

Stålfremstilling

Fremstilling af råjern

De teknisk meget vigtige metaller som aluminium, jern, krom m.fl. forekommer på jordoverfladen i så store mængder, at det kan betale sig at udvinde dem. Den yderste skal af jordskorpen består af ca. 8,1% aluminium, ca. 5,0% jern og ca. 0,04% chrom.

Udvindingen af jern foregår i miner, enten ved åbne brud, der er store huller i jorden, eller ved borer, der kan gå dybt under jorden. Den malm, der brydes i minen, bliver knust til mindre stykker i et knuseværk, inden den hejses op til jordoverfladen. Når malmen er kommet op til overfladen, bliver den transporteret til et koncentreringsværk, hvor nogle af de mest uønskede urenheder bliver rensset fra. Der vil dog altid være nogle stoffer tilbage.

De resterende urenheder fjernes under smeltningen, hvor slaggen dannes, når sure og basiske stoffer reagerer med hinanden ved høj temperatur.

Jernmalme

Jernmalme er udgangsmateriale for fremstilling af jern og stål. De findes i jordskorpen, overvejende som iltforbindelser af jern, med indhold af kulstof, silicium, mangan, svovl, fosfor, aluminium og kalk.

Jern (Fe) er relativt let at udvinde i modsætning til aluminium og magnesium, hvorfor jernet respektiv stålet er det billigste af alle brugsmetaller.

Hovedparten af jern udvindes af følgende malme:

- Magnetjernsten
findes i Sverige med maksimalt 59 til 67% Fe
- Rødjernsten
findes i USA med maksimalt 47 til 51% Fe
- Brunjernsten
findes i Spanien med maksimalt 49 til 53% Fe
- Spatjernsten
findes i Tyskland med maksimalt 33 til 38% Fe

I Danmark forekommer begrænsede mængder myremalm med et jernindhold på maksimalt 57%.

I oldtiden og middelalderen havde disse malme stor betydning for samfundet, og det samme var tilfældet i Sverige med sømalm og mosemalm.

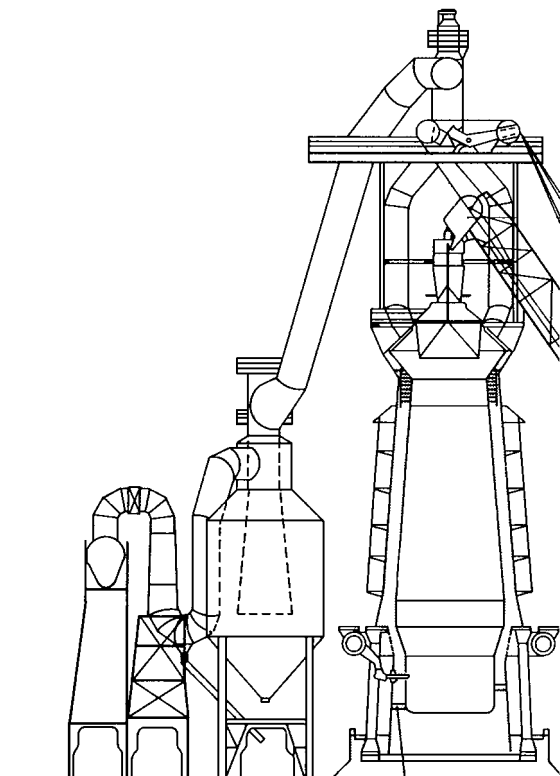
Fremstilling af råjern i højovn

Råjern udvikles af jernmalme, og processen finder sted i en høj skaktovn, den såkaldte højovn.

En middelstor højovn er 25 til 30 m høj, indvendig diameter ved bunden er 8 til 9 meter.

Ved en ovn af denne størrelse vil tilsatsmængden pr. arbejdsdag omfatte ca. 1.100 ton malme, ca. 250 ton kalksten og ca. 600 ton koks samt 875.000 m³ forvarmet luft.

Af disse materialer udvindes ca. 700 ton råjern.



Højovn

Under fremstilling af råjern må malmene befries for ilt, og processen foregår således i højovnen.

Nogle meter over højovnens bund indblæses den 500 til 900°C forvarmede luft, hvorved en del af kulstoffet i koksene forbrænder og fremkalder den temperatur, som behøves til at smelte malmene.

Forbrændingsgasserne består i en væsentlig grad af kulilte (CO), som har evne til at berøve jernmalme ilten under dannelse af kultveilte (CO₂). Således sker iltreduktionen af jernmalme.

Det kan ikke undgås, at det færdige råjern har et højt kulstofindhold, ca. 3 til 4,5%.

Årsagen hertil er det store koksoverskud, som kræves i en højovn til vedligeholdelse af forbrændingen og fra de herunder indtrufne kemiske reaktioner.

Det er ikke muligt at fylde (chargere) en højovn med så rene råmaterialer, at udelukkende jern og forbrændingsgasser opnås som slutprodukter.

En vis mængde urenheder og spildprodukter medfølger altid, og for at disse stoffer kan blive tilstrækkeligt letflydende og kan udskilles som slagge, tilsættes i almindelighed kalksten.

Slaggen er lettere end det færdige råjern og aftappes før råjernet gennem en tappeåbning i niveau med skillelinien: Jern/slagge.

Råjernet aftappes gennem en tappeåbning nær højovnens bund, og aftapningen foretages med faste tidsintervaller.

Fra højovnens top går en kontinuerlig, kraftig gasstrøm, som indeholder store mængder kulilte med meget stor varmeværdi. Denne gas anvendes som brændsel til forskellige tekniske formål, bl.a. til forvarmning af luft i højovne.

Højovnsprocessen, som den har taget form i dag, har i princippet adskillige århundreder på bagen, men nutidens ønske er at udvikle nye metoder, således at det kan blive muligt at producere stål uden at gå omvejen over det meget kulstofholdige råjern.

I bl.a. Sverige har industrien og forskningen arbejdet seriøst med problemet.

Fremstilling af stål

Stål er jern, som indeholder op til ca. 2,0% kulstof.

Rent jern (Fe) er et grundstof med smeltepunkt 1.536°C, vægtfylde 7,87 g/cm³.

Stålets meget udbredte anvendelse i vor tids industrisamfund bygger først og fremmest på følgende faktorer:

- At jernmalme, iltforbindelser af jern, der er særdeles velegnede for fremstilling af jern, forekommer i stort omfang i jordskorpen. Jern er jo det næsthyppest forekommende metal i jordskorpen, ca. 5% af jordens overflade
- At det lykkedes for menneskene på et ret tidligt tidspunkt at udvikle tekniske processer, der kunne producere jern af jernmalme og med en rimelig god produktionsøkonomi
- At jern og frem for alt stål kan bibringes tekniske egenskaber, der gør dem velegnede som værktøjs- og konstruktionsmaterialer

Stålets egenskaber og dets egnethed for svejsning præges i høj grad af metoderne, som anvendes ved stålfremstilling.

I de følgende afsnit redegøres for materialer og processer, der i nutidens industrier benyttes ved fremstilling af jern og stål.

Råmaterialer til fremstilling af stål er råjern og skrot.

Råjern og skrot indeholder varierende mængder af følgende stoffer:

- Kulstof = C
- Silicium = Si
- Mangan = Mn
- Fosfor = P
- Svovl = S

For store mængder af disse legeringselementer gør jernet hårdt, skørt og uanvendeligt til de fleste formål i dag.

Stålfremstillingsprocesserne tager sigte mod at nedbringe mængden af de uheldige stoffer til et ønsket niveau, hvilket opnås ved anvendelse af iltningprocessen (friskning).

Herunder tilføres det flydende stål ilt, enten som atmosfærisk luft, som iltberiget luft eller som ren ilt.

Under smeltningen og forbrændingen fjernes de uønskede bestanddele med røgen eller omdannes til slagge, således at det tilbageværende stål kun indeholder det ønskede kvantum bestanddele.

Ståls fremstilling fra malme til det færdige stål omfatter fire produktionstrin.

Trin 1 – Reduktion af ilt

For at fjerne ilt fra jernmalm gennemføres i høj-ovn en kemisk reaktion med kulstof.

Kulstoffet forener sig med ilten og frigør jernatomerne. Den principielle reaktionsformel er:

- Kulstof + jernilte → jern + kulilte

Det færdige produkt er råjern.

Trin 2 – Friskning af råjern

Råjern indeholder svovl, fosfor, mangan, silicium og 3 til 4,5% kulstof.

Dette store kulstofindhold skal reduceres til anvendelige maskinstål eller svejsbare stål med passende indhold af C.

Fremgangsmåden er, at oxygen blæses over det flydende råjern, hvorved kulstoffet og en del af silicium- og manganindholdet forbinder sig med ilten.

Dette kaldes friskning, og processen nedbringer indholdet af kulstof til det ønskede omfang, ca. 1% eller mindre.

Trin 3 – Raffinering

De tilbageværende stoffer, svovl, fosfor, silicium og mangan, reguleres ved iltning i det ønskede omfang.

Processen kaldes raffinering.

Trin 4 – Desoxidation (afiltning)

Under raffineringen, trin 3, optager det smeltede stål ilt, som atter må fjernes. Dette gøres under trin 4 og kaldes desoxidation.

Der findes tre procestyper til fremstilling af stål:

- Siemens-Martin-processen
- Konverterprocesserne
- Elektrostålprocesserne

Processerne anvendes ud fra de muligheder for råvarer, der er til stede der, hvor man ønsker at fremstille stålet. Siemens-Martin-ovne og elektroovne anvendes, hvor der er ringe eller ingen adgang til flydende råjern.

Elektroovne kan som udgangsmateriale normalt ikke anvende flydende råjern og er derfor særligt brugbare, hvor der ikke er et jernværk i nærheden.

Siemens-Martin-ovne kan anvende op til 70% flydende råjern som udgangsmateriale og kan dermed anvendes mange steder i verden. I Danmark benytter man disse to ovntyper på Stålvalseværket i Frederiksværk.

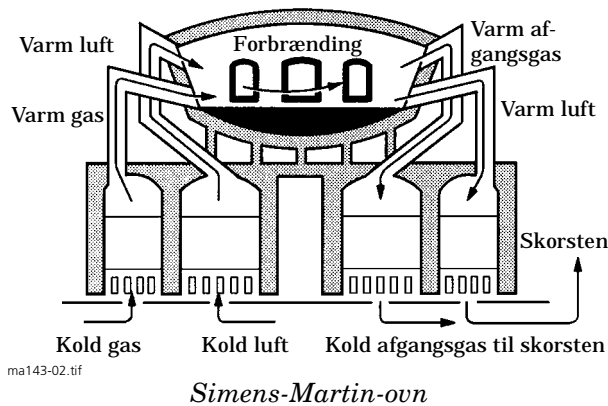
Konverterprocesserne anvendes kun, hvor der er adgang til flydende råjern, da disse ovne ved starten skal indeholde 70 til 80% flydende råjern. Dette er nødvendigt, da der ikke er nogen opvarmning i blæseforløbet.

Siemens Martin-processen – M-stål

Siemens Martin-processen blev opfundet af Pierre Martin i året 1864.

Ca. 30 til 40% af alt stål fremstilles i dag ved Siemens Martin-processen. Den stadig ret udbredte anvendelse af metoden skyldes muligheden for op til 60% anvendelse af skrot samt det forhold, at anlægget ikke nødvendigvis skal placeres i nær tilknytning til et højovnsanlæg, således som tilfældet er ved Thomas-processen, der omtales senere.

Billedet viser et snit gennem en Siemens-Martin-ovn, hvori materialerne smeltes ved 1.700 til 1.800°C.



Den høje temperatur opnås ved forbrænding af gas eller olie.

Forbrændingsluften forvarmes i kamre, der opvarmes af røgen. Dette regenerative system er opfundet af Siemens.

Under smeltningen bortgår store mængder af de uønskede bestanddele med røgen, og en del fjernes med slaggen.

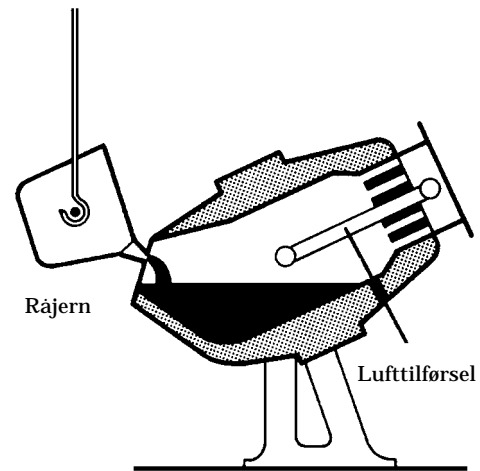
Processen foregår under stadig udtagning af kontrolprøver, indtil den ønskede sammensætning er opnået.

Typisk er fremstillingstiden 6 til 8 timer og ovnstørrelsen ca. 300 ton.

Konverterprocessen

Den moderne stålfremstilling begyndte sin udvikling i 1855, da Henry Bessemer opfandt konverterprocessen, hvor smeltet råjern omdannes til stål ved gennemblæsning med luft.

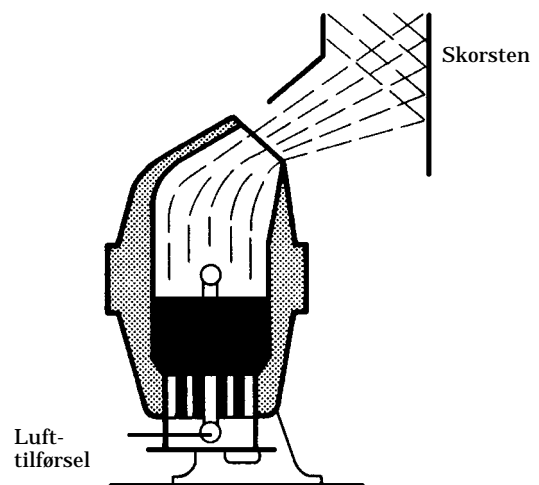
Konverteren er en pæreformet beholder med surt ovnfor.



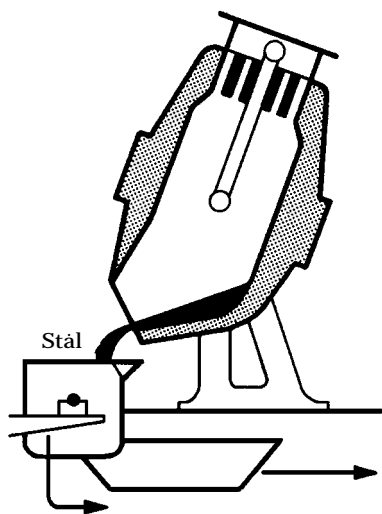
Processen anvendes vedvarende, men i begrænset omfang, da den ikke kan fjerne den fosfor, der følger med råjernet.

Bessemer-processen anvendes derfor i dag kun til omdannelse af råjern med fosforindhold på maks. 0,10%, hvilket der ikke findes meget af på markedet.

Ved gennemblæsning af råjernet sker en kraftig iltning, hvor silicium og mangan iltes og overgår til slaggen, indtil alt mangan og silicium er brændt bort, hvorpå kulstoffet iltes ved voldsomme gulhvide flammer.



Efter 5 til 10 minutters forløb forsvinder denne flamme pludselig, og dermed er kulstoffet brændt bort og processen slut.



ma143-05.tif

Aftapning

Det færdigblæste metal har et meget lille indhold af silicium, mangan og kulstof, men indeholder også råjernets oprindelige totale fosforindhold på 0,06 til 0,11% samt hovedparten af råjernets svovlindhold på 0,04 til 0,05%.

Yderligere indeholder stålet en del kvælstof, mellem 0,01 og 0,02%, og en hel del jernilte, 0,35 til 0,65%.

I det færdige Bessemer-stål er indholdet af fosfor temmeligt stort, og da svovlindholdet også kan ligge temmeligt højt, bliver Bessemer-stål fortrinsvis anvendt, hvor disse stoffer alligevel skal være til stede, f.eks. i automatstål. Bessemer-stål med lavt kulstofindhold på 0,3 til 0,6% anvendes til håndværktøj som f.eks. file, knive, hamre m.m.

Stålets indhold af kvælstof (nitrogen) og ilt gør stålet noget skørt og ældningstilbøjeligt.

Thomas-processen – T-stål

Thomas-processen er en videreudvikling af Bessemer-processen. Den blev opfundet af Sidney Thomas i 1870 med det primære formål at fjerne fosfor fra stålet.

Thomas-stål fremstilles i en konverter, der er foret med brændt dolomit, magnesiumoxid og calciumoxid bundet sammen med tjære, og det er

derfor muligt at tilsætte kalk, så fosfor overføres fra stålsmelten til slaggen under kraftig varmeudvikling.

For at processen kan lykkes, skal råjernets fosforindhold være højt, minimum 1,5%, men have et lavere siliciumindhold end Bessemer-råjernet.

Gennemblæsningen sker med luft eller ren ilt. På trods af kalkbehandlingen vil fosforindholdet stadig være noget højt, og usikkerheden ved efterblæsningen gør, at Thomas-stål ikke kan anvendes som kvalitetsstål. Det bruges fortrinsvis til profilstål og fremstilles hovedsageligt i Øst- og Vesteuropa.

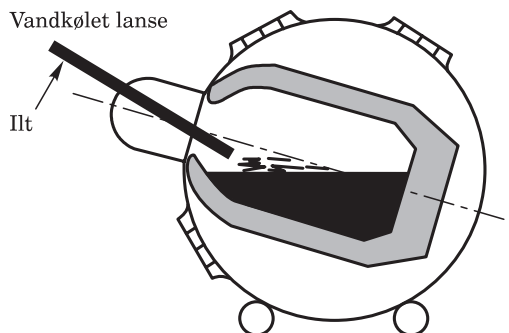
Thomas-stålets ret store indhold af nitrogen, ca. 0,012%, gør det mindre egnet til svejsning på grund af ældningsfaren.

Ønsket om at forbedre konverterstålernes kvalitet og egenskaber har ført til udviklingen af iltningprocessen.

Ulempen ved Thomas-stålet er dets høje nitrogenindhold. Dette kan dog overvindes, hvis der foretages en blæsning i en normal Thomas-konverter, som udføres med en kvælstoffri luft, f.eks. en blanding af ilt og vanddamp, eller med ren ilt, kan der opnås stålqualiteter, der er fuldt på højde med det bedste Siemens-Martin-stål og med et nitrogenindhold på 0,001 til 0,003%.

Kaldo-processen

Kaldo-ovnen er af svensk oprindelse. Det er en rotorovn, som hviler på 4 stk. bogier, der er lejret i et kraftigt vippeøj.



ma143-06.cdr

Skematisk fremstilling af kaldo-processen

Under friskningen er ovnen indstillet i ca. 18° hældningsvinkel og roterer med en hastighed på 0 til 35 r/min.

Ren ilt indblæses i ovnen gennem en vandkølet lanse.

Når stålet i ovnen er færdigt, tippes ovnen til aftapningsstilling.

Kaldo-processen er en hurtig stålfremstillingsproces. På mindre end 2 timer fra det smeltede råjern er påfyldt ovnene, kan der færdigfremstilles 120 ton kaldo-stål.

Foruden reduktion af kulstoffet sker der først og fremmest en mindskning af svovl- og fosforindholdet, og der tilsættes nødvendige legeringsener.

I kaldo-ovnen fremstilles både halv- og helberoliget stål og finkornstål.

Rotorprocessen

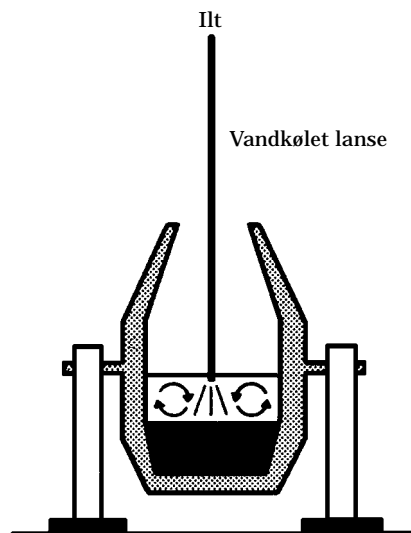
Rotorprocessen er udviklet i Tyskland. Ovnen er en vandret liggende cylinderovn forsynet med basisk for.

Rotationen er $\frac{1}{2}$ til 4 r/min, og ilt tilføres processen gennem to lanser, den ene neddykket i det smeltende metal, den anden placeret over badet, til opnåelse af en effektiv forbrænding af kulmonooxid (CO) til kuldioxid (CO₂) og dermed en bedre varmeøkonomi.

LD-processen

LD-processen dækker i dag ca. 40 til 60% af verdens produktion af stål.

LD-processen, Linz-Donawitz, er udviklet i Østrig. Her benyttes en vandkølet lanse, hvorigennem der blæses ren ilt ned i det smeltede råjern. Den kraftige varmeudvikling tillader til sætning af indtil 20% skrot.



ma143-07.tif

Skematisk fremstilling af LD-processen

Elektrostålprocessen, E-stål

Ved elektrisk smeltning af råjern og skrot opnås væsentlige fordele.

Elektrisk smeltning er den reneste varmekilde, man råder over, og eventuelle kemiske reaktioner i stålet gennemføres uafhængigt af opvarmningen.

Ved anvendelse af elektrisk opvarmning er det muligt at fremstille renere stål, og fremstillingen af stållegeringer af høj kvalitet er lettere.

Praktisk taget alle værktøjsstål og højtlegerede stål fremstilles nu som elektrostål.

Ligesom ved andre stålprocesser benyttes her sure og basiske processer, den sure benyttes næsten kun til fremstilling af stålstøbegods.

Det påfyldte udgangsmateriale (chargen) består af råjern og skrot, og for at nedsætte iltningstiden bruges ofte indblæsning af ilt gennem lanse.

De mest almindelige ovntyper er:

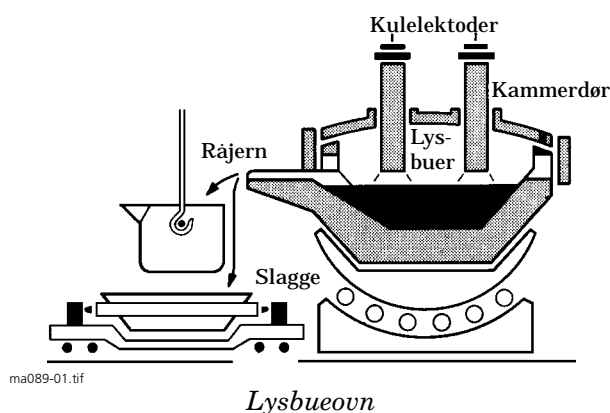
- Lysbueovn
- Induktionsovn

Lysbueovn

Lysbueovnen arbejder sædvanligvis med 3-faset vekselstrøm.

Lysbuen dannes mellem elektroderne og stålet.

Ovnene bygges i størrelser helt op til 200 ton pr. charge, og ved disse store ovne løftes hele overdelen med elektroder og svinges ud til siden, mens påfyldningen finder sted.



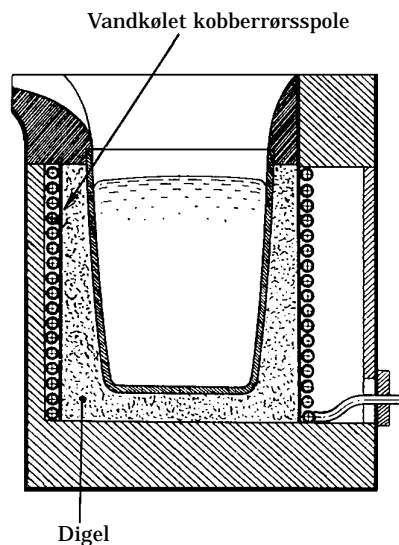
Induktionsovn

Induktionsovnen findes både som højfrekvens-ovn og som netfrekvensovn, men bygges kun til chargestørrelser på 10 til 15 ton.

Ved at sende vekselstrøm gennem de vandkølede kobberbindinger induceres der hvirvelstrømme, som bringer temperaturen op på den ønskede højde.

Ovnen er meget økonomisk og giver en effektiv omrøring, desuden er der næsten intet tab af legeringselementer.

Ovnen bruges mest til produktion af prima værktøjsstål.



Udstøbning

Det flydende stål fra smelteovnen opsamles i støbeskeer. Disse skeer er indrettet således, at tapingen kan ske fra bunden. Slaggen flyder ovenpå og kan på den måde holdes tilbage, så fyldningen i støbeformen kan ske med slaggefrit stål.

Støbeformene er støbejernskokiller. Disse metalforme giver en ret hurtig størkning af stålet. Den støbte blok sendes videre til valseværket, hvor den valsens til plade, profiljern eller stangmateriale.

Det flydende stål vil trække sig sammen ved størkning og under afkøling i kokillen. Denne sammentrækning af materialet bevirker, at der dannes hulrum – »sugninger« – ved stålets størkning. Det stykke af blokken (dødhovedet), hvor den tragtformede sugning befinder sig, må fjernes inden valsningen, da de oxiderede flader ikke kan sammensvejses ved valsningen.

For at mindske dødhovedets størrelse støbes ofte i kokiller med isoleret dødhoved. Uoverliget stål (se mikrostruktur) danner CO-gas ved størkning og giver gasblærer i blokken. Disse hulrum kan opfylde det volumen, som sugningen giver. Ved valsningen vil hulrummenes vægge kunne sammensvejses, idet der ingen oxidhinde er på deres vægge.

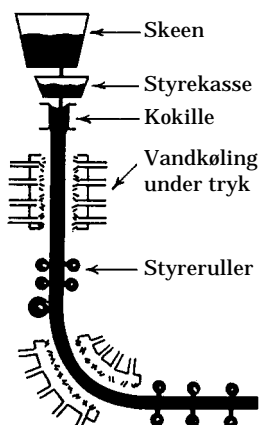
Det uberoligede stål giver store sejringer. Yderst er stålet mest rent (randstål). Inde i blokken findes forskellige sejringszoner med urenheder og analyseforskelle. Det beroligede stål er betydeligt mere homogent gennem blokken.

Ved valsning af et sejret stål gemmes det urene dårlige stål i kernen, mens overfladen består af rent randstål. Dette sejrede stål har ikke ens egenskaber i alle retninger. Det er svagest vinkelret på valseretningen. Dette giver vanskeligheder ved svejste konstruktioner – udrivningsrevner.

Randstålets rene kvalitet kan udnyttes ved at anvende dette materiale til finplader, hvor der kræves gode overfladeegenskaber.

Strengstøbning

Støbning af valseemner sker i dag i stor udstrækning ved strengstøbning. Stålet støbes fra kranske via en tragtske ned i en bundløs, vandkølet kokille. Størkningen foregår så hurtigt, at den størknede stang trækkes ud af bunden af kokillen og føres ved hjælp af støtteruller i gløden tilstand til afskæring i passende længder, der går videre til ovne, hvor de holdes varme eller vales. Den store størkningshastighed bevirker, at det størknende stål hele tiden efterfødes med flydende materiale, så sugning undgås. Strengstøbt stål må naturligvis være beroliget.



ma181-01.tif

Tværsnittet af en strengstøbning kan være 200 mm i tykkelsen og 1.500 mm i bredden. Til stangstål kan der udstøbes flere parallelt løbende strenge med tværsnit på 150-250 mm.

Vakuumprocessen

Krav om stållegeringer af største renhedsgrad har ført til udvikling af vakuumsmeltningsprocessen.

Processen benyttes til fremstilling af stål, der udsættes for særligt store belastninger som i dampturbiner og jetmotorer.

Smeltningen udføres induktivt, og smeltediglen er anbragt i en stålbeholder med tætsluttende låg, hvor luften suges ud til et tryk på 0,005 til 0,01 mm Hg.

Ved bortsugningen af de luftformige reaktionsprodukter, bl.a. brint (H), kvælstof (N) og ilt (O₂), hindres det flydende stål i at optage disse. Herved opnås et tæt og sundt gods uden de fejl, der skyldes indhold af gasser.

Det er også muligt at smelte stålet i en almindelig elektrisk ovn og derefter omhælde stålet i en ske, der anbringes i et kammer, som suges ned til det før omtalte tryk.

Det er en meget dyr stålfremstillingsproces, så den benyttes kun, hvor det er absolut nødvendigt.

Vakuumsmeltede stålblokke fremstilles i størrelser op til 30 ton.

□