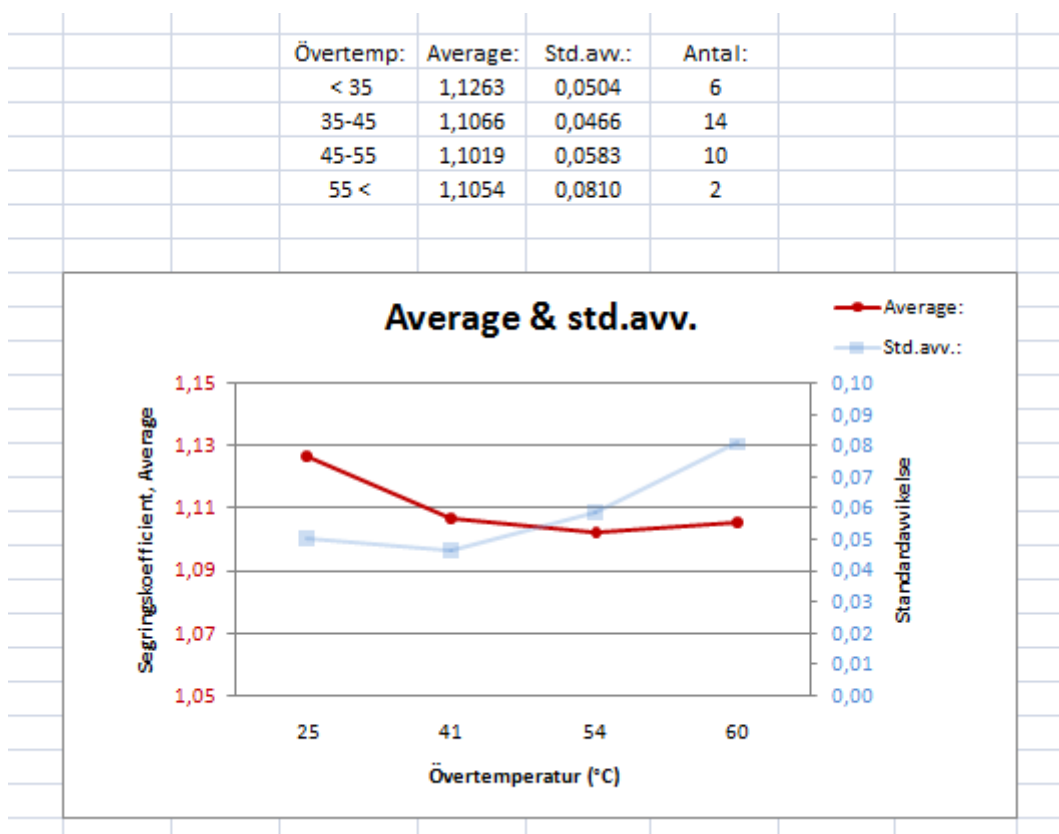
Segringskoefficienter med dessa hastigheter sammanfördes i ett diagram och genomsnittliga koefficienten samt standardavvikelsen räknades utifrån dem, se figur 25. Alla segringskoefficienter som är med i resultatdiagrammet finns i bilaga 8.



Figur 25. Resultat, varierande övertemperatur vid gjuthastigheter 1,4–1,55 m/min.

I figuren visas de olika segringskoefficienterna (X) och genomsnittliga koefficientvärdet (O) vid övertemperaturerna ~30, 40, ~50 och 60°C. Totalt passade 32 borrprover till detta resultat.

Genomsnittliga värdet och standardavvikelsen räknades utifrån segringskoefficienterna. Genom att räkna ut det genomsnittliga värdet vid de olika övertemperaturerna och sedan föra in det i ett diagram får man, på samma sätt som med hastigheterna, en linje som visar hur segringen varierar med övertemperaturen. Genom att räkna ut standardavvikelsen ser man hur mycket segringen kan variera från det genomsnittliga värdet vid de olika övertemperaturerna, se figur 26.



Figur 26. Resultat, genomsnittliga segringskoefficienten och standardavvikelsen, varierande övertemp.

Utifrån detta resultat kan man se att vid lägre temperaturer kan segringen vara lite högre, men ändå inte nära på dålig. Vid högre temperaturer verkar genomsnittliga segringen vara normal men standardavvikelsen ökar. Det betyder att vid högre övertemperaturer finns då en större chans att segringen i gjutgodset är kraftigare. Man måste dock ta i beaktande att resultatet vid 60 °C endast har två mätpunkter vilket kan vara missvisande, samt de resultat som är vid 25 °C var alla tagna från samma biljet. Enligt andra undersökningar skulle en låg övertemperatur vara det mest gynnsamma för att reducera segringen, men resultaten från denna undersökning strider delvis emot detta.

6. Diskussion

6.1 Sammanfattning av resultat

När all data samlats in, analyserats och sammanförts visar resultaten att högre gjuthastigheter leder till en liten ökning utav segringen. Resultaten visar också att vid ökade övertemperatur finns en större risk för kraftigare segring. Men resultaten tyder också på att för låga övertemperaturer inte är önskvärda, vilket var en överraskning eftersom det strider emot tidigare undersökningar. Dock när man ser på temperaturresultaten skall man ta i beaktande antalet mätpunkter vid extremerna, dvs. höga och låga temperaturer.

6.2 Förslag på förbättringar och fortsatt forskning

Utifrån dessa resultat kan man överväga följande:

- En ökning av gjuthastigheten skulle vara möjligt, men en noggrann uppföljning utav kvaliteten måste i så fall ske, i samband med valsning och dragning.
- Den rekommenderade övertemperaturen som är i kraft för tillfället har i undersökningen visats vara lämplig.
- Fortsatt undersökning av lägre övertemperaturers effekt på centrumsegring, eftersom dessa resultat strider mot andra teorier.
- Applicering av FEMS kan möjligtvis leda till en reducering utav segringen på basis av tillgänglig extern forskning, fortsatt utredning rekommenderas.

6.3 Avslutning

Eftersom jag tidigare sommar jobbat på Koverhar var det intressant att utföra denna undersökning åt dem. När jag kom på plats och började med arbetet visste jag inte mycket om alla problem som kan uppstå under gjutningen, och segring hade jag aldrig hört om tidigare innan jag läste undersökningplanen. Men efter att jag läst några gamla studier och diskuterat med handledare fick jag en klarare bild av hela problemet med segring.

Arbetet har i princip utgjorts av fyra olika delmoment: provtagning, borring, analysering och bedömning av resultat. Det som intresserade mest var förstås vad resultaten visar och att få fram ett resultat var också intressant men ett litet projekt i sig. Från provbitarna fick

man 10–20 prover per sida, alltså mellan 25–35 prover per bit. Dessa prover analyserades sedan och varje analys tog ca 40 sekunder, ifall det inte skedde nånting med utrustningen. Det tog alltså en liten tid innan man var färdig med ett helt prov, men jag väntade ändå varje gång med spänning på vad nästa resultat skulle visa.

Målet med detta arbete var att undersöka gjuthastighetens och övertemperaturens inverkan på centrumsergringen och utifrån undersökningen sedan förhoppningsvis komma med rekommendationer för gjutparametrar och fortsatt undersökning. Målet med undersökningen är uppnått. Utifrån den här undersökningen kanske man inte direkt går och ändrar på processparametrarna, men resultaten ger anledning till att göra en överenskommelse om ett test med högre gjuthastighet åt en kund. Efter testgjutningen och respons från kunden kan man sedan börja justera parametrarna.

En annan sak som kom fram och strider emot andra undersökningar gjorda inom samma område är att övertemperaturen inte får vara för låg. Detta skulle man kunna undersöka grundligare eftersom alla prover som togs vid den temperaturen kom från samma billet.

Tidsplanen för arbetet höll bra men de slutliga proverna som gjordes (ökning utav gjuthastigheten) blev det nästan tidsbrist att få inplanerade. PC-gjutningar sker när det står i serieplanen och under en tvåveckorsperiod mot slutet av arbetsavtalet var det nästan ingen PC-gjutning. Förutom det höll tidsplanen bra, men skulle jag göra detta igen skulle planen vara mer detaljerad.

Det har varit mycket givande och roligt att göra detta examensarbete. Jag har fått nya färdigheter och inte minst kunskap inom gjutning och stålindustrin. Det har varit mycket intressant att se hela processen från smältningen av järnet till valsning av ståltrådarna och mycket av det jag sett och lärt mig under tiden på Koverhar är jag säker på att jag kommer att ha användning av i framtiden.

Källförteckning

- Antikainen T. & Tukiainen M. (2006), *Makrosuotautumatutkimus valukoneella no 1*, Opublicerad undersökning för Koverhar.
- FNsteel (2011), *Intern information*, Koverhar.
- FNsteel (2011), *FNsteel presentation*, Koverhar.
- Irving, W. (1993), *Continuous Casting of Steel*, The Institute of Materials, Storbritannien.
- Jernkontoret, (2004), *Skänkmetsallurgi och gjutning*, Jernkontorets utbildningspaket del 4, <http://www.jernkontoret.se>, Jernkontorets forskning, Sverige.
- Larkimo, M. (1992), *Korkeahiilisten terästen makrosuotaumaan vaikuttavat tekijät Koverharin teelmävalussa*, Opublicerat diplomarbete för tekniska högskolan, Esbo.
- Ludlow V., Normanton A., Anderson A., Thiele M., Ciriza J., Laraudogoitia J. & van der Knoop W. (2005), *Strategy to minimise central segregation in high carbon steel grades during billet casting*, Institute of Materials, Minerals and Mining, England.
- Metallinjalostajat ry. (2009), *Teräskirja*, Helsingfors.
- Räfså, S. (2009), *Undersökning av mätnoggrannhet vid stränggjutning av billets*, Åbo Akademi, Laboratoriet för anläggnings- och systemteknik. Diplomarbete.
- Schriever, H. (1987), *Continuous Casting of Steel*, Verlag Stahleisen mbH, Tyskland.
- Stracken K., Pfennig M., Anelli E., Di Nuzio P. & Mollo A. (1998), *Optimising the structure of high-carbon steel wire*, European Commission, Science, Research and Development, Tyskland/Italien.
- Worldsteel association (2011)
www.steeluniversity.org/content/html/eng/default.asp?catid=24&pageid=2081272110

Taulukko 10.

Valmistustapa	Toisio- jäähdytys (l/kg)	Ylilämpö (C)	Kokilli- EMS	Valunopeus (m/min)	Lujuus ka. N/mm ²	Kurouma ka (%)	Suotauman hiilipitoisuus (max %)
Matala ylilämpö "lievä" jäähdytys	0.56	25	Ei	1.6	1155	36	1.0
Matala ylilämpö "lievä" jäähdytys + EMS	0.56	25	Kyllä	1.5	1165	33	0.9
Korkea ylilämpö lyhyt "kova" jäähdytys	0.62	50	Ei	1.6	1150	35	0.95
Korkea ylilämpö pitkä "kova" jäähdytys (soft reduction)	0.74	50	Kyllä	1.4	1160	33	1.1
Korkea ylilämpö pitkä "kova" jäähdytys + EMS (soft reduction)	0.68	50	Kyllä	1.4	1145	35	0.95

Resultat 1 av prover (Larkimo, M. (1992), s. 89)

Taulukko 11.

Valmistustapa	Rakenne	Suotauman hiilipitoisuus	Suotauman muoto	Huokoisuus	Pipe
Matala ylilämpö "lievä" jäähdytys	Tasa-akσιαallinen dendriittinen	0.75-1.0	Voimakkaat V-suotaumat	Pientä V-suotaumissa	Lievää, sulavirtauskanavat
Matala ylilämpö "lievä" jäähdytys + EMS	Karkea pallo- mainen, tasa- akσιαallinen	0.7-0.9	Voimakkaat V-suotaumat	Pientä V-suotaumissa	Lievää, sulavirtauskanavat
Korkea ylilämpö lyhyt "kova" jäähdytys	Pylväsmäinen dendriittinen	0.7-0.95	Selvä pienois- valanne	Pitkä yhtenäinen	Pitkä näkyvä pipe
Korkea ylilämpö pitkä "kova" jäähdytys (soft reduction)	Täsmällinen pylväsmäinen dendriittinen	0.65-1.1	Heikko pienois- valanne	Helminauhan muotoista	Pieni pipe
Korkea ylilämpö pitkä "kova" jäähdytys + EMS (soft reduction)	Hieno tasa- akσιαallinen dendriittinen	0.75-0.95	Pientä V- suotaumaa	Hyvin vähäistä	Ei ole

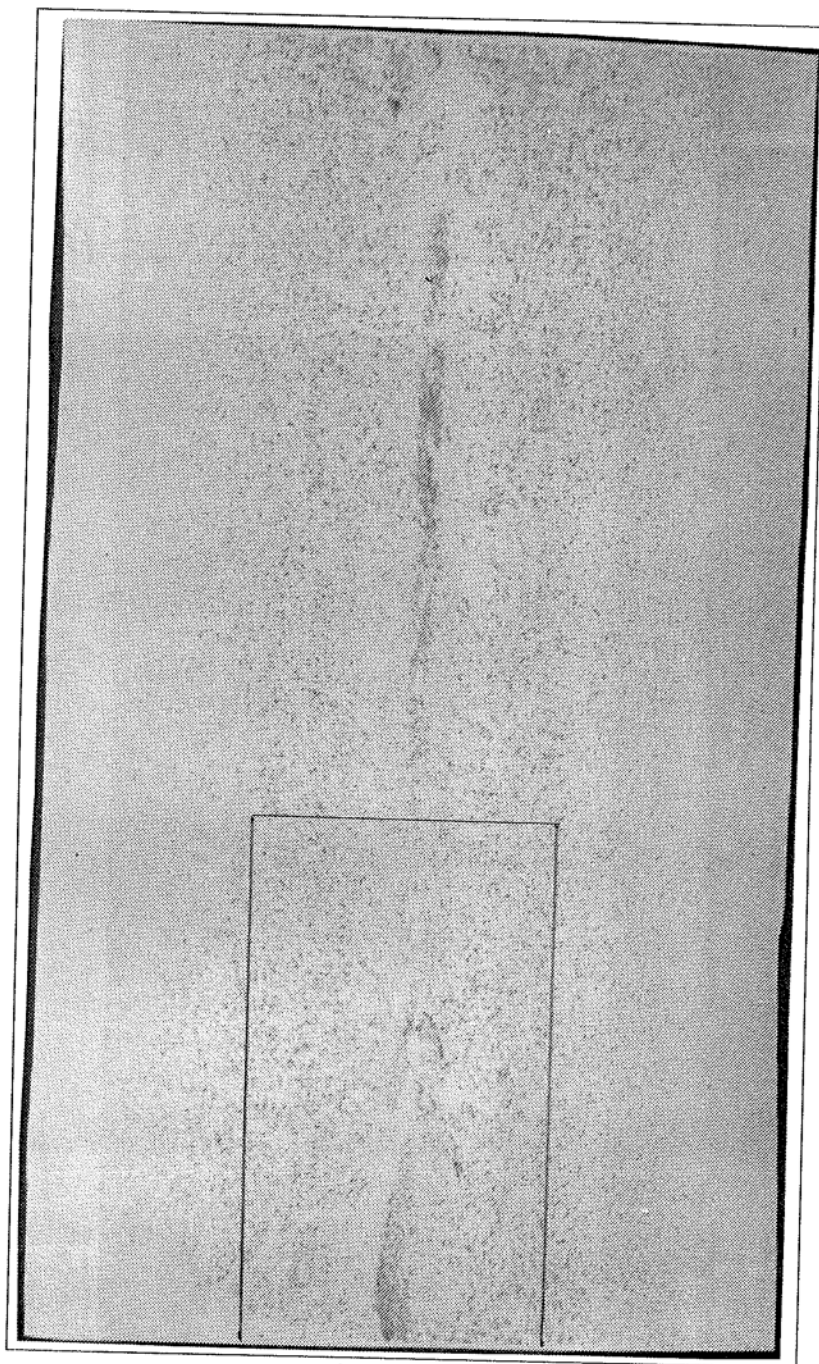
Resultat 2 av prover (Larkimo, M. (1992), s. 89)

Kuva 31. 130 mm teelmän ovaalinäytteen
baumankuva.

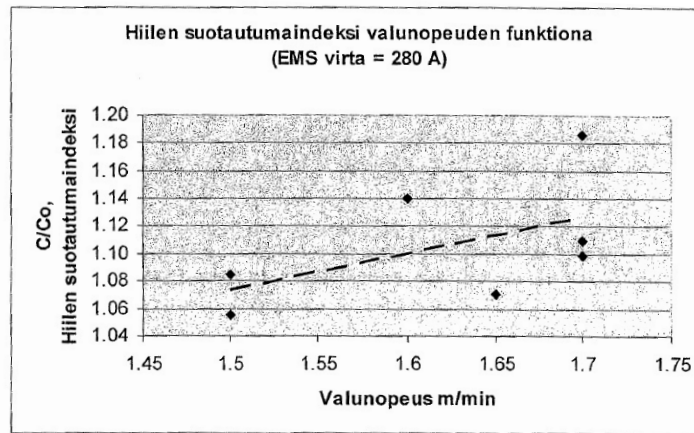
Valuolosuhteet: $V_{nop} = 1.8 \text{ m/min}$

$T(\text{yli}) = 50 \text{ C}$

Jäähdytys = 3.0 l/kg



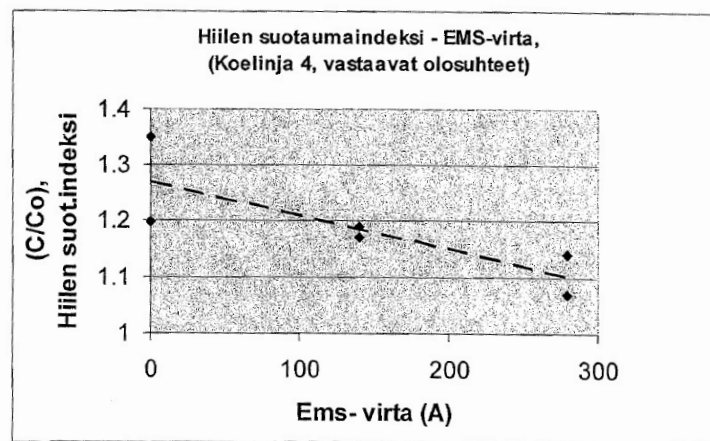
↑
Mikroskooppinäyte, josta on tehty
suotauma-analyysit.



Kuva 1. Kokeiden selvin tulos oli, että sulatuksissa, joissa oli korkein valunopeus, oli myös suurin makrosuotautuma.

Resultatbild 1 från undersökningen (Antikainen T. & Tukiainen M. (2006))

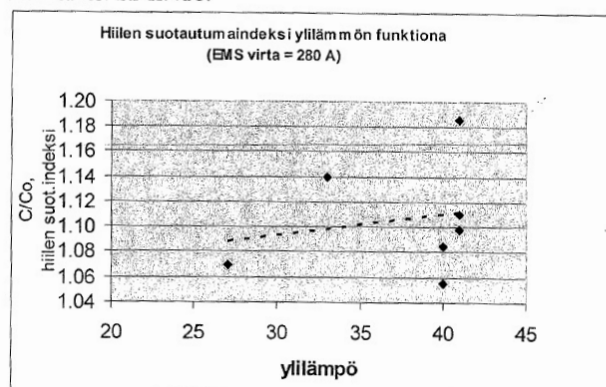
Magneettisekoittimen virranvoimakkuuden laskeminen lisää merkittävästi makrosuotautumaa



Resultatbild 2 från undersökningen (Antikainen T. & Tukiainen M. (2006) s.3)

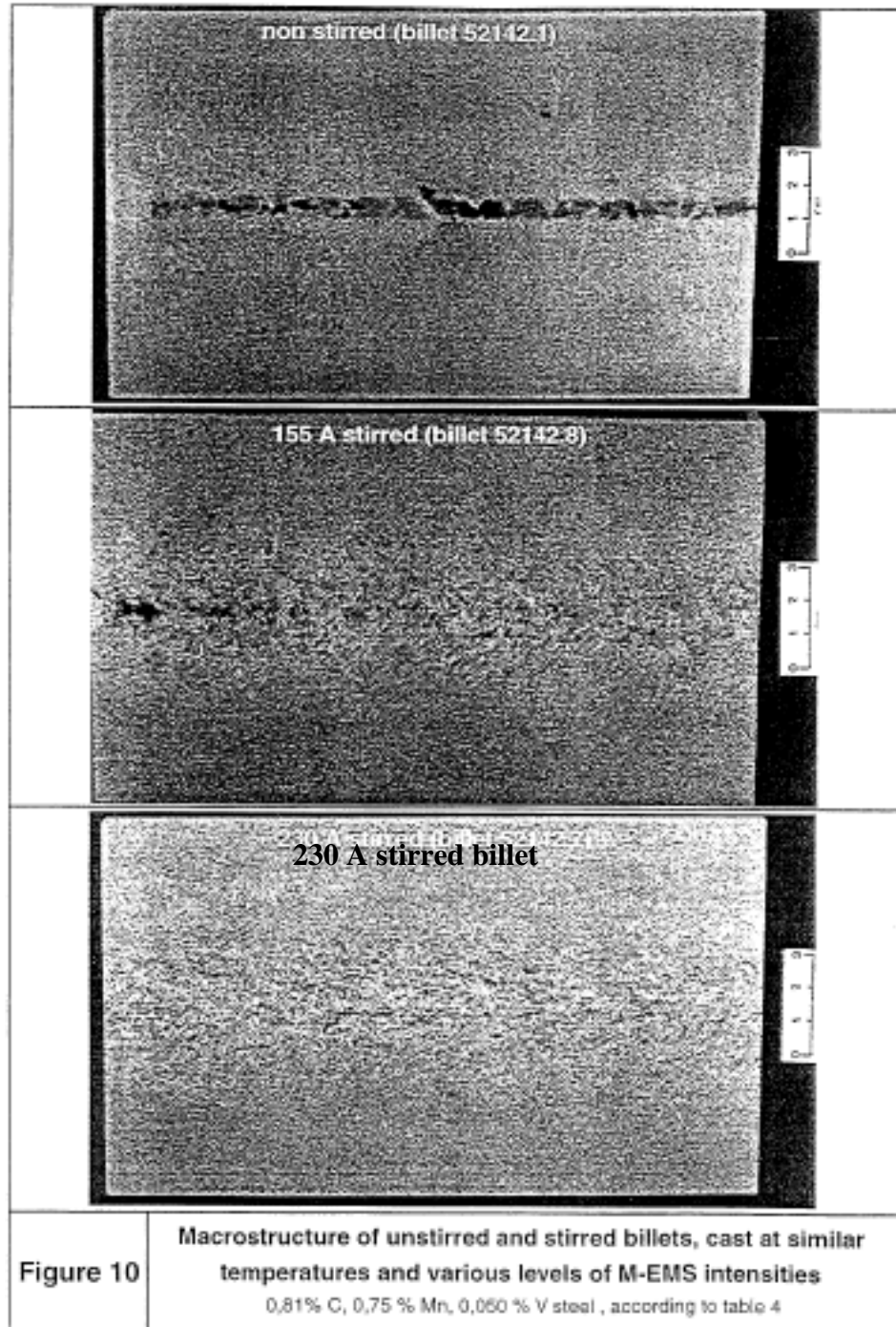
Ylilämmön vaikutus ei näy selvästi näissä kokeissa

Valmistusta ei haluttu liiaksi häiritä. Siksi valulämpötilaa ei tarkoituksella muutettu, vaan tyydyimme rekisteröimään kokeiden aikana tapahtuneet muutokset. Näin ylilämmön vaikutus ei tullut ilmi näissä kokeissa selvästi. Kuva 3.



Magneettisekoitusta käytettäessä kokillissa täydellä virran voimakkuudella ylilämmön vaikutus vähenee. On kuitenkin mahdollista, että hyvin korkea ylilämpötila vähentää magneettisekoituksen vaikutusta ja sitä kautta vaikuttaa haitallisesti suotautumaan.

Resultatbild 3 från undersökningen (Antikainen T. & Tukiainen M. (2006) s.4)



10.5.2011		57502-215, Prov 2		19.10.2010 20:00-23:00	
Gjuthastighet:	1,61 m/min				
Övertemp:	21 °C				
EMS:	280 A				
		Prov nr.	Djup (mm)	C (%)	
Standard prov (C. 0,814):	0,816	1	5	0,883	Medel: 0,840
		2	10	0,853	Std. avv.: 0,02657
		3	15	0,786	
		4	20	0,828	C (%)
		5	25	0,810	R1: 0,83
		6	30	0,821	R2: 0,827
Standard prov (C. 0,814):	0,818	7	35	0,828	R3: 0,829
		8	40	0,836	
		9	45	0,839	
		10	50	0,847	R medel: 0,829
		11	55	0,853	Senkka: 0,796
Byte av borr		12	60	0,834	Variation: 4,1 %
		13	65	0,864	
Standard prov (C. 0,814):	0,819	14	70	0,883	C/C _n 1,078234

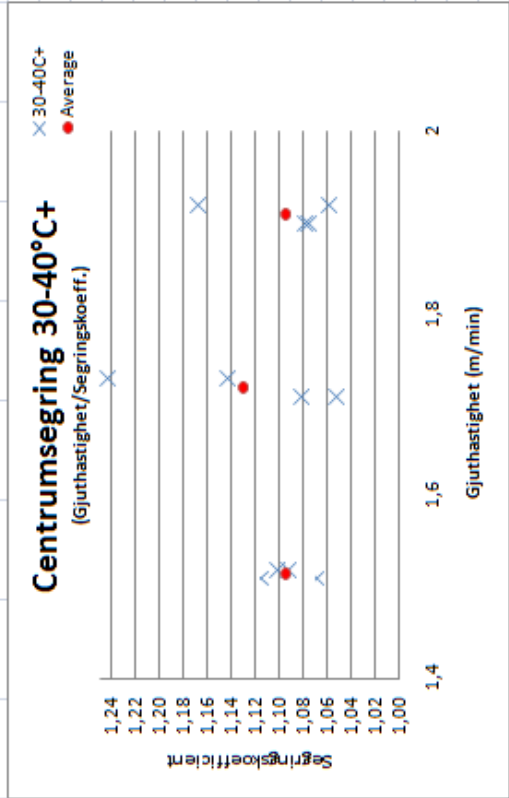
Medelvärde av resultaten samt standardavvikelsen

Referenspunkternas medelvärde

Segringskoefficient

Gjuthastigheter med 30-40 °C+

E03	53965	3	1	1,51	38	1,1153	PC8CrSi
E04	53965	3	1	1,51	38	1,0684	PC8CrSi
E01	53965	1	1	1,52	38	1,0921	PC8CrSi
E02	53965	1	1	1,52	38	1,1012	PC8CrSi
			Average:	1,52		1,0942	
3	56850	5	3	1,68	38	1,1388	HC82 Bead wire
12	56850	7	3	1,68	38	1,1176	HC82 Bead wire
13	56850	7	3	1,68	38	1,0972	HC82 Bead wire
			Average:	1,68		1,1179	
E05	53965	1	3	1,71	38	1,0522	PC8CrSi
E06	53965	1	3	1,71	38	1,0814	PC8CrSi
E07	53965	3	3	1,73	38	1,1427	PC8CrSi
E08	53965	3	3	1,73	38	1,2440	PC8CrSi (avvikande)
			Average:	1,72		1,1301	
E14	49072	6	3	1,72	34	1,0435	C80mod5Si
E15	49072	6	3	1,72	34	1,0795	C80mod5Si
E16	49072	5	3	1,7	34	1,0601	C80mod5Si
4	56851	6	3	1,73	32	1,1313	HC82 Bead wire
			Average:	1,72		1,0786	
E10	53965	1	5	1,9	38	1,0746	PC8CrSi
E09	53965	1	5	1,9	38	1,0781	PC8CrSi
E11	53965	3	5	1,92	38	1,0579	PC8CrSi
E12	53965	3	5	1,92	38	1,1677	PC8CrSi
			Average:	1,91		1,0946	

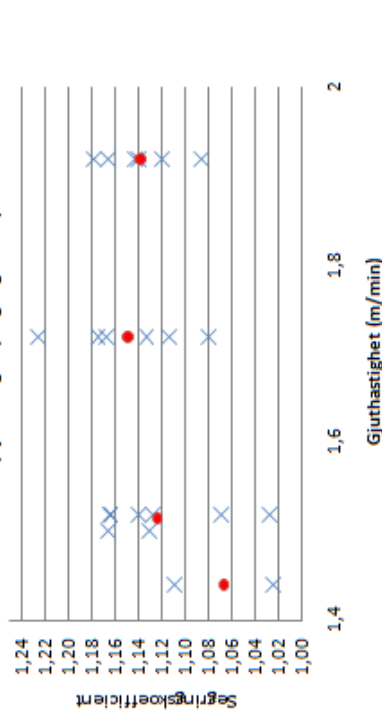


Gjuthastigheter med 40-50 °C+

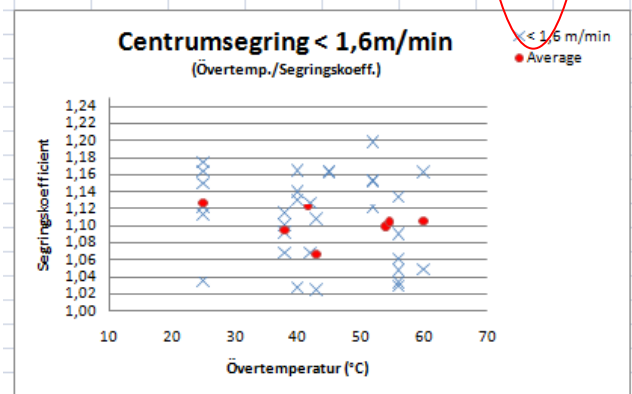
41	12325	2	6	1,92	44	1,1391	(206 - Bit 3) PC 12 AL
42	12325	2	6	1,92	44	1,1771	(206 - Bit 3) PC 12 AL
43	12325	2	6	1,92	44	1,0851	(206 - Bit 2) PC 12 AL
44	12325	2	6	1,92	44	1,1657	(206 - Bit 2) PC 12 AL
45	12325	2	6	1,92	44	1,1186	(206 - Bit 1) PC 12 AL
46	12325	2	6	1,92	44	1,1426	(206 - Bit 1) PC 12 AL
			Average:	1,92		1,1380	
1	56849	7	3	1,78	44	1,1246	HC82 Bead wire
2	56849	7	3	1,78	44	1,0981	HC82 Bead wire
			Average:	1,78		1,1113	
E13	49071	7	4	1,72	41	1,1938	C80mod5Si
47	12325	2	3	1,72	45	1,1739	(203 - Bit 1) PC 12 AL
48	12325	2	3	1,72	45	1,1130	(203 - Bit 1) PC 12 AL
49	12325	2	3	1,72	45	1,0793	(203 - Bit 3) PC 12 AL
50	12325	2	3	1,72	45	1,1323	(203 - Bit 3) PC 12 AL
51	12325	2	3	1,72	45	1,1664	(203 - Bit 2) PC 12 AL
52	12325	2	3	1,72	45	1,2252	(203 - Bit 2) PC 12 AL
			Average:	1,72		1,1483	
23	11085	1	8	1,5	40	1,1299	PC 10 AL
24	11085	1	8	1,5	40	1,1648	PC 10 AL
35	11543	2	4	1,52	40	1,0271	PC13 Nedri
36	11543	2	4	1,52	40	1,1394	PC13 Nedri
37	11545	3	4	1,52	42	1,0683	PC13 Nedri
38	11545	3	4	1,52	42	1,1268	PC13 Nedri
39	11546	2	3	1,52	45	1,1638	PC13 Nedri
40	11546	2	3	1,52	45	1,1631	PC13 Nedri
			Average:	1,52		1,1229	
27	11090	3	6	1,44	43	1,1078	PC 10 AL
28	11090	3	6	1,44	43	1,0244	PC 10 AL
			Average:	1,44		1,0661	

Centrumsegring 40-50°C+

(Gjuthastighet/Segringskoeff.)



9	59799	4	3	1,5	56	1,1332	(analyspr	PC 12 AL
10	59799	4	3	1,5	56	1,0335		PC 12 AL
17	10960	3	3	1,51	52	1,1519		PC 12 AL
18	10960	3	3	1,51	52	1,1980	(djupet sta	PC 12 AL
19	10963	1	3	1,5	56	1,0473		PC 12 AL
20	10963	1	3	1,5	56	1,0608		PC 12 AL
				Average:	55	1,1041		
15	10962	3	4	1,42	52	1,1535		PC 12 AL
16	10962	3	4	1,42	52	1,1221		PC 12 AL
21	10961	4	4	1,41	56	1,0292		PC 12 AL
22	10961	4	4	1,41	56	1,0899		PC 12 AL
				Average:	54	1,0987		
E03	53965	3	1	1,51	38	1,1153		PC8CrSi
E04	53965	3	1	1,51	38	1,0684		PC8CrSi
E01	53965	1	1	1,52	38	1,0921		PC8CrSi
E02	53965	1	1	1,52	38	1,1012		PC8CrSi
				Average:	38	1,0942		
23	11085	1	8	1,5	40	1,1299		PC 10 AL
24	11085	1	8	1,5	40	1,1648		PC 10 AL
35	11543	2	4	1,52	40	1,0271		PC13 Nedri
36	11543	2	4	1,52	40	1,1394		PC13 Nedri
37	11545	3	4	1,52	42	1,0683		PC13 Nedri
38	11545	3	4	1,52	42	1,1268		PC13 Nedri
39	11546	2	3	1,52	45	1,1638		PC13 Nedri
40	11546	2	3	1,52	45	1,1631		PC13 Nedri
				Average:	42	1,1229		
25	11087	1	3	1,43	60	1,0481		PC 10 AL
26	11087	1	3	1,43	60	1,1626		PC 10 AL
				Average:	60	1,1054		
27	11090	3	6	1,44	43	1,1078		PC 10 AL
28	11090	3	6	1,44	43	1,0244		PC 10 AL
				Average:	43	1,0661		
29	11062	1	5	1,5	25	1,1744	(Bit 2, tag	PC13 Nedri
30	11062	1	5	1,5	25	1,1499	(Bit 2, tag	PC13 Nedri
31	11062	1	5	1,5	25	1,1218	(Bit 3, tag	PC13 Nedri
32	11062	1	5	1,5	25	1,1637	(Bit 3, tag	PC13 Nedri
33	11062	1	5	1,5	25	1,1129	(Bit 4, tag	PC13 Nedri
34	11062	1	5	1,5	25	1,0354	(Bit 4, tag	PC13 Nedri
				Average:	25	1,1263		



Tutkimussuunnitelma PC 10 AL -lajilla

- Analyysi normaali, EMS päälle.
- Jatkuva lämpötilanmittaus päälle mahdollisimman alusta alkaen.
- **Linja 2 halutaan koelinjaksi. (Linja 3 varalla.)**

Koejärjestelyt tarkemmin

Seurataan valunaloitus ja jatkuva lämpötila. Täht. yllilämpö halutaan koeajolla +30-40 °C kuromislämmöstä, jos lämpö on sopiva valitaan koelinja lopullisesti, jolla tehdään seuraavat muutokset:

1. teelmä: valu normaalisti.
2. teelmän puolivälissä, nostetaan valunopeus, 1,7 m/min.
3. **teelmä: koeteelmäksi 1,7m/min, teelmäpituus 7,4m, 3 näytettä, näytepituus ~20 cm.**
4. **teelmä: koeteelmäksi 1,7m/min.**
5. teelmän puolivälissä, nostetaan valunopeus, 1,9 m/min.
6. **teelmä: koeteelmäksi 1,9m/min, teelmäpituus 7,4m, 3 näytettä, näytepituus ~20 cm.** 7. **teelmä: koeteelmäksi 1,9m/min.**
8. teelmän puolivälissä, lasketaan valunopeus, 1,5 m/min.

Näytteet merkataan sulatusnumerolla, linjanumerolla, teelmänumerolla ja mones näyte (1-3), esim. "12015-103 1" (12015 = sulatusnumero, 103 = linja 1, teelmä 3, näyte 1).

Koelinjan teelmien erottelu

Koelinjan koeteelmät ja valuolosuhteiden muutosvaiheiden teelmät erotetaan omiksi sulatusosiksi ja merkataan huolellisesti.

25.5.2011, 3.6.2011

10961-404, Prov 1

19.5.2011 10:30-11:30

Gjuthastighet: 1,41 m/min
 Övertemp: 56 °C
 EMS: 281 A

Prov nr.	Djup (mm)	C (%)
1	5	0,798
2	10	0,858
3	15	0,798
4	20	0,832
5	25	0,799
6	30	0,798
7	35	0,783
8	40	0,800
9	45	0,820
10	50	0,817
11	55	0,830
12	60	0,823
13	65	0,840
14	70	0,840
15	75	0,837
16	80	0,844

Standard prov (C. 0.814): 0,811 ; 0,815

Medel: 0,820
 Std. avv.: 0,021652

C (%)

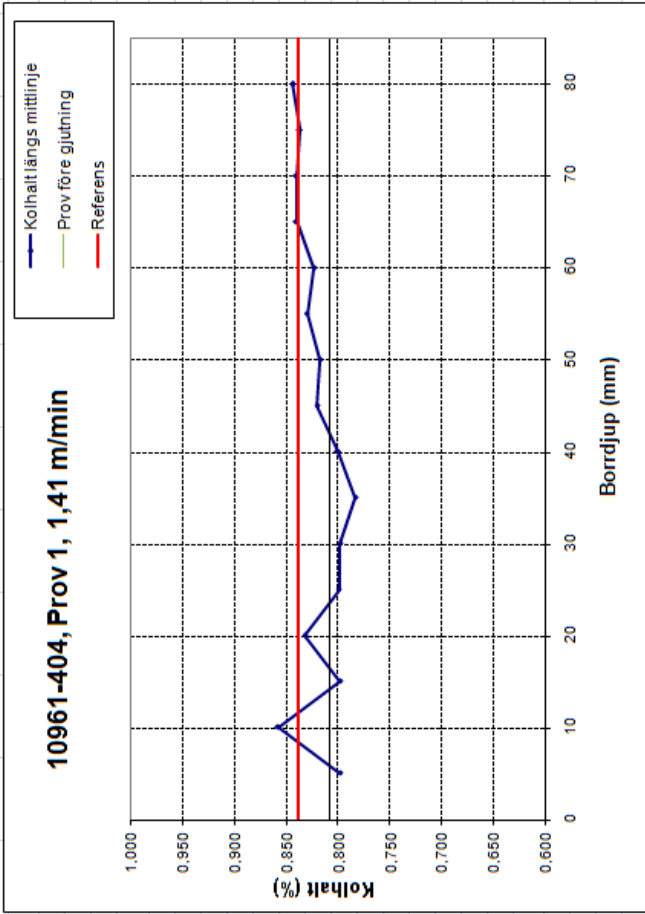
R1: 0,838
 R2: 0,838
 R3: 0,840

R medel: 0,839
 Senkka: 0,808
 Variation: 3,8 %

C/C₀ 1,029154

Standard prov (C. 0.814): 0,808

Standard prov (C. 0.814): 0,821



25.5.2011, 3.6.2011

10961-404, Prov 2

19.5.2011 10:30-11:30

Gjuthastighet: 1,41 m/min
 Övertemp: 56 °C
 EMS: 281 A

Prov nr.	Djup (mm)	C (%)
1	5	0,872
2	10	0,873
3	15	0,871
4	20	0,871
5	25	0,868
6	30	0,856
7	35	0,898
8	40	0,916
9	45	0,835
10	50	0,885
11	55	0,865
12	60	0,841
13	65	0,896
14	70	0,857
15	75	0,855

Standard prov (C. 0.814): 0,811 ; 0,821

Medel: 0,871
 Std. avv.: 0,02154

C (%)

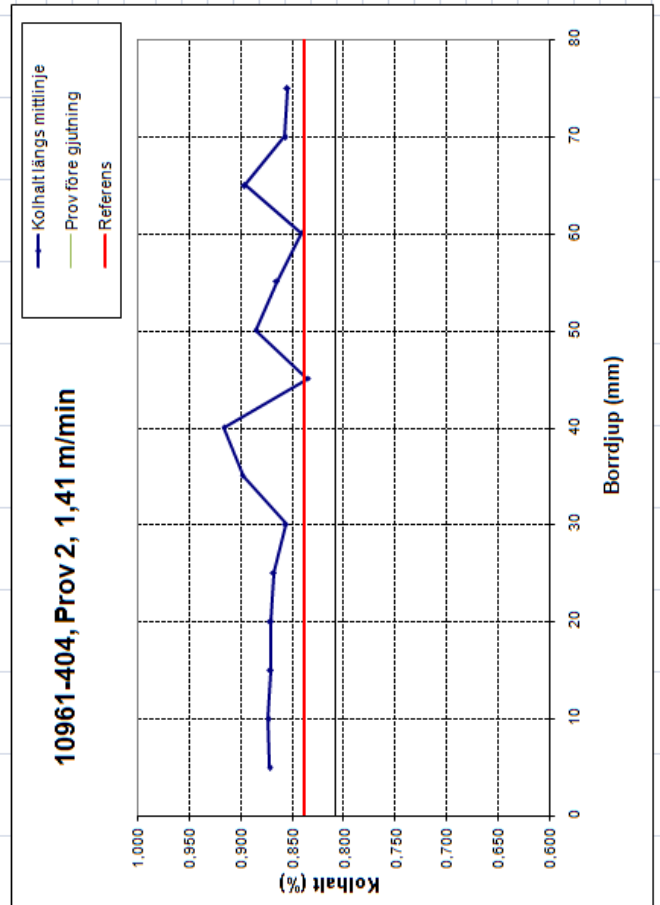
R1: 0,840
 R2: 0,836
 R3: 0,839

R medel: 0,838
 Senkka: 0,808
 Variation: 3,8 %

C/C₀ 1,089877

Standard prov (C. 0.814): 0,823

Standard prov (C. 0.814): **0,824**



25.5.2011, 3.6.2011

10961-404, Prov 1 & 2

19.5.2011 10:30-11:30

Gjuthastighet: 1,41 m/min

Övertemp: 56 °C

EMS: 281 A

Standard prov (C. 0,814):	0,811 ; 0,815	Prov nr.	Djup (mm)	C (%)	Medel:	0,844
		1	5	0,798	Std. avv.:	0,033415
		2	10	0,858		
		3	15	0,798		
		4	20	0,832		
		5	25	0,799		
		6	30	0,798		
		7	35	0,783		
		8	40	0,800		
Standard prov (C. 0,814):	0,808	9	45	0,820		
		10	50	0,817		
		11	55	0,830		
		12	60	0,823		
		13	65	0,840		
		14	70	0,840		
		15	75	0,837		
Standard prov (C. 0,814):	0,821	16	80	0,844		
Standard prov (C. 0,814):	0,824	17	85	0,855		
		18	90	0,857		
		19	95	0,896		
		20	100	0,841		
		21	105	0,865		
		22	110	0,885		
		23	115	0,835		
Standard prov (C. 0,814):	0,823	24	120	0,916		
		25	125	0,898		
		26	130	0,856		
		27	135	0,868		
		28	140	0,871		
		29	145	0,871		
		30	150	0,873		
Standard prov (C. 0,814):	0,811 ; 0,821	31	155	0,872		

