

Et blik på jernets historie

Referat af foredrag
forelagt af
civilingeniør Arne
Jouttijärvi ved Årsmødet i
Århus september 2016

Jern er det næsthyppigste metal i jordskorpen, og det udgør ca. 5 procent af den. Det overgås kun af aluminium. Jordens kerne, der hovedsageligt består af jern og nikkell blev dannet da de tunge metaller under jordens dannelse sank ind mod jordens masse midtpunkt. De lettere metaller blev på jordens overflade og da en sky af silikater omkring jorden senere kondenserede dannedes jordens skorpe. Jorden er efterfølgende blevet bombarderet med meteornedslag, der har givet jordskorpen dens indhold af metaller og mineraler. I skorpen findes ingen frit jern, men jern findes i hundredvis af forskellige mineraler, fx hæmatit og magnetit.

Den første udvinding af jern fandt sted for cirka 5-6000 år siden i Lilleasien. I Norden lærte vi først for omkring 2500 år siden at fremstille og smede jern til våben og redskaber. Skiftet fra bronzealderen til jernalderen fremstilles ofte som noget, der tog ganske kort tid, men i virkeligheden var bronze i hundredvis af år efter jernets fremkomst i Norden fortsat et stærkere materiale end jern. Først i den tidlige middelalder blev bronze til værktøj og våben helt udkonkurreret af jern.

Fremstilling af jern

Da vores forfædre begyndte at fremstille metalliske produkter var der forskellige muligheder for at fremstille værktøj, våben og pyntegenstande. Guld, sølv og kobber blev brugt hertil i de områder, hvor disse metaller fandtes og anvendelse af jernholdige meteoritter var også en kilde til jern. Jern forekommer i mængder op til 90% som en væsentlig bestanddel i nogle meteoritter. Jernet fra disse jernholdige meteoritter blev koldhamret til små emner, såsom søm, hestesko, knive etc.



I Skandinavien og Nordeuropa blev der i perioden ca. 500 fvt til ca. 1600 anvendt myremalm eller nedbrudte bjergmalme. Myremalm dannes ved udvaskning af jern fra forvitrede stenarter. Det jernholdige vand strømmer med grundvandet til den nærmeste å eller sø. Når grundvandet kommer frem til et iltholdigt miljø (sø eller vandløb) oxidres jernet og udfældes som myremalm. Myremalme er gode malme med op til 80-85 % jernoxid

Udvinding af jern var muligt ved anvendelse af en jernudvindingsovn.

Den første type ovn til jernudvinding kaldtes en slaggegrubeovn (fig. 1). Den blev fremstillet ved, at man først gravede man et ca. 60 cm dybt hul til at optage slaggen. På kanten af hullet blev ovnskaften bygget af halvt tørrede lerblokke op til en højde på 1-1,5 meter. Forneden i skakten var der huller til lufttilførsel under smelteprocessen.

Slaggegruben blev fyldt med halm for at forhindre, at trækullet i faldt ned i gruben. Ovnskaften blev så fyldt skiftevis med lag af myremalm og trækul. Det brændende trækul udviklede kuliltegas, der fjernede ilten fra malmens jernoxid, så der dannedes metallisk jern. Bemærk at jernet ikke smelter, men at det er slaggen, som hidrører fra urenheder i malmen, der



Fig. 1: Slaggegrubeovn

smelter og løber ud af den porøse jernsvamp ned i slaggegruben. Jernet har en struktur nærmest som en svamp søger ned mod ovnens bund.

Når jernsvampen kom ned i den 12-1300 grader varme zone lige over lufthullerne, smeltede slaggen helt og løb ned mod bunden af ovnen. Her blev den i første omgang standset af grubens halmfyldning. Men når der havde samlet sig så megen slagge, at halmfyldningen blev trykket sammen/brændt væk, løb den opsamlede slagge ned i bunden af gruben og størknede. Efterhånden som slaggegruben blev fyldt op, dannede der sig i den en slaggeblok på omkring 200 kg.

Det udvundne jern, som sank ned gennem skakten, satte sig som regel fast under lufthullerne i bunden af ovnen. Her slog man hul i siden af ovnen straks efter brændingen og trak jernet ud i glødende tilstand for at smede det.

Selve udvindings processen tog som regel et par døgn. I den tid blev skakten påfyldt skiftevis lag af trækul og myremalm. Man regner med, at der ud af 280 kg trækul og en tilsvarende mængde myremalm kom en jernsvamp, den såkaldte luppe, på ca. 60 kg. Luppejern (fig. 2) forbliver en almindelig handelsform op til middelalderen.

Fremstillingsteknikken ændres kun lidt i perioden frem til 1500-tallet, men processen bliver efterhånden mere effektiv. Jernet fra luppen kunne kun forarbejdes ved smedning. Rent jern er ikke så hårdt og stærkt som bronze. I begyndelsen anvendtes jern til kostbare pyntegenstande og var i en periode mere kostbart end guld, men efterhånden kunne der frem-

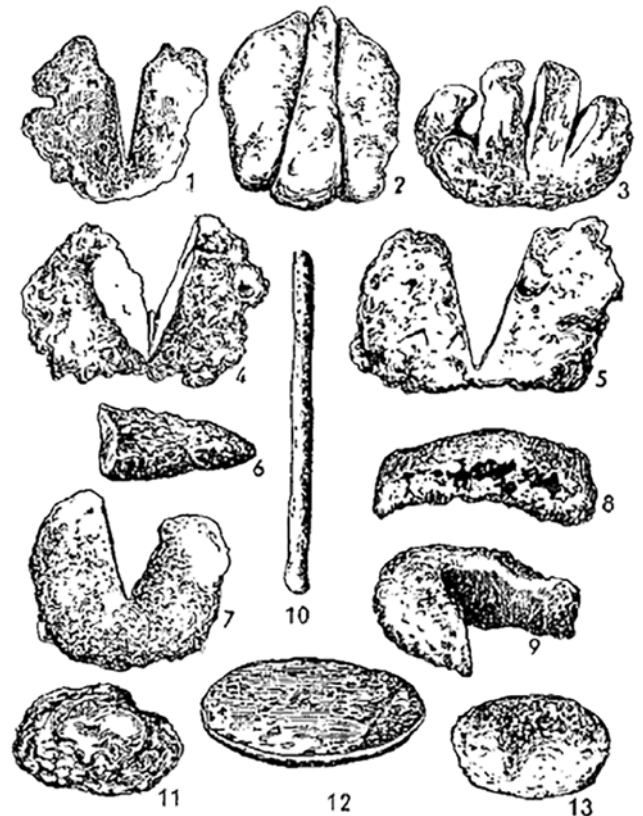


Fig. 2: Luppejern

stilles simple brugsgenstande. Først da stålet kom til bliver det muligt at fremstille især våben, som var stærkere end bronze.

Stålet kommer til

Allerede i ca. 1500 fvt kunne Hittiterne fremstille våben af stål (fig. 4) og efter rigets fald i ca. 1200 fvt spredtes deres kundskaber til andre kulturområder. Omkring ca. 1200 fvt fandt smedene ud af, at jern, der blev liggende i en lukket ovn, der blev opvarmet med trækul blev stærkere og hårdere. Man havde altså opdaget en teknik hvor rent jern kunne opkalles ved opvarmning sammen med kulstof. Metoden kunne give helt op til 1,8% kulindhold (i moderne terminologi betegnes jern, der indeholder 0,3-1,2 % kulstof som stål). Yderligere fandt man ud af, at bratkøling kan



Fig. 3: Ceremonielle knive af jern



Fig. 4: Hittitisk sværd. Skaftet af stål, håndtaget af bronze.

gøre stålet meget hårdt og stærkere end bronze.

Ved at smede stålet sammen med rent jern kombinerede man de to materials egenskaber til et materiale, der var hårdt og fleksibelt på samme tid. For eksempel havde vikingerne en forkærlighed for knive smedet af tre lag jern; to lag rent jern med et lag stål i midten (fig. 5). En sådan kniv kan slibes mange gange uden at miste skæret. Når der skulle spares var stålet meget kortere og nåede ikke hele vejen igennem til knivens ryg.

Ved hjælp af sofistikerede smedeteknikker og forskellige hærde-metoder kunne nogle dygtige smede fremstille sværd, som havde et hårdt skær men en smidig kerne. Nogle af de fineste sværdklinger, man kunne få fat i på det tidspunkt, var importeret fra Rhinområdet. Klingerne bar navnet "ULFBERTH", et kvalitetsmærke der dækkede over tidens bedste sværd, fabrikeret i stål i høj kvalitet.

Mange af de sværdfund med indgravningen ULFBERTH i klingen er i virkeligheden fremstillet af samtidige svindlere, som har solgt sværd af ringe kvalitet. Vikingerne har ikke kunnet se forskel, klingerne så identiske ud, og var skarpe som et barberblad, men kunne vise sig fatale i brug. Når klingerne var hærde var både de ægte og forfalskede meget skarpe, men de dårlige sværd kunne splintre som glas ved et hårdt anslag, og det kunne være fatalt. Man kunne således nemt kopiere formen uden at være i besiddelse af teknikken til at opnå den gode kvalitet.

Middelalderen

I løbet af middelalderen blev der opfundet mange nye redskaber og der blev bl.a. udviklet vandmøller (fig. 6) og højovne (fig. 7) i denne periode. En vandmølle kunne drive et hammerværk (fig. 8) hvor selv den flotteste smed ikke kunne være med; 200 kg i strakt arm! Højovnen kunne fremstille støbejern, (råjern) som i en friskningsherd kunne omdannes til

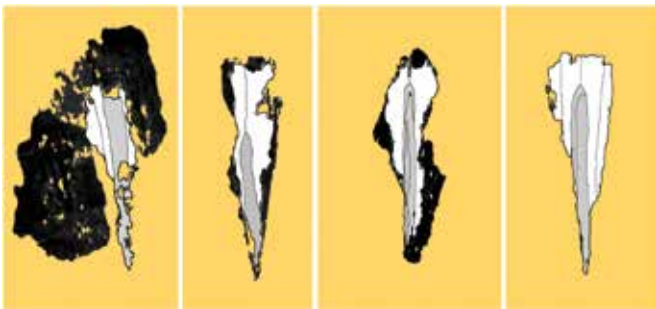


Fig. 5: Tværsnit i kniv fra vikingetiden. Gråt = stål; hvidt = jern; sort = korroderet jern



Fig.6: Vandmølle

smedejern. Stålfremstilling med højovne var allerede anvendt i Kina i 500 fvt, men kom først senere til Europa. Nu kunne man fremstille jern, der var fri for slagge og mineraler, men det indeholdt fortsat for meget kulstof, ca. 4%. Således fremstillet støbejern var ikke alene meget hårdt men også meget skørt og derfor uegnet til brug for fremstilling af eksempel sværd og belastede maskindele. Råjern skulle derfor



Fig. 7: Højovn

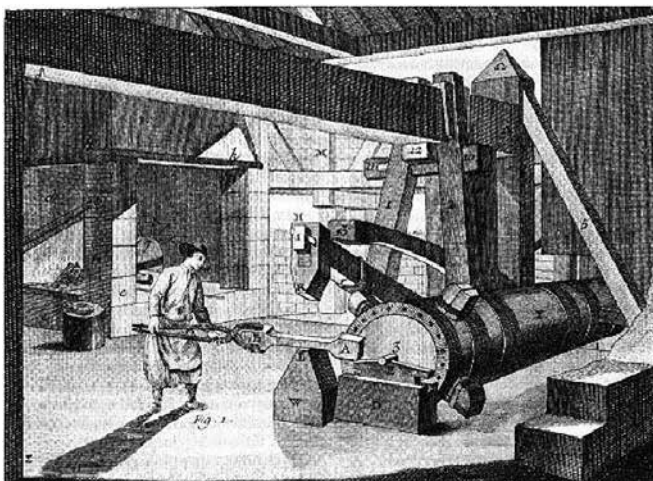


Fig. 8: Vandkraftdrevet hammerværk

omdannes til smedjern ved friskning. Ved friskning (fig. 8) anvendtes en trækulsfyret friskningsovn, hvor råjernet blev smeltet og kulstoffet fjernet ved oxidation. Jernet blev så skubbets sammen til en luppe og den tilbageværende slagge blev fjernet ved hamring. Til sidst blev luppen udsmedet til stangjern. Denne proces var imidlertid så tidskrævende, at der i lang tid forsat anvendtes smedjern fra lavovne. Højkvalitetsstål blev således fortsat et kostbart materiale.

Meget tyder på, at den afgørende udvikling af stålremstilling fandt sted i Sverige i Västmanland-Dalarna, hvor der var rigeligt med vandkraft. Forudsætningen for at drive en højovn er en kontinuerlig kraftkilde, fx et møllehjul, der kan drive blæsebælgene uden stop i flere måneder. Magnetit og hæmatit var der rigeligt af i overfladenære gruber. Råjern og støbejern var i begyndelsen af forsvindende interesse, det var smedjernet, der var efterspørgsel på. Men med krudtets opfindelse blev der også brug for kugler og kanoner (fig. 9) af støbejern (ca. år 1400), og noget senere, fra ca. år 1500, fandt støbejernet langsom anvendelse til husgeråd såsom ovne og gryder.

Den svenske jernindustri voksede på grund af de



Fig. 9: Kanonstøberi

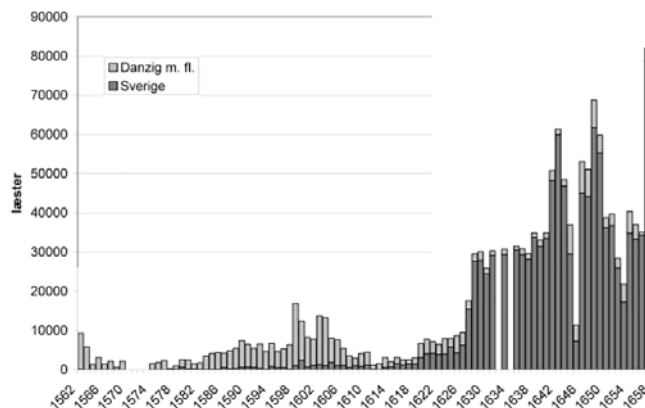


Fig. 10: Sveriges jerneksport

mange krige sig meget stærk (fig. 10), især under 30 års krigen 1618-1648, og der var omkring midten af 1800-tallet ca. 300 højovne i drift og Sverige indtog en ledende stilling på Europas jernmarked. I mange hundrede år var hovedproduktet smedjern, der solgtes i form af fingerstore stykker, de såkaldte osmund, der var ensartede stykker på 280-305 g. Disse pakkedes i tønder af 480 stykker, vejende 1 skippund (137 kg), og eksporteredes fra Stockholm til Danzig, Lübeck, København, Holland og England (fig. 11).

Omkring år 1550 var jernhåndteringen blevet så mekaniseret, at man med vandrevne hamre kunne smede jernet ud i lange stænger (fig. 12). Hermed forsvandt osmunderne langsomt og erstattedes af stangjern, 3-4 m lange stænger med en vægt på 18-22 kg. Stangjern var udgangspunkt for alt smedearbejde, fra hestesko, søm, låse, nøgler, hjulbandager, værktøj og våben.

I Danmark ophørte den jyske jernproduktion omkring år 1600, men Christian 4. støttede væksten i den norske jernindustri, og da det gik bedst, var der ca. 20 højovne i drift, de fleste på sydvestsiden af Oslo Fjord, hvorfra stangjern og støbegods (fx ovne) blev leveret til Danmark. Grundlaget for produktionen var en række små, men velegnede magnetitforekomster langs Oslo Fjord.



Fig. 11: 1 Skippund osmund

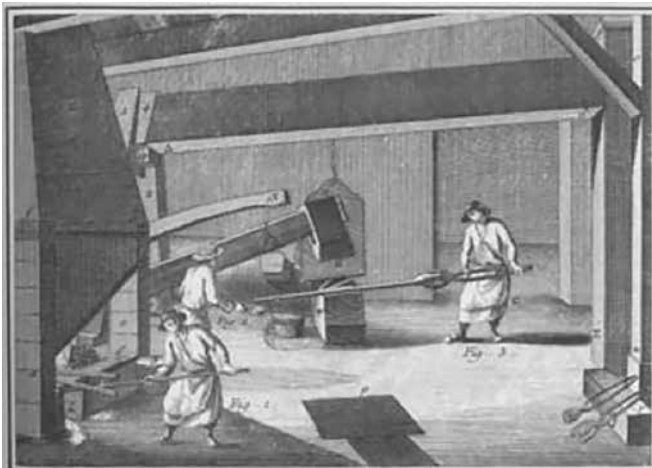


Fig. 12: Friskning og stangsmedning

I Mellem- og Sydeuropa blev anvendelsen af højovne først almindelig i 1500-tallet. Så godt som alle højovne i såvel Amerika som Europa blev drevet med trækul som brændsel indtil 1870'erne. I Sverige fortsatte man endog til omkring 1960 med trækulshøjovne.

Undtagelsen var England, som med et skovareal på kun 6% (1700) havde store vanskeligheder med at forsyne sig selv med brændsel og tømmer. Man eksperimenterede med stenkul, men med utilfredsstillende resultat, indtil det i 1709 lykkedes det Abraham Darby i Coalbrookdale i England at fremstille brugbart, svovlfattigt råjern ved at chargere højovnen med koks i stedet for med stenkul (fig. 13).

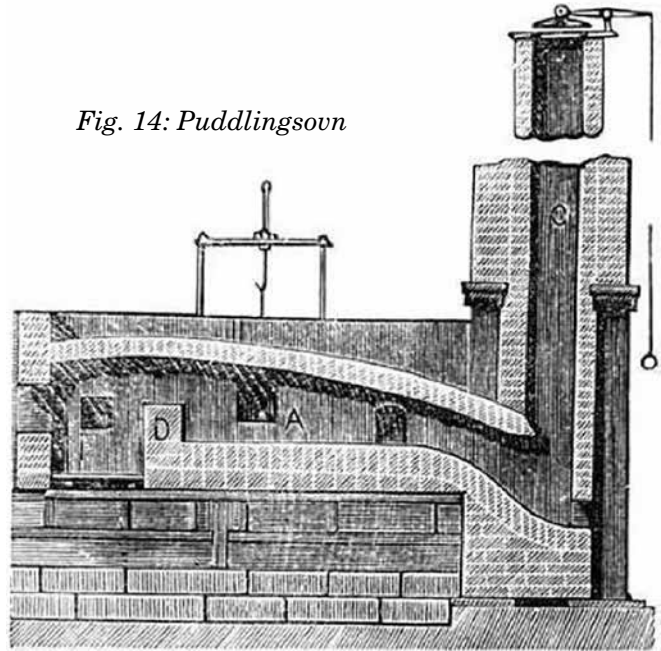
Nyere tid

Råjernet må som før nævnt friskes for at blive til



Fig. 13: Abraham Darby fremstiller jern med koks

Fig. 14: Puddlingsovn



brugbart smedejern. Så længe der anvendtes trækul nåede man frem til udmærket smedejern. Men da man i England forsøgte sig med stenkul på friskningsherden, gik det galt, smedejernet blev rødskørt pga. et betydeligt svovlindhold. Et kæmpeskridt nåedes med opfindelsen af puddlingsovnen (fig. 14), hvor ildstedet med kullene blev adskilt fra jernet i herden. Ved denne metode kunne stenkulsasken ikke afgive sit skadelige svovl til jernet på herden. Puddlingsmetoden betød, at man blev uafhængig af trækul, og den samtidige udvikling af dampmaskinen førte til, at man kunne bygge jernværker hvor som helst, uafhængigt af vandkraften. Disse forhold medførte en dramatisk omplacering af de jernindustrielle centre, fra Sverige, Norge og Rusland til England, Tyskland, Frankrig og USA. Endnu en engelsk opfindelse, forvarmning af højovnens indblæsningsluft med gigtgas, stammer fra 1820'erne og forbedrede på afgørende vis brændselsøkonomien.

Stål

Sidst i 1800-tallet skete den hidtil største nyskabelse i jernets 3000-årige historie: Jern kunne nu fremstilles via smelteprocesser som Bessemer- og Siemens-Martin-metoderne (fig. 15) omkring slutningen af 1800 tallet, og færdigvaren, som var homogen og slaggefattig, fik betegnelsen stål. Storbritannien, Tyskland og USA dominerede industrien de første 60 år, men især efter 2. Verdenskrig gjorde Kina, Japan, Sovjetunionen og Sydkorea sig stærkt gældende. Sverige og Finland har en ikke ubetydelig del af verdensproduktionen. Værdien af denne produktion er ret stor, da det bl.a. drejer sig om rustfri stål og værktøjsstål.

Fremstillingsteknologien ændrede sig markant efter 2. Verdenskrig. I løbet af 1960'erne og 1970'erne forsvandt både Thomas-, Bessemer- og Siemens-Martin-processerne til fordel for elektroovne og iltblæste konvertere.

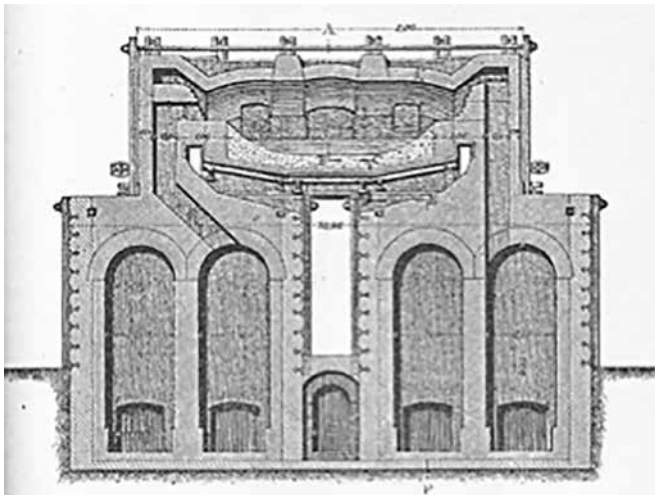


Fig. 15: Siemens-Martin oven

Moderne stålfremstilling

I de sidste 200 år har man gennem procesforbedringer kunnet rense jernet til det indeholder under 2 % kulstof. For eksempel kunne en Bessemer konverter (fig. 16), patenteret i 1856, for første gang massefremstille stål. Ved Bessemer-metoden blæses luft gennem huller i bunden af en konverter, hvorved kulstof oxideres.

Med kendskab til de kemiske processer har man lært, hvordan uønskede bestanddele, fx svovl og fosfor, kan omdannes til slagge, som fjernes under stålfremstillingen, og resulterer i et høj kvalitets stål.

I dag fremstilles det meste stål ved hjælp af LD-processen. Den proces bruger en Bessemer-konverter



Fig. 16: Bessemer konverter

lignende digel (fig. 17), der fyldes med råjern. Råjernet blæses igennem med ilt, som reagerer med silicium, mangan og kulstof under stærk varmeudvikling. Temperaturen stiger og råjernet friskes og omdannes til et homogent og næste slaggefrit stål.

Moderne fremstillingsprocesser har sænket produktionsomkostninger betydeligt og har gjort verdens stålforbrug konstant stigende.

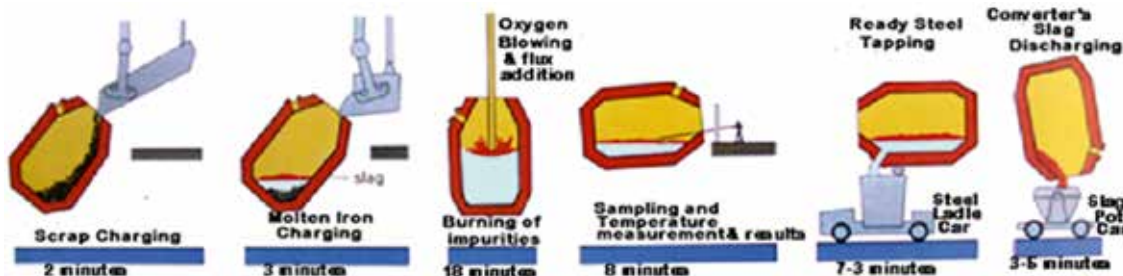


Fig. 17:
LD-proces