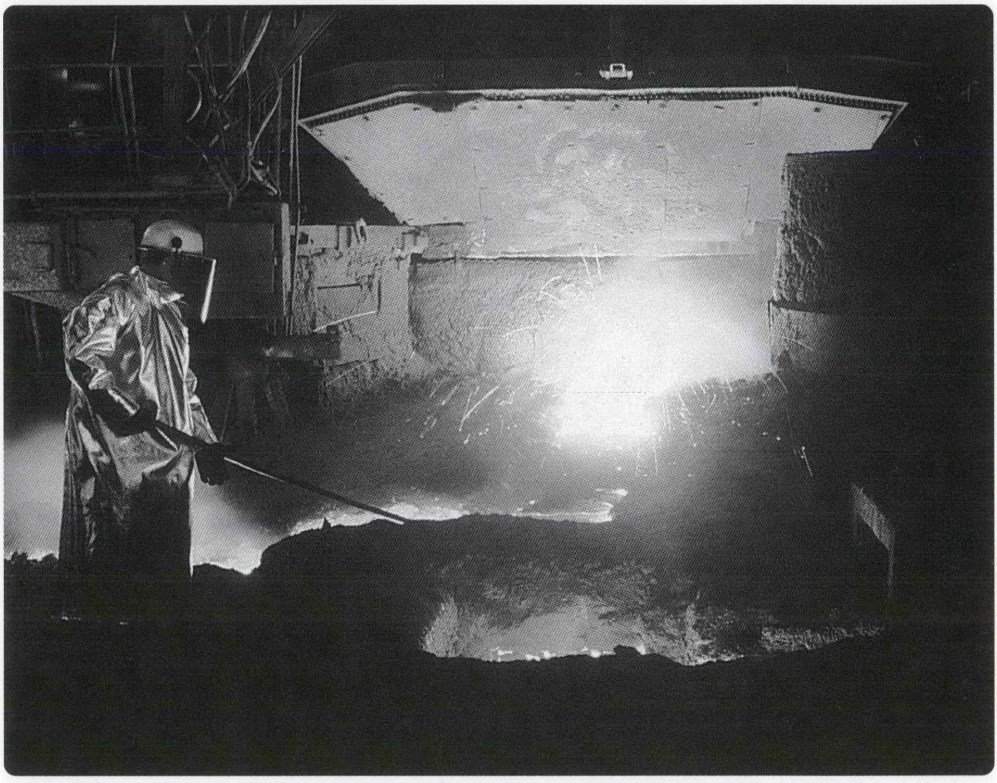
Modern järn- och stål-framställning

Av Joachim von Schéele

Människan har tillverkat järn i ca 4000 år. Den storskaliga tillverkningen av stål är dock av långt senare datum. Denna börjar ske i under andra hälften av 1800-talet, vilket dock inte innebär att dagens stålsorter fanns då, långt därifrån. De flesta av dagens stålsorter är i sin utveckling mycket sentida, och mångfalden är stor. I Tyskland finns över 2000 stålsorter standardiserade, var och en med sina egenskaper. Som ytterligare exempel kan nämnas att av de stålsorter som används i avancerade tillämpningar, existerade inte närmare hälften för fem år sedan. Varje år tillverkas i världen storleksordningen 750 miljoner ton stål i form av halvfabrikat för valsning eller smidning. Av allt stål som någonsin har producerats i världen, har över hälften producerats efter år 1970, ett svindlande faktum som säger mycket om den sentida utvecklingen. Då är även att märka, att utvecklingen av stålets egenskaper har gjort att nyttan av dagens stål, t ex per kg, vida överstiger nyttan av det stål som producerades för exempelvis 50 år sedan. Den fantastiska utveckling som järn- och stålframställningen genomgått de senaste 100 åren, med allt mer kvalificerade produktegenskaper och allt större produktionsvolymer, har möjliggjorts genom revolutionerande omvälvningar inom tillverkningstekniken. Detta gäller särskilt för tiden från 1950-talet och framåt, och inte minst under de senaste 15–20 åren.

Under en femtonårsperiod från mitten av 1960-talet och framåt, skedde i Sverige en slutlig utfasning av klassiska järn- och stålframställningsprocesser: den sista träkolsmasugnen, i Svartå, blåstes ned 1966; sista blåsningen i en thomaskonverter skedde på NJA i Luleå 1972; martinprocessen slutade användas 1981, den sista basiska ugnen var i Boxholm och den sista sura i Sandviken. Utöver dessa kan nämnas att Kaldo-processen slutade att användas 1981 och att det under



Tappning av råjärn från SSAB Tunnplåts masugn I i Luleå. Foto Karin Larsson.

perioden också kunde noteras OBM-processens uppgång (1974) och fall (1981). Andra processer hade utvecklats snabbare och i bättre harmoni med omgivningens krav och nya processer hade tillkommit efter andra världskriget.

Stålindustri är en kapitalintensiv bransch, vilket i viss utsträckning styr utvecklingen av produktionstekniken. Vi får alltså starka drivande krafter för att genom olika åtgärder öka produktionen i befintliga produktionssystem och att integrera processteg. För att minska utsläppen från produktionssystemen pågår också, förutom förbättring av reningsteknik, en utveckling mot fler interna sekundärflöden. Med avstamp i historien, ges i denna uppsats exempel på hur tekniken för att producera stål har förändrats under senare tid. Utgångspunkten för framställningen har varit ett svenskt perspektiv, vilket inte hindrar att en global utveckling beskrivs. Väsentliga trender och betydande teknikbyten diskuteras. Det är fascinerande att kunna konstatera den stora omfattningen av svenska bidrag, som genom åren påverkat järn- och stålframställningens utveckling, och dessutom veta att här nämns endast ett axplock.

Järnframställning

MASUGNEN

Masugnen har sina rötter i medeltiden och utformningen har i grunden inte förändrats över tiden. Anledningarna till detta är främst hög produktionskapacitet, högt energiutnyttjande, mycket god avsvavling, samt en produkt, flytande råjärn, som är synnerligen lämplig att omvandla till stål. Genom sin utformning som en motströmsreaktor, där beskickningsmaterialet under sin väg ned genom ugnen möter uppåt strömmande gas, fås ett effektivt energiutnyttjande i processen; gasen har nere vid formnivån en temperatur i storleksordningen 2200°C, medan den utgående toppgasens temperatur är något över 100°C.

Masugnen har utvecklats starkt de senaste årtiondena, och vi kan utan att överdriva säga att den moderna, avancerade masugnen endast har funnits de senaste 20 åren. Utvecklingen har skett inom många områden: förbättrade beskickningsmaterial; lägre åtgångstal för reduktionsmedel; avancerad processtyrning; längre livslängder; högre produktion. En modern masugn kan producera 10.000 ton råjärn per dygn, vilket motsvarar fyra miljoner ton per år. I Sverige finns idag fyra masugnar, två i Luleå och två i Oxelösund. Dessa producerar tillsammans mer än dubbelt så mycket som de 28 masugnar som var i drift 1960. År 1995 var världsproduktionen av råjärn 526 miljoner ton.

Trenden mot allt större masugnar kulminerade i mitten på 1970-talet med ugnar med en innervolym i storleksordningen 5000 m^3, motsvarande en produktionskapacitet på 4–4,5 miljoner ton råjärn per år. Det kunde då konstateras, att ytterligare storleksökningar inte skulle bidra till förbättringar i form av lägre snittkostnader eller flexibilitet vad gäller styrning och ledning respektive produktion. De s k oljekriserna under 1970-talet hade stort inflytande på kostnaderna att producera järn. Primärt har det lett till åtgärder för att minska energianvändningen per ton producerat råjärn. Åtgärderna inbegriper därför huvudsakligen metoder, antingen direkt tekniska eller styrningsmässiga, för att öka produktionen och minska slaggmängden.

Kolinjektion

En av de viktigaste förändringarna av masugnsprocessen under de senaste decennierna har varit injektion av reduktionsmedel via formorna. Olja, tjära, naturgas och kolpulver har injicerats. Kolinjektion i masugnar började att utvecklas i USA under slutet av 1950-talet, men fram till ca 1980 var det endast en handfull masugnar i västvärlden som använde tekniken. Utvecklingen har accelererat de senaste 10–15 åren med allt fler injektionsanläggningar, förbättrad teknik och allt större injektionsmängder. Genom injektionen kan man dels ersätta dyr koks med billigare kolpulver och därmed stänga koksbatterier, dels styra ugnen snabbare än med koks. År 1989 var antalet masugnar i västvärlden som använder kolinjektion uppe i 65. Under 1990-talet har denna utveckling fortsatt.

När kol, eller t ex olja, injiceras, sjunker flamtemperaturen, vilket begränsar injektionsmängden till ca 100 kg kol eller ca 50 kg olja per ton råjärn. Det finns dock möjligheter att avsevärt höja den möjliga injektionsmängden genom att syreberika bläs-

terluften och genom att öka blästerluftens temperatur. Även om det har visat sig framgångsrikt att använda en högre blästertemperatur, upp till 1600–1700°C mot normalt ca 1100°C genom t ex plasmavärmning, har syreberikning blivit den vanligast förekommande lösningen. På detta sätt har på flera stålverk etablerats körsätt med injektionsmängder på ca 200 kg kolpulver per ton råjärn, vilket ger en i det närmaste motsvarande minskning av koksbehovet. Masugnarna i Sverige injicerar f n upp till 150 kg kolpulver per ton råjärn.

Syrgasmasugnar

Ju högre syreberikningen av blästern är, desto mer koks kan bytas mot injicerat kolpulver. Ett sådant förfarande ger också upphov till en högre produktion i ugnen. Drivkrafterna för ökad syreberikning är alltså starka, och tankarna på att helt byta ut luften mot syrgas är etablerade, och därmed vad som kommit att kallas en syrgasmasugn. Detta har dock ännu inte kunna genomföras, framförallt pga den termiska begränsning som uppstår i processen då kväve byts mot syrgas.

Blästerluftens kväve har ingen betydelse för det kemiska förloppet i masugnen. Det inerta kvävet fyller dock en viktig funktion som värmetransportör i ugnen; det varma kvävet överför värme från ugnens nedre del till beskickningen i schaktets övre del. Detta faktum begränsar strävan mot allt högre injektionsmängder av kolpulver då det kräver en allt högre syreberikning av blästern och således ger allt lägre kväveinnehåll. Vi kan då riskera att få en masugn som är för varm vid formnivån och för kall i schaktets övre del.

Sedan 1978 har ett flertal olika förslag till utformning av en syrgasmasugn lagts fram i Tyskland, Kanada, Japan, Kina och Sverige. De fyra förstnämnda är att betrakta som "äkta" syrgasmasugnar där endast syrgas, och därmed ingen luft, tillförs processen. De lösningar på problemet med processens värmebalans som har föreslagits inbegriper olika kombinationer av återföring av toppgas och injektion av denna och syrgas på olika nivåer i ugnen. Ingen av dessa lösningar har ännu realiserats i kommersiell skala.

En elegant och lovande lösning är den s k balanserade masugnen, som har föreslagits av en grupp under ledning av professor J.O. Edström vid Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) i Stockholm. Tanken bakom den balanserade masugnen är, att det finns kombinationer inom processförutsättningarna sådana att en hög syreberikning, 40–90% syre, av en kall bläster och därmed följande proportionerlig kolinjektion kan ske utan att värmebalansen kräver återföring av toppgas. Med denna kapitaleffektiva metod – den balanserade masugnen kräver mindre kringutrustning, t ex för värmning av blästern, än en "vanlig" masugn och ger en betydligt högre råjärnsproduktion – bedöms det exempelvis vara möjligt att köra ugnen med en bläster som innehåller 65% syre och då injicera ca 350 kg kolpulver per ton råjärn. Den balanserade masugnen har uppmärksammats internationellt, och flera stålföretag säger sig sträva mot att förverkliga den.

Olivinpellets och optisinter

För att säkerställa en jämn och problemfri drift av en masugn, måste beskickningsmaterialet ha erforderlig kombination av egenska-



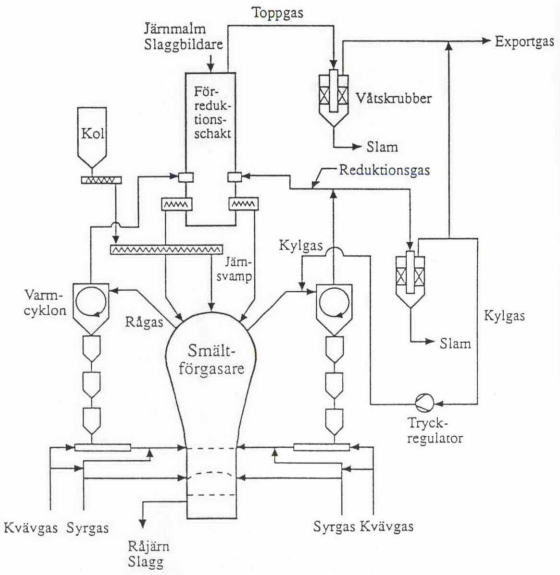
Vy över råjärnsframställningen vid SSAB Tunnplåt i Luleå. I förgrunden terminalen där olivinpellets från LKAB i Malmberget lossas, och i bakgrunden de två masugnarna. Bilden är tagen från värmekraftverket där överskottsenergi från SSAB:s anläggningar omvandlas till fjärrvärme. Foto Karin Larsson.

per. Malmen måste ha en ganska grov styckestorlek för att möjliggöra tillräcklig permeabilitet och effektiv fördelning av gas i ugnsschaktet. Då en mycket stor andel av järnmalmsproduktionen numera sker i form av slig, krävs därför en efterföljande agglomerering av malmen. Produkten är antingen sinter eller pellets. Sedan början av 1980-talet har Sverige varit världsledande när det gäller utvecklingen av masugnsbeskickningar.

En beskickning med ett högt järninnehåll minskar energianvändningen och ökar råjärnsproduktionen. Ansträngningarna har mycket koncentrerats kring att utveckla en lämplig beskickning med låg andel gångart, vilket bidrar till en låg slaggmängd, men samtidigt en efterfrågad svavelrening. LKAB:s s k olivinpellets, med 66,7% Fe, har framgångs-

rikt visat sig motsvara dessa krav. Istället för att som tidigare tillsätta kvartsit, och därmed få en sur pellets, tillsätts MgO-SiO2-mineralet olivin. Detta leder till att pelletsen får förbättrad reducerbarhet och bättre högtemperaturegenskaper, vilket ger ett högre gasutnyttjande. Sedan 1982, då SSAB i Luleå var först i världen att använda en beskickning med 100% olivinpellets, har detta blivit en allt mer efterfrågad produkt. Exempelvis använder numera fem av Nordens sju masugnar en beskickning som endast består av olivinpellets. Mängden reduktionsmedel i masugnarna har, huvudsakligen på grund av detta, kunnat sänkas från över 500 kg till ca 450 kg per ton råjärn och slaggmängden från drygt 250 kg till under 150 kg per ton råjärn.

I ett arbete som leddes av professor J.O. Edström vid KTH, baserat på hans idéer och tester från slutet 1950-talet, utvecklades även en sinter med ett högt järninnehåll, upp till 65,5 % Fe. I sin intressantaste variant består denna sinter av en matris av järnoxid och kalciumferrit med tämligen stora inaktiva partiklar av kvartsit. Produkten kallas optisinter, och har visat sig ha en utmärkt kombination av hög reducerbarhet och förmåga att inte falla sönder under reduktionen. Tillsammans med koksens aska ger optisinter en slagg med önskade egenskaper, och en slaggmängd på ca 150 kg per ton råjärn. Efter att ha utvecklats inom ramen för Jernkontorets nordiska forskningssamarbete, har optisinter använts både av SSAB Oxelösund och Fundia Wire i Koverhar, men dessa verk har nu gått över till att endast använda pellets i beskickningen. Den fortsatta utvecklingen och användningen av optisinter sker nu hos Rautaruukki i Brahestad och vid stålverk i Japan.



Schematisk skiss över Corex-processen, den enda nya råjärnsprocess som har etablerats kommersiellt.

ALTERNATIVA RÅJÄRNSPROCESSER

Trots masugnsprocessens många fördelar har stora ansträngningar gjorts för att utveckla alternativa råjärnsprocesser. Huvudanledningarna till detta är masugnsprocessens behov av koks och en agglomererad beskickning. Otaliga förslag till nya processer för att producera råjärn har lagts fram de senaste decennierna och många av dem har varit svenska. Inget svenskt processförslag har dock utvecklats vidare sedan början av 1980-talet. Förutom i Sverige har en stor del av utvecklingen av nya råjärnsprocesser skett i Australien, Japan, Tyskland och USA, där den på vissa håll fortfarande fortgår. En ny process, Corex, har etablerats kommersiellt.

Corex började utvecklas i Tyskland av dåvarande Korf Engineering under senare hälf-

ten av 1970-talet. Det österrikiska företaget Voest-Alpine köpte senare Korf Engineering och fortsatte utvecklingen. Processen testades i pilotskala vid Badische Stahlwerke i Kehl under perioden 1981–1987. Efter två misslyckade testkampanjer togs en kommersiell anläggning i drift utan missöden i november 1989 hos det sydafrikanska stålföretaget ISCOR:s verk i Pretoria. Sedan dess har där producerats 300.000 ton råjärn per år av en kvalitet helt i paritet med vad som fås från en masugn. I början av 1996 togs världens andra Corex-anläggning i drift i Pohang i Korea. Denna ägs av POSCO och har en kapacitet på 650.000 råjärn per år. Ytterligare anläggningar är nu under uppförande i Indien, Korea och Sydafrika.

Jämfört med masugnen har Corex en stor fördel: den kräver inte koks, utan kol kan användas direkt i processen. I den övre reaktorn, förreduktionsschaktet, reduceras malmen, styckemalm eller pellets, till en reduktionsgrad på ca 93% med en i motström mötande reduktionsgas, som letts in i schaktets undre del. Den därvid bildade järnsvampen matas sedan vidare till den undre reaktorn, smältförgasaren, där den tillsammans med kol och slaggbildare förs in på toppen av dennas "kupol". I den nedre delen av smältförgasaren sitter syrgasformor; processen använder storleksordningen 500 m^3 syrgas per ton råjärn. Här bildas en ca sex meter hög "fluidiserad" bädd i vars övre del sker generering av reduktionsgas för förreduktionen. I bäddens nedre del sker smältning av järnsvampen, slutreduktion, slagg/metall-reaktioner och uppkolning. Stoft från smältförgasarens utgående gas avskiljs i cykloner innan denna når förreduktionsschaktet, och återförs via syrgasbrännare till smältförgasaren.

JÄRNSVAMP

Under tusentals år har människan använt sig av reduktion i fast fas för att framställa järn. Kol användes som reduktionsmedel och temperaturen i processerna var kring 800°C, alltså betydligt lägre än de ca 1500°C som krävs för produktion av flytande råjärn. Det var dock först in på 1900-talet som ett genombrott kunde ske för en utveckling av vår nutida variant av denna typ av processer, järnsvampsprocesserna. Processernas benämning kommer av att deras produkt kallas järnsvamp, då den är porös och har ett "svampaktigt" utseende. Mycket viktiga bidrag till utvecklingen i början av seklet lämnades av svenska forskare som Sieurin (Höganäsprocessen) och Wiberg. Sedan dess har över femtio förslag på olika järnsvampsprocesser lagts fram på olika håll i världen, men i dag finns endast ett fåtal olika processer i drift. Världens första schaktugnsprocess för framställning av järnsvamp var Wibergsprocessen, vars första anläggning byggdes i Söderfors 1932 (men fungerade först i början av 1940-talet). Utvecklingen av naturgasbaserade processer har dominerats av amerikanska Midrex och mexikanska HYL (Hoyalata y Lamina, SA). I Monterrey i Mexiko tog HYL 1957 i drift världens första naturgasbaserade process för framställning av järnsvamp. Midrex, gjorde sitt intåg på marknaden i slutet av 1960-talet efter att först gjort misslyckade försök att introducera en kolbaserad karusellugnsprocess.

Länge var världsproduktionen av järnsvamp totalt sett tämligen marginell; en miljon ton per år nåddes först i slutet av 1960-talet. I Sverige var dock produktionen förhållandevis betydande; under perioden 1964–1975 låg den på 150.000– 200.000 ton per år. Från början av 1970-talet har det

skett en dramatisk ökning av världsproduktionen. Den genomsnittliga tillväxten har legat på över 10% per år och 1995 uppgick världsproduktionen till 31 miljoner ton. Över 90% av dagens produktion är naturgasbaserad, vilket har styrt anläggningarnas lokalisering. I Sverige produceras numera järnsvamp endast av Höganäs, drygt 100.000 ton per år som råvara för järnpulvertillverkning.

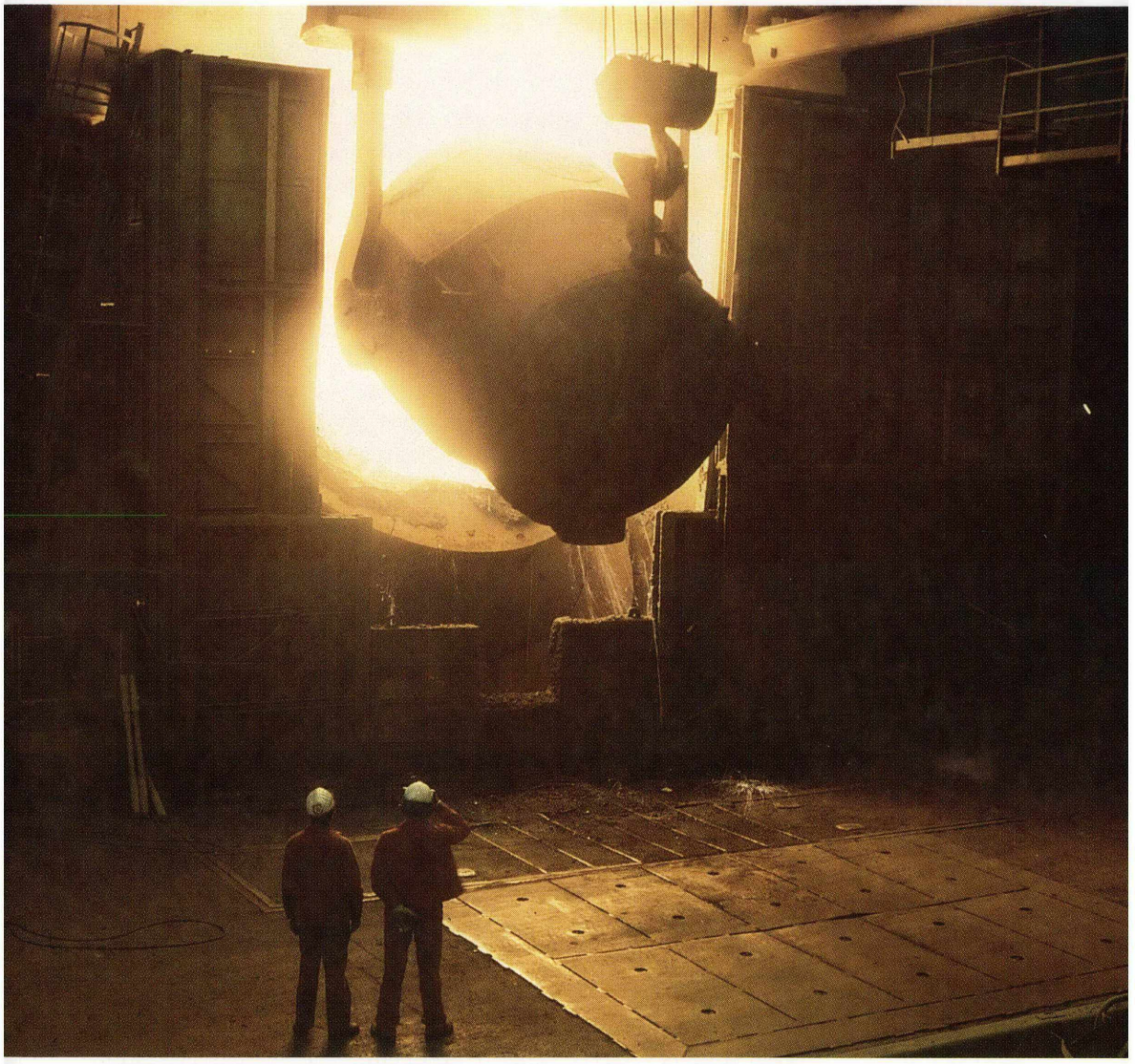
Den grundläggande förklaringen till den stora ökningen av järnsvampsproduktion är stålindustrins starka tillväxt i områden där kostnaden för att producera järnsvamp är lägre än kostnaden för råjärn och priset på skrot. Ofta har detta varit områden med god tillgång på naturgas till ett lågt pris och en liten lokal försörjning av skrot, åtminstone inte tillräcklig för att möta en ökande stålproduktion. På senare år har ytterligare en stark drivkraft tillkommit. Med början framför allt i USA har allt fler elektrostålverk, många av dem nystartade, igångsatt produktion av platta produkter. Då kraven på skrotets renhet är högre för dessa produkter har efterfrågan på "rent" skrot ökat på många håll. Detta har skett samtidigt som tillgången börjar minska genom allt effektivare tillverkningsmetoder i stål- och verkstadsindustrin, t ex i bilindustrin. Järnsvamp, som är ett jungfruligt material med låga föroreningshalter, har därför blivit intressant som ersättning för "rent" skrot. Tidigare användes nästan all järnsvamp där den producerades, men de senaste åren har mängden skeppad järnsvamp stigit kraftigt; närmare åtta miljoner ton skeppades 1995. Exempelvis exporteras en hel del järnsvamp från Venezuela till USA.

Stålframställning

SYRGASSTÅLKONVERTERN

I en uppsats år 1963 konstaterade amerikanen D R Berg att: "Enough plants employing one or another commercially available oxygen steelmaking processes have been in operation long enough to prove a capital cost, operation cost, and product-quality combination unequaled by any other process for the majority of the worldís present and foreseeable requirements. Oxygen steelmaking has arrived, and itís future growth is assured until the time that the unlimited ingenuity of the human mind replaces it with something better." Så hade då vad vi skulle kunna kalla "syrgasståleran" på allvar infunnit sig, och allt som den gode Mr Berg i sin något patetiska tillskyndan säger var faktiskt sant; tillkomsten av syrgasstålkonvertern är kanske det största produktionstekniska genombrottet i stålframställningens historia.

Idén att använda syrgas istället för luft för att färska råjärnet till stål var dock inte ny. Redan i sitt patent för Bessemerprocessen 1856 nämner sir Henry Bessemer möjligheten att använda syreberikad luft, och många av hans samtida och efterföljare diskuterade fördelarna med att använda syrgas. Problemet var dock att det vid denna tid inte gick att framställa syrgas i erforderliga mängder, i alla fall inte till en rimlig kostnad. Strax före sekelskiftet kunde dock tysken Karl von Linde producera de första kommersiella kvantiteterna av syrgas, och metallurgerna började vädra syreberikad morgonluft. Anläggningar för produktion av syrgas började byggas under 1900-talets första år; redan dessa byggde på principen att först överföra luft till vätske-



Chargering av råjärn i en av syrgasstålkonvertrarna på SSAB Tunnplåt i Luleå. Foto Karin Larsson.

fas och sedan genom destillation separera komponenterna. Anläggningarna byggdes dock inte för att producera syrgas för metallurgiska applikationer, utan för svetsning och skärning samt för medicinsk användning. Detta ledde till att syrgasens första användning inom stålindustrin inte blev i konvertermetallurgin, utan vid ytbehandling av de gjutna ämnena (s k syrgashyvling). Dock var de syrgasmängder som krävdes för detta ändamål för små för att motivera syrgasverk på själva verksområdena. Det slutliga steget för

att möjliggöra produktion av stora mängder syrgas togs under och direkt efter andra världskriget, företrädesvis i Tyskland och USA. Under kriget behövdes stora mängder syrgas framförallt för svetsning och skärning, inte minst på varven, och i Tyskland behövdes dessutom syrgas för att driva raketer. Efter kriget blomstrade den civila efterfrågan på produkter som under sin framställning behövde syrgas. På detta sätt skapades den nödvändiga förutsättningen för att etablera syrgasstålkonvertern.

Den enskilde person som troligen var mest betydelsefull för syrgasstålkonverterns tillkomst var den schweiziske professorn Robert Durrer. Han hade länge varit en stor tillskyndare av syrgasanvändning i sin roll som produktionschef på stålverket i Gerlafingen där han gjorde experiment i en thomaskonverter. Eftersom thomaskonverterns dysor inte kunde klara en syreberikning högre än upp till 35–40%, experimenterade han tillsammans med sina kollegor i begränsad skala, 2,5 ton, med att istället använda inblåsning från toppen via en lans, en idé som även hade föreslagits av andra. Under våren 1948 lyckades de och världens första syrgasfärskning var ett faktum.

Inom parentes kan vi i detta sammanhang notera utvecklingen av den bottenblåsande syrgasstålprocessen, den sk OBM-processen. Redan runt sekelskiftet gjordes försök att blåsa syrgas direkt in i ett järnbad genom dysor i konvertervägg en. Försöken misslyckades då man inte kunde förhindra ett kraftigt foderslitage nära dysmynningen. Slitaget orsakades av syrgasens exoterma reaktioner med badets legeringselement. Problemet fick sin lösning först på 1960-talet då det i Kanada utvecklades en dysa bestående av två koncentriska rör av vilka det inre användes för syrgas och det yttre hade ett flöde av gasformiga kolväten. De endoterma reaktionerna vid kolvätenas spjälkning gav den nödvändiga kylningen.

Durrers experiment med syrgasinblåsning via en lans visade också på den goda raffinering av stålet, genom oxidation av fosfor och svavel, som erhölls av syrgasinblåsningen i kombination med en basisk infodring och tillsats av basiska slaggbildare. Vidare erfor han de starka exoterma reaktionerna vid oxidationen av t ex kol, kisel och fosfor. Detta innebar att det i konvertern fanns värme tillgängligt i "överskott", som kunde användas för smältning av skrot, i vissa fall upp till en mängd motsvarande närmare halva chargevikten.

Durrers framgångsrika och intressanta experiment i pilotskala rönte intresse i Österrike, och Durrer började samarbeta med forskare hos stålföretaget VÖEST (Vereinigte Österreichische Eisen- und Stahlwerke) i Linz. Där fortsattes utvecklingsarbetet i allt större skala, upp till 15 ton, och den första lyckade blåsningen skedde hösten 1949. Utvecklingen ansågs så lovande att man redan då beslutade att bygga en kommersiell anläggning. Denna togs i drift 1952 och redan ett år senare hade ett annat österrikiskt stålföretag, ÖAMG (Österreichische Alpine Montan Gesellschaft) i Donawitz, installerat en liknande praxis.

I slutet av 1949 beslutade VÖEST att döpa den nya processen till LD efter Linz och Durrer. Man konstaterade också att den inte var patenterbar, pga Bessemers och andras patent, vilket var en åsikt som delades av Durrer. Detta hindrade dock inte en Dr Suess att året efter patentera processen med

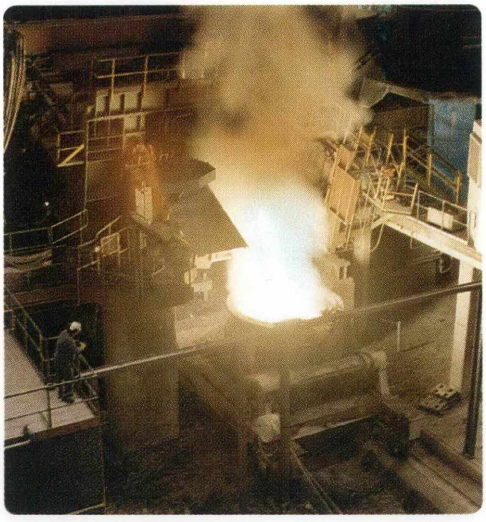
hänvisning till sina tidigare patent inom området. En lång och hård patentstrid följde, framförallt i USA där många företag ville ogiltigförklara patentet samtidigt som Dr Suess licensgivare Kaiser Engineering stämde företag på löpande band för att de använde processen utan att betala licensavgift.

Så började då syrgasstålprocessen sitt segertåg över världen, och snabbt började den slå ut sina närmaste konkurrenter, den basiska martinprocessen och thomasprocessen. Viktiga faktorer som bidrog till framgången var den korta chargetiden och därmed möjligheten till ökad produktion – jämfört med martinprocessen kunde tiden minskas till bortåt 1/10 – och den högre skrotsmältningskapaciteten, särskilt jämfört med thomasprocessen. Installationerna duggade tätt och den globala spridningen var god. Redan 1957 fanns processen i Österrike, Kanada, USA, Brasilien, Japan och Västtyskland. Året efter, 1958, togs den första syrgasstålkonvertern i drift i Sverige. Detta skedde i Fagersta. År 1965 producerades närmare en femtedel av världens stål i syrgasstålkonvertrar, och endast tio år senare, 1975, framställdes över hälften av världens stål i denna process. År 1995 var världsproduktionen av råstål i syrgasstålkonvertrar 445 miljoner ton. Konvertrarna blev snabbt också allt större. De flesta konvertrarna som fanns 1957 hade en tappvikt på 30–50 ton och ingen var större än 80 ton. År 1961 kom den första 200-tonskonvertern och redan året efter den första 300-tonskonvertern, båda i USA. De största syrgasstålkonvertrarna som finns idag har en tappvikt på 350 ton.

Den ursprungliga idén med en toppblåsande syrgaslans har över tiden utvecklats vidare. Vid introduktionen i Europa rönte processen inte någon omedelbar framgång. Orsaken var att den inte var lämpad för det fosforrika råjärn som vid denna tid framställdes i de stora producentländerna Frankrike, Storbritannien och Västtyskland. I Benelux-länderna och Frankrike insågs dock dess stora potential och de första modifieringarna av den ursprungliga processen gjordes där i syfte att möjliggöra färskning av fosforrikt råjärn. Sedan dess har ett dussintal olika varianter av processen utvecklats, alla med sin akronym.

LJUSBÅGSUGNEN

De första försöken att använda elektricitet för att smälta metall genomfördes redan i början av 1800-talet. Detta var dock innan Siemens uppfann den elektriska generatorn (1867), och de fick därför ingen praktisk betydelse. Den typ av elektrisk ugn som



Produktion av rostfritt stål hos Avesta Sheffield i Avesta; ljusbågugnen har just tappats och råstålet transporteras nu i skänk till AOD-konvertern. Foto Fritz Brattlöf.

först kom att bli av betydelse, och som fortfarande används för vissa ändamål men i mycket begränsad skala, var induktionsugnen. Det viktigaste bidraget till dennas utveckling lämnades av svensken F A Kjellin (i Gysinge) under 1900-talets första år. Ljusbågsugnen, den i dag helt dominerande processen för att smälta om skrot till nytt stål, utvecklades huvudsakligen under tiden efter första världskriget. Den baserar sig på den ugn som fransmannen Paul Héroult utvecklade i slutet av 1800-talet. År 1902 tog Héroult i drift Sveriges första ljusbågsugn i Kortfors utanför Karlskoga.

År 1910 producerade världens elektriska ugnar tillsammans 121.000 ton, vilket utgjorde 0,18% av den totala stålproduktionen detta år. Därefter har utvecklingen för elektrostål varit mycket positiv: en miljon ton per år passerades 1927, 10 miljoner ton 1943, 50 miljoner ton 1964, 100 miljoner ton 1973, osv. År 1995 producerades 243 miljoner ton i ljusbågsugnar, vilket motsvarade ungefär 1/3 av världens råstålsproduktion.

Sveriges största ljusbågsugn finns i Smedjebacken med en effekt på 85 MW. Kapaciteten är 150 ton och den normala chargevikten är 127 ton. Denna ugn är utrustad enligt flera av de koncept för en effektivare produktion som har etablerats under senare tid. Ugnen har exempelvis tillsatsbrännare, bottentappning, omröring via botteninblåsning av kvävgas för att öka skrotsmältningshastigheten, samt kol- och syrgasinjektion för slaggskumning. Åtgångstalet för elektricitet är ett av de lägsta i världen för denna typ av ugn och driftpraxis.

Allt fler av de nya ljusbågsugnar som installeras i världen är likströmsmatade. Det innebär att de istället för tre elektroder har två, en toppelektrod och en bottenelektrod. Detta leder bl a till en lägre förbrukning av elektroder och ugnsinfodring, samt mindre elektriska störningar. Användningen av ett körsätt med skummande slagg har blivit allt mer etablerat. Generellt kan sägas att alla verk som har ett produktprogram som möjliggör detta, strävar efter att använda skummande slagg. Slaggen fås att skumma genom att den "blåses upp" med koloxid. Normalt önskar man en höjd på den skummande slaggen sådan att ljusbågarna är täckta. Med skummande slagg erhålls ett antal fördelar, t ex lägre energianvändning, lägre elektrodförbrukning, minskad ljudnivå, bättre värmeöverföring, lägre infodringsslitage, ökad skrotsmältningshastighet och därmed kortare chargetid, lägre halter av inlösta gaser och en homogenare sammansättning av stålsmältan.

John Vallomy, verksam i USA, har utvecklat en process kallad Consteel, som innefattar flera av de senaste tankarna om hur en ljusbågsugn skall se ut och köras. Consteel arbetar med kontinuerlig chargering av skrot och slaggbildare via ett transportband. Chargeringen sker genom ugnssidan. Under sin väg fram till ugnen förvärms skrotet med ugnens avgaser. Ljusbågarna används inte direkt för att smälta skrotet, utan smältningen sker i det stålbad som hela tiden finns i ugnen. För att säkerställa en god värmeöverföring till den platta badytan används skummande slagg. Tappning sker via botten och normalt tappas ca 60% av stålet i ugnen. Chargeringen behöver inte avbrytas, utan kan fortsätta ske under tappning. Tappningscykeln koordineras med gjutcykeln och därmed fås ett kompakt och energieffektivt flöde i stålverket. Consteel-anläggningar, i drift eller under uppförande, finns i USA, Japan, Italien och

Thailand. Som lägst har de i drift gett ett åtgångstal för elektricitet på 320 kWh/ton, till vilket kommer 35 m^3 syrgas.

Förändringarna av ljusbågsugnen har varit många under senare tid. Den principiellt viktigaste var förmodligen den som kom med införandet av skänkmetallurgi, se nedan, vilken innebar att de metallurgiska processerna "flyttades ut" från ljusbågsugnen och denna omvandlades till en ren "smältmaskin". Ugnarna har blivit allt större och utrustats för att köras vid allt högre effekt. Ett antal andra förändringar har nämnts ovan och fler finns. En mycket viktig förändring som bara har behandlats implicit ovan, är användningen av syrgas i ljusbågsugnen. Det är idag vanligt att 15–20 m^3 syrgas injiceras per ton stål. Som nämndes i exemplet med Consteel kan det förekomma 35 m^3 syrgas per ton stål. Det mest extrema exemplet är de elektrostålverk som använder nästan dubbelt så mycket, 60 m^3 syrgas per ton stål. Som jämförelse kan nämnas att en syrgasstålkonverter använder storleksordningen 50 m^3 syrgas per ton stål; frågan är om det börjar bli dags att byta beteckningar på processerna. Den under senare tid ökande användningen av syrgas i ljusbågsugnen kan i viss utsträckning förklaras med en strävan att etablera s k efterförbränning, dvs att oxidera koloxid till koldioxid. Förbränning till koldioxid kan tillföra processen ca tre gånger så mycket energi som förbränning till koloxid.

Skänkmetallurgi

Skänmetallurgin, att genomföra metallurgiska operationer i skänken efter att ett råstål har framställts i stålugnen (genom färskning eller smältning), tillkom för två huvudsyften: att öka stålverkets produktion och att öka produktens kvalitet. Detta innebär för den skrotbaserade stålframställningen att ljusbågsugnen endast används för smältning, och kan utvecklas för att göra denna så effektiv som möjligt. Skänkmetallurgin har lett till en lägre energianvändning då den, förutom möjligheter till en optimerad energianvändning i de enskilda processtegen, möjliggör bättre samordning av stålframställnings- och gjutsteget. Genom de separata, förfinade processer som skänkmetallurgin etablerar, har inte bara slutproduktens kvalitet kunnat förbättras, utan också möjliggjort att nya stålsorter kunnat utvecklas.

Egentligen har skänkmetallurgi använts länge inom stålindustrin. Den bestod då av de åtgärder som skedde i samband med tappning av stålugnen och utgjordes av desoxidation, svavelrening och legeringstillsats. Förelöparen till det som vi idag kallar skänkmetallurgi uppenbarade sig på 1930-talet. Fransmannen Perrin utvecklade en metod, som sedan fick bära hans namn, vilken innebar att smält slagg hälldes i skänken före det att stålet tappades i. Slaggen hade en sammansättning lämplig för svavel- eller fosforrening. När stålet tappades i erhölls en kraftig omröring vilken gav en stor kontaktyta mellan stål och slagg. På detta sätt nåddes en för den tiden acceptabel svavel- respektive fosforrening, och detta genom ett förfarande som skedde efter själva framställningen av råstålet, inte som tidigare i stålframställningsprocessen.

Nästa steg i skänkmetallurgins framväxt kom på 1950-talet i form av vakuumbehandling av flytande stål. Detta skedde antingen i samband med tappningen, s k strålavgas-

ning, eller, vanligare, i ett separat behandlingssteg. Det kan nämnas att den första utvecklingen av vakuumbehandlingen skedde i Sovjetunionen där den användes i driftskala redan kort efter andra världskrigets slut i stålverken i Enakievo och Dneprosnezstal. I mitten av 1970-talet kom pulverinjektionen, vars huvudsyfte var att åstadkomma en snabb och långtgående svavelrening. Tekniken visade sig också vara synnerligen lämplig för bl a desoxidation och slaggmodifiering. Denna typ av tillsatser visade sig stöta på begränsningar i form av att värmeförlusterna blev för stora, antingen pga behandlingstiden eller tillsatsernas kylverkan, och att omröringen var otillräcklig. Det senare kunde åtgärdas genom gasspolning, men även detta ledde till ökade värmeförluster. Det var inte ekonomiskt möjligt att kompensera för värmeförlusterna genom att avsevärt höja stålugnens

Stål i skänk på väg från en av syrgaskonvertrarna till skänkmetallurgisk behandling (CAS-OB) hos SSAB Tunnplåt i Luleå. Foto Karin Larsson.



tapptemperatur. Åtgångstalen i stålugnen sköt då i höjden och det uppstod stora svårigheter att styra gjuttemperaturen.

Lösningen blev nästa steg i skänkmetallurgins utveckling, skänkugnen. Den första byggdes redan 1965 genom ett samarbete mellan ASEA och SKF hos de senares stålverk i Hällefors. Den viktigaste personen bakom dess tillkomst var SKF Hellefors mycket innovative chefsingenjör Magnus Tiberg. Spridningen av tekniken lät vänta på sig några år, men i mitten av 1970-talet hade över 20 skänkugnar av typen ASEA-SKF tagits i drift, vilket möjliggjorde skänkmetallurgins fortsatta utveckling.

Skänkmetallurgins framväxt har inneburit en utveckling av ett stort antal olika behandlingsstationer. Vi kan idag tala om ett "smörgåsbord" av olika processer att välja bland. Dessa kan i olika arrangemang

Interiör från kontrollrummet för den skänkmetallurgiska behandlingen hos SSAB Tunnplåt i Luleå. Foto Karin Larsson.





Tillverkning av rostfritt stål i AOD-konverter hos Sandvik Steel i Sandviken. Foto Jörgen Svendsen.

och kombinationer tillhandahålla processer som värmning, kylning, omröring, avgasning, legering och raffinering. Lösningarna och kombinationerna, liksom akronymerna, är legio, men resultatet är målen på ett effektivt sätt uppnås: högre produktion och bättre kvalitet.

Tillverkning av rostfritt stål

Redan i slutet av 1800-talet producerade flera bruk i Sverige olika slags legerat götstål, vilka egentligen borde kallas "rostfritt". Beteckningen tillkom dock inte förrän i början av 1900-talet och har som upphovsman engelsmannen Brearley, som 1912 gav det

fläckfria namnet "stainless steel" åt en ferritisk legering av järn och krom. Beteckningen användes därefter för en i Tyskland framtagen austenitisk legering av järn, krom och nickel. Det var dock flera årtionden senare som användning och utveckling tog fart. De moderna rostfria stålen utvecklades först efter andra världskriget och började då bli allmänt använda. Detta kunde ske tack vare den omfattande utvecklingen på det processmetallurgiska området. Rostfria stål är ofta det enda ekonomiskt acceptabla alternativet för att lösa korrosionsproblem. Den främsta och viktigaste egenskapen hos rostfria stål är deras korrosionsmotstånd; i princip är alla andra egenskaper underordnade detta.

Världsproduktionen av rostfritt stål har ökat med ca 4% per år de senaste åren. Av de ca 14 miljoner ton rostfritt stål som producerades i världen år 1995, utgörs mer än 50% av s k 18–8, dvs stål som innehåller ca 18% krom och ca 8% nickel. Även om rostfritt stål är väl känt för gemene man genom sin användning i konsumentprodukter, t ex i köksutrustningar, utgör dessa bara ca 25% av konsumtionen. Det är alltså främst inom industrin som rostfritt stål används, inte minst i livsmedelsindustrin och massa- och pappersindustrin. Ett speciellt användningsområde väl värt att nämna är i katalysatorer i bilarnas avgassystem. I en katalysator är den reaktiva ytans storlek av avgörande betydelse. En katalysator innehåller en tunt valsad veckad folie av rostfritt stål belagd med ett ytskikt av enkristaller av aluminiumoxid som därefter beläggs med platina. Den totala ytan hos denna folie i en katalysator motsvarar två fotbollsplaner.

År 1995 producerades i Sverige 618.000 ton rostfritt stål i form av halvfabrikat. Exporten av handelsfärdigt var 567.000 ton till ett värde av 14 miljarder kr. Importen av rostfritt stål uppgick till 95.000 ton, till ett värde av 2,5 miljarder kr. Produktionen av rostfritt stål i Sverige kommer att öka väsentligt under de närmaste åren. I Avesta kommer kapaciteten att mer än fördubblas, från 200.000 till 500.000 ton, och i Sandviken planeras en ökning från 200.000 till 280.000 ton. Sammantaget betyder detta alltså att produktionen i Sverige bör nå ca en miljon ton. I det nya stålverket i Avesta kommer chargetiden att vara 47 minuter, tidigare var den ca två timmar.

Framställningen av rostfritt stål skiljer sig i hög grad från annan stålproduktion. Tillverkningen sker från skrot och ferrolegeringar, vilka tillsammans med slaggbildare smälts i ljusbågsugn. Andelarna bestäms av relativprissituationen. I Sverige är förhållandena sådana att skrot utgör ca 75% av insatsen. Krom tillsätts i form av ferrokrom, som innehåller ca 4% kol. Eftersom det rostfria stålet skall innehålla ca 0,02% kol, måste alltså nästan allt kolet färskas bort. Detta är en besvärlig process då även krom lätt oxideras. För att lösa detta problem utvecklades AOD-processen; AOD uttyds Argon-Oxygen-Decarburization. I denna optimeras förhållandena för jämvikt mellan kol, krom, temperatur och partialtrycket för koloxid. Ett minimum av krom oxideras vid sjunkande kolhalt om temperaturen höjs eller partialtrycket för koloxid sänks. Genom att variera förhållandet mellan argon och syre i den gas som injiceras under badytan kan partialtrycket för koloxid styras. Det har blivit allt vanligare att processen också använder sig av en toppblåsande lans, s k kombinerad blåsning, för

att öka produktionen. AOD-processen utvecklades av Union Carbide, och den första AOD-konvertern togs i drift i USA 1968. I Sverige installerades de första AOD-konvertrarna i Avesta 1973 och i Nyby 1974. Även AOD-processen gjorde ett segertåg över världen; redan fem år efter att den första konvertern togs i drift, var över 30 konvertrar i drift i åtta olika länder.

Den principiellt enda konkurrenten till AOD-konvertern är CLU-processen. Denna utvecklades parallellt men var för sig av Uddeholm, där framträdande insatser gjordes av Olle Johnsson och Anders Eriksson, och av Creusot-Loire i Frankrike. CLU står därför för Creusot-Loire-Uddeholm och företagen äger gemensamt rättigheterna. En försökskonverter färdigställdes i Hagfors 1973. Skillnaderna mot AOD-processen är dels att inblåsning sker genom botten, dels att vattenånga används istället för argon. Spjälkningen av vattenångan ger, förutom dess oftast lägre pris, fördelen att det är lättare att styra temperaturen i processen. CLU-processen finns idag endast i Degerfors och hos det nybyggda Columbus-verket i Sydafrika.

Gjutning

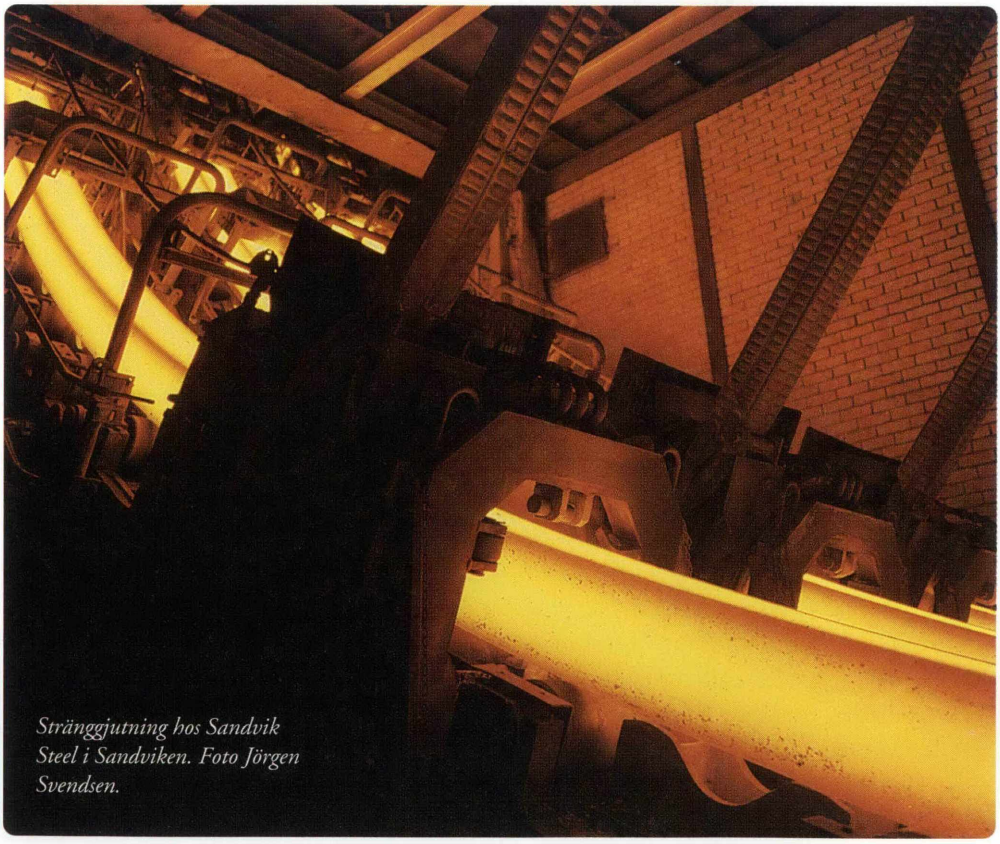
STRÄNGGJUTNING

Den tyske fysikern T J Seebeck upptäckte år 1821 termokraften. Han fann att om två metalltrådar förenas med varandra så att god elektrisk kontakt etableras, t ex genom lödning, och om det ena lödstället upphettas, uppstår elektrisk ström i den av trådarna bildade strömkretsen. Strömmens styrka är beroende av temperaturskillnaden mellan lödställena och av de båda metallernas egenskaper. Detta kallas Seebeck-effekten och mätinstrumentet som på ovannämnda vis erhålls kallas termoelement. Med ett termoelement är det möjligt att med förhållandevis god noggrannhet mäta från mycket låga temperaturer (-200°C) till mycket höga (2800°C). Termoelementets betydelse för metallurgins utveckling kan inte nog understrykas. Termoelementet har varit en nödvändig förutsättning för utveckling av stränggjutningen, där gjutningen måste ske med en precision i temperatur på ett par grader när vid temperaturer i storleksordningen 1500°C.

Den troligen första stränggjutningsanläggningen i driftskala var sovjetisk, först uppförd i Kuznetskii sedan flyttad till Bezhitsii, och den togs i drift 1938. Även om det exempelvis byggdes en maskin i Storbritannien i mitten av 1940-talet, var det först på 1950-talet som utvecklingen tog fart. Viktigt för detta var samarbetet mellan en tysk och en österrikisk forskargrupp som etablerades 1952. Den tyska gruppen leddes av den i sammanhanget legendariske pionjären Dr Siegfried Junghans. Ett betydande utvecklingsarbete bedrevs vid denna tid också i USA. Det problem som var viktigast att lösa för att stränggjutningen skulle fungera, var det som gällde den rörliga kokillen. Idén till hur detta skulle gå till utvecklades först av Junghans och vidareutvecklades sedan av flera andra. Tekniken innebar att kokillen följer ämnet ett stycke nedåt med en hastighet som är något högre är gjuthastigheten. Detta ger en tillräcklig tid för stelnande av ett erforderligt tjockt "skal". Därefter återför kokillen snabbt till sitt ursprungsläge.

Även i Sverige gjordes betydande insatser för stränggjutningens initiala utveckling. Martin Wiberg gjorde försök med stränggjutning i Hofors redan 1932. År 1954 installerades i Nyby Sveriges första stränggjutningsmaskin. En av stränggjutningens pionjärer var Erik A Olsson, vars metod först installerades i Motala (1962) och Halmstad (1963) och sedan kom att tillämpas även i Spanien, Tjeckoslovakien, USA och Japan. År 1962 var 34 stränggjutningsmaskiner i drift och minst 22 under byggande. Dessa var väl spridda över världen och fanns i följande länder: Argentina, Australien, DDR, Frankrike, Indien, Italien, Japan, Kanada, Kina, Mexiko, Norge, Peru, Schweiz, Sovjetunionen, Spanien, Storbritannien, Sverige, Tjeckoslovakien, Ungern, USA, Västtyskland och Österrike. Världen hade fått se en ny process etablera sig.

Stränggjutning är idag den helt dominerande metoden för gjutning av stål. Omkring 75% av världens stålproduktion stränggjuts; i Västeuropa är andelen nästan uppe i 95%. Sverige ligger något under det västeuropeiska snittet. Detta beror på att götgjutning fortfarande används vid vissa specialstålverk, exempelvis hos Erasteel Kloster i Söderfors,



Stränggjutning hos Sandvik Steel i Sandviken. Foto Jörgen Svendsen.

Ovako Steel i Hofors och Uddeholm Tooling i Hagfors. För vissa av dessa verk är götgjutning nödvändigt för att nå önskad form på produkten, som i Hagfors där man bl a framställer göt för smidning, medan andra verk anser att de önskade egenskaperna hos produkterna begränsar möjligheten till stränggjutning.

Under senare tid har skett en viss utveckling mot bredare gjutformat. Som exempel kan nämnas att man i Avesta kan gjuta upp till en bredd på 2,2 meter. Genom en förbättrad styrning av stränggjutningen kan på vissa håll nås en sådan kvalitet på det gjutna ämnet, att det är möjligt att införa ett s k varmt flöde. Detta innebär att ämnet efter kapning till önskad längd direkt, utan svalning för syning och ytkonditionering, i varmt tillstånd förs vidare till valsning. Således kan en inbesparing ske av värmningssteget.

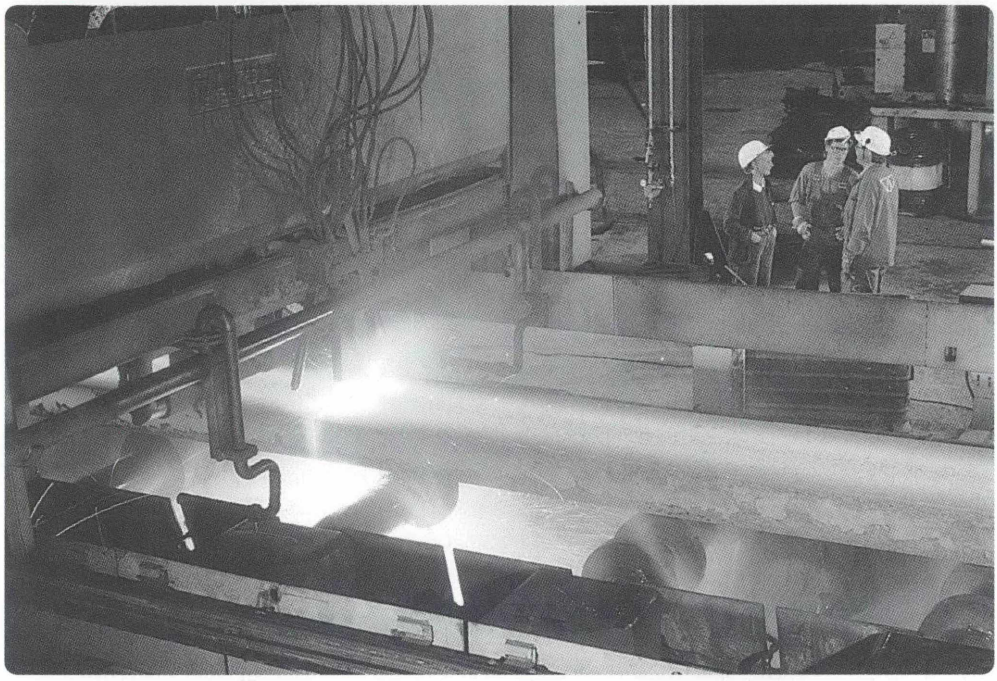
NYA GJUTMETODER

Införandet av stränggjutning innebar ett första viktigt steg när det gäller elimineran-det av bearbetningsoperationer för att nå önskad slutdimension. Vad som sedan har skett och sker, är att ytterligare steg tas i denna riktning. Incitamenten är påtagliga och således satsas mycket på forskning och utveckling inom detta området. De processer som har etablerats kommersiellt börjar snabbt att sprida sig över världen.

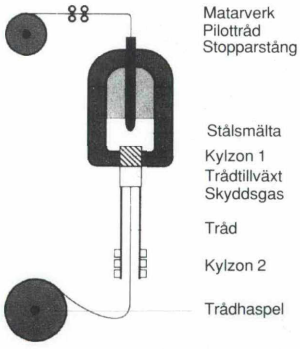
Genom att gjuta tunnare plåtämnen, "slabs" och därmed erhålla en gjuten produkt nära den önskade slutdimensionen, kan jämfört med konventionell stränggjutning ytterligare besparingar göras i efterföljande operationer. Ett viktigt steg inom detta område togs sommaren 1989 vid Nucors stålverk i Crawfordsville i Indiana. Då togs världens första maskin för gjutning av tunna slabs i drift. Dessa har en tjocklek på 5 cm, att jämföra med ca 15–25 cm vid konventionell stränggjutning. Utvecklingen har sedan gått snabbt och idag produceras totalt i världen över 10 miljoner ton per år i form av tunna slabs. Baserat på uppgifter om de anläggningar för gjutning av tunna slabs som redan är beställda, kan konstateras att denna siffra inom några år kommer att överstiga 25 miljoner ton.

Nästa steg i utvecklingen är också under utveckling, parallellt med införande av gjutning av tunna slabs. Detta avser direkt gjutning av band, alltså med en tjocklek på några mm. Hos ett av japanska Nippon Steels stålverk, Hikari, började i januari 1996 byggande av världens första driftsanläggning för direktgjutning av tunna band. Produkten kommer att vara rostfritt stål och anläggningen beräknas kunna tas i drift under hösten 1997. Tjockleken på banden kommer att bli 2–5 mm och bredden 760–1330 mm. Anläggningen, som innebär en investering i storleksordningen 700 miljoner kr, använder en teknik där bandet gjuts direkt mellan två roterande trummor och sedan via ett system med valsar går direkt till haspling. Kapaciteten kommer att vara 220.000 ton per år. Flera andra bandgjutningsprojekt är "på gång". Exempelvis kan nämnas det internationella projekt som pågår hos MEFOS i Luleå. Målet är att utveckla en kommersiell process för gjutning av stora tonnage kolstål, 1–2 miljoner ton per år. De hittillsvarande resultaten från projektet bedöms som mycket lovande.

Värt att nämna är också utvecklingen av direktgjutning av tråd. Sven Ekerot, Gradic



(Ovan) Stränggjutning av plåtämnen, "slabs", vid SSAB Tunnplåt i Luleå. Bilden visar det moment där strängen kort efter att den har stelnat kapas i önskade ämneslängder. Foto Karin Larsson.



Framställningsmetoden för direktgjuten tråd är enkel i princip och innebär att man matar en pilottråd genom en stålsmälta och får fram en nygjuten tråd med en diameter på upp till 5 mm. Ur Bergsmannen nr 6 1995.

Wire AB, har utvecklat en metod med vilken tråd, genom påfrysning på en s k pilottråd, kan gjutas direkt från stålsmältan. På detta sätt undviks kostsamma bearbetningsoperationer för att omvandla det gjutna ämnet till tråd. Produktionsanläggningar enligt denna metod, "G-gjutningstekniken", håller på att tas i drift i Fagersta och i Lancaster, South Carolina. Produktionen i Fagersta blir 3000 ton per år, medan man i anläggningen i USA, som ägs av det amerikanska stålföretaget Nucor, har som mål att producera 20.000 ton per år.

Bearbetningsteknik

De förändringar som under senare tid har skett inom det bearbetningstekniska området har varit betydligt mindre omvälvande än de

som har skett inom det metallurgiska området. Förändringarna har varit mer kontinuerliga och i mångt och mycket handlat om förbättrad processtyrning för att nå kvalitetshöjningar, framförallt av ytkvalitet, och ökad produktion inom ramen för etablerad teknik.

När det gäller valsning av band är den största generella förändringen att planhetsstyrningen kraftigt har förbättrats. Den viktigaste teknikutvecklingen för att uppnå detta kan nog sägas vara den som innebär användning av förskjutbara mellanvalsar, alltså de valsar som sitter mellan arbets- och stödvalsarna. Vid valsning av rostfria band har bredden kraftigt ökats under senare år. I Avesta togs hösten 1991 ett Steckelverk i drift som kan valsa en bandbredd på två meter. På många håll valsas numera breda band även om den önskade slutprodukten skall ha en mindre bandbredd; om exempelvis slutprodukten skall ha en bredd på 800 mm valsas ett 1600 mm brett band som sedan spaltas på längden i två band.

En viktig sentida teknisk utveckling är den av "coilboxen". Med denna kan bandet av- och påhasplas under valsningen, vilket leder till kortare valssträckor. Bland annan teknisk utveckling inom området kan nämnas att förbättrade svetsningsmetoder har lett till en gynnsam utveckling för svetsade rör; de svetsade rören har tagit marknadsandelar från de sömlösa.

För trådvalsning har skett en utveckling mot att använda block om 6–12 valspar med gemensam drivning. Trådvalsverken körs nu med trådhastigheter på upp till 120 m/s. På allt fler håll införs nu hydraulisk drift av valsverk, vilket för den fortsatta utvecklingen leder till att större svängmassor ej behövs för större valsverksmotorer. Under en tid pågick en utveckling mot valsningsteknik som kunde göra det möjligt att allt större reduktioner tas i varje stick. Denna utveckling har nu avstannat då tekniken endast har visat sig vara ekonomiskt motiverad för vissa nischprodukter.

Ett kretsloppsmaterial med allt lägre utsläpp

Redan 1869 började människan att aktivt återvinna stål i större skala och använda det som ett kretsloppsmaterial. Sedan dess har skrot hela tiden blivit en allt mer betydelsefull råvara. Idag sker omkring 45% av världens ståltillverkning från återvunnet material (skrot). Skrotet som tillförs som råvara i ståltillverkningssteget utgör 100% av råvaruinsatsen i ljusbågsugnar och ca 20% i syrgasstålkonvertrar.

Den genomsnittliga viktade tiden innan en stålprodukt återkommer för omsmältning till nya stålprodukter är 20–25 år. På detta sätt ingår stål i ett sedan länge väl fungerande kretslopp. En stålprodukt kan i praktiken återvinnas om och om igen utan att den helt övergår i andra kemiska former. Idag tillverkas ungefär dubbelt så mycket stål som det finns skrot. För framtiden kan sägas att både efterfrågan och tillgång på skrot bedöms öka. Det finns en tendens, åtminstone globalt, att efterfrågan, i alla fall i förstone, kommer att öka mer än tillgången.

Utsläppen från stålframställningen har minskat radikalt under senare tid. Här följer några exempel från Sverige:

- Stoftutsläppet per ton stål har sedan början av 1960-talet minskat med 96%.

- Utsläppet av kadmium har de senaste tio åren minskat med 90%.
- Utsläppet av kvicksilver har de senaste tio åren minskat med 80%.
- Utsläppet av svavel har de senaste tio åren minskat med 70%.

Framtiden

Dagens samhälle vore inte möjligt utan den fantastiska utveckling som skett av olika material, av vilka stål är det mest betydelsefulla. Det är svårt att överhuvudtaget tänka sig områden där stål saknar betydelse. Aldrig har så mycket stål använts i vårt samhälle. Även om vi ofta talar om dagens samhälle som informationssamhället eller det postindustriella samhället, kan vi inte bortse från detta faktum.

Det finns inget som talar mot att stål kommer att fortsätta vara ett mycket viktigt material också i framtiden. Inte minst det faktum att stål är ett etablerat kretsloppsmaterial kommer att borga för detta. Egenskaperna förbättras ständigt liksom att tillverkningstekniken förfinas. Gränsen för den tidigare beteckningen kvalitetsstål har mer eller mindre suddats ut sedan en tid tillbaka, idag gör de flesta stålverk "kvalitetsstål" och denna utveckling kommer att fortsätta. Den globala tillväxten av stålproduktionen kommer under närmaste framtiden att främst ske i Asien och Sydamerika. I Sverige är omstruktureringen av branschen helt genomförd. De flesta stålföretagen i Sverige är nu starkt specialiserade och opererar på nischmarknader där de är världsledande. Att andelen stål som produceras i Sverige utgör mindre än en procent av världsproduktionen, saknar alltså i viss utsträckning betydelse. Att den rostfria marknaden kommer att fortsätta växa är också något som är av vikt för stålindustrins utveckling i Sverige.

I framtiden måste järn- och stålframställningen ytterligare effektiviseras. Det är troligt att stålindustrins råvaror kommer att bli dyrare samtidigt som priserna på produkterna – trots allt mer avancerade egenskaper – relativt sett fortsätter sjunka. Som en del i den allt mer avancerade processtyrningen, för att öka produktionen, minska energianvändningen och förbättra produktkvaliteten, kommer vi att finna en generellt ökad användning av luftgaser som syre, kväve och argon.

Masugnen kommer att fortsätta utvecklas och under lång tid framöver fortsätta att vara den dominerande processen för råjärnsframställning. Beskickningsmaterialen kommer ytterligare att förbättras liksom processtyrningen. Tillsatserna av reduktionsmedel via injektion av t ex kolpulver kommer att öka så att koksbehovet minskar. Syreberikningen av blästern kommer därmed att öka och kanske kommer syrgasmasugnar, som den balanserade masugnen, att etableras i driftskala. Av alternativa råjärnsprocesser finns redan Corex i drift på två stålverk i världen och flera är under uppförande och än fler planeras. Andra alternativa processer, som är tänkta att inte kräva någon agglomering av järnråvaran, är under utveckling, men har en bra bit kvar till att kunna användas i driftskala.

Allt mer stål och allt mer avancerade stål kvaliteter kommer att produceras i ljusbågsugnar. Detta ökar efterfrågan på skrot och insatsmaterial med låga föroreningshalter. Detta leder till en fortsatt ökning av produktionen av järnsvamp. Som alternativ till järnsvamp har nu börjat produceras järnkarbid. Järnsvampsprocesser som inte kräver en



Processerna övervakas i avskilda kontrollrum. Foto Per-Olov Eriksson, SSAB Tunnplåt AB, Borlänge.

agglomerad järnråvara, vilket också fallet för produktion av järnkarbid, har börjat fås att fungera och allt fler anläggningar av denna typ kommer att byggas. Allt fler ljusbågsugnar kommer att gå över till kontinuerlig drift och användningen av annan energitillförsel än elektricitet kommer att öka. Skänkmetallurgins fortsatta utveckling kommer att ge ytterligare möjligheter att öka produktionen och förbättra produktkvaliteten.

Gjutprocesserna är inne i ett intressant skede. Gjutning av tunna slabs är att betrakta som etablerad teknik och många sådana anläggningar byggs nu världen över. Den första fasen i nästa utvecklingssteg är här med anläggningar för direktgjutning av band och tråd under uppförande. Incitamenten för ett genombrott, eller snarare teknikskifte, är starka och förutom den teknik som nu byggs för att tas i drift, är mycket annan teknik under utveckling i pilotskala.

Utsläppen från järn- och stålframställningen kommer att minska ytterligare genom bättre kontroll av insatvarorna, förbättrad processtyrning och en bättre reningsteknik. Stålindustrin är jämfört med många andra branscher långt framme när det gäller restprodukthantering, men mer finns göra. Utvecklingen går mot allt fler interna sekundärflöden och att de produkter, förutom stål, som lämnar produktionssystemet är i en sådan form att de kan finna en kommersiell användning.

Det är avslutningsvis svårt att i denna betraktelse frångå det faktum, att vad som sägs i ordleken, sann ur flera aspekter, med tiden bara blir allt mer korrekt: "Steel going strong".