

PRØVER MED EN
HÆRDEOVN FOR KULSTOFSTAAL

WILD BARFIELD'S PATENT

FORSØK OG UNDERSØKELSER UTFØRT VED
MARINENS TORPEDO- OG MINEFABRIK
I SAMARBEIDE MED STATENS
RAASTOFKOMITE

AV

J. BULL

DIREKTØR FOR MARINENS MINEVESEN

MED 6 FIG. I TEXTEN

STATENS RAASTOFKOMITE
PUBLIKATION Nr. 18

KRISTIANIA 1923
I KOMMISSION HOS H. ASCHEHOUG & CO.

INDHOLD

	Side
Om hærkning i almindelighed	5
Hærkeovner i almindelighed	9
Hærkning med magnetisk indikator	11
Wild-Barfields hærkeovn	12
Betjeningsforskrifter	13
Endel driftsresultater	17
Legerte staal	22
Resume	24
Summary	24

Om hærkning i almindelighet.

Før de egentlige prøver beskrives skal det teoretiske grundlag for hærningen av staalet ganske kort omtales. En indgaaende teoretisk utredning av dette spørsmaal vil selvfølgelig føre altfor vidt. De som ønsker at sætte sig ind i det vil i faglitteraturen kunde finde problemet behandlet kortfattet eller indgaaende praktisk talt efter ønske.

Her skal derfor kun gives en rent skematisk fremstilling av forholdet.

Der maa da skjælnes mellem almindelig kulstofstaalet og saakaldte legerte staalet. Her skal kun i det væsentlige kulstofstaalet behandles, d. v. s. staalet bestaaende av jern og kul som hovedbestanddele, mens øvrige i staalet befindtlige elementer hovedsagelig maa betragtes som uvæsentlige eller forurensninger.

Staalet optræder i flere saakaldte modifikationer som kun er stabile for visse for krystalartene eiendommelige temperaturintervaller.

Disse temperaturintervaller er avhængige av kulindholdet og er grafisk fremstillet i det saakaldte tilstandsdiagram, fig. 1. Det temperaturomraade hvor overgang eller omvandling fra en krystalart eller modifikation til en anden normalt finder sted, er her skraveret.

I forbigaaende skal der pekes paa, at ved ca. 0,85 pct. kul foregaar omvandlingen ved en bestemt temperatur, ca. 685° ved avkjøling, noget over 700° ved ophetning, mens der ellers er et temperaturinterval, der er større jo mere kulindholdet fjernes sig herfra, enten den blir høiere eller lavere.

I alle tilfælder danner 685° den laveste grænse for omvandlingsprocessen under normale forhold og kaldes den eutek-

toidiske temperatur. En legering som svarer til punktet S og altsaa har ca. 0,85 pct. kul, kaldes eutektoidisk, og punktet S i diagrammet kaldes paa lignende maate det eutektoidiske punkt.

Av største vigtighet for forstaaelsen av hærdeproblemet er det at fastholde at omvandlingene kun foregaar eller fuldføres ved de i diagrammet angitte temperaturer naar avkjølingen foregaar forholdsvis *langsomt*. Alt efter den hastighet, hvormed avkjølingen gjennomføres, vil omvandlingene mere eller mindre undertrykkes og kan isaafald senere delvis fortsætte ogsaa ved lavere temperaturer.

Desuten forskyves de i fig. 1 angitte grænser endel opover med stigende ophetningshastighet og nedover med stigende avkjølingshastighet.

Det ved rask avkjøling erholdte produkt sies at befinde sig i en ustabil tilstand, hvorfor det ved første anledning søker at overgaa til den *stabile* tilstand som svarer til den herskende temperatur. Man kan opfatte dette som om staalet befinner sig i en slags krystallografisk spænding, men at de kræfter som søker at overføre kornene til stabile tilstande er for smaa til at utføre omvandlingsprocessen, som er vanskeligere at gjennomføre jo lavere temperaturen er. Økes derimot temperaturen, blir krystallene mere letbevægelige og enhver fagmand vet hvorledes et hærdet staal, som altsaa netop er i ustabil tilstand, ved anløpning kan mildnes, tiltrods for at de anvendte temperaturer kan ligge langt under den laveste omvandlingstemperatur (685°) — men over almindelig temperatur.

Jo nærmere anløpningstemperaturene ligger de normale omvandlingstemperaturer, desto fuldstændigere ophæves de hemmende kræfter og desto fuldstændigere fuldbyrdes overgangen til den stabile tilstand.

Derimot er det ganske utelukket at faa et staal som befinner sig i en *stabil* tilstand til at gjennomgaa nogen omvandlinger ved *lavere* temperaturer end de i diagrammet fig. 1 angitte.

Omvandlingen foregaar dels med *jernet* og dels med *kullet*. Jernet overgaa *gradvis* fra den tilstand, det stabilt befinner sig i ved temperaturer høiere end angit ved linjen *GCSE*, det saakaldte γ -jern, til andre tilstande indenfor *hete* det skraverte omvandlingsomraade.

Er kulindholdet mindre end 0,85 pct. gaar jernet over til bløtere modifikationer β - og α -ferrit, mens det med høiere kulgehalt gaar over til en kemisk forbindelse med kullet, til jernkarbid, Fe_3C , eller som det vanligvis kaldes *cementit*.

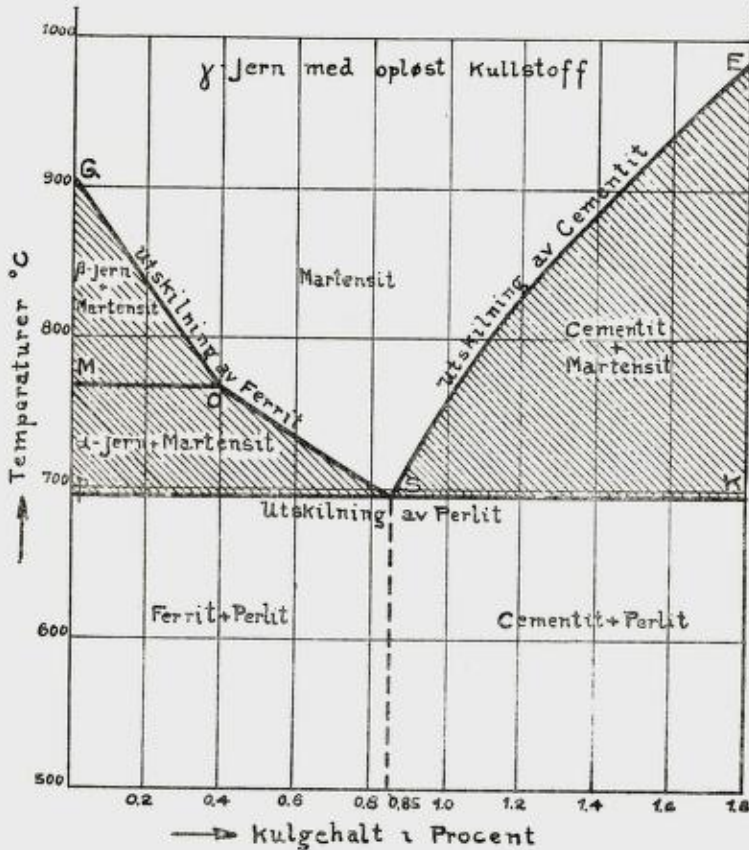


Fig. 1.

Ved den eutektoidiske temperatur gaar ved alle kulgehalter γ -jern dels over til α -jern og dels til cementit. Det foregaar altid i et bestemt blandingsforhold mellem α -ferrit og cementit, og blandingen optraer tilsyneladende som en egen strukturbestanddel og kaldes i almindelighet *perlit*, et navn som er det tillagt paa grund av den likhet det polert og ætset har med perlemor.

For cementit dannes, enten det nu foregaar i temperatur-omraadet ESK eller i forbindelse med perlitdannelsen (685°), befinder kullet sig fuldstændig opløst i γ -jernet.

Hærdet stål faaes som bekjendt, naar de normale omvandlinger ved hurtig avkjøling er mere eller mindre undertrykt.

Av kurven i fig. 1 vil det ogsaa let forstaaes at hærdevanskeligheden stiger, naar kulindholdet avtar, ti da vokser omvandlingsintervallet, som det derfor blir vanskeligere at komme igjennem dette uten at omvandling i større eller mindre grad finder sted. Desuten utskilles der forholdsvis mere av den bløte ferrit jo lavere kulindholdet er.

Det er videre forstaaelig, at stål med omkr. 0,9 pct. kul let tar fuld hærdsel.

Høst sandsynlig er det ikke mulig helt at undertrykke omvandlingene, og almindelig hærdet stål antas derfor at være et slags mellemprodukt, der gaar under navn av *martensit* eller en blanding av martensit og cementit, hvilken sidste bestanddel er den haardeste av alle de i stål forekommende.

Er derfor kulindholdet høiere end ca. 0,85 pct. er det heller ikke nødvendig eller ønskelig at ophete staalet til temperaturer over kurven SE.

Det vil av ovenstaaende fremgaa at for at faa et stål hærdet maa det med kulindhold mindre end 0,85 pct. opvarmes til over den øverste omvandlingsgrænse, angit ved kurven GCS, og med høiere kulindhold over den eutektoidiske temperatur, angit ved linjen SK.

Hvis det var likegyldig hvor meget disse temperaturgrænser blev overskredet, vilde hærtningsproblemet være forholdsvis let, idet man da altid kunde gaa til f.eks. mindst 900° , uanset kulindholdet.

Som bekjendt kan dette ikke gjøres, for at faa et godt resultat, man maa tvert om kun opvarme staalet til den kritiske temperaturgrænse saavidt er overskredet, hvilken temperatur helst ikke bør bibeholdes mere end ganske kort tid. Grunden hertil er at kornene begynder at vokse saasnart omvandlingene er fuldført, idet flere og flere korn slaar sig sammen til et.

Denne proces foregaar med raskt stigende hastighet, eftersom temperaturen økes.

Staalet blir derved grovkrystallisk og sprødt uten at det blir tilsvarende haardere.

Drives overhetningen for vidt, vil de enkelte korn overtrekkes med et oksydsjikt, hvorved kornenes sammenhengskraft yderligere reduseres sterkt. Staalet er da »forbrændt» og kan ikke ved fornyet varmebehandling reddes, hvilket man kan, hvis overhetningen har været mindre drastisk.

Man maa altsaa ved ældre hærdeметoder for hvert enkelt tilfælde kjende den rigtige hærdetemperatur og dernæst avgjøre, naar denne netop er indtraadt.

Og vel at merke, det er *staalstykkets* og ikke ovnsens temperatur som er avgjørende.

En hvilkensomhelst hærkning med temperaturen som grundlag vil derfor være en kunst, selv om man har hjælpemidler til at foreta temperaturbestemmelser.

Hærdeovner i almindelighet.

Den enkleste, billigste og til dato meget hyppig anvendte hærdeovn er en almindelig smiesse. Men heller ingen anden ovn stiller større krav til hærderens færdighet og erfaring.

Temperaturbedømmelsen foregaar utelukkende efter glødefarven og stykket kan ikke sees uten at trækkes mere eller mindre ut av ilden.

Ildens temperatur er som oftest langt høiere end den, hvortil stykket ønskes ophetet og kan ikke bestemmes med nogen grad av nøiagtighet. Heller ikke kan den holdes nogenlunde konstant.

Et nærmere studium av denne »ovn» vil hurtig lede til at det ikke er forsvarlig at overlate saa meget til en mands skjøn og man kan næsten si følelse, som tilfældet her blir.

Risikoen er for stor i forhold til de værdier som kan ødelægges.

Har man en ovn, hvor temperaturen kan kontrolleres og holdes paa en bestemt høide, blir straks forholdene bedre.

Der findes mange saadanne ovne, men de lider principielt alle av den mangel, at man maa kjende den foreliggende staalsorts analyse eller hærdetemperatur, og at det ofte ikke er mulig

at si, naar stykket selv er blit *helt gjennomvarmet* — man ser jo bare overflaten.

Letttest opnaaes formentlig en given temperatur i staalstykket ved at benytte salt- eller blybad.

Dampene fra de fleste salte ved hærde temperaturer er sundhetsskadelige og tærer sterkt paa alle jerndelev, saaledes at selv tykke kar hurtig spises op, likesom de gjerne kræver stort brændselforbruk.

Blydampene er saa avgjort giftige at blybad i det hele tat ikke burde tillates anvendt til hærkning — knapt nok til anløpning.

Hærdeovn med magnetisk indikator.

Der er i den senere tid bragt paa markedet en hærdeovn, hvor hærde tilstanden ikke bestemmes ved direkte temperaturbedømmelse, men ved staalets *magnetiske* tilstand.

Grundlaget for anvendelsen av dette princip er den omstændighet at jernet eller staalet i den tilstand, som det skal ha for ved avkjøling at kunne hærdes, er helt *umagnetisk*, mens det i den stabile tilstand som svarer til lavere temperaturer er magnetisk.

Dette har selvfølgelig meget længe været kjendt.

Vanskeligheten har ligget i at finne en letvindt og sikker metode til at bestemme netop, naar staalet saavidt er blit fullstændig magnetisk.

I den engelske Wild-Barfield-ovn, som leveres fra Automatic & Electric Furnaces Ltd., London, repræsenteret ved G. Magnus, Kristiania, er problemet ganske vellykket løst, ved at benytte den elektromagnetiske induktionsvirkning.

Hvis man f. eks. tar en kobberledning og vikler denne paa en cylinder til en spole, vil der som bekjendt i denne kunde induceres en elektrisk spænding, som igjen sender en strøm gjennom spolen, hvis begge ender forbindes, saa der blir sluttet ledning. Betingelsen herfor er at det antal magnetiske kraftlinjer som omsluttet av polens vindinger *forandres*.

Det spiller ingen rolle om antallet i sig selv er stort eller litet i et givet øieblik, det er *kun* variationen pr. sekund, som er bestemmende.

De magnetiske kraftlinjer kan skaffes enten fra en permanent magnet eller fra en anden spole, hvor igjennem der fra en strømkilde eller »nettet« sendes en elektrisk strøm.

En saadan spole vil frembringe et magnetisk felt som vokser eller avtar i takt med og i forhold til strømstyrken i dens vindinger, se fig. 2.

Her er den spole som tænkes at frembringe det magnetiske felt »primærspolen« antydnet ved P det magnetiske felt eller »kraftlinjerne« ved $m-m$.

Den spole, hvori den elektriske spænding tænkes inducirt, »sekundærspolen«, er betegnet med S og voltmetret som er indskudt i dennes strømkreds med V .

Nu kan imidlertid antallet av kraftlinjer $m-m$ ogsaa varieres derved, at man forandrer den magnetiske motstand i feltet, altsaa uten at strømmen i P varieres.

Dette kan gjøres ved at et magnetisk materiale, først og fremst jern, anbringes i eller fjernes fra magnetfeltet.

Det er klart at den samme virkning opnaaes enten man fjerner jernet fra feltet, eller man gjør jernet umagnetisk.

Dette sidste danner i virkeligheten princippet for Wild-Barfields magnetiske indikator.

Primærspolen dannes her av den vikling, som opheter selve ovenrummet.

Utenom denne er anbragt en ekstraspole, svarende til sekundærspolen, og i hvis strømkreds der staar et ømfindlig voltmeter eller speilgalvanometer.

Det staalet som skal hærdes, blir altsaa anbragt i primærspolens magnetiske felt, som ogsaa omsluttes av sekundær- eller indikatorspolen.

Naar staalet har naadd den temperatur, hvorved omvandlingen begynder, vil det gradvis, gjennem omvandlingsområdet, bli umagnetisk og under hele denne pericde forandres (økes)

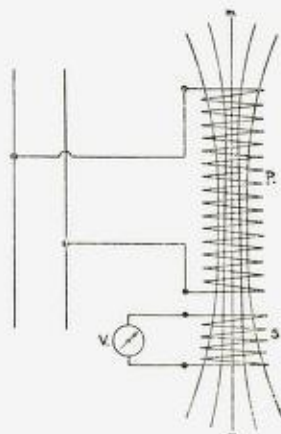


Fig. 2.

primærfeltets magnetiske motstand, kraftlinjetallet mindskes, d. v. s. der induceres en spænding i indikator-spølen, som har tilfølge at voltmetret gjør et utslag eller en utslagsforandring.

Naar omvandlingen er helt gjennomført blir galvanometret igjen dødt eller stillestaaende og hærðningen kan foregaa.

Det er som man ser i virkeligheten ikke nogen ny opvarmingsmetode, men en ny maate at bestemme, naar hærðtilstanden i staalet er naadd.

Wild-Barfields hærðeovn.

Ledningsskemaet for likestrøm er gjengit i fig. 3. *H* er tilførselsledninger fra kraftnettet, *S* hovedsikringer og *B* bryter.

F er ovnsrum viklet med hetetraaden *P*, hvori strømstyrken kan reguleres ved hjelp av motstanden *M*.

Utenom hetetraadsviklingen *P* er viklet induktionsviklingen *S* for den magnetiske indikator.

Ledningen til saavel *P* som *S* er ført gjennom hver sin vikling *p* og *s* paa den saakaldte kompensator *C*.

Disse viklinger har en fælles jernkjerne *J*, som kan skyves kortere eller længere ind i spiralerne.

Hensigten med kompensatoren er at forhindre at strømvariationer, som av en eller anden grund optrær i hetetraadsviklingen *P*, skal virke inducerende paa indikatorviklingen *S*. De to viklinger *P* og *p* er nemlig koblet slik i forhold til indikatorviklingerne *S* og *s*, at de inducerte spændinger virker mot hinanden.

Ved hjelp av jernkjernen *J* kan disse gjøres like store og de inducerte spændinger vil derfor ophæve hinanden.

Som det av figuren fremgaaer er der i indikatorledningen indskutt et galvanometer *G*.

Galvanometret har et speil, som træffes av lyset fra den 4-volts lampe *A* og denne lysstraale kastes tilbake mot en skala *Sk*, saaledes at en liten bevægelse eller vridning av speilet let *Sk*, saaledes at en liten bevægelse eller vridning av speilet let kan avlæses.

Lampen *A* faar strøm fra hovednettet, og i ledningen er indskutt en reguleringsmotstand *R*, for at man kan gi lampen den rette spænding.

Ledningsskemaet for vekselstrøm er hvad selve ovnen angaar det samme.

Derimot anvendes der istedenfor speilgalvanometret et almindelig vekselstrøm-instrument, som faar strøm til sit faste felt fra nettet.

Ovnens utseende er vist i fig. 4 og trænger neppe nærmere forklaring utover det paa figuren anførte.

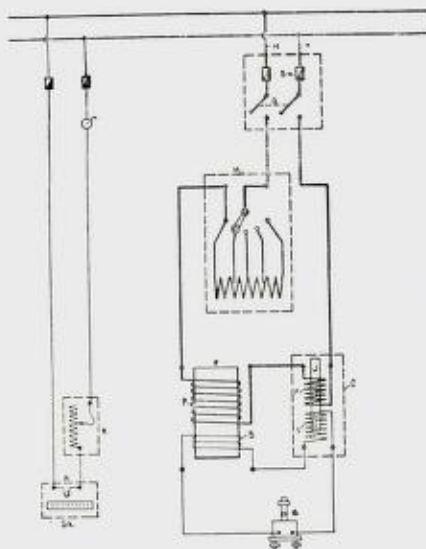


Fig. 3.

Betjeningsforskrifter.

Montering.

Hvis ovnen har været adskilt, monteres den paa følgende maate:

Den ytre trommel med nedre asbestring placeres paa bundplaten.

Den ildfaste trommel med hetetraadsviklingen sættes paa plads saaledes, at den ende som viklingen ligger nærmest kommer lavest. Herunder trædes hetetraadens ender gennem hullene anbragt i nærheden av klemskruene.

Ledningerne forbindes til disse.

Rummet mellem ytre og indre trommel fyldes *løst* med det ildfaste pulver.

Øvre asbestring og laak sættes paa.

Hele ovnen løftes op og den ildfaste bundplate skyves paa plads og ovnen sættes ned igjen paa underlaget. Indikatorspolen paasættes, hvis den har været avtat.

Det paasees at de tykke ledninger paa kompensatoren sættes i serie med hetetraaden og de tynde med ovnens indikatorspole.

Galvanometrets belysningslampe monteres og forbindes som ledningsskemaet viser.

Galvanometret monteres saaledes:

Naar galvanometret skal opstilles efterat ha været transporteret, maa den ophængte spole i det lange vertikale messingrør først frigjøres.

Klemskruen for messingskinnen i rørets nederste ende skrues ut.

De to krusede muttere, som holder røret paa plads, skrues ut, hvorefter røret trækkes forsigtig ut og den mutter, som er skrudd paa en pinde i midten av den svingbare spole, skrues ut, saa spolen blir fri.

Røret sættes derpaa forsigtig paa plads, og alle muttere skrues passe haardt til.

Galvanometret vatres saaledes ind, at den lille messingpinde blir staaende midt i hullet i træspolen.

Det maa nøie paasees at galvanometrets ophængte spole hanger midt i magnetfeltet og ikke berører magneten eller den centrale pinde.

Lampen opstilles i ca. 1 m. avstand og saaledes, at lyset træffer galvanometerspeilet. Dette vrides ved hjælp av top-skruen slik at lyset reflekteres tilbake, saa det træffer skalaens nul-merke.

Til lettelse ved indstillingen kan skalaens lineal ogsaa forskyves.

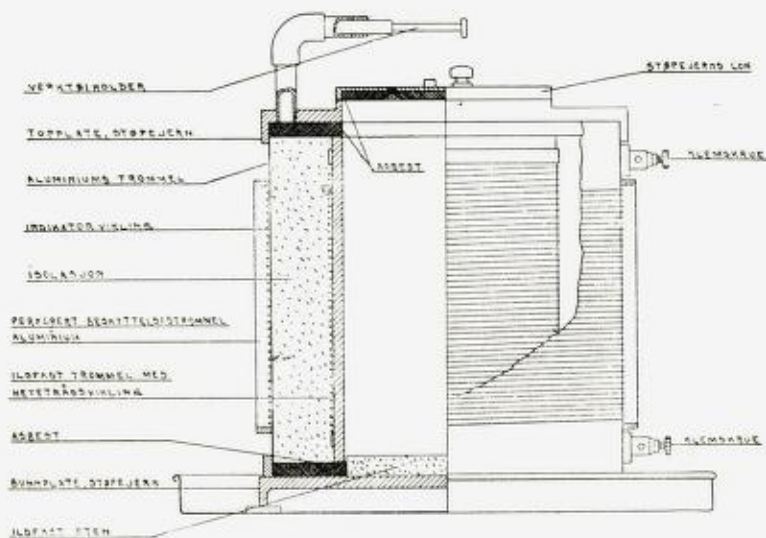
Lampens linse stilles i fokus saa lysspalten avtegnes skarpt paa linealen.

Galvanometret maa monteres paa et stabilt underlag, helst av marmor eller skifer, en træhyld vil let slaa sig.

Galvanometrets korrekte opstilling kontrolleres fra tid til anden.

Kompensatoren reguleres først efterat ovnen er blit opvarmet til ca. 800°.

Jernkjernen trækkes ut og haandtaget for ovnens reguler-motstand bevæges et trin. Utslaget paa skalaen noteres. Kom-pensatorens forbindelser til indikatorspolen byttes nu om og reguler-motstanden bevæges atter et trin og utslaget iagttages.



Wild-Barfield hærdeovn. Nr. 8. R. ca. 1:8.

Fig. 4.

Den forbindelse som gir det *mindste* utslag er den rigtige.

Jernkjernen sættes nu ind, og dens stilling justeres saaledes, at der praktisk talt intet utslag faaes om reguler-motstanden varieres fra den ene ydergrænse til den anden.

Jernkjernens justering bør i begyndelsen kontrolleres flere gange, og den korrekte stilling faaes først, efterat isolations-pulveret er tørret.

De emaljerte spiralledninger fra ovnens indikatorspole maa ikke klippes av men med klem-skruer forbindes den ene til kom-pensatoren den anden til galv-nometrets tilledning.

Ovnens temperatur bør ikke overskride 900°.

Før at sikre sig herimot bør der anvendes et pyrometer.

Der er ogsaa anbragt sølvtraadssikringer i den øvre ende av ovnsrummet, som automatisk bryter strømmen, hvis temperaturen overskrider ca. 900°, ikke vist paa skissen.

Hærdningen foregaar paa den maate at helst bare et stykke ad gangen hænges ind i ovnen, enten i en kobbertraad eller en tynd jerntraad.

Der maa hertil ikke anvendes større staalearter, da disse vil kunne paavirke den magnetiske indikator.

Likeledes bør staalet hænges stille, da en bevægelse, særlig op og ned, har indflydelse paa feltstyrken og saaledes paa galvanometerutslaget.

Egentlig skulde man nu intet merkbart utslag faa, før den laveste omvandlingstemperatur blev naadd.

Men galvanometret vil i almindelighed allerede en tid før denne temperatur naaes vise sig »levende«, se kurvene i fig. 5, saaledes at utslaget svinger mellem en viss værdi og nul.

Uregelmæssigheden skyldes tildels at staalets magnetiserbarhet avtar med stigende temperatur, ogsaa førend omvandlingene begynder, litt kan det skyldes unøjagtig justert kompensator, rystelser i underlaget, bevægelse av staalet, andre staalearter i nærheten, lokale overhetingar (i overflaten) o. l.

Under den egentlige omvandlingsperiode, vokser først utslagene merkbart, hvorefter de avtar og gaar mot nul, naar staalet er blit helt umagnetisk.

Man bør nu løfte staalet hurtig op og ned. Er galvanometret fremdeles »dødt«, er hærdestand naadd, og hærdeningen bør utføres efter 2 a 5 sekunders forløp.

Denne smule overheting bør foretages for at undgaa, at staalets temperatur allerede i luften falder under den øvre omvandlingsgrænse.

Ved vekselstrøm er forholdene noget anderledes.

Med tom ovn justeres kompensatoren saaledes, at intet voltmeterutslag faaes. Hænges der nu ind et staaletykke til hærdening, vil de magnetiske forhold forandres, motstanden bli mindre og, da hetetraaden fører vekselstrøm, vil der straks induceres en spænding i indikatorviklingen saa voltmeteret slaar

ut i forhold til staaletykkets magnetiske ledningsevne og dets størrelse.

Men naar staalet ved omvandlingen begynder at tape sin magnetisme vil utslaget avta og, naar det er blit helt umagnetisk, klar til hærkning, vil utslaget bli nul, idet man da har det samme forhold som om der intet staalet var i ovnen.

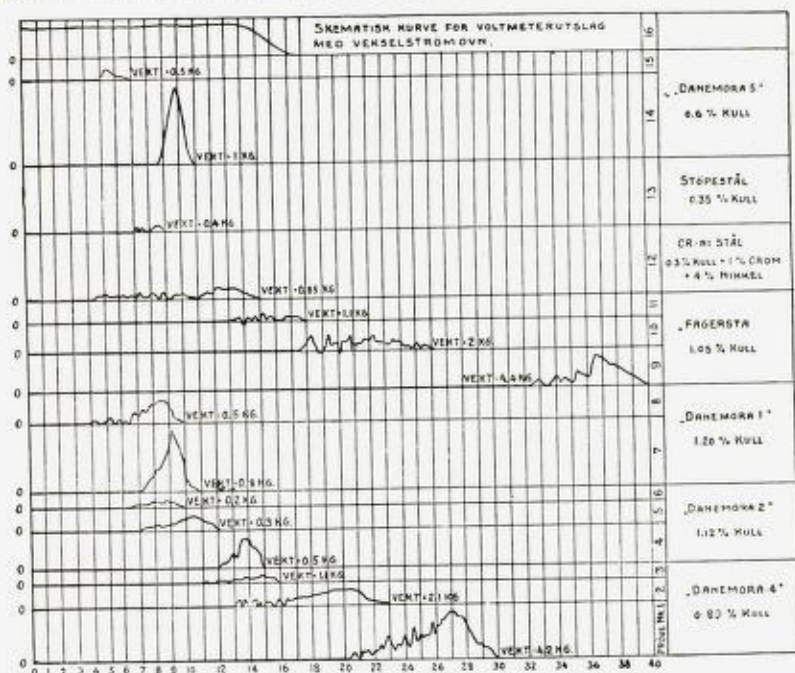


Fig. 5.

En saadan kurve er skematisk gjengit øverst i fig. 5. Som nævnt er kun ovnen prøvet for likestrøm, saa nogen kurve fra utført hærkning haves ikke.

Endel driftsresultater.

De i fig. 5 gjengitte utslagskurver er fra praktisk foretagne hærkninger. Utslagenes størrelse er avsat i $\frac{1}{8}$ maalestok vertikalt, tiden horisontalt.

Kurvene viser altsaa, hvorledes galvanometerutslaget varierer med tiden, ikke med temperaturen, og regnet fra stykket er hængt ind i ovnen.

Paa figuren er de fornødne data anført.

Man kan let se, hvorledes det hærdede stykkes dimensioner paavirker utslagets størrelse, jo større staaelmasse, jo større utslag. At et stort stykke under ellers like forhold tar længere tid end et litet for at naa hærdetemperaturen er ogsaa ganske klart.

Da det kan ha sin interesse at se, hvordan hærdetemperaturen passer med den av staaufactabrikantene opgitte og med kurvene i fig. 1 er endel temperaturkurver optat og gjengit i fig. 6.

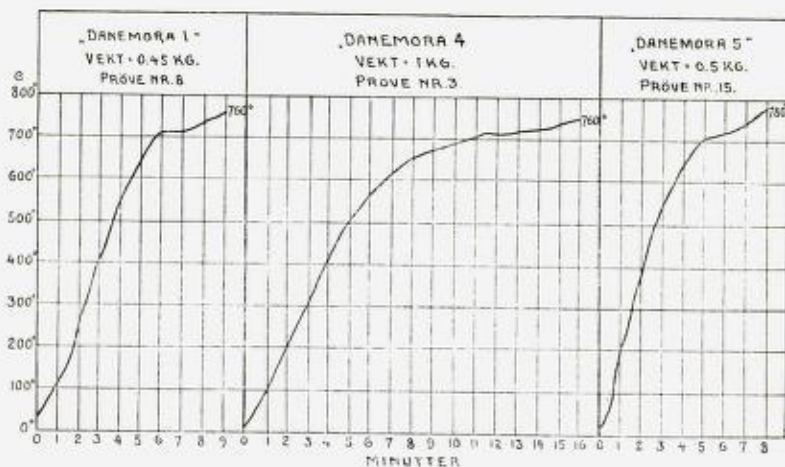


Fig. 6.

Der blev i den anledning boret et hul i staaletykket og i dette indsattes isolert heteelementet (sveisepunktet) fra et platin-platinrhodium pyrometer. Herved blev selve staalets indre temperatur maalt.

For Dannemora nr. 5 er saaledes opgit en hærdetemperatur av 785° C., mens ovnen angav 780°, hvilket passer godt, da denne arbeider med den laveste (og bedste) temperaturgrænse.

Efter 5 min.s forløp sees temperaturkurven at gjøre et knæk og en tid forløpe næsten horisontalt. Samtidig begynder galvanometret at slaa kraftig ut. Se prøve nr. 15 i fig. 5.

Dette indtræder ved ca. 715°, hvilket svarer ganske godt til omvandlingens begyndelse under ophetning, idet temperaturgrænsene, se side 7, forskyves noget opover ved en saavidt hurtig opvarmning, som det her dreier sig om.

At temperaturen stiger langsommere under omvandlingen skriver sig fra at varmen herunder forbrukes til at gjennemføre omsætningerne i staalet.

Da kulindholdet er ca. 0.6 skulde efter fig. 1 omvandlingen være fuldført ved ca. 740°. De i figuren angitte grænser maa som nævnt ved rask opvarmning forhøies skjønsmæssig fra 20° til 50°, saaledes at temperaturen 780° maa sies at passe meget godt.

Ved at sammenligne kurvene i fig. 1, 5 og 6 for Dannemora 1 og 4, med samme vegt, vil man finde en lignende sammenhæng.

De mindste stykker, som man har kunnet hærde i den prøvede 5 kw. ovn med et ovnsrum paa ca. 45 cm. længde og 20 cm. diam. er ca. 50 gr. Men da faaes kun utslag ved at bevæge stykket i ovnen.

Det tyngste staaletykke som bekvemt kan haandteres i ovnen, forutsat at dimensionerne ikke umuliggjør det, er ca. 25 kg.

Ved store stykker er galvanometret i bevægelse den hele tid, indtil hærdetemperatur opnaaes, da det blir dødt.

Med fuldt opvarmet ovn og fuld belastning, ca. 5,5 kv. tar det med 25 kg. i ovnen ca. 2 timer før hærdetemperaturen naaes.

Dette gir en kapacitet pr. time paa ca. 12,5 kg.

Firmaet opgir for samme ovn ved 4,2 kw. belastning en kapacitet paa 13,6 kg. altsaa noget gunstigere, men i det store og hele dog overensstemmende med de gjorte erfaringer for de største staaletykker.

Skal mange smaa stykker hærdes hvorved der tapes tid ved ut- og indtagning og ovnens straaling ikke saa effektivt utnyttes maa man regne med lavere kapacitet.

Med stykker paa f. eks. 1 kg. faaes kun ca. 4 kg. pr. time. Dataene kan let tages ut fra kurvene.

Firmaet opgir for sine ovne de i tabel 1 gjengitte omtrentlige data.

Der medgaar 1 time for at opvarme ovnen fra kold tilstand til ca. 700° og 1½ time til ca. 850°. Den forutsættes da selvfølgelig tom.

Hetetraadsviklingen som bestaar av vanlig nichrome eller lign. kan ikke paaregnes at staa i det uendelige, idet den litt efter litt »brænder op».

Den første vikling som er blit prøvet ved mine- og torpedo-fabrikken holdt saaledes ca. 450 driftstimer, d. v. s. ovnen var i fuldt ophetet tilstand i dette antal timer og ovnen hadde da gjort tjeneste i ca. 1½ aar.

En saadan vikling koster 12 £, hvortil kommer ca. 100 kr. for omvikling, isolation, montering o. lign.

Ovnen har senere været ca. ½ aar i bruk, saaledes at de driftsmæssige prøver ialt har strukket sig over ca. 2 aar.

Der kan paa grundlag av de utførte prøver uttales, at naar man først er blit fortrolig med ovnen og denne betjenes omsorgsfuldt og paapasselig, vil man kunde gjøre regning paa en meget god og sikker hærkning av almindelig kulstofstaal.

Hvorledes den virker for »legerte staal» er nedenfor nærmere omtalt.

Man undgaar overheting, for svak ophetning og paavirkning av forbrændingsprodukter, der baade kan virke op- og avkullende og fremforalt ved oksydation virke til sterk dannelse av glødeskal. Glødeskal vil man jo gjerne hævde, at man overhodet ikke faar i en elektrisk ovn, og om man end undgaar en saa sterk oksydation, at der direkte fremkaldes gløde-skal, er det dog neppe mulig at undgaa enhver overflateoksydation, saaledes at en blankslipt flate holder sig blank. Den vil altid mørkne mere eller mindre.

Man kan nok ved i ovnsrummet at helde nogen draaper olje som forbruger det i rummet værende surstof til sin forbrænding, skaffe sig en nærmest »neutral« ovns-atmosfære.

Men betingelsen herfor er at ovnen og da først og fremst døren er ganske têt, og dette er ialfald umulig at overholde, naar staalstykkene skal ut og ind.

Hertil kommer at staalstykket maa passere fri luft fra ovnen til kjølekarret.

Helt at undgaa anløpning antages derfor ikke gjørlig, men det er heller ikke tvil om, at man kan reducere anløpningen til et minimum og, at det aldrig behøver at gaa rent galt.

Tabel 1.

Ovnens nr.	2R.	3R.	4R.	6R.	8R.	12R.	4LR.	6LR.	8LR.	6LLR.	8LLR.	6E.	8E.	12E.
Indre diameter av ovnsrum i cm.	5	7,5	10	15	20	30	10	15	20	15	20	15	20	30
Længde av ovnsrum i cm.	33	33	33	38	44	58	73	89	104	135	166	48	63	94
Største længde i cm. som kan hærdes	20	20	20	20	20	30	60	71	81	117	142	30	40	60
Spænding i Volt	100—250	100—250	100—500	100—500	100—500	200—500	100—500	200—500	200—500	200—500	200—500	200—500	200—500	200—500
Største kapacitet, kg. pr. time	2,2	3,3	4,4	9	13,6	32	11	17,6	32	82	50	11	17,6	45
Energiforbrug, Kw.	0,9	1,3	1,7	3,0	4,2	9,5	3,2	5,2	8,4	7,8	12,6	3,5	5,6	12,6
Omr. pris Å	70	80	100	120	140	200	130	160	200	200	240	130	160	230

Det blir ens fra gang til gang.

Det anbefales sterkt at anskaffe pyrometer, da man isaafald har langt mere kontrol og oversigt over hele hærtningsarbeidet.

Hærdeomkostningene pr. kg. hærdet staal kan ikke angives nøiagtig i sin almindelighet. Disse beror først og fremst paa, hvor kontinuerlig ovnen er i drift, arten av det, som skal hærdes, og strømprisen.

De samlede omkostninger vil sammensette sig av strøm-kostende, forbruk av vikling, 1 mands arbeidsløn samt forrentning og amortisation.

Legerte staal.

De før tiden kommersielt anvendte legerte staal indeholder i almindelighet en eller flere av elementene: mangan, silicium, almindelighet en eller flere av elementene: Mangan, silicium, nikkel, krom, wolfram, molybden og vanadium.

Paa lignende maate som ved kul har disse tilsætninger i almindelighet indflydelse baade paa omvandlingstemperaturene og paa omvandlings hastighetene. Hertil kommer at de ogsaa kan paavirke staaletens magnetiske egenskaper.

Herav følger at man ikke uten videre kan gaa ut fra, at legerte staal kan hærdes i ovnen, dels kan temperaturen bli høiere end ovnen kan taale, ca. 900°, dels kan det magnetiske princip klikke.

Manganstaal kan hærdes efter samme princip som kulstofstaal, naar manganindholdet ikke overstiger ca. 1,5 pct. Omvandlingene foregaar da noget trægere, saa olje kan anvendes istedenfor vand som kjølemiddel.

Siliciumstaal anvendes sjelden i hærdet tilstand, men gives i almindelighet, særlig for magnetblik, en grundig utglødning, hvortil ovenns magnetiske indikator ikke er av nogen nytte.

Nikkelstaal kan, forsaavidt nikkelindholdet ikke er abnormt høit, over ca. 5 pct., hærdes som kulstofstaal. Nikkel virker paa lignende maate som mangan idet omvandlings hastigheten nedsettes, saa olje eller endog luft kan brukes til avkjøling istedenfor vand.

Kromstaal. Rent kromstaal med ca. 1,5 pct. krom brukes bl. a. til kulelagere. Da krom forholdsvis trøgt opløses i γ -jernet,

vil følgen være, at hvis man opheter staalet raskt til det umagnetiske stadium og straks avkjøler det, vil ikke kromet være gaat i opløsning, og man opnaar ikke fuld hærdsel.

Hvis man derimot slaar av strømmen, saasnart det umagnetiske stadium er naadd og holder staalet paa omtrent den samme temperatur i 2 a 3 minutter vil god hærdsning kunne faaes.

Er kromindholdet væsentlig høiere end ovenfor angit, 1,5 pct., er den magnetiske indikator til ingen nytte.

Rustfrit staalet, der indeholder ca. 13 pct. krom maa f. eks. opvarmes helt til ca. 950°, eller med andre ord betydelig over det magnetiske stadium.

Wolframstaalet. Wolfram nedsætter omvandlingshastigheden og gaar likesom krom forholdsvis langsomt i opløsning.

Den magnetiske indikator kan derfor kun brukes ved lav wolframgehalt, op til ca. 1 pct. Ved høiere wolframtilsætning maa staalet overhetes og, gaar den op i 12 pct. og derover som i hurtigdreiestaalet, kan en ophetning helt op til ca. 1300° bli nødvendig. Hertil kan ovnen naturligvis ikke brukes. Omvandlingshastigheden er da saa reducert at man som bekjendt kan avkjøle i luft.

Molybdenstaalet opfører sig i det væsentlige som wolframstaalet, men molybden hæver hærdetemperaturen hurtigere end wolfram, saa den magnetiske indikator ikke faar nogen praktisk betydning for molybdenstaalet med over ca. 0,5 pct. mo.

Nikkel-Kromstaalet med ca. 1,5 pct. krom og 1,5 til 5 pct. nikkel kan behandles i det væsentlige som kromstaalet.

Der bør for de lavere nikkelindhold anvendes oljeavkjøling, for den høiere luft.

Paa lignende maate kan forholdes med en kombination av de øvrige legeringselementer, idet der tages hensyn til det som er nævnt for hver enkelt av dem, naar de optrær alene.

Resumé.

Første avsnit omhandler i korthet de fænomener, som ligger til grund for hærdsning av staalet, hærdetemperaturer angives og staalets magnetiske forhold forklares i grove træk.

Næste avsnit, side 9, omtaler i korthet princippet for en hærdeovn uten at nærmere detaljer behandles.

Dernæst beskrives side 10 og følgende princippet for en magnetisk indikator for angivelse av hærdeilstanden og paa side 12 og følgende en av Wild-Barfield paa dette princip bygget hærdeovn.

Betjeningsforskrifter og driftsdata ledsaget av eksempler anføres paa 13—20.

Paa side 21 angives de forskjellige dimensioner paa ovner som leveres.

Som resultat av prøverne fremhæves side 20 og 22, at ovnen svarer til forventningerne og kan anbefales til kulstofstaal og staal med moderate tilsætninger av forskjellige forædlings-elementer.

Til slutning, side 22, omtales ovnens anvendelighet for legerte staal.

Summary.

The first pages are devoted to a brief description of the phenomena upon which the hardening process of steel is based.

Hardening temperatures are quoted and the magnetic conditions in steel are roughly described and explained.

On pages 9—10 the principle of hardening furnaces in general is given without further descriptive particulars.

Pages 10—12 explain the principle of a magnetic detector for finding the correct hardening condition for steel and its application in the Wild-Barfield hardening furnace.

Instructions for use, and results obtained from working conditions are given, pages 13—20.

As result from the tests, pages 20 and 22, it is found that the furnace answers well to the claims made for it and, is recommended for the hardening of carbon steels and alloy steels with moderate additions of alloying elements.

In the last chapter, pages 22 and 23 its adaptability for alloy steels is briefly described.