



VARMEBEHANDLING FOR AT IMØDEGÅ SLID

H.C. DAM

DANSK METALLURGISK SELSKAB

1979

Postadresse
A/S Industrihærdriet
Herlev Hovedgade 15 Postbox 534
DK-2730 Herlev

Telefon:
(02) 91 41 22
International
+ 45 2 91 41 22

Telegram:
Harderiet

Postgirokonto:
5 47 06 09

A/S Reg. nr.
35340

Indledning

Metallografiske undersøgelser af arkæologiske fund af jernredskaber har vist os, at der har været fremstillet opkullede jernredskaber siden ca. 1200 f.Kr. Nogle hundrede år senere er man begyndt at anvende kulstofindsætning og hærkning, som vi også kender det idag.

Det er således ikke af nyere dato, at man har gjort sig klart, at varmebehandling er en vigtig parameter ved fremstilling af jern- og ståldetaljer med gode styrke og slidegenskaber.

Afhængig af konstruktionsdetalje og materialevalg råder værktøjs- og maskinkonstruktøren nu om stunder over en række forskellige varmebehandlingsprocesser.

Optimering af en detaljes levetid og fremstillingsomkostninger lader sig kun gøre, såfremt man har et indgående kendskab til de kombinationsmuligheder af materialevalg og varmebehandling, der står til rådighed for at opnå de ønskede egenskaber.

Slidpåvirkede konstruktionsdetaljer fremstillet i jern eller stål i hensigtsmæssig kvalitet vil ofte ved en eller flere af følgende væsentligt forskellige varmebehandlingsprocesser opnå de ønskede eller i hvert fald acceptable slidegenskaber.

1. Hærkning
2. Kulstofindsætning og hærkning
3. Carbonitrering
4. Nitempring
5. Gasnitring

Hærdning

Varmebehandling af værktøjsstål består ofte udelukkende af hærdning, samt afhængig af ståltype, en eller flere anløbninger. Tilsvarende gælder for en del konstruktionsstål.

Slidstyrken af et stål er i almindelighed afhængig af stålets hårdhed. Det er her en forudsætning, at hårdheden måles ved den aktuelle temperatur, der opstår i det lokale område, hvor slidet finder sted.

Slidbestandigheden af en konstruktionsdetalje er sædvanligvis kun et af flere krav, der ønskes tilgodeset ved en og samme varmebehandling, hvorfor varmebehandlingsparametrene fastlægges, så de giver produktet den længst mulige levetid, og dermed ofte ikke den bedst mulige slidstyrke.

Især for varmarbejdsstål udføres ofte en nitrerbehandling efter hærdning for at opnå en meget stor slidstyrke i et tyndt overfladelag.

De med austenitisering og afkøling af stål forbundne mål og formændringer søges i videst muligt omfang elimineret gennem et samarbejde mellem konstruktør og varmebehandler, når tegningerne til emnet fastlægges. Følges en sådan rigtig opstart af afspændingsglødning efter grovbearbejdning og en hensigtsmæssig varmebehandling både hvad angår proces og håndtering, vil det også for kritiske udformninger næsten altid være muligt at nå frem til et acceptabelt produkt.

For detaljer, hvor der stilles krav om en sej kerne, men et hårdt og slidfast overfladelag, kan induktionshærdning ofte anvendes. Er der yderligere tale om omdrejningssymmetriske emner, vil disse ofte med stor fordel kunne induktionshærdes

med en homogen indhærtningsdybde og ringe deformation til følge. Ved fremstilling af detaljer, der efter endt varmebehandling skal monteres under anvendelse af svejsning, kan man ved induktionshærdning og flammehærdning undgå hærdning i de områder, der senere bliver varmepåvirket under svejsningen.

Hærdede ståls hårdhed måles sædvanligvis i HRC og hårdhedsintervallet for værktøjsstål er ca. HRC 40-68.

Kulstofindsætning og hærdning

Ulegerede- og legerede stål samt automatstål, der har et lavt kulstofindhold og er egnede for kulstofindsætning kan ved kulstofindsætning med efterfølgende hærdning og anløbning få et hårdt og slidfast overfladelag. Denne varmebehandling, der i daglig tale kaldes indsætningshærdning, består af tre primære procestrin:

1. Kulstofindsætning
2. Hærdning
3. Anløbning

Kulstofindsætningen kan finde sted enten i granulat, saltbad eller gas ved temperaturer normalt mellem 825 og 930°C.

Hærdningen kan foretages fra muffelovn, saltbad eller beskyttelsesgasovn og udføres sædvanligvis på en af følgende måder:

1. Direkte hærdning fra kulstofindsætning.
2. Enkelt hærdning. De indsatte emner afkøles langsomt til stuetemperatur efter indsætning, hvorefter de genopvar-

mes til austenitiseringsstemperatur og hærdes.

3. Dobbelthærdning. De indsatte emner afkøles langsomt til stuetemperatur, hvorefter emnerne gives den første hærdning eller normalisering fra 850 - 900°C. Den anden afkøling foretages fra austenitiseringsstemperatur mellem 780 og 820°C.

Når dobbelt hærdning anvendes, er det oftest på stål, der ikke er finkornsbehandlede.

Anløbning af indsatte og hærdede stål foretages umiddelbart efter hærdning for at undgå revnedannelser.

Dybden af indsætningen defineres på to principielt forskellige måder:

1. Som afstanden målt vinkelret på overfladen til et plan med en given hårdhed. Sædvanligvis anvendes 550 HV 0,5 kg som grænsen for indsætningen.
2. Indsætningslagets tykkelse måles visuelt ved hjælp af et Brinell mikroskop efter præparering ved slibning og ætsning. Ved denne metode måles kulstoffets totale indtrængning i stålet.

Overfladehårdheden af indsætningslaget måles ved hjælp af en Rockwellmåling med en passende belastning afstemt efter indsætningslagets tykkelse og overfladeruheden.

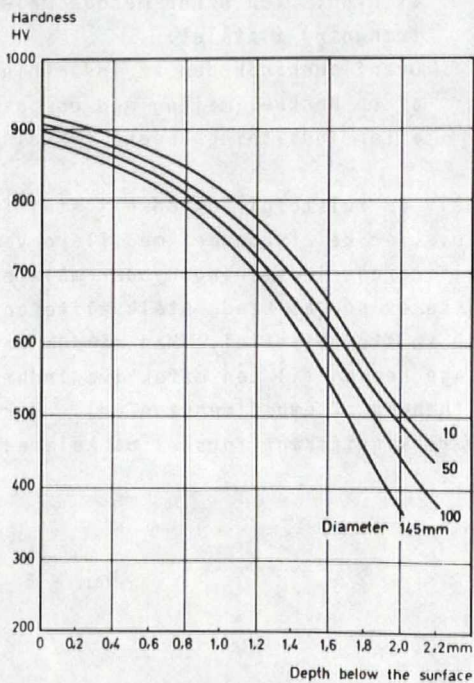
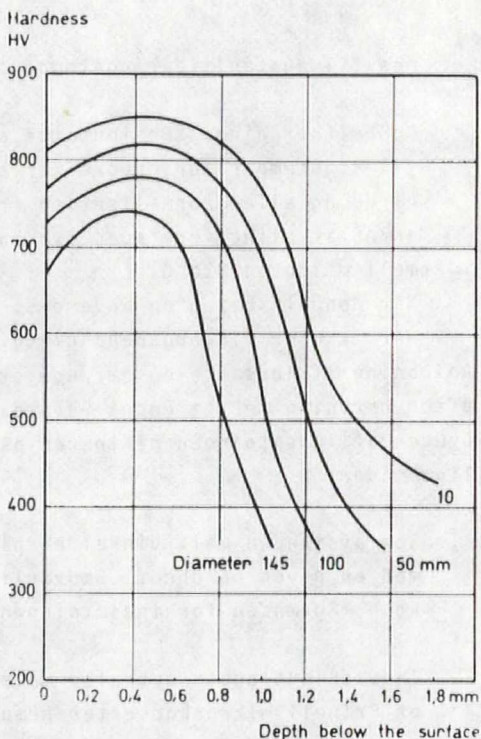
Selv om kulstoffdiffusionen i stål følger velkendte fysiske love, er det forbundet med flere vanskeligheder at nå specificerede indsætningsdybder målt efter metode 1, fordi det ikke er nok at kende stålqualiteten samt ovnsens temperatur og kulstoffpotentiel. Man må som det er vist i fig. 1 også tage hensyn til den effektive indhærdningsdybde, der opnås afhængig af emnedimension(er). Hertil kommer, at der kan være signifikant forskel på kølemediets køleevne alt efter

Fig. 1.
Indsætningshærdning af
stål En 352 (Bofors DR34).
Kurvene viser indhærd-
ningsdybdens afhængighed
af godstykkelser og køle-
middel.

Øverst er vist hårdheds-
profiler for emner der er
granulatindsat ved 900°C
og hærder fra 820°C i olie

Kulstoffets indtrængnings-
dybde er stort set ens
for de fire emner.

Nederst er vist hårdheds-
profiler for emner der
er granulatindsat ved
 900°C og hærder fra 780°C
i vand. Kulstoffets ind-
trængningsdybde er stort
set ens for de fire emner.
(1)p 359 - 360.



dets sammensætning, temperatur og omrøring.

Angives der ikke specificeret \pm tolerance på en ønsket indhærtningsdybde, anses den opgivne indhærtningsdybde som et mindste krav med de i tabel 1 angivne + tolerancer.

Indhærtningsdybde IHD i mm	Tilladelig afvigelse i mm
0,05	+ 0,03
0,07	+ 0,05
0,1	+ 0,1
0,3	+ 0,2
0,5	+ 0,3
0,8	+ 0,4
1,2	+ 0,6
1,6	+ 0,8
2,0	+ 1,0

Tabel 1. Tolerancer ved ikke-specificerede indhærtningsdybder.

Indhærtningsdybden eller indsætningsdybden kan kontrolleres ved destruktiv test af et eller flere emner, hvis der er tale om billigt masse gods. Er der tale om kostbare emner, kontrolleres dybden på prøvestykker af samme stål kvalitet og med en hensigtsmæssig geometri og størrelse.

For kritiske konstruktionsdetaljer vil det ofte være sådan, at emnerne ikke kan fremstilles med givne tolerancer og styrkekrav, såfremt de indsættes og hærdes på hele overfla-

den. Der findes to principielt forskellige metoder til frembringelse af selektivt indsatte og hærdede emner.

1. Ved indsætning har emnet en sådan geometri, at det efter indsætning og glødning skal maskinbearbejdes på en eller flere flader, således at der fra de områder, der ønskes holdt bløde, fjernes materiale mindst svarende til kulstoffets totale indtrængning. Efter endt maskinbearbejdning hærdes emnet.
2. Emnet er færdigbearbejdet før indsætning. Områder, der ønskes holdt fri for indsætning, afdækkes med et galvanisk pålagt gastæt kobberlag, hvorefter indsætning kan finde sted. Kan emnet hærdes uden hjælpeværktøjer, vil det kunne hærdes direkte efter indsætning. Skal der anvendes hjælpeværktøjer (hærdeplugs eller hærdeprese) køles emnerne langsomt af efter indsætning, hvorefter de stripes for kobber. Emnerne pålægges herefter kobberflash, så de ved hærkning er beskyttet mod ændring af kulstofindholdet i overfladen.

Carbonitrering

Carbonitrering er en termokemisk proces, der udføres over A_1 linien i jern-kulstofdiagrammet.

Ved processen tilføres stålet både kulstof og kvælstof, hvor kvælstoffet forøger hårdbarheden af det kulstofindsatte lag. Processen udføres fordelagtigst i et beskyttelsesgasanlæg f.eks. som vist i fig. 2. Procesgassen kan bestå af endogas med 2,5-10% ammoniak tilsat, afhængig af ståltype og valgt temperatur.

Der er flere årsager til, at carbonitrering i en del tilfæl-

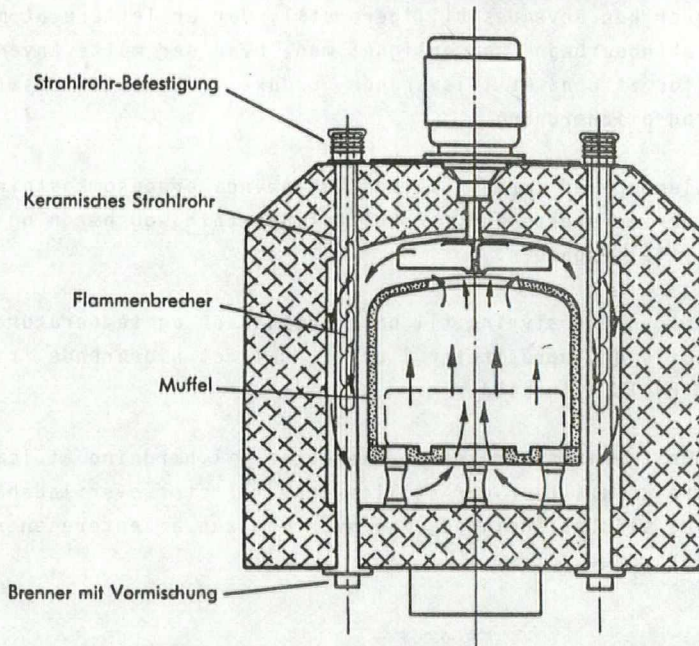
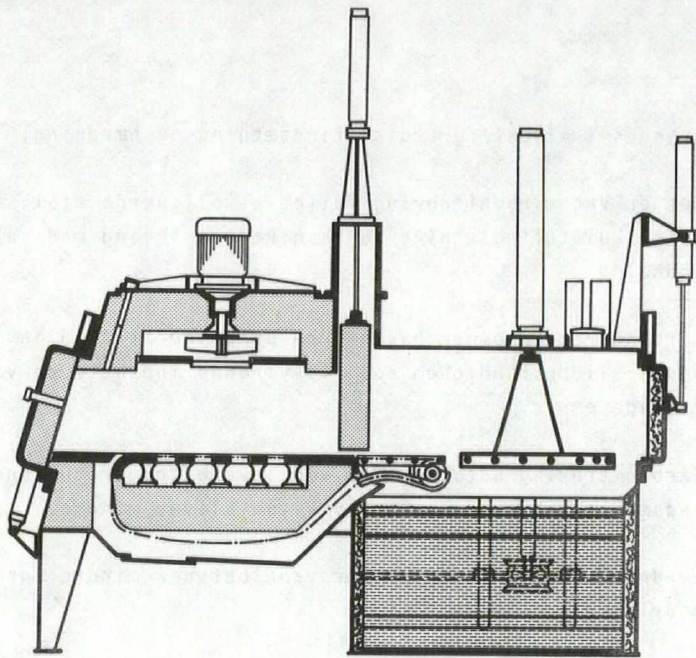


Fig. 2. Øverst-længdesnit i enkammer beskyttelsesgasovn med olieafkøling.
Neders-tværsnit gennem ovnkammeret.

de anvendes i stedet for kulstofindsætning og hærkning.

1. Det er ved carbonitrering muligt at oliehærde stål, der efter kulstofindsætning kun kan hærdes i vand med saltindhold.
2. Carbonitrerede emner har større overfladehårdhed og bedre slidbestandighed end tilsvarende indsatte og vandhædede emner.
3. Carbonitrering udføres ofte ved lavere temperatur end indsætning, hvorfor korntilvæksten bliver mindre.
4. Hærkning i olie i stedet for vand betyder mindre formændringer.
5. Der kan anvendes billigere stål, der er lettere at maskinbearbejde sammenlignet med, hvad der måtte anvendes for at opnå et tilsvarende produkt ved kulstofindsætning og oliehærkning.

Af ulemper ved carbonitrering kan nævnes procesomkostningerne, der er større end for kulstofindsætning og hærkning i beskyttelsesgasovn.

Der må en god styring til på procesgassen og temperaturen for at undgå porøsiteter i overfladelaget hidrørende fra for højt kvælstofindhold.

Carbonitreringsprocessen er velegnet til hærkning af især mindre emner, hvor der stilles krav til stor overfladehårdhed og slidbestandighed, men hvor man kan acceptere en ringe kernehårdhed.

Indhærdningsdybden for carbonitrerede emner ligger oftest i området 0,1 - 0,5 mm. Dybden defineres her sædvanligvis som afstanden målt vinkelret på overfladen til det plan, hvor hårdheden er 550 HV.

Nitempring

Nitempring er en termokemisk proces, der udføres under A_1 linien i jern-kulstofdiagrammet. Processen foregår ved 570°C i en gasblanding af 50% endogas og 50% ammoniak og udføres i et anlæg som vist i fig. 2.

Metoden anvendes hovedsagelig for at opnå en slidbestandig overflade, hvor trykbelastningen er lav. Da der ikke finder faseomdannelse sted i materialet under processen, forårsager nitempring kun yderst små mål- og formændringer, såfremt materialet er afspændingsglødet ved mindst 600°C efter grov bearbejdning.

Ønsker man en maksimal bæreevne af nitemperlaget, bør man anvende sejhærdet materiale.

For ulegerede og lavtlegerede stål vil en forbindelseszone på 5-15 μm være en passende lagtykkelse.

For højtlegerede stål vil en forbindelseszone på 5-10 μm være en passende lagtykkelse.

For støbejern vil en forbindelseszone på 5-15 μm være en passende lagtykkelse.

Nitemperprocessen bør ikke anvendes, hvor der kræves meget korte tider, fordi det er svært at beregne holdetiden på

temperatur. Ligeledes bør stål med højt kromindhold heller ikke nitempres, fordi processen ikke har tilstrækkelig reducerende virkning overfor dannede chromoxyder.

Kontrollen af det opnåede varmebehandlingsresultat er vanskelig, fordi det tynde lag på 5-15 μm ikke giver mulighed for direkte reproducerbare hårdhedsmålinger på overfladen. Dog kan man ved måling med HV 1 - 5 kg konstatere, om en vis mindste hårdhed er opnået.

Vil man mere præcist kende det opnåede resultat, må man mikroskopere et snit vinkelret på overfladen. Her har man også mulighed for at måle forbindelseszonens tykkelse samt hårdhedsforløbet i diffusionszonen ved hjælp af HV 0,025kg.

Gasnitring

Gasnitring er en ferritisk termokemisk proces, der udføres i temperaturområdet 500-550^oC med krakket ammoniak som procesgas.

Processen udmærker sig ved at give et meget hårdt og slidfast overfladelag på stål, der grundet indhold af et eller flere af legeringselementerne Al, Ti, V, Cr og Mo er velegnede til gasnitring.

Den effektive procestid er normalt mellem 10 og 60 timer, hvilket giver en nitrerdybde på ca. 0,2 - 0,5 mm lidt afhængig af ståltype, dissociationsgrad og temperatur.

Dybden af nitrerlaget bestemmes som afstanden fra overfladen til et plan med hårdheden 400 HV målt vinkelret på overfladen. Er kernehårdheden af stålet større end 350 HV define-

res dybden som afstanden fra overfladen til et plan med kernehårdheden plus 50 HV.

Grundet den lave procestemperatur bliver formændringerne meget små på emner, der er afspændingsglødet ved ca. 600°C efter grovbearbejdning.

Under gasnitring opbygges der et få um tykt lag af jernnitrider på overfladen af emnerne. Dette lag er meget hårdt og kan give anledning til vanskeligheder ved slibning af emnerne, ligesom det ved store overfladebelastninger kan forårsage afskalninger.

Det hvide lag af jernnitrider kan fjernes ved ætsning, men langt bedre er det at fjerne laget ved en efterfølgende vakuumvarmebehandling, hvorved der opnås større nitrerdybde samtidig med at en given overfladefinish bibeholdes.

LITTERATURLISTE.

1. Karl-Erik Thelning: Steel and its Heat Treatment Butterworths.
2. Donald S. Clark and Wilbur R. Varney: Physical Metallurgy for Engineers, D. van Nostrand Company.
3. H.T. Angus: Cast Iron-Physical and Engineering Properties, Butterworths.
4. IVF-Resultat nr. 73642. Konstruktionsstål - stålval och värmebehandling.
5. IVF-Resultat nr. 73625. Materialeegenskaper hos et sätthärdade och karbonitrerade stål.
6. IVF-Resultat nr. 75634. Ythärdbarhet hos ett karbonitrerat stål.
7. IVF-Resultat nr. 76634. Karbonitreringstemperaturens inverkan på kväve upptagning och härddjup hos olegerade stål.
8. IVF-Resultat nr. 78610. Nötnings- och utmattningssegenskaper hos karbonitrerade och sätt-härdade stål.
9. IVF-Resultat nr. 76629. Nitrokarbureringsprocesser.