

Järn och stål



Den här skriften handlar om järn och stål, järnets historia och framställning av järn och stål från och med småskalig tillverkning för nästan 1500 år sedan till dagens produktion. På ett kortfattat och enkelt sätt beskrivs processer och arbetssätt som har använts och nu används för stålframställning. Utrustning beskrivs och vanligen använda termer förklaras. Den svenska stålindustrins utveckling berörs tillsammans med branschens miljöfrågor.

Huvudändamålet är att vara faktagransningsreferens vid läsning av berättelser om enskilda järn- och stålverk, men skriften står på egna ben och kan därför också läsas separat.

Bo Edlund

Järn och stål.
Version 221102

Författare: Bo Edlund
e-post: kontakt@brukshistoria.se

Innehåll	Sida	Innehåll	Sida
Grundämnet järn	1	Smältfärskningsprocesserna	15
Järns och ståls metallurgi	1	Bessemerprocessen	15
Legeringsämnen samt stål- och järnsorter .	3	Thomasprocessen	16
Äldre historik	4	LD-processen	16
Förbehandling och rostning av malm	5	Kaldoprocessen	16
Masugnen	6	OBM-processen	17
Direktreduktion	10	Martinugnen	17
Färskning	10	Elektrostålprocessen	18
Välljärnsfärskning	10	Skänkmetsallurgi	19
Tysksmide	11	Göt eller stränggjutet stål	19
Franche-Comtés smide	11	Valsning	20
Vallonsmidet	11	Industrins historik	21
Ekman's vällugn och lancashiresmide ..	12	Museer	25
Puddling	15	Miljöfrågor	25

Fotot på omslaget visar två gjutjärnstackor från olika hyttor, funna vid hembygdsgården i Söderbärke. Den vänstra med märket **HF** är tillverkad i Högfors Bruk i Västmanland fågelvägen ungefär 7,5 kilometer sydöst om Norbergs centrum. På den högra tackan säger **NB** att den är producerad inom Norbergs bergslag och bokstäverna **B** och **K** pekar ut Karbenning, cirka 9 kilometer öster om Norberg.

Skriften får helt eller delvis kopieras och spridas fritt under förutsättning att källan anges. Däremot får kopior av materialet ej försälas utan författarens medgivande.

Upphovsmännen eller rättighetsägarna till fotografierna anges vid bilderna. Författaren är upphovsman till de foton och bilder där sådana uppgifter saknas.

Källor:

Jernkontorets utbildningspaket. Järn- och stålframställning.

Sveriges Nationalatlas. Bergsbruk – gruvor och metallframställning.

Wikipedia

Jag vill tacka de personer och organisationer som gjort denna skrift möjlig genom att bidra med kunskaper och material.

TÄBY 2019

Grundämnet järn

Järn är ett metalliskt grundämne som i ren form nästan inte förekommer någonstans alls på jorden. Rent järn korroderar snabbt i jordens atmosfär. I jordskorpan är det fjärde vanligaste grundämnet och jordens kärna består troligen till största delen av nickelhaltigt järn.

I alla praktiska tillämpningar har man gett järnet ett eller flera tillsatssämnen, kallade legeringsämnen. De används för att förändra metallens egenskaper. Metallens hårdhet, slitstyrka och motståndskraft kan förändras med olika legeringsämnen och även bearbetbarhet, utseende och beständighet kan påverkas. Legeringsämnen är nästan samma sak som föroreningar med den skillnaden att legeringsämnena tillsätts avsiktligt medan föroreningar försöker man ta bort eftersom de i allmänhet förstör metallens goda egenskaper.

Järns och ståls metallurgi

Man brukar använda beteckningen stål på järnlegeringar som går att smida, vilket det gör om kolhalten är lägre än cirka 2 %. Legeringen måste innehålla minst hälften järn för att kallas stål. Beteckningen stål började användas först i mitten av 1500-talet och blev vanlig först vid sekelskiftet 1800-1900. Dessförinnan användes endast beteckningen järn för alla metallegeringar som i huvudsak innehöll grundämnet järn. I den här texten används i de historiska sammanhangen järn för att anknyta till språket vid den tiden. Det svenska språket har dock en historia där konsekvens inte alltid satts i främsta rummet. Vi har en del beteckningar som blivit felaktiga, exempelvis järntråd, järnstång, järnplåt eller armeringsjärn. Den största villervallan uppstår när vi ska sätta namn på verksamheter som producerar stål eller järn. Långt tidigare användes hytta eller bruk men nu är beteckningar bruk, järnverk eller stålverk om vartannat. Bruk är mera talspråk men används liksom järnverk i gamla företagsnamn. I nyare bolagsnamn används konsekvent stålverk. De gamla orden har emellertid blivit så etablerade att det inte är praktiskt att byta ut dem utan vi får leva med dem. Företeelser kan bra fast de är felaktiga. Ofta när vi nu säger järn i vardagliga sammanhang menar vi själva verket stål.

I alla stål förekommer kol, det vanligaste legeringsämnet. Det kommer till stålet redan i början av tillverkningsprocessen, men i alltför stor mängd och man måste minska kolmängden i den fortsatta processen för att få ett användbart stål. Järnet framställs av olika järnoxider som man under hög temperatur reducerar (tar bort syret) med hjälp av kol. Det smälta järnet löser kol varvid råjärn, som järnet kallas efter reduceringen, innehåller omkring 4,5 % kol. Numera går det smälta råjärnet vidare i ståltillverkningen med att kolhalten minskas till under 2 %, den processen kallas färskning. Förr brukade man gjuta tackor av råjärnet, så kallat tackjärn, eftersom färskningen oftast gjordes på en annan plats. Numera placeras färskningsprocessen nära råjärnframställningen och råjärnet transporteras över i flytande form. På så sätt sparas stora mängder energi eftersom råjärnet inte behöver hettas upp på nytt inför färskningen.

Här följer en kort och inte helt fullständig beskrivning av kolståls metallurgi. Den som vill ha en bättre beskrivning rekommenderas att studera Jernkontorets utbildningspaket om stålförädlning. Det finns på adressen

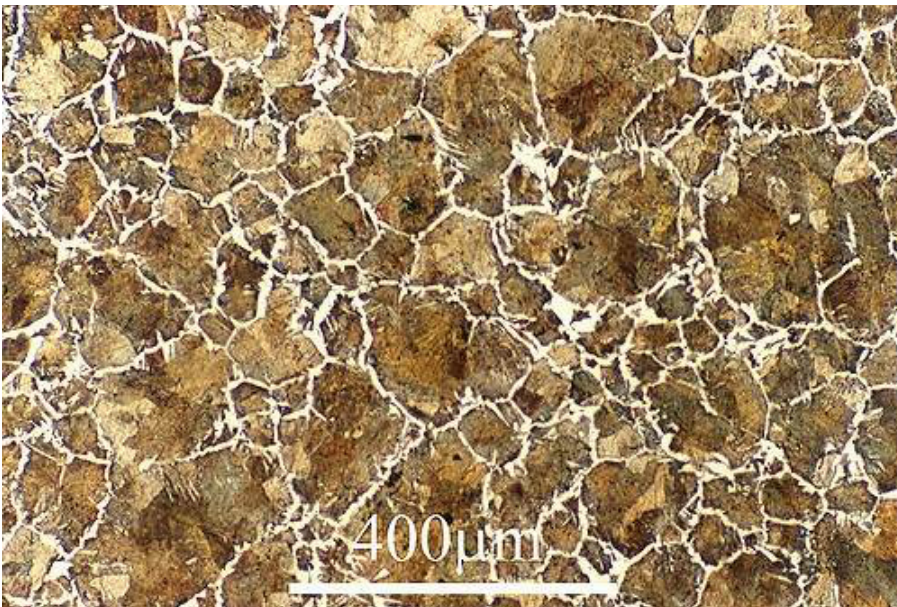
<http://www.jernkontoret.se/sv/publicerat/handbocker-och-utbildningskompendier/utbildningspaketet/>
Läs främst 'Del 11 Olegerade och låglegerade stål', men även andra avsnitt är också mycket givande.

Olika järn-kol-blandningar har olika smälttemperaturer, högre kolhalt ger en lägre smälttemperatur. Smälttemperaturen för råjärn ligger omkring 1200 °C medan den för stål är omkring 1500 °C.

När en smälta av en järn-kol-blandning långsamt stelnar bildas först kristaller av järn med en låg kolhalt. Den kristallstrukturen kallas ferrit. Om stålet innehåller mycket små mängder kol, under 0,05%, består det enbart av strukturen ferrit. Det stålet är mjukt och segt samt lätt att forma i kallt tillstånd.

Under stelningen kommer kolhalten i den fortfarande smälta delen av stålet att öka, effekten kallas segring. Så småningom kommer kristaller, som ofta i det här sammanhanget kallas korn, av en ny struktur att falla ut. Den kallas för perlit och har skikt av ferrit och järn-kolföreningen cementit (järnkarbid, Fe_3C). Perlit börjar bildas vid kolhalter av 0,05 % och mängden ökar med ökande kolhalt. Stål som innehåller ungefär 0,8 % kol består endast av perlit och har hög hållfasthet men är inte lika formbar i kallt tillstånd som ferrit.

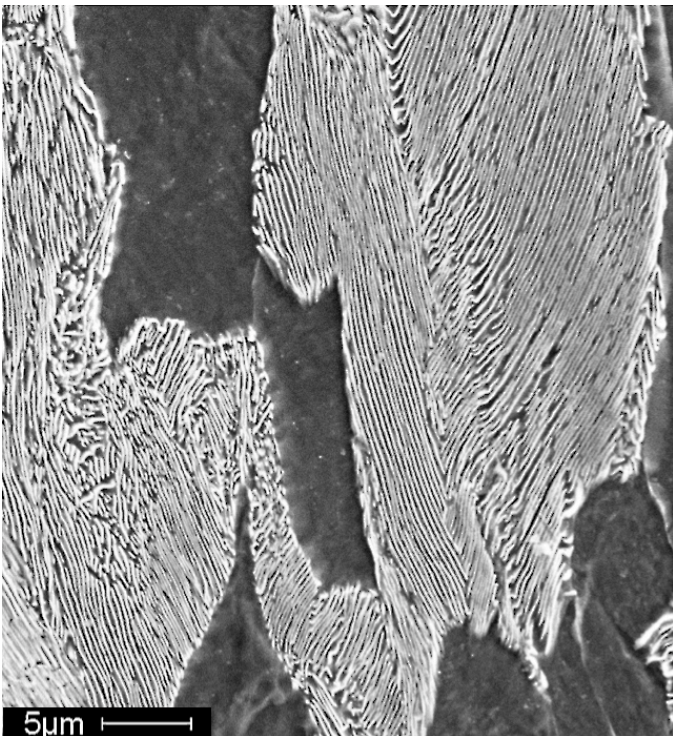
Stål som innehåller mer än 0,8 % kol består också av perlit men det finns fri cementit runt perlitkornen.



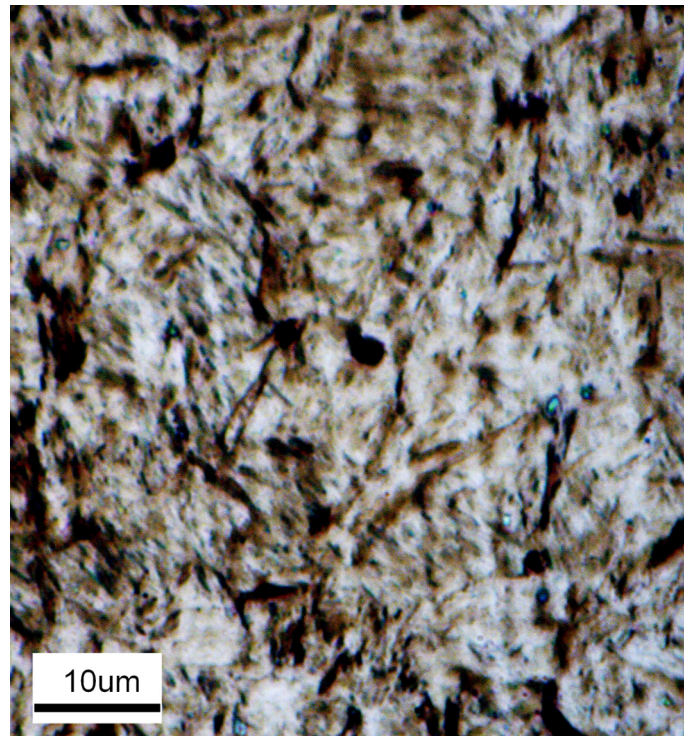
Ett stål med hög kolhalt får svalna mycket långsamt så kornen kan växa fritt ger det här resultatet. Stora perlitkorn som är omgivna av tunt cementitskikt.
 $400\ \mu\text{m} = 0,4\ \text{mm}$, samma som bredden av 5 hårstrån tillsammans ungefär.

Om man finpolerar en stålyta och etsar ytan med en syra som färgar kornen olika kan man med mikroskop se kornen i stålet.

De tre bilderna på denna sida visar sådana mikroskopfoton och de har hämtats från Wikipedia.



Perlit betraktat i mikroskop med hög förstoring. Perlit består av tunna flak av växelvis ferrit och cementit.
 $5\ \mu\text{m} = 0,005\ \text{mm}$



När ett stål med hög kolhalt får svalna mycket snabbt blir det mycket små korn. Strukturen blir martensitisk. Martensit är det hårdaste och sprödaste stålet. $10\ \mu\text{m} = 0,01\ \text{mm}$

När stelningen går mycket långsamt hinner atomerna ordna sig innan de fastnar i kristallgitter och kornen (kristallerna) blir stora. Kristallplanen glider ganska lätt mot varandra, vilket betyder att stålet är mjukt. Helt annorlunda blir det när stelningen går mycket snabbt. Då fastnar atomerna där de befinner sig och kornen blir mycket små. Stålet blir avsevärt mycket hårdare och starkare. Detta brukar utnyttjas och kallas härdning. Ett stål med relativt hög kolhalt värms upp till det blir rödglödigt varefter det kyls snabbt i luft, olja eller vatten. Härdningseffekten blir starkare ju snabbare stålet kyls ner. Stål med låg kolhalt härdas inte av en sådan process.

Om stålet deformeras i kallt tillstånd blir det också härdat genom att kristallerna förändras. Om det är önskat kan stålet mjukglödgas, det vill säga glödga det under någon eller några timmar så att kristallerna hinner

ombildas. Exempelvis kan en stålplåt som skall formas genom flera pressoperationer behöva mjukglödgas efter varje pressning för att inte spricka på grund av hårdhetsökningen.

Legeringsämnen samt stål- och järnsorter

Förutom kol som redan nämnts används många olika legeringsämnen i stål. Vanliga legeringsämnen är kisel samt metallerna mangan, krom, nickel, volfram, molybden och vanadin. Halterna av kisel är av storleksordningen några tiondels procent, mangan upp till drygt 1 % medan krom- och nickel-halterna kan vara flera tiotals procent. Vissa legeringsämnen, exempelvis aluminium och niob, används endast i mycket små mängder, högst någon hundra del procent.

Det finns tusentals olika standardiserade ståltyper med stora skillnader i väsentliga egenskaper såsom hållfasthet, seghet, värmetålighet, korrosionstålighet, bearbetbarhet, hårdbarhet, svetsbarhet och så vidare. Även små variationer i legeringsämnen och halter ger ofta stora förändringar i stålets egenskaper.

Med avseende på legeringsämnena delas stålen in i tre grupper, kolstål, låglegerade stål och höglegerade stål.

Till kolstålgruppen hör stål som förutom kol som legeringsämne endast har små mängder kisel och mangan. Alla legeringsämnen tillsammans brukar utgöra under 2,5 % i stålet. I denna grupp finns stålet i kökskniven som köps i flotta husgerådsbutiker för flera tusen kronor och har en kolhalt omkring 1,2 % och ibland mer, med en fantastisk eggskärpa och som rostar lätt. I samma grupp finns stålplåten till bilkarosser som har en kolhalt under 0,06 % och utan problem kan pressas till elegant rundade former.

Eggar i skärande verktyg som knivar och svärd ska vara vassa och hållbara. Eggen ska vara tillverkad av ett hårt och finkornigt material. Härdat kolstål med hög kolhalt var sedan länge använt till bra eggverktyg, men det finns nackdelar. Ju hårdare desto sprödare blir stålet. Att finna ett annat material för verktyget var nödvändigt och ibland livsavgörande. I strid med ett avbrutet svärd i handen har man inte mycket att göra. Man sökte ett stål som var hårt och segt och fann lösningen som bestod i att använda två stålsorter, ett stål med hög kolhalt och ett stål med låg kolhalt som välldes samman och smiddes platt. Sedan gjorde man som när man bakar wienerbröd, vek samman ämnet och smidde det platt upprepade gånger så att ämnet bestod av tunna sammanvårdade flak av de båda stålsorterna. Därefter "härdades" materialet, det vill säga att stålet med hög kolhalt blev hårt och det andra stålet var opåverkat. Vips hade man fått ett material som var hårt och segt. Materialet kallas för damaskenerstål. Metoden var extremt dyrbar och ägarna till sådana verktyg ville gärna visa detta. Om det slipades, polerades och etsades med syror färgades de båda stålsorterna olika. I stålytan visades olika mönster beroende på hur materialet hade smitts. Idén var genialisk och har fått efterföljare.

År 1891 började Frost-Erik Erson i Mora att tillverka knivar med så kallad stål egg. En ett par millimeter tjock skiva av hårdbart stål välldes på varje sida samman med två skivor av ej hårdbart stål. Efter härdning slipades eggen i det härdade stålet. Morakniven som den benämndes hade god skärpa och hög hållfasthet. Den såldes länge till ett lågt pris och var väldigt populär under lång tid. Lieblad som användes vid slätter har också varit utrustade med stål egg.

De senaste 20 åren har modern teknologi kunnat erbjuda damaskenerstål till överkomliga priser. Fint stålpulver av olika stålqualitéer läggs i lager, sintras och smids ut till platta ämnen. Om stålytan slipas, poleras och etsas ser den ut som ett handsmitt damaskenerstål. Det gör det möjligt för många att skaffa en förskärare med statusvärde som emellertid inte slår det handsmidda.

Låglegerade stål innehåller högst 5 % legeringsämnen. Denna grupp har det största antalet ståltyper. Här finns konstruktionsstål för byggnader och broar, ofta höghållfasta stål för att hålla konstruktionens vikt nere. Här finns också materialet för kul- och rullningslager så kallat kullagerstål.

Gruppen höglegerade stål omfattar stål med mer än 5 % legeringsämnen. Här finns verktygsstål, material för tillverkning för borrar, skärande verktyg, pressverktyg och dylikt. Verktygsstålen har långt drivna egenskaper såsom hårdhet, slitstyrka och värmetålighet för att de färdiga verktygen ska få en lång livslängd.

Verktygsstålen innehåller ofta 10-15 % legeringsämnen. Snabbstål är ett vanligt namn på verktygsstål avsedda för skärande bearbetning med högre hastigheter av metaller, bland annat stål. De kännetecknas av att de behåller eggskärpa även vid höga temperaturer och de har stor slitstyrka. Snabbstål används i borrar samt svarv- och fräsverktyg även om det nu håller på att konkurreras ut av hårdmetall. Hårdmetall är egentligen

ingen metall utan består av hårda, slitstarka och värmetåligena korn av karbider, exempelvis wolframkarbid eller titankarbid, som klistrats samman med hjälp av en mjuk metall vanligtvis kobolt.

De flesta stålen i denna grupp är rostfria stål. Ett stål med mer än 12 % krom bildar på ytan ett tunt skikt som förhindrar rostbildning. Detta skikt är också självläkande, vid skador på skiktet nybildas det omedelbart. Ett sådant stål kallas rostfritt. Om stålet dessutom innehåller mer än 2,5 % molybden skyddas det mot angrepp av kraftigare kemikalier och kallas då för syrafast stål.

Ett mycket vanligt rostfritt stål är 18-8-stålet med 18 % krom och 8 % nickel. Det används bland annat till hushållsutrustning som matbestick, skålar och fat. Det är glänsande, mycket billigare än silver och behöver inte ideligen putsas.

Det råjärn som kommer direkt från masugnen kan användas till gjutning i formar men brukar genomgå omsmältning i degel- eller kupolugn med eventuell justering av legeringsämnen. Gjutjärn innehåller 3-4 % kol och 1-3 % kisel, men kiselhalten skiljer typerna åt. Det förekommer i fyra olika typer av gjutjärn, gråjärn, vitjärn, segjärn och aducerjärn.

Om kiselhalten är låg och gjutgodset svalnar fort bildas vitjärn. Det består av perlit och cementit och är mycket sprött.

Vid hög kiselhalt bildas gråjärn som består av ferrit, perlit och fritt kol i form av grafitflak. Vid lägre kiselhalt bildas ingen ferrit. Gråjärnet är segare än vitjärn men grafitflaken fungerar som inbyggda brottanvisningar och gråjärn är också sprött.

Segjärn får man om man ympar smältan med en liten mängd (omkring 0,05 %) magnesium innan gjutningen. Grafiten bildar då inga flak i gjutgodset utan i stället små sfärer. Segjärnet kallas ibland också kuljärn, inte för det är roligare än andra gjutjärn utan av annan orsak.

Genom värmebehandling av vitjärn så att strukturen blir ferrit, perlit och fritt kol som greniga strukturer får man aducerjärn. Det blir nästan lika gott som segjärn genom värmebehandlingen men blir mycket dyrare att tillverka.

Utseendet på gjutjärn är beroende på om kolet är i fri form eller om det bundet till järnet som cementit.

De flesta ståltyperna kan användas för gjutning men de har högre smälttemperatur än gjutjärn och blir därför svårare att gjuta och krymper mer när det svalnar. Kiselhalten höjs något för att göra gjutstålet mer lättflytande. Stålgjutgoods har nästan samma egenskaper ståltypen har och det kan också hårdas. Det används då det krävs slitstyrka och hög hållfasthet, exempelvis i tänder till grävskopor.

Alla andra ämnen än de som används till legeringsämnen betraktas som föroreningar. Ämnen som fosfor, svavel, syre och väte försämrar stålets hållfasthet och som man försöker undvika. Fosfor och svavel finns redan i järnmalmen och i järnhanteringens början kunde man inte rena råjärnet från dessa föroreningar. För att tillverka högkvalitativt stål måste man använda fosfor- och svavelfattig malm, som är vanliga i svenska bergslagen. Först på 1890-talet började man använda processer som minskade fosfor- och svavelhalten i järnet.

Svavel och även bly används i låga halter i så kallat automatstål. Detta för att undvika att spånorna vid svarvning bildar trassliga härvor utan att de ska brytas sönder i små chips som lätt rinner bort från bearbetningsstället. Stålet används för att tillverka svarvade detaljer i automatiska svarvar.

Äldre historik

Järn förekommer ytterst sällsynt i ren form eftersom det oxiderar (rostar) mycket lätt. I jordskorpan finns järn i förening med syre som röd blodstensmalm, hematit (Fe_2O_3), eller som svartmalm, magnetit (Fe_3O_4). Det förekommer också tillsammans med svavel i vanliga mineral som svavelkis, pyrit (FeS_2), eller magnetkis.

Det tidigaste fyndet av järnföremål är en pärla av järn i nuvarande Irak från cirka 4000 f.Kr. Ironiskt nog kom järnet i pärlan inte från jorden, en planet som består av så mycket järn, utan i form av en järnmeteorit från rymden. Järnet i meteoriter innehåller cirka 8 % nickel som skyddar järnet från att rosta sönder i jordatmosfären. I Egypten upptäcktes dolk av järn i Tutankhamons grav från 1323 f.Kr. Den är troligen också tillverkad av en järnmeteorit.



Dolk funnen 1922 när Tutankhamons gravkammare hittades. Foto från Wikipedia.

De första järnföremålen av tillverkat järn från jorden kom från Anatolien i nuvarande Turkiet där hettiterna upptäckte en järnprocess cirka 2000 f.Kr. Då hade man uppenbarligen lärt sig att komma upp till de temperaturer som krävs för att reducera järnoxid till rent järn. och det innebär att järnåldern påbörjats där. I norra Europa inklusive det som nu är Sverige anses järnåldern börjat omkring 500 f.Kr.

Vid den tidigaste järnframställningen användes malmineralet limonit, kallas även järnockra, som utgångsmaterial. Limonit kan anses vara järnoxidhydroxid, $\text{FeO}(\text{OH})$, med varierande vattenhalt. Den har också andra namn som klart talar om var den påträffades, sjömalm, myrmalm och rödjord. Limoniten torkades och rostades över öppen eld. Den omvandlades då till järnoxider. Därefter finkrossades den för att reduceras i en blästerugn.

Enklaste formen av blästerugn består av en upptill öppen lerbestruken grop i marken med en luftkanal för blästerluft. Ugnen packas med malm och träkol och med en stor läderbälg blåses luft in i ugnen. Med den metoden når man inte så höga temperaturer att det bildas en järnsmälta utan järnet har fast form hela tiden. Temperaturen låg under $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. På botten av ugnen samlas en porös klump av reducerat järn. Klumpen benämns lupp. Den låga temperaturen gör att endast en liten mängd kol löses i järnet så att metoden ger direkt ett smidbart stål. Luppen fiskas upp från ugnen och smids medan den är glödande för att porerna slås samman och slaggen ska lämna luppen. Stycket stål som framställts kallades osmund. Så småningom blev begreppet också en viktenhet för järn, en osmund motsvarar cirka 0,28 kg.

Fram till ungefär år 1000 var blästerugnar mycket vanliga i Sverige. Mot slutet av den tid blästerugnar var populära övergav man gropen i marken och murade i stället upp blästerugnar över marknivån. Övergången till masugnar var emellertid långdragen. Så sent som i mitten av 1800-talet användes fortfarande enstaka blästerugnar i Jämtland och Härjedalen där inga masugnar användes.

Blästerugnarna byggdes med tiden allt större till volym och höjd vilket medförde att temperaturen i ugnen steg. Ugnarna blev effektivare och liknade efterföljaren, masugnen, mer och mer. Den stora skillnaden mellan en blästerugn och en masugn är att i masugnen bildas järnet i flytande form. Temperaturen i masugnen ligger närmare $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dessutom kunde järnet tappas ur ugnen under drift och man behövde inte stoppa processen för att ta ut luppen ur ugnen.

Åren runt 1980 gjordes utgrävningar i Lapphyttan, öster om Norberg, där man upptäckte en komplett järnframställningsplats med bland annat en masugn. Den daterades med kol-14-metoden till mitten av 1100-talet. Det gör masugnen i Lapphyttan till Europas äldsta kända masugn.

Verksamheten i Lapphyttan avslutades i slutet av 1300-talet och järnframställningen flyttades till större masugn i den närbelägna byn Olshammar.

På hembygdsgården Karlberg i Norberg har det byggts upp en kopia av hyttplatsen i Lapphyttan, där man bland annat försöker finna ut vilka metoder som användes för 800 år sedan. Kopian kallas Nya Lapphyttan.

Förbehandling och rostning av malm

Masugnprocessen kräver att malmen förbehandlas. I äldre tider matades masugnarna med malmstycken med passande storlek. Stora stycken tar lång tid att processa i masugnen medan mycket små stycken riskerar att

täppa till masugnspipan. Malmen rostas genom att den blandas med ved och bränns i gropar i marken. Genom upphettningen blir malmen sprödare och mer lättkrossad. Dessutom försvinner vatten från malmen och en del svavel förbränns också. Rostningen på det sättet var arbetsam och tidsödande, så därför byggdes separata ugnar för rostningen.

En rostugn av Ernst Westmans konstruktion består av en schaktugn med en skorsten ovanför. En låda med malmstycken hissas upp till hålet högst upp i schaktväggen där lådan automatiskt stjälpes och tömmer malmen i ugnen. Ugnen eldas nerifrån med masugnsgas som innehåller brännbar kolmonoxid. Den rostade malmen skrapas ut genom luckor i botten av ugnen.



Övre delen av pipan till en rostugn av Westmans modell.

Efter rostningen bokas (krossas) malmen i en vattenhjuldriven stamp till stycken stora som nötter. I senare tid krossades malmen genom att passera en spalt mellan två tandade valsar varav den ena drevs av exempelvis ett vattenhjul.

På 1920-talet började järnmalmen anrikas. Malmen krossades och maldes till ett fint pulver och malmkornen separerades från gråbergskornen på olika sätt, magnetisk malm fångas upp med magneter och omagnetisk malm hanteras med flotationsmetoden. I vatten kan man få luftbubblor från inblåst luft att fästa vid malmkornen och de flyter då upp till ytan. Malmkornen kan då skummas av. Pulvret med malmkorn kallas slig. Sligen alltför finkornig för användas i en masugn, därför sintras den till porösa kakor. Sligen blandas med bland annat vatten, kalksten, kolstybb och sot samt hettas upp så att kornen binds till varandra. Kakorna bryts sedan sönder i ett par centimeter stora stycken som matas in i masugnen.

Den senaste innovationen när det gäller att förbereda malmen för masugnen är järnmalmspelletts, även kallad kulsinter. Sättet att behandla malmen är visserligen patenterat redan 1912 men det dröjde till 1950-talen det började användas i stor skala. Malmen anrikas på vanligt sätt men sligen förses med tillsatser och något bindemedel, exempelvis kalk eller bentonit, sedan rullas malmen till kulor som sedan sintras. De porösa kulorna får en diameter av drygt en centimeter och de är mycket gynnsamma att använda i masugnen. I Sverige har LKAB pelletsverk vid sina gruvor i Kiruna, Svappavaara och Malmberget. Annars är det

vanligt att pelletsverk läggs i anslutning till masugnar för att spara energi då pellets inte behöver värmas upp en gång extra.

Masugnen

Masugnen används för att reducera metalloxider med hjälp av kol så att resultatet blir metalliskt. Mest används masugnar för att framställa järn men fungerar för andra metaller som koppar men här behandlas enbart ugnar för tillverkning av råjärn. Deras princip har fungerat i Sverige i drygt 800 år men deras uppbyggnad och masugnprocessen har gradvis förfinats genom åren. Deras storlek och produktionsförmåga har ökat ofantligt mycket under tiden. Exempel på produktionsökningen, den gamla mulltimmerhyttan i Långshyttan, byggd under 1750-talet, levererade 6 ton råjärn per dygn och dess ersättare, från år 1861, levererade 16 ton råjärn per dygn. I Sverige har vi nu endast tre masugnar, en i Luleå och två i Oxelösund, som vardera kan producera cirka 12 000 ton råjärn per dygn.

Masugnen kallades från början hytta och fortfarande används båda namnen. Begreppet hytta användes förr och även nu både för själva ugnen och för hela masugnspplatsen med alla verksamheter. Ordet hytta ingår ofta i ortsnamn i Bergslagen som Riddarhyttan och Pershyttan. Metallframställning har varit viktig på dessa orter.

Masugnen bestod ursprungligen flera meter hög pipa av värmetålig natursten murad med lera. Pipan var ett par meter i diameter och den var sluten i botten och öppen i toppen. Runt pipan var en stödmur, en kallmur (lagda stenar utan murbruk), för att stödja pipan. En grovt timrad yttervägg var ytterligare stöd åt hela konstruktionen. Mellan ytterväggen och stödmuren packades mull (jord och mindre stenar) för värmeisolering och stöd. Denna typ av masugn kallas för mulltimmerhytta. Mulltimmerhyttan var mycket vanlig i Sverige eftersom den var enkel och billig att bygga.

På 1600-talet började valloner vandra in till Sverige. De förde med sig en annan typ av masugnar som byggdes upp av huggen sten stående på en grundmur och hölls ihop av järnband. Den kallades för fransk masugn.

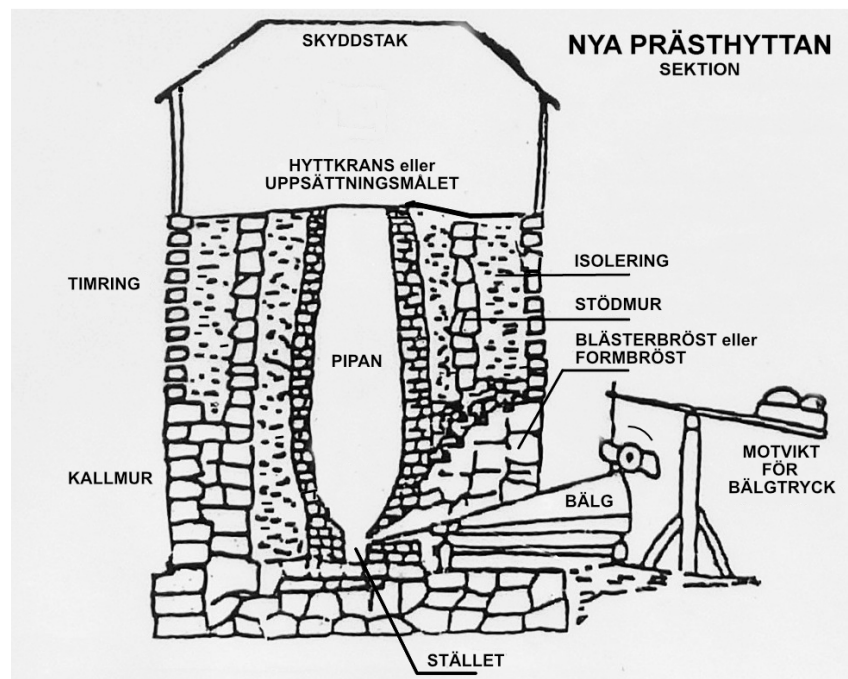
Under 1800-talet kom nya influenser till Sverige. Masugnar började muras av eldfast tegel i stället för natursten. Masugnpipan stod på pelare och den hölls samman med järnband. De masugnarna var av skotsk typ.

Botten av ugnen där järnsmältan och den flytande slaggen samlas kallas för stället. Vid botten i stället finns ett öppningsbart hål som används för att tömma stället från smält järn eller slag. Ovanför stället finns forman, munstycket genom vilket blästerluften från bälgar eller blåsmaskin sprutas in i masugnen. Hyttorna placerades vid ett vattenfall så vattenhjul pumpade bälgar eller drev blåsmaskiner.

Genom öppningen längst upp i masugnpipan som kallas hyttkransen eller uppsättningsmålet chargerar ugnen, det vill säga träkol, järnmalm och slaggbildande kalksten hålls in i ugnen. Träkolets förbränning värmer undre delen av ugnen till 2000 °C och järnet smälter. Syret till förbränningen kommer från blästerluften och järnmalmen. Processen kallas blåsing, ett namn som hängt med sedan blästerugnarnas tid. Råjärnet från masugnarna göts förr alltid till tackjärn innan det lämnade hyttan. Kalkstenen omvandlas till flytande slag som flyter på järnsmältan. Slaggen tar hand om en del svavel och fosfor samt andra mineraler som följer med järnmalmen. Slaggen göts ofta till tegelstensliknande slaggstenar. Slaggstenar är ett förträffligt byggmaterial, hållbara med en glasliknande yta och vackra färger, vilka färger avgörs av vilka grundämnen som ingår. När träkolsugnarna uttrangerades försvann också all tillverkning av slaggsten.

De tidigare masugnarna var öppna vid hyttkransen och masugnsgasen, innehållande mycket kolmonoxid, fick brinna upp i luften. Genom att sätta ett lock på masugnen kunde den heta gasen samlas ihop och användas till något nyttigare än att belysa omgivningen. Om blästerluften förvärmades av masugnsgasen innan den leds in i masugnen ökade temperaturen i masugnen vilket gjorde masugnen effektivare och sparade träkol. Masugnsgasen användes också som bränsle i en fristående rostugn för malmen. Från mitten av 1800-talet när ångmaskinerna utvecklats användes ibland masugnsgas som bränsle i ångpannan till en ångmaskin som drev bland annat blåsmaskiner.

Blåsmaskiner består av cylindrar med kolvar som rör sig fram och tillbaka med hjälp av en roterande vevaxel. Genom automatiskt verkande ventiler pumpas kolven luft som en cykelpump. Man brukade även använda en



Tvärsnitt av en mulltimmerhytta från 1830-talet. Exempel från Nya Prästhyttan utanför Ludvika. Bild från Wikipedia.

så kallad väderlåda som jämnar ut tryckstötarna och ger ett jämnare luftflöde.

Jonas Bagge var verksam i Jernkontoret och konstruerade och patenterade den trecylindriga blåsmaskinen 1841. Den var avsedd att ge blästerluft till masugnar och färskningshårdar.

I Ängelsberg finns en mulltimmerhytta i gott skick till beskådande. Masugnen blåstes ned (betyder att produktionen stoppades) 1919. Hela Ängelsbergs bruk är sedan 1993 uppsatt på UNESCO's lista över världsarv. Ett besök i Ängelsberg rekommenderas, där finns dessutom världens äldsta bevarade oljeraffinaderi.

Med tiden byggdes större och större masugnar och när diametern ökade räckte det inte att blåsa in blästerluft på ett ställe i ugnen. Man satte formor (inblåsningsmunstycken) i ring i ugnen alldeles ovanför stället.

Stora mängder träkol gick åt i masugnarna, 1,5–2 ton per ton producerat råjärn. Träkol har alltid varit dyrt och det blev med tiden allt besvärligare att få tag på. Dessutom krävde färskningen av järnet också stora mängder kol. Kalhyggerna runt hyttorna täckte större och större arealer och



Blåsmaskin av Bagges typ. Patenterades 1841. Bild Wikipedia.



Hyttan i Ängelsberg. Till vänster rostugnen och till höger masugnen av mulltimmertyp.

koltransporterna allt längre. Samtidigt blev bönderna som ägde skog mer obenägna att kola och transportera kol. Det blev en trång flaskhals för järnframställningen. Bruksägarna köpte skogsmarker för att säkra tillgången på träkol men det gjorde inte kolet billigare. Den höga kvalitén på det svenska järnet räddade avsättningen under lång tid och gjorde att priset kunde hållas på en hög nivå.

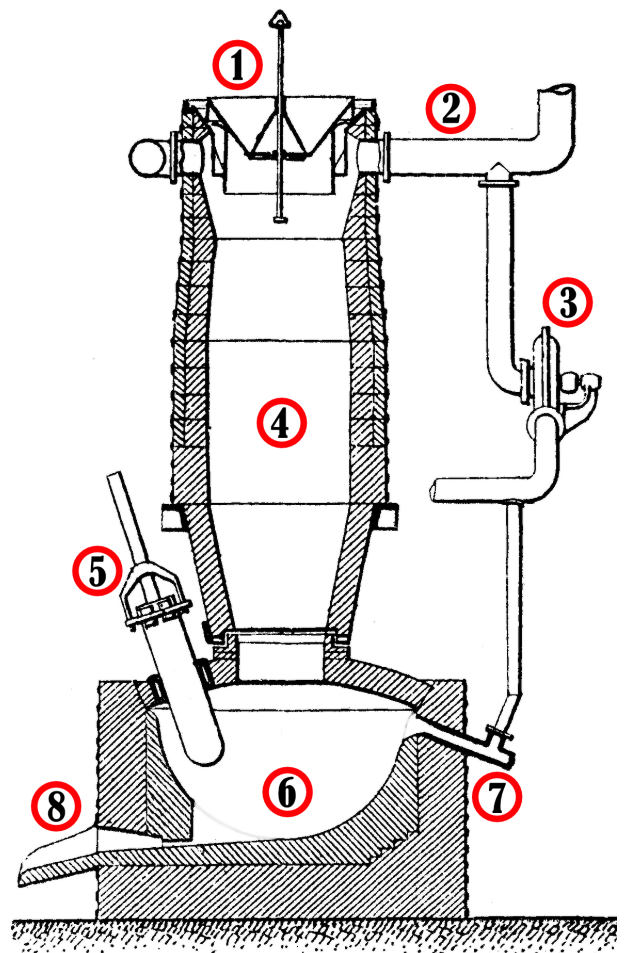
I England, som var skogfattig men stenkolsrikt, fanns ett stort intresse av att använda stenkol i framställning av järn. Redan 1709 hade engelsmannen Abraham Darby utvecklat en masugn som använde koks som reduktionsmedel. Koks framställs genom upphettning av stenkol så att flyktiga beståndsdelar lämnar kolet. Järnet innehöll dock så mycket svavel att det endast dög som gjutjärn och då inte var möjligt att använda till stål. Det berodde nog mest på den svavelrika järnmalm som användes. Det löstes år 1784 då engelsmannen Henry Cort hade utvecklat puddelprocessen. Utvecklingen därefter blev även i Sverige stadigt inriktad mot koksmasugnar. Men det dröjde till år 1919 innan den första svenska koksmasugnen startades av Oxelösunds järnverk. I Svartå blåstes den sista träkolsmasugnen ned år 1966 och därefter fanns endast 16 masugnar i Sverige, samtliga arbetade med koks. I dag finns endast tre masugnar kvar men man tror att masugnar är på väg att försvinna. Trots det är Sverige fortfarande en stor producent av järn och stål.

I slutet på 1800-talet var den svenska ståltillverkningen hotad av höga priser och dålig tillgång på träkol på men det fanns små möjligheter att förbättra masugnprocesserna. Det byggdes större och effektivare masugnar men fortfarande fördyrades järnet på grund av det allt dyrare träkolet. Vad världen hungrade efter var enklare och billigare stålsorter.

I början av 1900-talet när elkraften började bli billigare började man undra över om det gick att värma masugnar med elkraft och använda träkolet endast till att reducera järnmalmen. År 1908 uppfördes på försök en mindre elektriskt uppvärmd masugn vid Domnarvets Jernverk i Borlänge, ugnen hade en uppvärmningseffekt på 600 kilowatt. Två år senare byggdes en försöksmasugn i Trollhättan på 2000 kilowatt.

Så fort försöken med de båda masugnarna var avslutade byggde Uddeholms AB upp tre elektriska masugnar i Hagfors vilka fungerade oklanderligt redan från första början.

De elektriska masugnarna ser ut vanliga masugnar i den övre delen med uppsättningsmål, uppsamling av avgaserna i toppen av ugnen samt masugnspipan. Skillnaden finns i botten av masugnen, stället i den vanliga masugnen är ersatt av ett större smältrum med tre grafitelektroder nedstuckna. De är elektriskt anslutna till var och en fas i ett trefasnät och bildar ljusbågar mellan elektroderna och det flytande råjärnet. Det är dessa ljusbågar som värmer upp masugnen. Masugnen beskickas med järnmalm, träkol som reducerar malmen samt slaggbildande ämnen som kalksten. Masugnsgasen (avgaserna) som bildas blir rik på koloxid och den sprutas in i formorna ovanför det flytande råjärnet, hettas upp och reducerar malmen längst ner i masugnspipan genom inverkan av koloxiden. Gasen värmer sedan upp innehållet i pipan. Det används ingen blästerluft med syrgas eftersom kolet inte ska brännas upp för att öka temperaturen i ugnen utan bara hämta syret från malmen.



Genomsnitt av en elektrisk masugn.
Bilden hämtad från Nordisk Familjebok.

- 1 Uppsättningsmålet (malm, kol, kalk in)
- 2 Rör som samlar masugnsgas
- 3 Fläkt som ökar gastrycket
- 4 Masugnspipan
- 5 En av tre grafitelektroder (kolelektroder)
- 6 Smältrum för råjärn och slagg
- 7 En av tre formor (blästergas in)
- 8 Tapphål för råjärn och slagg

I en elektrisk masugn sparas ungefär två tredjedelar av den kolmängd som förbrukas i en konventionell masugn. Om masugnen beskickas med en mindre kolmängd får man dessutom ett råjärn med lägre kolhalt.

De elektriska masugnarna blev betydelsefulla i Sverige, år 1930 kom cirka en tredjedel av tackjärnet från elektriska masugnar. Förutom i de tidigare nämnda orterna användes elektriska masugnar i Degerfors, Hofors, Norrbottens Järnverk (nuvarande SSAB), Porjus och Söderfors. De sista träkolsbaserade elektriska masugnarna fanns i Degerfors (nedlagd 1952) och Hagfors (nedlagd 1964), de sista koksbaserade elektriska masugnarna fanns i Norrbottens Järnverk (nedlagd 1971) och i Hagfors (nedlagd 1978).

Direktreduktion

Principerna för den första metoden att framställa järn genom att reducera järnoxid vid låg temperatur i blästerugnar har i viss mån återigen blivit populära. Fördelen är att råjärnet får en låg kolhalt redan från början. Reduktionen, benämns direktreduktion, görs idag med kolmonoxid och vätgas. Numera används järnmalmspellets som utgångsmaterial. Kolmonoxiden fås från en ofullständig förbränning av kol medan vätgasen bäst framställs av metan (naturgas). Det järn som framställs på detta sätt kallas järnsvamp. Järnsvamptillverkning förekommer mest i länder som har naturgasfyndigheter. I Sverige används metoden bara av ett företag, Höganäs AB, som första steg i tillverkning av högkvalitativt järnpulver. På andra håll i världen används järnsvamp även vid stålframställning.

SSAB, LKAB och Vattenfall har tillsammans startat ett projekt för att radikalt ta bort kol och olja ur stålframställningen. Projektets gemensamma namn är HYBRIT och innehåller flera delprojekt som att tillverka järnmalmspellets, framställa vätgas genom att elektrolysera vatten samt att direktreducera pellets av järnmalm med enbart vätgas till järnsvamp. Om planerna lyckas ska det börja produceras stål 2026 och på sikt reducera Sveriges totala koldioxidutsläpp med 10 %.

Färskning

Färskning är benämningen på de processer som används för att minska kolhalten i råjärnet som producerats i masugnar. Detta för att få ett smidbart stål. Färskningsmetoderna kan delas in i två olika grupper, välljärnsmetoderna och smältfärskningsmetoderna. Välljärnsmetoderna är nu intressanta enbart ur historisk synpunkt. Det var genom dessa metoder som invandrare till Sverige tagit med sig hemifrån och praktiserade här. De svenska järnbruken utnyttjade Bergslagens relativt föroreningsfria järnmalm och de importerade välljärnsmetoderna och gjorde Sverige till ett av de största länderna inom järntillverkning.

Välljärnsfärskning

Välljärnsprocesserna går ut på att råjärn och hammarslagg hettas upp till smältning i en träkolseldad härd med inblåsning av blästerluft. Syret i blästerluften förbränner kolbädden. Syret i hammarslaggens järnoxider och blästerluften förbränner tillsammans det i råjärnet lösta kolet. När kolhalten järnet sjunker faller smidesjärnet ut som en halvfast massa. (Järnets smälttemperatur blir högre när kolhalten minskar.) Smidesjärnet tas ut ur härden och bearbetas av vattenhjuldriven hammare för att slag och andra förorenande ämnen ska pressas ut från järnet som får platt form och kallas smältstycken. Därefter klipps järnet upp i mindre bitar som läggs på en härd för att vällas samman. Sedan smids järnet ut till en stång. Detta smide kallades räckning och gjordes ofta i en särskild vattendriven hammare som kallades räckhammare. Allt detta gjordes i så kallade hammarsmedjor. Järnstängerna försågs med brukets eller bruksägarens märke. Stångjärn som var handelsvaran och märket var kvalitetsbeviset. Nyttovaror av järnet gjordes i manufaktursmedjor där stångjärnet hettades upp i ässjor och formades för hand med hjälp av städ och släggor.

I masugnen barnålder färskades råjärnet i samma typ av blästerugnar som använts för framställning av osmunder. Järnet kallades osmundjärn och såldes i runda klumpar precis som osmunder. I slutet av 1200-talet började osmundjärn exporteras från Sverige. Det var först på 1600-talet som stångjärn blev den helt dominerande järnprodukten beroende bland annat på att export av osmundjärn från Sverige förbjöds år 1604. Man tyckte att det var oekonomiskt att sälja osmundjärn billigt och köpa samma osmundjärn processat till smidesjärn dyrt. Dessutom sjönk kvaliteten på osmundjärnet och gjorde det svårsålt. För att snabba på övergången till stångjärnsproduktion såg Gustav Vasa under mitten av 1500-talet att bjuda in kunniga tyska smeder att etablera sig i Sverige.

Tysksmide

Med de tyska smederna kom också en ny färskningsmetod, tysksmidet. I en härd med gjutjärnsbotten och sidor av gjutjärn lades en bädd av träkol och slagg från hammaren. Råjärnet som skulle färskas lades på bädden och smältes av kolet med hjälp av blästerluft. Det smälta järnet droppade ner och lade sig på härdens botten. Det bildades en slagg av oxiderat kisel och järnoxid. Syret i slaggen oxiderade kolet i järnsmältan. Smeden bröt upp repade gånger med ett järnspett upp järnsmältan i blästerzonen och så småningom bildades sega klumpar av järn med låg kolhalt på botten av härdens. Klumparna samlades ihop och transporterades till hammaren där de fördes samman och smiddes helt platt för att slaggen skulle lämna järnet. Den grova plåten klipptes upp i smältstycken som återfördes till härdens och vällades samman. Den sammanvällda massan smiddes ut (räcktes ut) sedan till järnstänger i hammare (räckhammare). Metoden ger ett tillfredställande stångjärn men förbrukar stora mängder träkol.



Del av en räckhammare. Ett tandat hjul finns vid den hitre änden av stängen. När hjulet roterar griper en tand i stängen och trycker ned änden på stängen som vrids runt axeln på mitten och hammaren lyfter. När tanden släpper greppet faller hammaren ner.

Franche-Comtésmede

Franche-Comtésmede liknar tysksmidet med en härd för både färskning och räckning. Mängd järn i härdens var mindre vilket krävde ett omsorgsfullare arbete med färskan (järnsmältan i härdens). Metoden gav en jämnare kvalitet på stångjärnet och med mindre kolförbrukning än tysksmidet. Metoden var ganska populär under några tiotal år innan bättre välljärnsmetoder arbetats fram.

Vallonsmidet

På 1620-talet började valloner som kom från sydöstra Belgien att bosätta sig och verka främst i Uppland. Även de förde med sig en egen metod att färska råjärn, vallonsmidet. Det liknar tysksmidet men på ett par punkter skiljer sig metoderna väsentligt. Vallonerna använde två härdar i sin process, smälthärdens där färsningen genomfördes och räckhärdens där järnet värmdes upp innan det smiddes ut till stångjärn. Den andra stora skillnaden låg i själva färskningsmomentet där smederna bröt upp järnsmältan i blästerluften så att syret i luften förbrände kolet i järnet. Smederna var dessutom noggranna med att inte blanda in slagg i järnet.

Efter färskningsmomentet hamrades järnet platt för att all slagg skulle lämna järnet. Därefter lades järnet på smälthärden för uppvärmning efter första smidet innan det lades på räckarhärden.

Vallonjärnet var av högsta kvalitet, särskilt då det var grundat på malm från Dannemora. Dannemoramalmen är mycket ren och innehåller bara små mängder av föroreningar. Vallonjärn var överlägset alla andra stångjärnsqualitéer och såldes till betydligt högre priser. Under 1700- och 1800-talen exporterades en mycket stor del till Sheffield i England där man gjorde stål av vallonjärnet som användes till bland annat rakkniavar. I Österbybruk finns numera Sveriges enda bevarade vallonsmedja. Smedjan visas på begäran.

Ekman's vällugn och lancashiresmede

Den senaste och säkerligen den sista utvecklingen av välljärnsfärskningen är lancashiresmidet. Metoden utvecklades i början på 1800-talet ursprungligen i England där hädarna eldades med stenkol. Härdarna hade samma uppbyggnad som tidigare färskningshärddar men de heta rökgaserna förvärmde tackjärnet och hettade också upp blästerluften. Det gav bättre energianvändning och minskade kolförbrukningen avsevärt.



Lancashirehärd vid lancashiresmedjan i Jädraås. De tvärgående bågarna alldeles ovanför härden kallas hjälpbrytare. De rör sig med maskinkraft upp och ner framför härden. Smeden sticker in sitt spett genom något av de fyrkantiga hålen i järnet framför härden och han får då hjälp av bågarna att lyfta spetsen på spettet och bryta upp smältan i härden.

Här är det på sin plats att presentera den man som förmodligen gjort den största nyttan för den svenska järn- och stålindustrin, Gustaf Ekman. Han var född 1804 och visade sig vara en ambitiös ung man som vid 21 års ålder skaffat sig hovrättsexamen och bergsexamen. Han studerade också under två år vid Falu Bergsskola innan han fick anställning på Jernkontoret 1827.

Sverige upplevde den första riktigt stora ekonomiska krisen inom järn- och stålindustrin. Engelmännerna hade genom uppfinningar och nya processer under slutet av 1700-talet och början av 1800-talet brutit ner den svenska dominerande ställningen i järnframställningen. Ekman insåg att industrin måste höja kvalitén på svenska stångjärnet, sänka priset och öka produktionen för att kunna möta konkurrensen. Dessa tankegångar är fortfarande aktuella nästan 200 år senare. Ekman ställde sig naturligtvis frågan hur detta ska göras. Han var intelligent nog att bestämma sig för att börja med en rundresa i de länder som hade betydande järnhantering för att studera olika arbetssätt och problemlösningar.

Hemkommen år 1829 från den första utlandsresan till bland annat England hade han med sig kunskaper om puddlingsprocessen, valsning av stångjärn i stället för räcksmede och användning av ångmaskiner som kraftkälla. Ekman ledde införandet av lancashiresmede vid bruken i Söderfors och Domsjö med tveksamt resultat. Han kom på att det var svårt att lära de svenska smederna det nya handlag som erfordrades. Valsning av stångjärnet gav också ett dåligt resultat, järnet blev inte tätt nog. Ekman ansåg att det berodde på att temperaturen vid hopvällningen av smidesjärnet inte var tillräckligt hög, järnet var bara rödvarmt medan det borde vara gulvarmt. Han inriktade sig på att konstruera en vällugn som eldades med svenskt bränsle och gav tillräckligt hög temperatur.

Ekman gjorde en ny resa till England för att lära sig mer om lancashireprocessen och valsning av stångjärn. Efter hemkomsten införde han lancashiremetoden på Lesjöfors bruk, där hans far var delägare. Senare blev han förvaltare på Lesjöfors bruk.

År 1840 lämnade Ekman ett förslag till försök med en av honom uppfunnen gasvällugn för inhemskt bränsle i Lesjöfors. En gasgenerator eldad med träkol, koks eller ved skulle leverera eldningsgasen till vällugnen. Ugnen skulle vara bränslebesparande, kunna uppnå hög temperatur och ha reglerbar värme samt erbjuda reducerande eller oxiderande atmosfär. Svaret från Jernkontoret var skeptiskt men redan 1843 kunde Ekman rapportera att försöken varit framgångsrika och han anhöll om att få 1000 riksdaler Banco för att täcka kostnaderna. Detta bifölls.

Nu kunde historien tagit slut men Ekman ansåg att järnindustrin skulle få tillgång till hans uppfinning så han tog aldrig ut något patent på sin gasvällugn. Ganska snabbt skaffade många större järnbruk lancashirehårdar, Ekmanska gasvällugnar och valsverk och därmed fanns de tekniska förutsättningarna för att få mer, bättre och billigare stångjärn. Ekman konstruerade många andra utrustningar för andra järnbruk, bland annat mumblingshammare.



En mumblingshammare. Ett vattenhjul vrider det tandade hjulet till höger medurs och tänderna lyfter hammaren.

Själva smidet i lancashireprocessen var ett nålsöga i arbetet. Smältstyckena var 100 –130 kg tunga och det tog ganska lång tid att smida ut slaggen med en ordinär smideshammare där hammarhuvudet kanske vägde 200 kg. Större vattendrivna smideshammare konstruerades, kallade mumblingshammare, där hammarhuvudet vägde flera ton. När ångkraft började användas ersattes mumblingshammare av ånghammare.

Som en fotnot bör nämnas att Gustaf Ekman hade en stark tro på kunskapens betydelse och han värnade om folkbildning. Han inrättade alldeles utmärkta skolor på många orter. I Lesjöfors undervisade han själv ofta i naturvetenskapliga ämnen.

Lancashiremetoden blev snart vida spridd över Sverige och användes mycket länge på vissa orter. Den sista använda smedjan finns i Ramnäs och den stängdes så sent som år 1964 och det var också den sista lancashiresmedjan i världen. Smedjan och mycket av utrustningen finns kvar. Den sista nu funktionsdugliga lancashiresmedjan finns i Karmansbo och brukar visas i full drift den första lördagen i juli varje sommar.

Stångjärn framställt med en välljärnsmetod är kolfattigt och inte härdningsbart. Önskade man att få ett hårdare stål måste man öka kolhalten, man säger kola upp stålet. Stångjärnet smids till ungefär 15 mm tjocka skivor som packas tegelkistor tillsammans med kolpulver eller kolstybb. I en flamugn glödgas kistorna och innehållet under en eller ett par veckors tid och kol diffunderar in i järnet. Den färdiga produkten, skivorna med högre kolhalt, kallades förr brännstål. Brännstål av vallonsmide exporterades i stor utsträckning till Sheffield för tillverkning av degelstål som användes till finare och dyrbarare eggverktyg. Brännstålet har genom sin tillverkningsprocess alltid en högre kolhalt i ytan och en lägre kolhalt inne i materialet. Om brännstålet smälts till flytande form i deglar får man efter omrörning samma kolhalt överallt i smältan. När smältan stelnat har man degelstål med mycket små variation av kolhalten.

Med modernare färskningsmetoder kan kolhalten i stålet bestämmas så att brännståls- och degelstålsframställning nu har blivit omoderna och oanvända. Däremot används uppkolning av enbart ytan av ett stål för ökad hårdhet och slitstyrka med samma metod som vid brännstålltillverkning. Glödningstiden brukar dock endast vara en timme eller därunder för en sådan behandling.



Puddelugn i Surahammars bruksmuseum. Den stående cylindern till höger på ugnen är en gasgenerator som alstrar gengas genom torrdestillation av trä eller kol. Gengas är bränslet i puddelugnen. Tegelkonstruktionen till vänster förvärmer förbränningsluften med hjälp av ugnens avgaser. Genom luckorna i ugnen matas tackjärn in i ugnen och här sticks spett in för att röra om i järnsmältan.

Puddling

Engelsmannen Henry Cort uppfann och patenterade år 1784 en ny metod att färska järn med hjälp av stenkol. Det var tur för Cort att patentverket i England inte kände till kinesisk historia för liknande metoder användes där redan i början av 1600-talet. Metoden kallas för puddling och genomförs i en flamugn, det vill säga i en ugn där endast flammorna från det i en separat eldstad brinnande kolet kommer i kontakt med järnet. I stället för kol kunde generatorgas användas. Generatorgas (även kallad gengas) fås genom ofullständig förbränning av kol eller ved och den består av kolmonoxid, vätgas, metan och koldioxid. Tackjärnet blandas med hammarslagg och när massan smält rör man om kraftigt med ett spett. Syret i slaggen reagerar häftigt med kol och kisel i tackjärnet och omvandlar dessa ämnen till oxider som hamnar i slaggen. I smältan i ugnen bildas bollar (färskor) av järn med låg kolhalt som hopsamlas och tas ur ugnen. De läggs under hammaren för att pressa ut så mycket slagg som möjligt medan slaggen är flytande. Genom de intensiva omrörningen i ugnen samlas mycket slagg i färskorna som det är svårt att få ut och därför är puddeljärnet ganska orent.

Fördelen med metoden är att den stora mängden slagg som används renar järnet från mer fosfor än andra äldre färskningsmetoder.

Puddlingsprocessen hade stor betydelse för Englands järnframställning eftersom de hade gott om stenkol men ont om träkol då de hade få skogar. I Sverige användes puddling i mycket liten utsträckning då vi nästan inte har något stenkol. Dessutom gav våra andra färskningsmetoder ett renare smidesjärn. De få puddelugnar som användes i Sverige eldades med generatorgas

Surahammars Bruk var en av de få användarna av puddlingsprocessen i Sverige men puddlingen upphörde där år 1907. I brukets museum visas bland annat deras puddelugn.

Smältfärskningsprocesserna

Götstålfärskning är det nutida sättet att färska råjärnet. Många olika processer har utvecklats men de har ett gemensamt, de arbetar med järnet i flytande form. Vanligtvis brukar man bara färska råjärnet i ett första steg och då erhåller man råstål. Därefter hålls råstålet i en skänk där övriga legeringsämnen tillsätts och då får man det färdiga stålet.

Bessemerprocessen

Henry Bessemer, en engelsk mekaniker och metallurg, patenterade år 1855 den första metoden att färska en smälta av råjärn. Metoden kallas bessemerprocessen efter uppfinnaren. I en ugn blåses luft genom smältan och syret i luften förbränner kol, kisel och mangan i råjärnet. Även en aning järn oxideras. Kolet bildar koloxider medan kisel och mangan bildar slagg som flyter upp på ytan av järnsmältan. Ugnen eller konvertern som den kallas har en ganska enkel konstruktion, en stor flaska invändigt klädd med kiselhaltigt eldfast material. Senare kallades detta sur bessemerprocess. Flaskan tippas när den ska fyllas eller tömmas. Det behövs inte någon tillförsel av bränsle eftersom det följer med råjärnet, kol och kisel lämnar stora energimängder vid förbränning. När luften slagits på och konvertern rests upp sprutar ett stort gnistregn ut ur konverterns öppning under ett kraftigt dån. När kiset och manganet i smältan oxiderat börjar kolet angripas, dånnet ökar



Bessemerkonverter i Klosterparken i Långshyttan.
Graffitin är mycket yngre än konvertern.

genom att koloxiden bubblar kraftigt i smältan och en blå låga skjuter ut ur konvertern. Genom att bedöma lågans intensitet och gnistornas utseende kan man avgöra när rätt kolhalt uppnåtts.

Bessemer själv lyckades inte producera några mängder stål med sin uppfinning men trots detta köpte svensken Göran Fredrik Göransson tillverkningsrätt av bessemertillverkat stål. Göransson startade en försöksverksamhet vid Edskens masugn och lyckades förbättra Bessemers konverter så att han 1858 kunde genomföra en blåsing med gott resultat. Göransson byggde upp ett helt nytt järnverk i Sandviken 1862 – 63 som enbart utrustades med bessemerkonvertrar.

I mitten av 1860-talet hade bessemermetoden blivit så känd och respekterad i Sverige att flera stora järnverk skaffat konvertrar, bland andra Domnarvet, Iggesund och Björneborg.

Färskningen i en bessemerkonverter är i grunden ganska enkel, konvertern chargerats (laddas) med flytande råjärn, sedan blåser man luft genom smältan ett visst antal minuter (något färre för högre kolhalt) och tappar därefter ugnen för att hälla ut stålet. Processen har fördelar, den är snabb, den kräver liksom alla andra götstålprocesser inget tungt arbete och man kan lätt styra stålets kolhalt. Bessemermetoden har också nackdelar, den kan inte hantera fosforhaltigt råjärn och en del kväve från luften går i lösning i stålet.

Vill man se hur en bessemerkonverter ser ut kan man uppsöka något större stålverk. Utanför kontoret eller i någon liten park står ofta en utstrangerad konverter. Konvertern verkar ha blivit en symbol för stålindustrin.

Thomasprocessen

År 1878 presenterade engelsmännen Sidney Gilchrist Thomas och Percy Carlyle Gilchrist en förbättring av bessemerprocessen. Samma typ av konverter används men den är invändigt fodrad med dolomit. Bränd kalk tillsatts under processen och den bildade en basisk slagg som tar upp fosfor i råjärnet. Metoden kallas för thomasprocessen eller basisk bessemerprocess. Slaggen maldes till fint pulver, kallat thomasfosfat och användes som gödselmedel i jordbruk.

Thomasprocessen betydde mycket för svensk stålindustri, de fosforrika malmerna från Kiruna, Gällivare och Grängesberg kunde nu användas för att tillverka högkvalitativt stål. Thomasprocessen ersatte bessemerprocessen redan på 1890-talet och dominerade stålframställningen ända till början av 1960-talet när konvertrar började blåsas med ren syrgas.

LD-processen

Under slutet av 1940-talet började på skilda håll i världen utvecklingsarbeten för att ytterligare förbättra bessemermetoden genom att använda ren syrgas i stället för luft. Det visade sig svårt att blåsa ut syrgasen under stålytan eftersom munstyckena inte kunde kylas tillräckligt. Därför satsades det på att uppifrån blåsa syrgasen med högt tryck mot smältan. Detta var början på syrgaskonvertermetoder. En schweizisk ingenjör, Robert Durrer, började tillsammans med två österrikiska järnverk i städerna Linz och Donawitz arbeta fram en metod. År 1948 blev försöken lyckade och 1952 och 1953 producerade syrgaskonvertrar i de två järnverken stål för försäljning. Metoden kallades Linz-Donawitz-processen efter städernas namn, eller mer praktiskt LD-processen.

Konvertern är mycket enklare än bessemerkonvertern. Den består av en tippbar gryta med ett hål i sidan för avtappning av innehållet och en lans som sticks ned i grytan för att blåsa in syrgas. Fodringen i konvertern är dolomit och bränd kalk sätts till så att slaggen blir basisk. Man kan också tillsätta stora mängder järnskrot till smältan i en LD-konverter. Det kan vara nödvändigt att tillsätta järnskrot, ibland upp till 20 %, för att kyla syrgasprocesser eftersom de kan generera för hög värme när kol och kisel oxideras. LD-metoden fungerar nu som thomasprocessen men man undviker kväve i stålet så därför ersattes redan vid 1960-talets början thomaskonvertrar med LD-konvertrar. Undantaget var Sverige där vi först ett par tiotal år senare införde LD-metoden.

Kaldoprocessen

Under slutet av 1940-talet utvecklades vid Domnarvets järnverk under ledning av professor Bo Kalling en alldeles egen syrgasprocess och konverter. Den fick namnet Kaldo efter första delarna av namnen Kalling och Domnarvet.

Kaldoprocessen utvecklades för fosforrikt råjärn och passade väl för malmerna från områden runt Domnarvet. År 1956 hade Domnarvet sin första Kaldokonverter i drift och i början av 1970-talet använde de flera av största stålverken kaldometoden.

Kaldokonvertorn skiljer sig från andra tidigare konvertrar, den är roterande med 30–40 varv per minut kring sin längdaxel och lutar under blåsningsen sin längdaxel knappt 20 grader från horisontalplanet. Rotationen skapar en bra omrörning av smältan och blandar effektivt smälta och slagg för en bra fosforrening. Processen kan regleras genom rotationsvarvtalet, syrgasflöde och lansens höjd över smältans yta samt tillsättning av bränd kalk och kylmedel (järnskrot eller järnmalm). Konvertorn förbränner nästan all kolmonoxid till koldioxid i ugnsutrymmet och kan smälta stora mängder järnskrot. Processen är väldigt flexibel, man kan exempelvis direkt framställa högkolhaltiga stål ur råjärn med hög fosforhalt. Myntet har dock inte bara en utan två baksidor, en mycket tung ugn utsätter rotationsmaskineriet för stora påfrestningar och smältan sliter mycket hårt på ugnsinfodringen. Underhåll och reparationer måste ske titt och tätt vilket ger höga driftkostnader. I och med stålkrisen runt 1980 utvecklades kaldometoden i Sverige.

OBM-processen

Utvecklarna inom färskningsområdet ville gärna utveckla Bessemers idé och blåsa syrgas genom smältan. Det skulle vara gynnsamt genom att omrörningen blir mycket bättre än att blåsa från smältans yta. Under 1940-talet började man med försök som misslyckades för kylningen av inblåsningmunstyckena blev för dålig. Användes luft kylde kvävet i luften tillräckligt bra. Det dröjde 25 år innan de tekniska problemen löstes. Om det blåstes gasol eller olja runt varje syrgasmunstycke blev kyleffekten tillräcklig. Processen kallades OBM (Oxygen Boden Maxhütte). Det utvecklades senare många varianter av OBM och de tillsammans med varianter av LD-processen kallas de moderna syrgasprocesserna och konvertrarna när stål framställs från flytande råjärn.

Martinugnen

Ytterligare en färskningsprocess som varit betydelsefull i Sverige är martinprocessen. Färskningsen sker i en ugn som håller så hög temperatur att järn med låg kolhalt är flytande.

Nyckeln till metoden var en regenerativ flamugn uppfunnen i mitten av 1800-talet av två tyskar, ingenjör Friedrich Siemens och hans bror Carl Wilhelm Siemens. Ugnen värmdes av generatorgas (gengas). Att den var regenerativ betyder att de heta avgaserna från ugnen används för att värma upp den inkommande förbränningsluften. Det krävdes för att nå tillräcklig ugnstemperatur. Till vardera änden av ugnskammaren går två kanaler och i dessa kanaler ligger kammare med en stor mängd löst staplade tegelstenar. När ugnen är i drift hettar avgaserna upp en kammare med tegelstenar och när den är ordentligt upphettad växlas strömningsriktningen genom ugnen så att luften värms upp när den går genom den heta kammaren och avgaserna hettar upp den andra kammaren. Sedan växlas gasströmningen åter och på det sättet värmer avgaserna den inkommande luften.

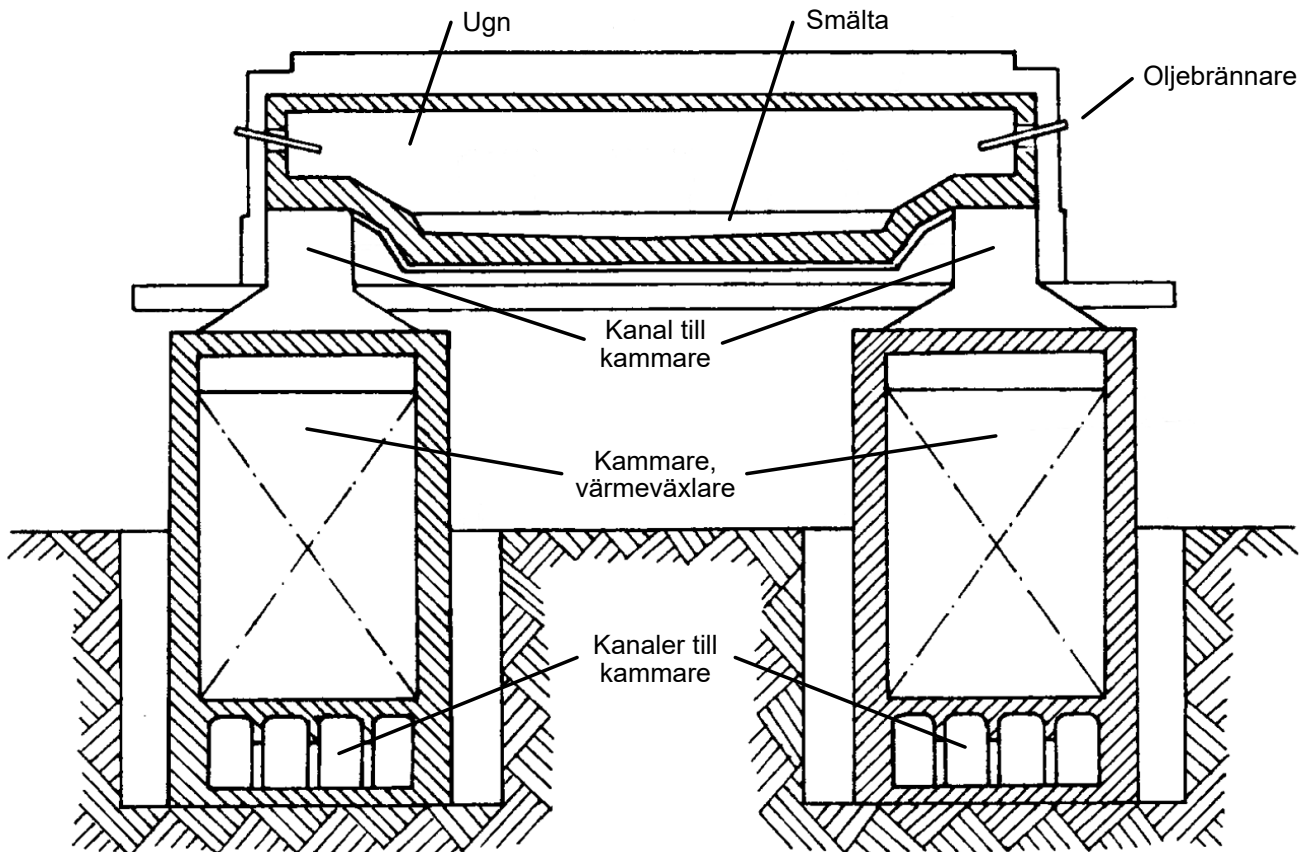
Den franske metallurgen Pierre-Émile Martin tillsammans med sin far François Marie-Émile Martin uppfann en metod att färska råjärn med hjälp av Siemens ugn. Reaktionen sker helt mellan smältan och det på smältan flytande slaggtäcket. Liksom vid bessemerprocessen har man en sur och en basisk process. I den sura processen renas inte järnet från fosfor och svavel medan den basiska för över fosfor och en del av svavlet till slaggen.

Då det tar lång tid att rena råjärnet från kisel och mangan brukade man använda råjärn med låga halter av de ämnena.

Martinprocessen presenterades på världsutställningen i Paris 1867 och väckte då stort intresse bland människor inom branschen. I Munkfors gjorde Johan Fredrik Lundin försök med en Siemensugn med metoder som liknade Martins samtidigt eller kanske rent av innan Martin startade. Det var dock Martin som visade uppfinningen på världsutställningen så han har fått ta emot äran som uppfinnare.

Genom att uppvärmningen av processen inte är beroende av innehållet i smältan har man stor frihet att bestämma innehållet i stålet och man kan använda mycket järnskrot i smältan. Efter hand lärde man sig styra kolhalten genom att använda oxiderande låga eller att tillsätta järnmalm. Vid slutet av 1940-talet färskade

man också med syrgas genom en lans, ett rör som riktar en gasstråle mot stålsmältan. Processen i en Martinugn är mycket långsam och därmed kan man noggrant styra kvalitén på stålet. De mest högkvalitativa stålen t ex kullagerstål tillverkades alltid i Martinugnar.



En skiss, men ingen konstruktionsritning, som visar huvuddelarna av en Martinugn.

År 1869 fick Munkfors Sveriges första martinugn och därefter skaffade sig många stålverk Martinugnar. Flertalet var av basisk typ. Omkring 1920 började man värma ugnarna med råolja men det skenande oljepriset under 1970-talet gjorde dem allt mer olönsamma. Den sista svenska Martinugnen i drift fanns vid Boxholms bruk, den släcktes definitivt 1981.

Martinugnar kan man se på Gamla Bruket i Munkfors, tyvärr inte ugnen från 1869, och på Avesta Jernverks gamla anläggningar i Koppardalen i Avesta.

Elektrostålprocessen

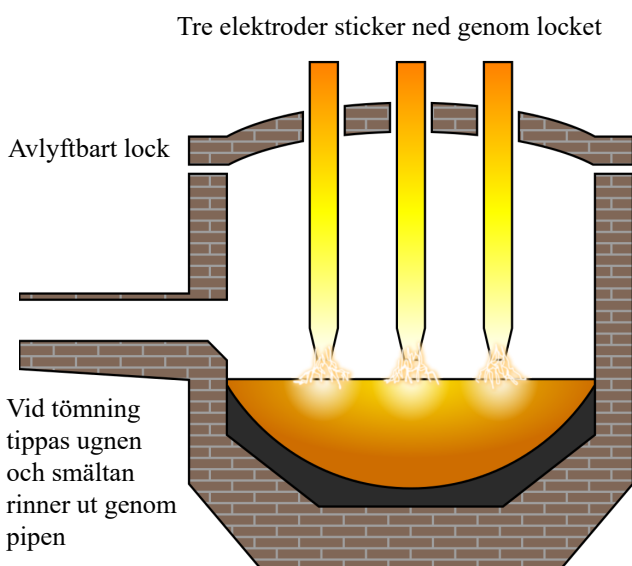


Bild från Wikipedia.

Konverterprocesserna hade från början en för liten möjlighet att smälta skrot och processerna genererade allt större skrotmängder. Detta jagade utvecklarna att ta fram färskningmetoder som har större kapacitet att smälta skrot. Martinprocessen utvecklades och eldrivna ugnar började utveckla inte bara för stålsmältning utan också för färskning. Från början var både ljusbågsugnar och induktionsugnar var aktuella men med tiden blev det bara ljusbågsugnen den enda som används för smältning. Sådana ugnar har ibland induktionslindningar men de används bara för att sköta omrörning av smältan genom att innehållet börjar cirkulera i ugnen.

En principskiss av en ljusbågsugn som matas med trefas växelström i bilden till vänster.

Elektrostålet är baserad på stålskrot, både sådant skrot som skapats i det egna stålbruket och så kallat järnskrot som köpts in från skrothandlare exempelvis gamla bilar.

Ugnen chargeras (laddas) med skrot, bränd kalk, dolomit och flusspat och strömmen slås till. Det bildas ljusbågar mellan elektroderna och skrotet och värmen smälter ned skrotet. Vanligtvis behövs flera chargeringar innan smältan blivit tillräckligt stor. Därefter hanterar man smältan som alla andra färskningsmetoder.

Om det använda skrotet är alltför kolfattigt måste kolhalten ökas och det kan göras med insprutning av kolpulver eller genom att tillsätta gjutjärn till chargen. Man kan också tillsätta alla legeringsämnen i ugnen eller också avbryta och fortsätta med denna detalj i skänkmetsallurgin.

Det förekommer också likströmsdrivna ljusbågsugnar och de fungerar nära nog som de växelströmsdrivna men de har bara en elektrod uppifrån och den andra i botten av ugnen.

På Gysinge Bruk experimenterade Fredrik Adolf Kjellin de sista åren på 1800-talet med en induktionsugn för att smälta järn. Ugnen har en induktionsspole som matas med växelström utanför ugnen och den inducerar virvelströmmar i järnet inne i ugnen. Strömmarna värmer upp ugnsinnehållet. Kjellin var först i världen att tillverka elektrostål i industriell produktion år 1900.

Skänkmetsallurgi

Skänkmetsallurgi är sammanfattning av de processer som justerar råstålet, den standardvara som färskningen har producerat, till de stålsorter som säljs. De processerna sker i en skänk eller en skänkuugn med det flytande råstålet. De här processerna kan lika gärna göras i en ljusbågsugn för färskning men stålet är ju redan flytande när det kommer hit och behövs inte på långa vägar lika höga eleffekter som en smältugn. Därför är det mer ekonomiskt att använda en mycket enklare och billigare skänkuugn. Skänkmetsallurgin är en jämförelsevis modernt verktyg som finjusterar stålets egenskaper.

Det kan handla om

- Desoxidation, att minska stålets syrgasinnehåll. Det brukar ibland också kallas tätning av stålet.
- Ytterligare rening av ämnen och gaser exempelvis med vakuumbehandling.
- Justeringar av legeringsämnen.
- Inställning av gjuttemperaturen.

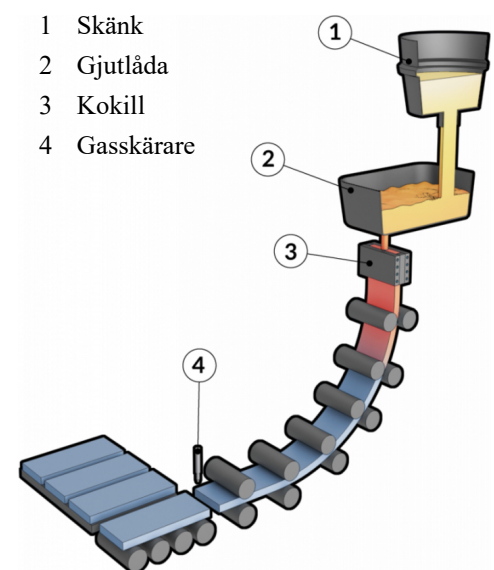
Göt eller stränggjutet stål

När smältfärskningsmetoderna började användas skulle man ta hand om stora mängder flytande stål. Då började man också gjuta stora stålämnen i kokiller, flergångsgjutformar av gjutjärn. Felaktigheter som sprickor och gasblåsor i göten, som stålämnen kallas, uppstod ofta och ställde till problem vid den efterföljande valsningen. Med gasskärbrännare skars felaktigheter manuellt bort från göten. Metoden fungerar, men den är svår att automatisera.

På Hofors bruk gjordes försök 1932 att kontinuerligt gjuta en stålsträng som efter stelningen kapades i passande längder. År 1952 invigdes en experimentmodell av en stränggjutningsmaskin på Nyby bruk och 1962 fick man på Halmstads Järnverk den första stränggjutningsmaskinen i ordinarie drift.

Bilden till höger visar en skiss av stränggjutningsmaskin.

Gjutlådan fylls med flytande stål från en skänk och från gjutlådan rinner stålet ner i en vattenkyld kokill som är öppen både i toppen och botten. Öppningen i kokillen motsvarar den gjutna strängens tvärsnitt. I strängens hela bana styrs den och stagas upp av valsar som också bromsar strängen så den inte lämnar kokillen för snabbt. Innan strängen har lämnat kokillen ska strängens väggar ha stelnat så att inte det smälta stålet i mitten av strängen kan rinna ut.



Stränggjutning. Bild från Wikipedia.

Under hela vägen ner till botten av bågen duschas strängen av vatten så att när strängen kommit ner är den i fast form tvärs igenom. På slutet av banan riktas strängen så den blir fullkomligt plan och därefter kapas den i rätt längd av en gasskärbrännare till ett stålämne som rullas åt sidan.

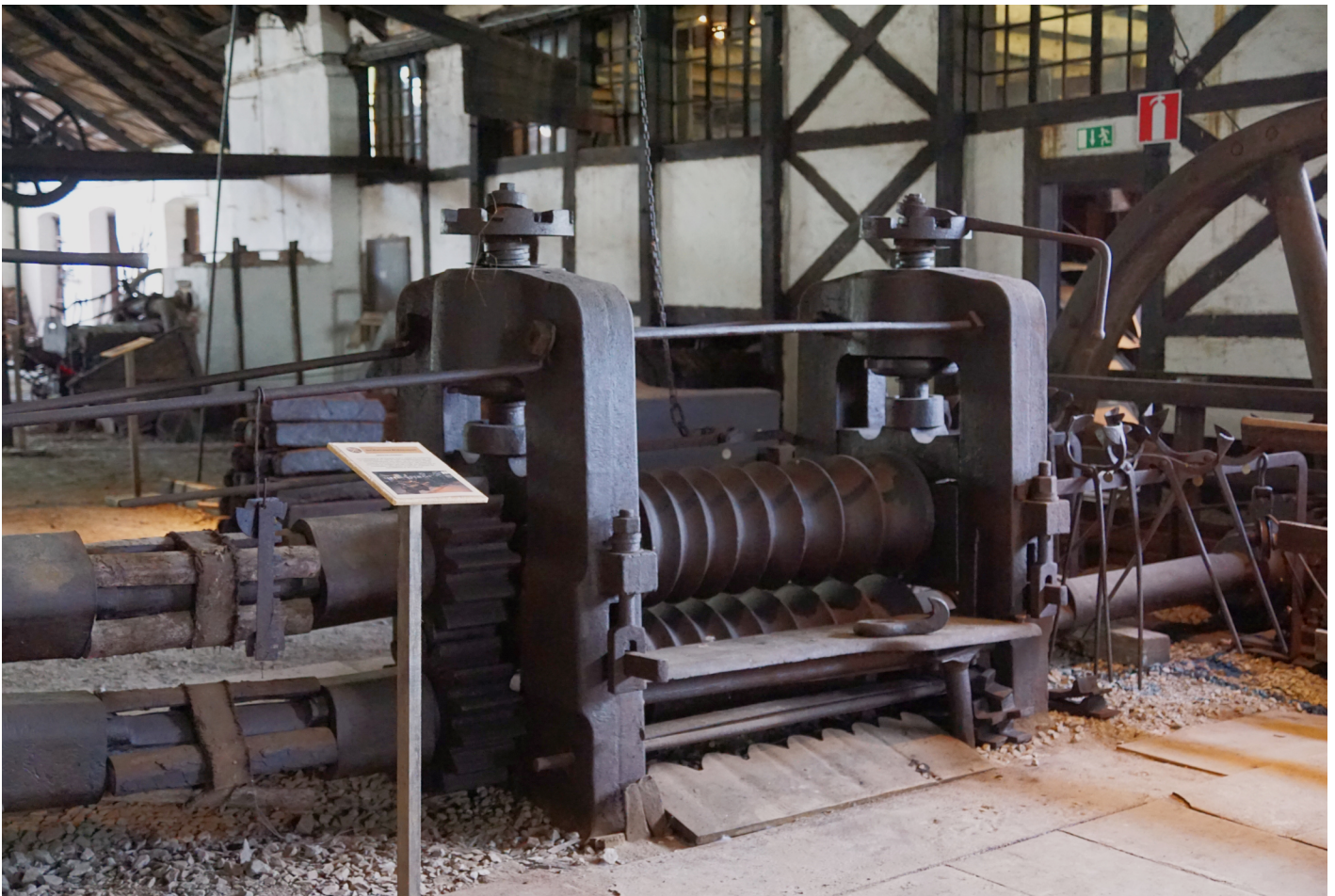
Ämnena kallas slabs, blooms eller billets beroende av deras storlek och form. Slabs har rektangulärt tvärsnitt och är avsedda för plåtvalsning, blooms och billets har båda kvadratisk tvärsnitt. Blooms är för valsning av balkar och räls samt medan billets är för trådvalsning.

Numera går det mesta stålet genom stränggjutning, endast en tiondel gjuts till göt. Göt kan behöva användas om man måste tillverka extra stora klumpar av stål eller för vissa stålqualiteter som inte kan gjutas i sträng.

Valsning

För 150 år sedan och mer smiddes det producerade stålet (eller järnet) till stångjärn, den leveransform stålet fick. Smidet var en tids- och arbetskrävande och blev en dyr process men det hade en fördel, det var billigt att skaffa sig en smideshammare. Det gick ganska bra så länge som järnbruken inte producerade så mycket stål men när särskilt lancashireprocessen började användas behövdes en rationellare stångjärnstillverkning.

Valsverket var lösningen på problemet. Valsverket består av ett antal valsstolar med två valsar vardera som stålämnet valsas (manglas) flera gånger för att gradvis minska yttermättet. Valsning är en plastisk bearbetningsmetod och fungerar som en pastamaskin. Med en deg kan man göra band, spagetti eller plattor.

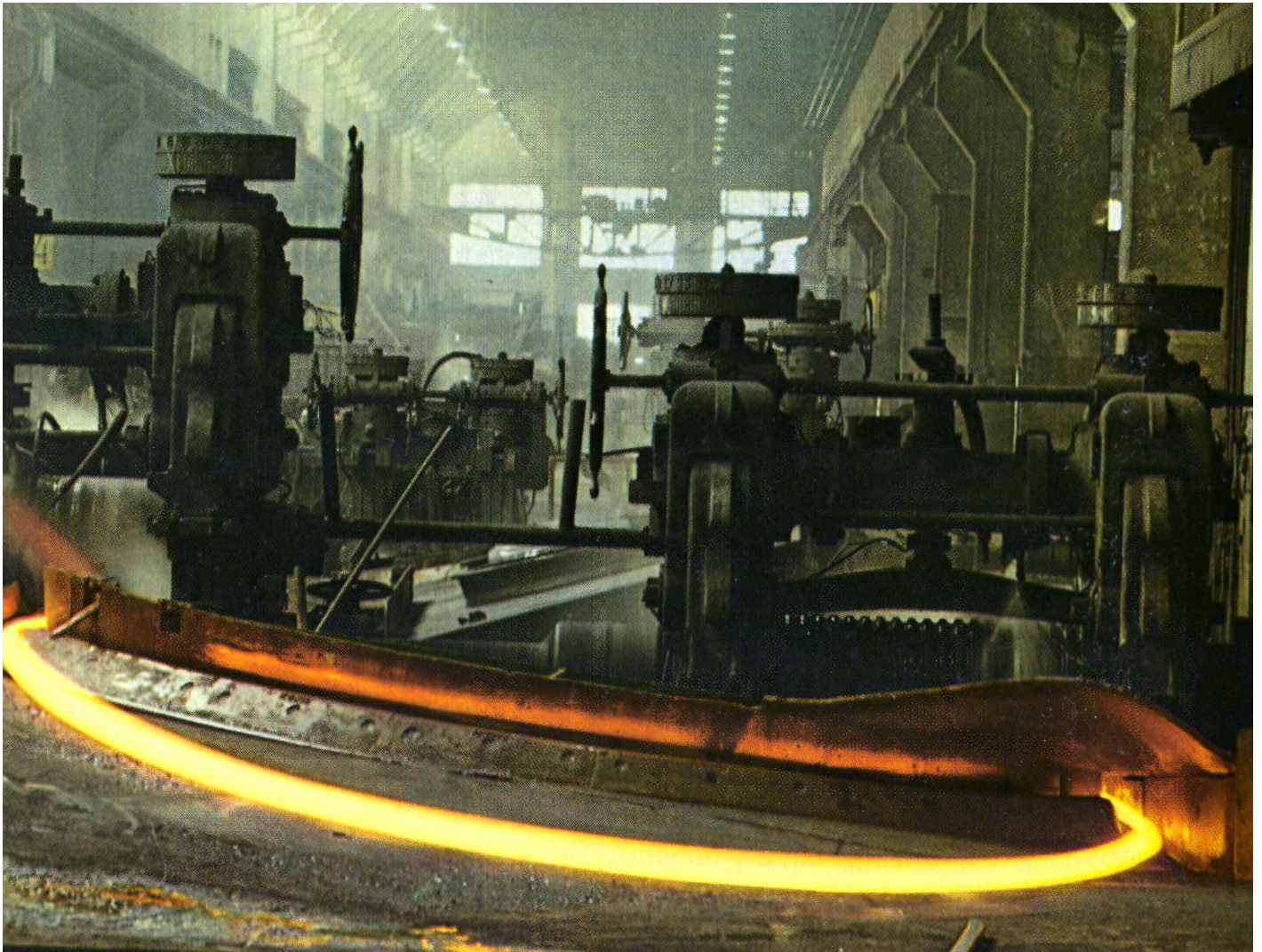


Valsstol i Surahammars bruksmuseum. Se på spåren i valsarna hur ämnet kommer att minska i storlek från höger till vänster.

Valning av stål kan göras med glödande material, omkring 1000 °C, eller med rumstempererat stål. Det först nämnda kallas varmvalsning och det senare kallas kallvalsning. Varmvalsning används oftast när det gäller grova tvärsnitt som grovplåt för varvsindustri, balkar för byggnadsindustri, grova rör eller järnvägsräls. Medan det varmvalsade materialet svalnar oxiderar ytan och det bildas glödska som gör ytan något skrovlig. Kallvalsning används till tunnplåt, tunna band eller klena rör och ger fina ytor. Med polerade valsar och smörjning av valsytorna kan man nästan uppnå spegelglans på valsade produkter.

Spårade valsar använde för att långa produkter som ska ges särskilda tvärsnittsprofiler. Ämnet valsas i flera steg. Först reduceras tvärsnittet och sedan har öppningen i spåren mellan valsarna utformats så att de blir mer och mer likt den önskade tvärsnittsprofilen. Efter ett antal passager mellan spåren i valsarna har materialet successivt fått den önskade formen. Valsning kan göras kontinuerligt, i en valsriktning, eller reversibelt då ämnet går fram och tillbaka mellan valsarna. Plåtvalsning brukar genomföras reversibel medan tråd- och profilvalsning gärna utförs kontinuerligt särskilt om det är stora volymer eller hög valshastighet.

Merparten av valsverk har en blandning av reversibel och kontinuerlig valsning. I början av valsningsprocessen när ämnena är stora och valshastigheten låg är det reversibel valsning och i slutet kontinuerlig valsning.



Trådvalsverk i Fagersta bruk 1967. Foto Pål-Nils Nilsson.

Industrins historik

När järnhanteringen började i Sverige var omfattningen obetydlig och investeringarna mycket små. Det är kanske fel att tala om en industri men det var ändå så de första vacklande små stegen började. Rödjord, myr- och sjömalmsamlades in och hanterades i blåsterugnar som i stort sett bestod av gropar i marken. Produktionen av järn var då en rent lokal fråga.

Under medeltiden när kungamakten stärktes blev det klarare att konungen, det vill säga staten, ägde alla naturtillgångar oberoende av vem som ägde marken där naturtillgångarna fanns. Järnråvaran hade då bytts mot malm som bröts i dagbrott eller gruvor. Det krävdes då ett kungligt privilegium, kallat bergsprivilegium, för rätt att bryta malm och tillverka tackjärn på sitt hemman. Tackjärnet såldes därefter till järnbruk som då även kallades hammarsmedjor. Där färskades järnet och smiddes till stångjärn. Det snålades inte med privilegiebrev, tvärtom var kungarna mycket intresserade av att det producerades mycket järn som kunde

exporteras. Privilegiebrevet angav noggrant villkoren som brukaren hade att rätta sig efter, ersättningen till kronan, hanteringen av järnet och till och med brukarens skyldighet att producera järn. Det följde med ytterligare saker med bergsprivilegiet, innehavaren slapp rustningstjänst och kom att tillhöra ett geografiskt område, bergslag, som fungerade som en enklav i Sverige med egen lagstiftning och delvis eget rättssystem. Det hela övervakades av en myndighet, bergmästardömet.

På den tiden var det inte bara privilegierna som behövdes, fyra andra saker var oundgängliga, en gruva, en masugn, en bäck eller å med ett fall som kunde driva ett vattenhjul. Vattendraget måste vara lagom stort för att leverera tillräckligt med vatten men inte för stort då någon vårflod riskerade radera både damm och hytta som masugnen då oftast kallades. Sist men icke minst skog, massor av skog. Malmen bröts med tillmakning, stora mängder ved staplades mot bergväggen och antändes. När veden brunnit ett eller ett par dygn hade berget spruckit och gjort det möjligt att bryta loss bergstycken. Det var först i slutet av 1700-talet som man började att spränga med hjälp av krut i gruvorna. Enorma mängder ved gick även åt för att tillverka den träkol som behövdes till hyttan. Allt måste ligga i närheten av varandra, transporter var besvärliga då endast kärror eller slädar dragna av oxar eller hästar var tillgängliga. Vägar var oframkomliga på vår eller höst, på sommaren var vägarna svårframkomliga med djupa hjulspår eller stora hindrande stenar. Vintern var den bästa tiden, då färdades man med slädar på de frusna sjöisarna.

Ägandet av gruvor, hyttor och även hammarsmedjor var organiserat i ett andelssystem, vanligtvis åtta andelar. Till en början ägde varje delägare endast en andel men så småningom började andelar säljas och köpas. Varje andel fick bruka gruvan och masugnen en förutbestämd tid på året. Andelsägaren bröt sin egen malm, kolade eget träkol, skaffade egen kalksten, skötte hyttan själv och göt sitt egna tackjärn.

Regelsystemet skapade i praktiken ett femte stånd i Sverige bergsmännen fast de ej var inblandade i rikspolitiken. Bergsmannen var innehavare av ett bergsprivilegium. Bergsmannen får man betrakta som en storbonde som med sitt husfolk halvtid jobbade som bonde och halvtid som järnfabrikör. Eftersom järn gav ganska stora inkomster blev en del bergsmän rika och rustade upp sina bergsmansgårdar till riktiga skrytbyggen.

I mitten av 1500-talet satte Gustav Vasa ordentlig fart på den svenska järnframställningen genom att få yrkeskunniga tyska smeder att flytta till Sverige och genom att anlägga kronobruk och hammarsmedjor som ägdes av staten. Då började Sverige att dominera stångjärnställverknigen tack vare kunnande, träkol och föroreningsfria järnmalmer. Kronobruken arrenderades ofta ut men under första hälften av 1600-talet såldes de till rika adelsmän eller handelsmän. I flera fall härstammade handelsmännen från Holland och Vallonien (i nuvarande Belgien).

Allt eftersom staten sålde sina kronobruk ville man öka styrningen av järnindustrin. Detta gjordes genom en 'systematiserad lagstiftning och ämbetsmannamässig administration'. År 1637 inrättades en central myndighet som fick namnet generalbergsamtet men namnet ändrades 1649 till Bergskollegium. Politiken känns modern även nu, drygt 350 år senare.

Bergskollegiet utformade kompetenskrav för smeder och masmästare och förbjöd bruksägare att anställa dem som inte nått kompetenskraven. Bergskollegiet styrde också organisationen av den svenska tillverkningen av järn. I bästa byråkratiska ordning beslutade Bergskollegiet i alla små detaljer som ingick i järntillverkningen, priser på stångjärn och träkol. Bruken tilläts inte konkurrera om arbetare och bergskollegiet satte högsta tillåtna löner för arbetarna samt preciserade för varje bruk deras högsta tillåtna produktion av stångjärn. Järnet skulle också passera genom de officiella järnvågarna så Bergskollegiet hade ständigt koll på produktionen vid de enskilda bruken och kvalitén på deras järn. Det fanns exempelvis järnvräkare som kasserade dåligt järn. Allt stångjärn skulle vara märkt med tillverkarens stämpel för att göra kontrollen fullständig. Vid varje regelöverträdelse kunde syndaren identifieras.

Bergskollegiet gynnade också olika metallproduktioner olika beroende på hur viktiga de var ur statens synpunkt. Viktigast var silvertillverkning därefter koppar, sedan järn. Det var ett mirakel att svenska järnbruk blev så framgångsrika med ett så hämmande regelsystem.

På 1730-talet sjönk priset på järn så kraftigt att järnbrukens existens var hotad. Järnexporten var så viktig för Sverige att myndigheterna försökte rädda situationen men resultatet blev klent. Ungefär tre fjärdedelar av den

svenska exporten bestod av stångjärn. Bruksägarna bildade då en organisation, Jernkontoret, som skulle bistå bruken med hjälp och utveckling för bruken. Jernkontoret stadfästes år 1747 av kung Fredrik I. Det skulle arbeta för att få skäligen priser på järn, eventuellt genom stödköp, samt ge ekonomiskt stöd till bruk och järnhandlare. Jernkontoret skulle också verka för utveckling och kunskapsöverföring till bruken. Jernkontoret blev Sveriges första branschorganisation. Under slutet av 1700-talet hade krisen passerat och man beskriver den tiden som järnets guldålder i Sverige.

Redan i mitten av 1700-talet märkte man inom samhällsapparaten att veden i Sverige höll på att ta slut. Järntillverkningen ökade och allt större områden runt gruvor, hyttor och smedjor var kalhuggna samtidigt som bostädernas öppna spisar förbrukade orimligt mycket ved. Om man inte eldar en öppen spis med en jättekraftig flamma så att man får mycket värmestrålning till rummet blev det kallare i rummet på grund av att varmluften går åt till förbränningsluft som sedan går ut genom skorstenen.

I början av år 1767 fick Carl Johan Cronstedt och Fabian Wrede ett officiellt uppdrag att konstruera en spis som använde veden mer ekonomiskt. På hösten samma år presenterades den svenska kakelugnen som har en rökgång som slingrar sig fram genom en stor mängd kakel. Det mesta av rökens värmeenergi överförs till kaklet som i sin tur värmer rummet långt efter det att brasan slocknat och på det sättet sparar mycket ved.

Det fanns också anledning att spara på träkolsanvändningen vid järnframställning. Trækol var dyrt och gjorde även stångjärnet dyrare än nödvändigt. Dessutom undvek torpare och småbönder att kola och transportera trækol eftersom de ansåg att det var för dåligt betalt. Det var en hotande kolbrist för hyttor och smedjor. Bergsmän och ägare till smedjor köpte skogar för att med egen personal ta fram kol men det löste inte helt problemen. Kort sagt svenskt stångjärn var dyrt och tyvärr var det ojämnt i kvaliteten. Den tekniska



Gammal bergsmansgård i Pershyttan. Märk skorstenen som var karaktäristisk för bergsmansgårdar.

utvecklingen ökade järnets kvalitet men det krävdes allt större investeringar för att följa med i utvecklingen. Svagheten i systemet med små hyttor och många delägare blev uppenbart i mitten av 1800-talet då engelsmännen på allvar hotade den svenska ställningen på järnmarknaden. Det saknades både vilja och pengar att förbättra järntillverkningen och den första stora krisen för järnindustrin kom med stormsteg. Entreprenörer, ofta utländska, började arrendera järnbruken och produktionen av stångjärn ökade. Så småningom köpte arrendatorerna även de bruk de arrenderade.

År 1859 togs alla speciallagar om tackjärns- och stångjärnstillverkning bort och därmed försvann

bergsmännen från scenen. Det krävdes inga bergsprivilegier längre för att bryta malm och tillverka tackjärn. Hela järnhanteringen privatiserades samtidigt som grunden lades för de stora företagen. Bergskollegiet upplöstes och en ny myndighet, Bergsstaten, såg dagens ljus. Bergsstaten utdelar endast tillstånd för mineralprospektering och brytning av malm. Bergskollegiets övriga arbetsuppgifter försvann till största delen i avregleringen men de få uppgifter som blev kvar övertogs av Kommerskollegiet. En stor del av det planekonomiska systemet försvann då.

Under 1870-talet slog priskonkurrensen till ordentligt och små hyttor och smedjor såldes, förändrades eller lades ned. Alla bergsmansägda hyttor och smedjor försvann. Man talade om den stora bruksdöden härjade vilt. Engelsmännen och i viss mån ryssarna hade lärt sig att tillverka kvalitativt järn med annat kol än träkol. Det svenska vallonjärnet kunde dock inte överträffas och det stod köparna i kö efter. Stundtals betalades vallonjärnet dubbelt mot vad som gavs för övrigt järn. Järnbruken byggde större enheter som hade bättre resurser att utveckla järntillverkningen, investera och öka produktionen.

En del enheter bytte också verksamhetsområde. Det hade växt fram en efterfrågan på papper och de utkonkurrerade hyttorna och smedjorna ägde ju fortfarande forsen och skogarna. På ett flertal platser, framför allt i Värmland byggdes bruken om till träsliperier för att tillverka pappersmassa i stället. Det sades ibland att bruken sjönk med järnet och flöt med hjälp av träet.

I slutet av 1800-talet började de kvarvarande bruken övergå till götstålprocesserna vilket var en lättnad för bruksarbetarna, arbetet var mycket mer ansträngande med smidet. Det hade dessutom varit omöjligt att öka produktionen mot den starkt ökande efterfrågan på stål om man behållit smidet. Det var martin-, bessemer- och thomasprocesserna som blev populära. Genom att färskningen inte förbrukade något dyrbart träkol minskade kostnaden för ståltillverkning och återigen var Sverige inne på banan.

Det gick emellertid inte snabbt att vända blad. Teknikskiftet tog flera tiotals år att genomföra. Vallonsmidet och lancashiremetoden användes länge, på 1940-talet var metoderna fortfarande använda på några enstaka bruk.

Efter 1945 kom den svenska stålindustrin, liksom övrig svensk industri, in i en verklig guldålder. Allt vi kunde producera såldes. Vi hade en fungerande industri, industrin i den övriga världen med undantag av USA var sönderbombad. Vårt enda problem var att finna yrkesarbetare. Tack och lov fanns det arbetslösa stålverksarbetare i Mellanuropa och södra Europa som var villiga att flytta till Sverige.

Illa skötta företag gjorde vinster, i välskötta företag blev vinsterna fabulösa. Efterfrågan på stål bara ökade och på nytt trodde vi att det här tillståndet skulle vara för evigt. Det här trodde man också på i andra länder. Den raserade stålindustrin återbyggdes och de som inte haft stålindustri tidigare byggde nytt. Hux flux blev det en gigantisk överproduktion av stål och priserna sjönk kraftigt i den lågkonjunktur som följde på oljekrisen 1973. Man gjorde förlust på varje kilo sålt stål och på 1970-talet sprack stålbubblan i Sverige.

Man delar också in stål i två typer, handelsstål och specialstål. Handelsstål är låglegerade stål med en standardiserad sammansättning och standardiserad form som balkar, profiler och plåt. Kort och gott stål med stora användningsområden. Det är stål som stålverken producerar utan att det är beställt för man vet att det ändå kommer att säljas. Specialstål är allt annat stål, ofta med speciella egenskaper och särskilda användningsområden. Det lagerhålls i mindre utsträckning och tillverkas på beställning. Specialstålen brukar ofta vara patentskyddade och det finns tusentals olika typer. Inom handelsstålen blev överproduktionen särskilt stor.

I mitten av 1970-talet var läget för svenska stålindustrin verkligen kritisk, så gott som alla stålverk gick med förlust och vissa var konkursmässiga. Investeringarna hade legat på en låg nivå under flera år och stålverken var både slitna och omoderna. Undantaget var det statliga Norrbottens Järnverk (NJA) i Luleå som skulle byggas ut kraftigt. Projektet kallades Stålverk 80. Utbyggnaden stoppades 1976 då den bedömdes vara helt olönsam. En offentlig utredning, Handelsstålutredningen, studerade stålindustrin och föreslog åtgärder. Utredningen lämnade sitt betänkande 1977 som innehöll förslag till ny organisation av handelsståltillverkning. Riksdagen beslutade enligt förslaget och Svenskt Stål AB (SSAB) bildades 1978 och övertog stålverksamhet från Norrbottens Järnverk, Gränges AB och Stora Kopparbergs Bergslags AB. Gruvor som ingick lades ned förr eller senare, de flesta med detsamma men Grängesbergs och Dannemora gruvor lades ned ungefär tio år senare. Mindre tillverkningsenheter lades ner och investeringar riktades till färre orter

och färre produkter. I början av 1980-talet började SSAB ge vinst och Gränges och Stora Kopparbergs andelar löstes in. År 1989 börjades bolaget och tre år senare sålde staten sina aktier.

Fortfarande är det överproduktion av stål i världen och olika länder har försökt skydda sin stålindustri med tullar och importkvoter med varierande framgång. Det har emellertid inte varit någon djup industriell lågkonjunktur så att problemen varit hanteringsbara och hållbarheten hos den nya organisationen har egentligen aldrig prövats ordentligt.

När det gäller specialstålen har stålkrisen under 1970-talet inte medfört några katastrofer utan svårigheterna har varit mindre uppseendeväckande. Det beror delvis på att konkurrentländerna först och främst utvecklade tillverkningen av handelsstål och att de svenska stålverken hade varit duktiga på att utveckla nya ståltyper. Fortfarande utvecklas nya produkter och man vet att segraren i tävlingen tar den ojämförligt största vinsten, de övriga deltagarna delar på smulorna.

Museer

Verksamma järn- och stålverk har i allmänhet egna museer eller utställningsrum där de visar sin historia och presenterar sin moderna teknik. De brukar inte annonsera den verksamheten men brukar oftast ta emot besökare efter förfrågan. Vid nedlagda bruk och anläggningar finns på ibland musei- eller besöksverksamhet som organiseras av kommuner, hembygdsföreningar, lokala intresseorganisationer eller ideella föreningar. De små föreningarna brukar inte vara så duktiga på att marknadsföra sig men information kan ofta fås genom de kommunala turistinformationerna. I västra Bergslagen har det skapats en stiftelse som har tagit på sig att stödja besöksmål med anknytning till järnets historia. Stiftelsen heter 'Ekomuseum Bergslagen'. Trots namnet har den inget eget museum utan den knyter samman lokala museer och sevärdheter, informerar om och marknadsför lokala arrangemang. Kommunerna tillsammans med läns museerna i Dalarna och Västmanland är stiftare i Ekomuseum Bergslagen.

Miljöfrågor

Järn- och stålframställning har i alla tider haft slagg som avfallsprodukt. I slaggen har det samlats ämnen som är oönskade i stålet som exempelvis svavel och fosfor liksom allehanda metaller som följt med järnmalmen. Riskabla tungmetaller som bly och kadmium förekommer i mycket små mängder. Slaggen binder metallföreningarna mycket hårt och det är det är obetydliga mängder av de ämnena som frigörs från slaggen genom urlakning.

En del slagger kan ersätta krossat berg vid exempelvis vägbyggen utan att släppa ifrån sig mer vådliga ämnen än bergkrosset gör. Vissa slagger kan hårdna som cement och används ibland tillsammans med cement för byggnadsändamål. I stort sett orsakar slaggerna inga miljöproblem utom att de skapar små berg i naturen där de deponeras.

Medan träkolsmasugnar användes brukade man ofta gjuta slaggsten av slaggen som användes till byggnader som tegel. Slaggsten är ett mycket färgrikt, ofta i blå eller gröna nyanser, och hållbart material för ytterväggar. I Bergslagen finns numera fortfarande åtskilliga byggnader med murar av slaggsten.

Gaser från ugnar och konvertrar för med sig stoft i små partiklar som alstras genom processen i ugnen. De flesta processer allt ifrån masugnen, färskningen till ljusbågsugnar lämnar oförbrända kolpartiklar, små metall droppar, stänk från den flytande slaggen och metalloxider. Förr accepterades sotig luft i järnverket och det omgivande samhället men inte nu. Numera används effektiv stoftavskiljning innan gaserna släpps ut i luften. Det stoft som samlas är besvärligare att bli av med. Det är små partiklar med tillsammans en stor yta som kan släppa ut skadliga ämnen så det är olämpligt att direkt lagra dem utomhus. Beroende på innehållet kan regnvatten laka ut metaller ur stoftet. Metallerna är normalt sett inte vådliga men kan oxideras och börja vandra runt i naturen med skadlig verkan. Om stoftet innehåller värdefulla metaller är det säkert lönsamt att extrahera dem. Ska stoftet deponeras görs det tillsammans med slagg och gärna tillsatt kalk som på sikt binder metallerna i kalciumföreningar som är olösliga i vatten. Dessutom kan man lägga ett vattentätt tak ovanpå deponin för att riktigt vara på den säkra sidan.

Om så kallat köpskrot, till exempel bilskrot, används i ugnarna krävs noggrann övervakning av processen eftersom det kan föra med sig organiskt och klorhaltigt material som riskerar omvandlas till dioxiner. Det är

giftämnen och antas påverka levande organismer på skadliga sätt samt dessutom ofta är cancerogena. Viktigt att se till att förbränning av organiskt material i ugnarna blir fullständig och att rena avgaserna.

Det större problemet med förorenande lakvatten finns egentligen vid gruvorna och varphögarna. Det vill säga högarna av berg som sorterats bort från malmen. Där finns det alltid små mängder av mineraler kvar. De är ofta olösliga i vatten men oxideras av luftens syre och kan därvid övergå till ämnen som är lösliga i vatten. Ämnena kan då lakas ut och förorena vattendragen. Därför samlar man upp lakvattnet i dammar och renar det från förorenande ämnen.

Vid sidan av sotet kring ett järnverk bullrade det förfärligt mycket, speciellt när järnet smiddes under färsknigen. Dånnet måste ha varit mer än öronbedövande. Alla berättelser från forna dagar beskriver ju smeder som praktiskt taget döva. Men det var väl som med sotet, det fanns med som ett oundvikligt ont i järnframställning. En företeelse är dock en smula märklig. Fornas dagars brukspatroner brukade ofta bygga sin herrgård alldeles intill brukets hammarsmedja. Älskade de att höra hammardånnet eller var de redan döva?



Vägg som till undre delen är murad med slaggsten. Se hur tegelväggen är i betydligt sämre skick.

Allteftersom produktionen av järn ökade i Sverige måste vi skövla skogarna för att få fram träkol. I slutet av 1700-talet började kolbristen bli akut. Jättestora områden runt hyttor och smedjor var kalhuggna och transporter av träkol blev allt längre. Hundra år senare hade nya metoder minskat behoven av träkol och skogarna återhämtade sig själva så att miljöskadan blev inte så stor. Numera avverkar vi endast för att tillverka bräder och papper men det finns tänkare som vill göra bilbränsle av skogen.

I dessa tider när vi ska minska mängden producerad koldioxid har järn- och stålindustrin placerats i ett mycket besvärligt läge. I masugnen ska två syreatomer i järnoxiderna bindas ihop med en kolatom och bilda en molekyl koldioxid men det går också åt kol för att värma processen och dessutom löser det smälta järnet

för mycket kol. Detta överskott behöver eldas upp vid färskningen. Det finns små möjligheter att spara på kol. Alternativet är att sluta tillverka stål. Våra politiker hävdar dock att ett högre pris på koloxidutsläpp löser problemet. Så länge som stål måste användas kommer effekten endast att bli dyrare bilar, höghus, broar och järnvägar. Den gamla direktreduktionsmetoden sparar en del kol men den är långsam. Det krävs nya framställningsprocesser för stål.

Vattenfall, LKAB och SSAB har nyss bildat ett forskningssamarbete, vilket redan är omnämnt på sidan 10, där försök görs att reducera järnmalmen med hjälp av vätgas. Vätgasen ska framställas genom elektrolys av vanligt vatten. Tidigare processer med direktreduktion som också har resulterat i järnsvampstillverkning har grundats på reduktion i en gasblandning av vätgas och kolmonoxid. Det revolutionerande i det nya projektet är användning av enbart vätgas för att reducera koldioxidutsläpp till ett absolut minimum.

Projektet verkar intressant men det tar säkert åtskilliga år att bygga en produktionsanläggning. Lyckas det kan kolåtgången i järnframställningen reduceras betydligt. Enda kruxet är väl hur vi ska producera den elenergi som behövs för elektrolys och uppvärmning utan att använda kärnkraft eller koleldade kraftverk.

Nu ska man inte tro att ett koldioxidfritt framställningssätt av järn innebär att stålframställning blir fritt från koldioxidemissioner. För det första är det viktigaste legeringsämnet i stål just kol, stål innehåller upp till 2 % kol. Justering av kolhalten sker i flytande stål, vid för hög halt eldas kolet upp med hjälp av syrgas och för låga kolhalter kompenseras med tillsats av gjutjärn eller kolpulver. I båda fallen avgår alltid en liten mängd kol som koldioxid.

I de fall stål ska upphettas eller smältas i en ugn och stålet måste skyddas mot oxidation eller att tillsatsämnen ska skyddas mot oxidering måste ugnens atmosfär vara reducerande, det vill säga rent från syrgas. Detta ordnas bäst genom att elda ugnen eldas med gas, antingen naturgas eller gengas, och ett syrgasunderskott så att det finns ett lätt överskott av kolmonoxid. Ugnen kommer då att lämna koldioxid i sina avgaser. De ugnar som lämnar den minst mängden koldioxid är induktionsugnen och den motståndsuppvärmda elektriska ugnen men det är de långsammaste ugnarna och används bara för att värma mindre detaljer vid härdning och anlöpning.

Ljusbågsugnen är numera mycket vanlig för att smälta stål och gjutjärn för sin snabbhets skull är tyvärr inte heller koldioxidfri. De mycket höga temperaturen i ljusbågen och stora strålningsvärmen sliter hårt på grafitelektroden som försvinner som koldioxid. Luften strömmar ju inte genom ugnen men avgaserna innehåller koldioxid. Ska en sådan ugn göras koldioxidfri måste man fånga in koldioxiden i avgaserna men det finns nu ingen teknik färdig för detta.

Ur klimatsynpunkt är det nog mest angeläget att försöka ta bort masugnsprocessens stora kolförbrukning.