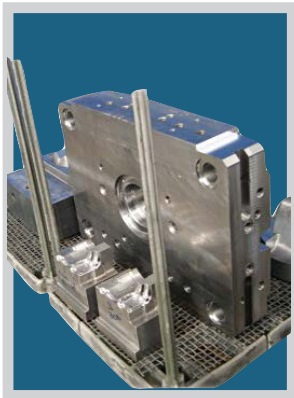


VÄRMEBEHANDLING AV **UDDEHOLMS** VERKTYGSSTÅL



Omslagsbilder, från vänster till höger: Böhler-Uddeholm Tjeckien, Uddeholms AB/HÅRDTekno och Ionbond Sverige AB

© UDDEHOLMS AB

Ingen del av denna publikation får reproduceras eller överföras i kommersiellt syfte utan tillstånd från upphovsrättsinnehavaren.

Uppgifterna i denna trycksak bygger på vårt nuvarande kunnande och är avsedda att ge allmän information om våra produkter och deras användningsområden. De får således inte anses utgöra någon garanti för att de beskrivna produkterna har vissa egenskaper eller är lämpliga för speciella ändamål.

Klassificerat enligt EU-direktiv 1999/45/EC.

För ytterligare information se våra "Materialsäkerhetsdatablad".

Utgåva 5, 10.2016



INNEHÅLL

Vad är verktygsstål?	4
Härdning och anlöpning	4
Mått- och formstabilitet	11
Ytbehandling	12
Provning av mekaniska egenskaper	14
Några råd till verktygskonstruktörer	15
Hårdhet efter härdning och anlöpning	17
Hårdhetstabell	18

Syftet med denna broschyr är att ge allmän information om hur verktygsstål värmebehandlas och hur det beter sig under denna process. Speciellt uppmärksammas hårdhet, seghet och dimensionsstabilitet.

VAD ÄR VERKTYGSSTÅL?

Verktygsstål är högkvalitativa stål med en kontrollerad kemisk sammansättning för att uppnå de egenskaper som är användbara vid bearbetning och formning av andra material. Kolhalten i verktygsstål kan variera från ett så lågt värde som 0,1% och ända upp till över 1,6%. Många stålsorter är legerade med legeringsämnen som krom, molybden och vanadin.

Verktygsstål används för applikationer som klippning och pressning, plastformning, pressgjutning, strängpressning och smide.

Legeringssammansättning, stålets tillverkningsprocess och anpassad värmebehandling är nyckelfaktorer vid framtagning av verktyg och detaljer med de överlägsna egenskaper som endast verktygsstål kan erbjuda.

Egenskaper som slitstyrka, hållfasthet, korrosionsbeständighet och värmebeständighet är viktiga även inom andra användningsområden än traditionella verktygsstålsapplikationer. Av detta skäl är verktygsstål ett bättre val än konstruktions- eller maskinstål för krävande detaljer inom olika industrisegment.

Mer avancerade material resulterar ofta i lägre underhållskostnader, lättare detaljer, högre precision och ökad driftsäkerhet.

Uddeholm har koncentrerat sitt sortiment av verktygsstål på höglegerade stålsorter, främst avsedda för plastformning, klippning och pressning, pressgjutning, strängsprutning, smide, träbearbetningsindustrin, återvinningsindustrin och komponenttillverkning. Pulverstål (PM) ingår också i sortimentet.

Verktygsstål levereras normalt i mjukglödgat tillstånd, vilket gör materialet lätt att bearbeta med skärande verktyg och ger en mikrostruktur som lämpar sig väl för härdning.

Den mjukglödgade mikrostrukturen består av en mjuk grundmassa med karbider. Se bild nedan.

I kolstål är dessa karbider järnkarbider medan de i legerat stål är av krom (Cr), volfram (W), molybden (Mo) eller vanadin (V), beroende på stålets sammansättning. Karbider är föreningar mellan kol och dessa legeringsämnen och kännetecknas av mycket hög hårdhet. En högre andel karbider betyder bättre slitstyrka.

I verktygsstål används även legeringsämnen som inte bildar karbider, t.ex. kobolt (Co) och nickel (Ni), utan löses upp i grundmassan. Kobolt används vanligen för att förbättra varmhården hos snabbstål medan nickel används för att förbättra genomhårdningsegenskaperna och öka segheten i härdat tillstånd.

HÄRDNING OCH ANLÖPNING

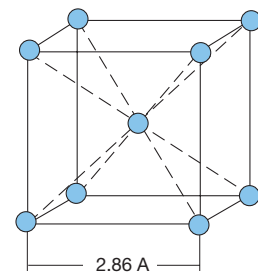
När ett verktyg härdas är det många faktorer som påverkar resultatet.

NÅGRA TEORETISKA ASPEKTER

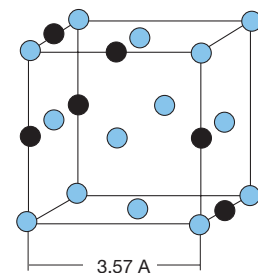
I mjukglödgat tillstånd är större delen av de karbidbildande legeringsämnen uppbundna tillsammans med kol i karbider.

När stålet hettas upp till härdtemperatur (austeniseringstemperatur) omvandlas grundmassan från ferrit till austenit. Det innebär att järnatomerna ändrar läge i atomgittret och bildar ett nytt gitter med annan kristallinitet.

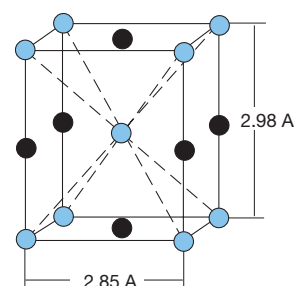
- = Järnatomer
- = Möjliga lägen för kolatomer



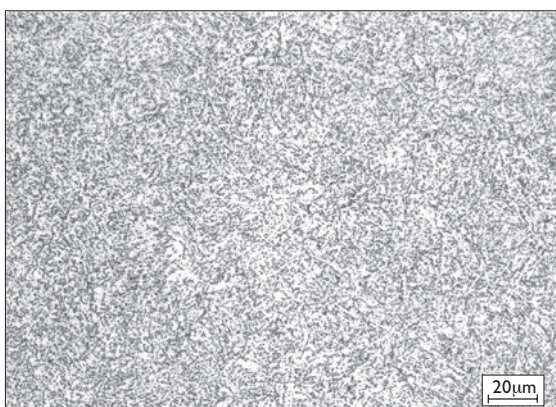
Enhetscell i en ferritkristall.
Rymdcentrerad (BCC).



Enhetscell i en austenitkristall.
Ytcentrerad (FCC).



Enhetscell i en martensitkristall.
Tetragonal.



Uddeholm Dievar,
mjukglödgad struktur.

Austenit har en högre löslighetsgräns för kol och legeringsämnen, vilket gör att karbiderna till viss del löses upp i grundmassan. På så sätt får grundmassan en legeringshalt av karbidbildande legeringsämnen, som ger härdande effekt utan att bli grovkornig.

Om stålet kyls tillräckligt snabbt vid härdningen hinner inte kolatomerna flytta sig och tillåta omvandlingen från austenit till ferrit, som t.ex. vid glödgning. I stället fixeras de i lägen där utrymmet egentligen är för litet och det resulterar i höga mikrospänningar, som bidrar till ökad hårdhet. Denna hårda struktur kallas *martensit*. Martensit kan alltså betraktas som en tvångslösning av kol i ferrit. När stålet härdas omvandlas inte grundmassan fullständigt till martensit. Viss austenit återstår alltid i strukturen och kallas restaustenit. Mängden restaustenit ökar med ökad legeringshalt, högre härdningstemperatur, längre upphettningstid, långa hålltider och långsammare kylning.

Efter kylning har stålet en mikrostruktur bestående av martensit, restaustenit och karbider.

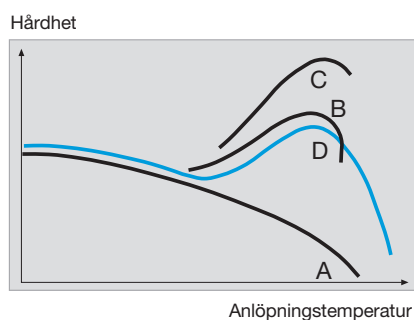
Denna struktur har inbyggda spänningar som lätt kan leda till sprickbildning. Det kan förhindras genom att på nytt värma upp stålet till en viss temperatur, vilket minskar spänningarna och omvandlar restausteniten i en utsträckning som beror på temperaturen. Denna återuppvärmning efter härdning kallas anlöpning. Härdning av ett verktygsstål skall **alltid** omedelbart följas av anlöpning.

Det bör observeras att anlöpning vid låg temperatur endast påverkar martensiten medan anlöpning vid hög temperatur även påverkar restausteniten.

Efter **en** anlöpning vid hög temperatur består mikrostrukturen av anlöpt martensit, nybildad martensit, någon restaustenit och karbider.

Utskiljda sekundära (nybildade) karbider och nybildad martensit kan höja hårdheten vid högtemperaturanlöpning. Typiskt för detta är den så kallade sekundärhårdheten i t.ex. snabbstål och höglegerat verktygsstål.

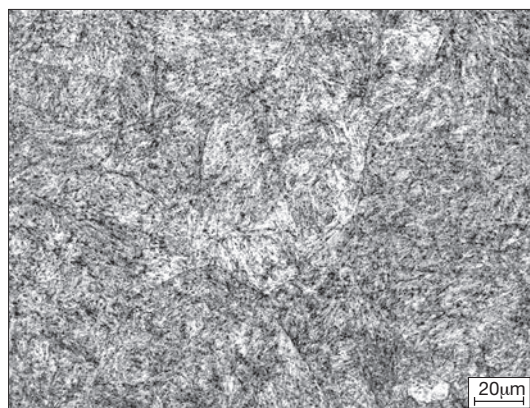
Vanligen krävs en viss hårdhetsgrad för varje enskild verktygsstålsapplikation och därför väljs värmebehandlingsparametrarna till viss del utifrån önskad hårdhet. Det är mycket viktigt att komma ihåg att hårdheten påverkas av flera olika faktorer, som mängden kol i den martensitiska grundmassan, mikrospänningar i materialet, mängden restaustenit och de utskiljda karbiderna under anlöpningen.



- A = anlöpning av martensit
- B = karbidutskiljning
- C = omvandling av restaustenit till martensit
- D = anlöpningsdiagram för snabbstål och höglegerat verktygsstål
- A + B + C = D

Diagrammet visar olika faktors inverkan på sekundärhårdandet.

Det är möjligt att använda olika kombinationer av dessa faktorer för att uppnå samma hårdhetsgrad. Varje kombination är ett resultat av ett specifikt värmebehandlingsförlopp, men en viss hårdhet garanterar inga specifika egenskaper hos materialet. Materialegenskaperna bestäms av materialets mikrostruktur och denna



Uddeholm Dievar, härdad struktur.

beror på värmebehandlingsförloppet och inte på uppnådd hårdhet.

Rätt utförd värmebehandling ger inte bara önskad hårdhet utan även optimerade materialegenskaper för en specifik applikation.

Verktygsstål ska alltid anlöpas minst två gånger. Den andra anlöpningen tar hand om den nybildade martensiten, som kan uppträda under kylning efter den första anlöpningen.

Tre anlöpningar rekommenderas i följande fall:

- snabbstål med hög kolhalt
- komplexa varmarbetsverktyg, speciellt pressgjutningsformar
- stora formar för plastformningsapplikationer
- när hög dimensionsstabilitet är ett krav (som t.ex. för mätinstrument och verktyg för integrerade kretsar)

AVSPÄNNINGSGLÖDGNING

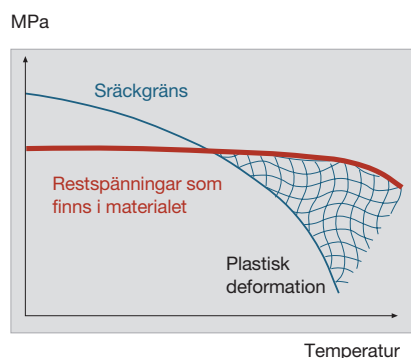
När ett verktyg grovbearbetas är det viktigt att ta hänsyn till eventuell formförändring vid härdning. Under grovbearbetningen byggs värme- och mekaniska spänningar upp, som stannar i materialet. Detta kan vara av mindre betydelse på en enkelt utformad symmetrisk detalj, men avgörande vid bearbetning av en komplex och asymmetrisk detalj, till exempel en av formhalvorna i ett pressgjutningsverktyg. I dessa fall rekommenderas alltid en extra värmningsoperation, s k avspänningsglödning.

Denna behandling görs efter grovbearbetningen men före härdning och innebär uppvärmning till mellan 550°C och 700°C. Materialet ska värmas tills det har uppnått full genomvärmning, hållas vid full temperatur i 2–3 timmar och sedan kylas långsamt, exempelvis i ugn.

Kylningen måste ske långsamt för att undvika att nya värme- och mekaniska spänningar uppstår i det spänningsfria materialet.

Tanken bakom avspänningsglödning är att materialets sträckgräns vid den förhöjda temperaturen är så låg att materialet inte kan stå emot de inre spänningar som finns. Det innebär att sträckgränsen överskrids och spänningarna utlöses, vilket resulterar i större eller mindre formförändringar.

Den korrekta arbetsgången före härdning är: grovbearbetning, avspänningsglödning och finbearbetning.



UPPVÄRMNING TILL HÄRDTEMPERATUR

Som redan förklarats orsakar inre spänningar i materialet formförändring under värmebehandling. Av detta skäl bör värme- och mekaniska spänningar undvikas.

Grundregeln för uppvärmning till härdtemperaturen är att den ska ske långsamt och endast öka några grader per minut. Den stegvisa processen stoppas vid olika temperaturer, vanligen kallade förvärmningssteg, för att utjämna temperaturen mellan detaljens yta och kärna. Normala förvärmningstemperaturer är 600–650°C och 800–850°C.

För stora verktyg med komplex geometri rekommenderas ett tredje förvärmningssteg nära det temperaturområde där omvandling till austenit startar.

HÅLLTID VID HÄRDTEMPERATUR

Det är omöjligt att kortfattat ge exakta rekommendationer som täcker alla värmningssituationer.

Hänsyn måste tas till faktorer som ugnstyp, härdtemperatur, chagens vikt i förhållande till ugnens storlek, geometrin hos de olika delarna i chagen osv., i varje specifikt fall.

Användning av termoelement gör det möjligt att mäta temperaturen i olika områden hos olika verktyg i chagen. Värmningen avslutas när kärnan hos detaljerna i ugnen når vald temperatur. Därefter hålls temperaturen konstant under en viss tid. Detta kallas hålltid.

Generellt rekommenderas en hålltid på 30 minuter. För snabbstål blir hålltiden kortare i de fall där härdtemperaturen är över 1100°C. Om hålltiden förlängs kan mikrostrukturella problem som korntillväxt uppstå.



Termoelement gör det möjligt att mäta temperaturen i olika områden under värmebehandling. Foto: Böhler-Uddeholm Tjeckien

KYLNING

Valet mellan snabb och långsam kylning blir vanligen en kompromiss.

För optimal mikrostruktur och verktygsprestanda ska kylningshastigheten vara snabb. För minsta möjliga formförändring rekommenderas långsam kylning.

Långsam kylning ger mindre temperaturskillnad mellan detaljens yta och kärna och olika grova sektioner får en mer likartad kylningshastighet.

Detta har stor betydelse vid kylning genom martensitområdet, under M_s -temperaturen.

Martensitbildning leder till volymökning och spänningar i materialet. Detta är också skälet till att kylning bör avbrytas innan rumstemperatur nås, vanligen vid 50–70°C.

Om kylningen däremot är för långsam kan det uppstå oönskade omvandlingar i mikrostrukturen, speciellt i grova dimensioner, med ökad risk för sämre verktygsprestanda som följd.

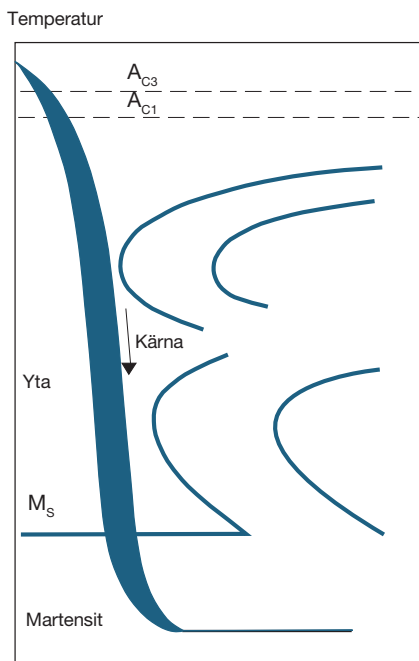
De kylmedier som numera används för legerat stål är: härdolja, polymerlösningar, luft och ädelgas.



Batch förberedd för värmebehandling. Foto: Böhler-Uddeholm Tjeckien.

Det finns fortfarande ett fåtal värmebehandlingsverkstäder som använder saltbad, men denna teknik är på väg att försvinna av miljöskäl.

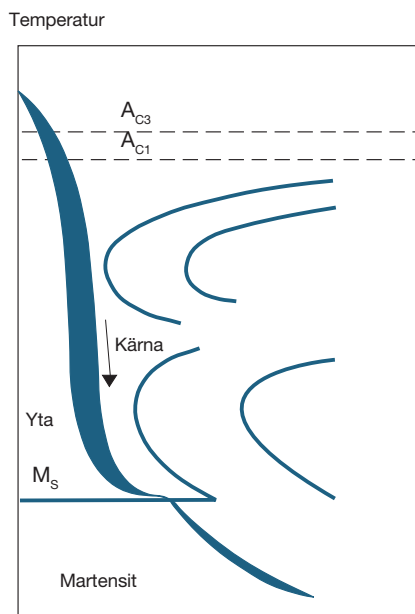
Olja och polymerlösningar används vanligen för låglegerat stål och för verktygsstål med låg kolhalt.



Kylprocessen uttryckt i ett CCT-diagram.

Lufthårdning används för stål med hög härdbarhet, vilket i de flesta fall beror på kombinationen av mangan, krom och molybden i legeringsinnehållet.

Risken för formförändring och sprickor kan minskas med hjälp av etapphärdning. I denna process kyls materialet i två steg. Först kyls det

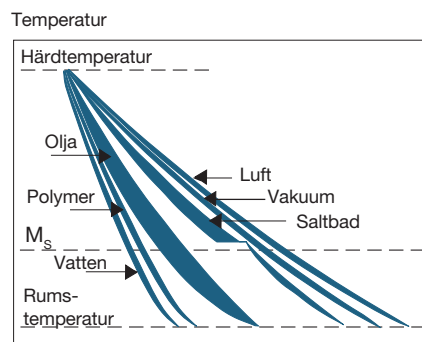


Etapphärdning.

från härdtemperatur till dess att yttemperaturen är precis över M_s -temperaturen. Temperaturen måste sedan hållas där tills temperaturen har utjämnats mellan ytan och kärnan. Därefter fortsätter kylprocessen. Med denna metod kan kärna och ytan omformas till martensit mer eller mindre samtidigt och minska uppkomsten av värmespanningar. Etapphärdning kan även användas vid kylning i vakuumugn.

Den maximala kylningshastighet som kan användas för en detalj beror på stålets värmeledningsförmåga, kylmediets kylförmåga och detaljens tvärsnitt.

För låg kylningshastighet leder till karbidutskiljning vid korngränserna i detaljens kärna och det har mycket



Kylningshastigheter för olika medier.

negativ inverkan på stålets mekaniska egenskaper. Ythårdhet hos större detaljer i grova dimensioner kan också bli lägre än för mindre detaljer eftersom den stora värmemängden som måste transporteras från kärnan till ytan skapar en självavlöpnings-effekt.

PRAKTISKA RÅD

Risken för oxidation och kolhaltsvariationer (upp- eller avkolning) är stor vid höga temperaturer. För att skydda stålytan används vakuumpugnar och ugnar med kontrollerad skyddsgasatmosfär.

Avkolning resulterar i låg ythårdhet och risk för sprickbildning.

Uppkolning kan däremot ge två olika resultat:

- det första och lättaste att identifiera är bildandet av ett hårdare ytskikt, som kan ha negativ inverkan
- det andra problemet som kan uppkomma är restaustenit på ytan

Restaustenit kan i många fall förväxlas med ferrit sett i ett optiskt mikroskop. Eftersom hårdheten för dessa båda faser i stort sett är densamma kan det som vid första anblicken ser ut som avkolning, i vissa fall visa sig vara det motsatta.



Batchugn med kontrollerad atmosfär.
Foto: Bodycote Stockholm, Sverige.

Det är därför mycket viktigt att atmosfären där värmebehandlingen äger rum inte påverkar detaljens kolhalt.

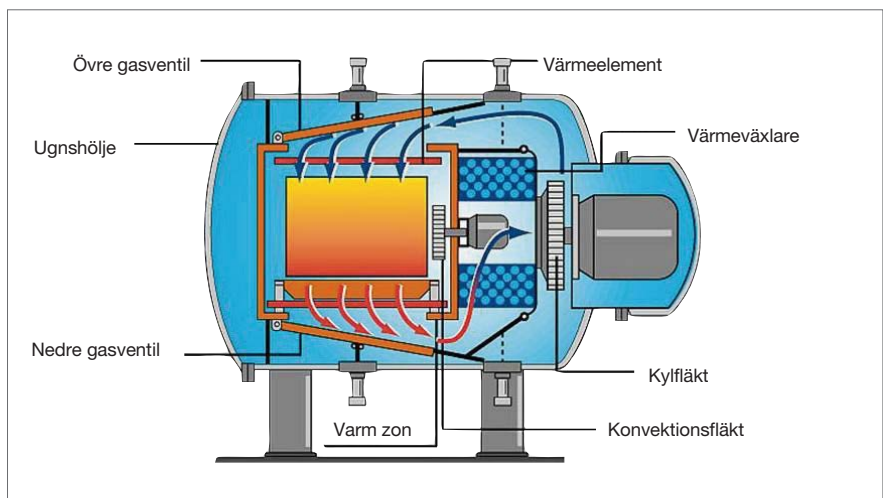
Inpackning i hermetiskt tillsluten rostfri stålfolie ger ett visst skydd vid uppvärmning i muffelugn. Stålfolien ska avlägsnas före kylning.

VAKUUMTEKNIK

Vakuumpugnar är numera den mest använda tekniken för härdning av höglegerat stål.

Vakuumpugnar är en ren process och detaljerna behöver därför inte rengöras efteråt. Tekniken erbjuder en tillförlitlig processkontroll med hög automatiseringsgrad, låga underhållskrav och miljövänlighet. Dessa faktorer gör vakuumpugnar speciellt attraktiv för högkvalitativa detaljer.

strålningsbidraget sänks kvävetrycket. Under dessa nya förhållanden blir värmeöverföringen genom konvektion försumbar. Det nya kvävetrycket är ca 1–7 mbar. Trycket bibehålls för att undvika sublimering av legeringsämnen, dvs. för att undvika förlust av legeringsämnen till vakuumpugnar. Det låga trycket hålls konstant under uppvärmningsprocessens sista fas samt under hålltiden för vald härdningstemperatur.

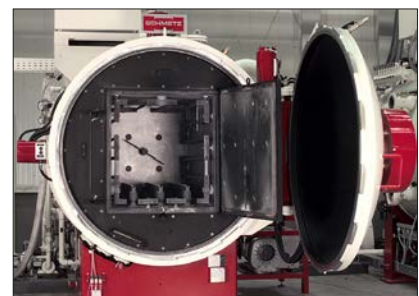


Vid toppkylning passerar gas genom värmekammaren från toppen till botten.
Illustration från Schmetz GmbH Vacuum Furnaces, Tyskland.

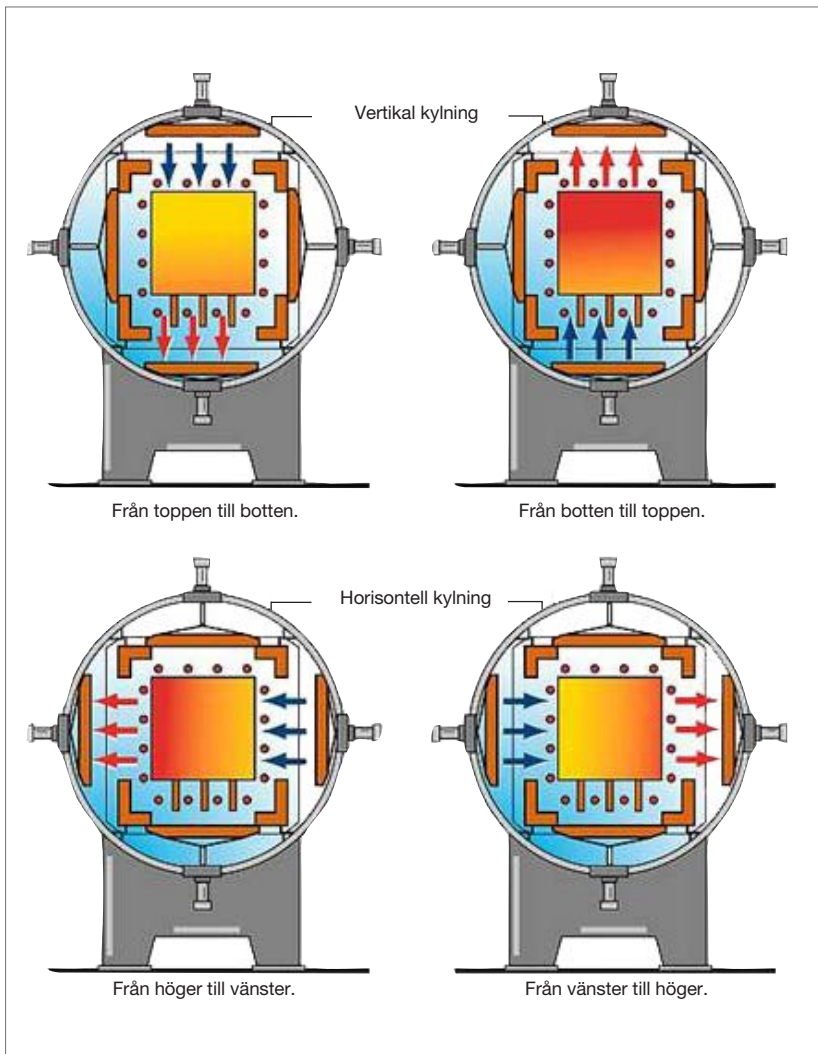
De olika stegen i en vakuumpugnar funktion kan schematiskt beskrivas enligt följande:

- När ugnen stängs efter lastning, pumpas luft ut från värmekammaren för att undvika oxidation.
- En inert gas (vanligen kväve) sprutas in i värmekammaren tills ett tryck på ca 1–1,5 bar har uppnåtts.
- Uppvärmningssystemet startas. Den inerta gasen möjliggör värmeöverföring genom konvektion. Detta är det effektivaste sättet att värma upp ugnen till en temperatur på ca 850°C.
- När ugnen når en temperatur på ca 850°C är värmeövergången genom strålning större än genom konvektion. För att optimera

- Kylningen utförs genom kraftig insprutning av inert gas (vanligen kväve) in i värmekammaren i olika riktningar tills det övertryck uppnås, som valdes vid programmering av ugnen.



Värmekammare med grafitisolering.
Foto: Schmetz GmbH Vacuum Furnaces, Tyskland.



Kylningsfas. Kvävgasström passerar genom värmekammaren i olika riktningar. Illustration från Schmetz GmbH Vacuum Furnaces, Tyskland.

Det maximala övertrycket är en individuell parameter för varje ugn och ger en anvisning om ugnens kylkapacitet.



Laddningsoperation. Foto: Böhler-Uddeholm, Tjeckien.

Vakuumugn. Foto: Schmetz GmbH Vacuum Furnaces, Tyskland.

ANLÖPNING

Materialet ska anlöpas i direkt anslutning till kylningen.

Kylningen ska avbrytas vid en temperatur av 50–70°C och anlöpning ska ske omedelbart. Om detta inte är möjligt måste materialet hållas varmt, t.ex. i ett speciellt värmeskåp i väntan på anlöpning.

Notera att de inre spänningarna i det kylda materialet kan resultera i att sprickor bildas om anlöpning inte görs omedelbart efter kylprocessen. Denna bristning av kristallstrukturen kan ske på ett explosionsartat sätt. Att anlöpa så snart som möjligt handlar därför inte bara om att skydda detaljen från sprickor. Det är även en fråga om personlig säkerhet.

Uddeholm har gjort en mängd olika experiment och mätningar och sammanställt data i diagram för hårdhet, seghet, dimensionsförändringar och restaustenit. Diagrammen för respektive stålsort är till stor hjälp vid val av korrekt anlöpningstemperatur.

Vid val av anlöpningstemperatur ska de mekaniska egenskaperna prioriteras eftersom vissa mindre dimensionsändringar kan göras i ett sista finbearbetningssteg. De mekaniska och fysikaliska egenskaperna som uppnås efter anlöpning beror i hög grad på vald anlöpningstemperatur. Högtemperaturanlöpning resulterar i en lägre halt restaustenit än lågtemperaturanlöpning. Materialet kommer därför att ha högre tryckhållfasthet och förbättrad dimensionsstabilitet (under drift och vid ytbeläggning).

När anlöpning sker vid hög temperatur framträder även andra skillnader i egenskaper, som högre värmeledningsförmåga. För höglegerade stål sker utskiljning av sekundära karbider, vilket påverkar korrosionsbeständigheten negativt men ger något högre slitstyrka.

Om verktyget ska gnistbearbetas eller beläggas är det nödvändigt med högtemperaturanlöpning.

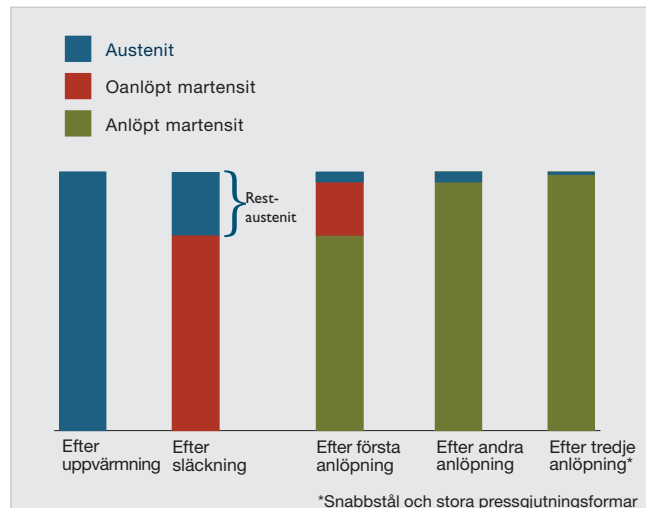
HUR MÅNGA ANLÖPNINGAR KRÄVS?

Två anlöpningar rekommenderas generellt för verktygsstål, utom vid grova dimensioner, detaljer med komplex geometri eller mycket höga krav på dimensionsstabilitet. I dessa fall krävs vanligen en tredje anlöpning.

Grundregeln vid kylning är att avbryta vid 50–70°C. Det resulterar i att en viss mängd austenit finns kvar oomvandlad när materialet är klart för anlöpning. När materialet svalnar efter anlöpningen omvandlas större delen austenit till martensit (oanlöst). En andra anlöpning ger materialet optimal seghet vid den aktuella hårdheten.

HÅLLTIDER VID ANLÖPNING

Även här finns en generell regel som kan tillämpas i de flesta fall: *efter genomvärmning ska materialet hållas i minst två timmar vid full temperatur varje gång.*



Utveckling av fasinnehåll i värmebehandlings olika steg.



Undre formhalva för aluminiumfälg på galler före värmebehandling. Foto: ASSAB Çelik (Turkiet)

MÅTT- OCH FORMSTABILITET

FORMFÖRÄNDRING VID HÄRDNING OCH ANLÖPNING AV VERKTYGSSTÅL

När en detalj av verktygsstål hårdas och anlöps uppstår normalt en viss missformning eller formförändring. Detta är välkänt och det är normal praxis att lämna en viss bearbetningsmån på verktyg före härdning. Det gör det möjligt att justera verktyget till korrekta mått efter härdning och anlöpning, t ex genom slipning.

HUR UPPKOMMER FORMFÖRÄNDRINGEN?

Orsaken är spänningar i materialet. Dessa spänningar kan indelas i:

- bearbetningsspänningar
- värmespänningar
- omvandlingsspänningar

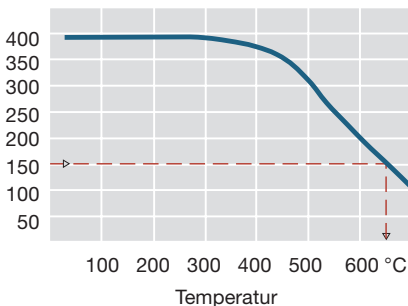
BEARBETNINGSSPÄNNINGAR

Denna typ av spänningar alstras under maskinbearbetningsoperationer som svarvning, fräsning, slipning eller olika typer av kallformning.

Om spänningar har byggts upp i en detalj, utlöses de i samband med värmning. Värmningen minskar hållfastheten, varvid spänningar utlöses genom lokal deformation. Detta kan leda till en formförändring.

För att minimera formförändringen vid värmningen under härdnings-

Sträckgräns, Rp0.2
MPa



Temperaturens inverkan på sträckgränsen hos Uddeholm Orvar Supreme, mjukglödgat tillstånd.

processen kan en extra värmningsoperation, avspänningsglödning, utföras före härdningen. Det rekommenderas att avspänningsglöda materialet efter grovbearbetning. Eventuell formförändring kan då justeras i mjukglödgat tillstånd före härdningen.

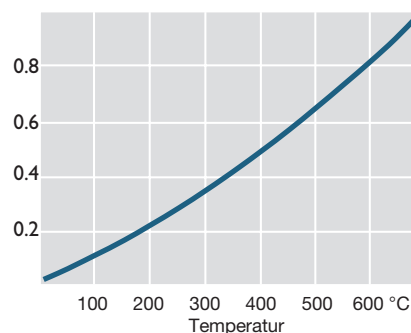
VÄRMESPÄNNINGAR

Värmespänningar bildas så snart det finns en temperaturgradient i materialet, d.v.s. när temperaturen inte är jämn i hela detaljen.

Värmespänningar ökar ju snabbare uppvärmningen sker. Ojämn uppvärmning kan resultera i lokala volymökningar på grund av ojämn utvidgning, vilket också bidrar till spänningar och formförändringar.

För att komma runt detta problem kan uppvärmningen göras stegvis för att utjämna temperaturen mellan ytan och kärnan.

Längdutvidgning mm/100 mm



Temperaturens effekt på längdutvidgningen hos Uddeholm Orvar Supreme, mjukglödgat tillstånd.

Man ska alltid sträva efter att värma upp så långsamt att temperaturen förblir praktiskt taget densamma i hela detaljen.

Vad som sagts beträffande upphettning gäller även vid kylning.

Också vid kylning kan mycket kraftiga spänningar uppstå. Som en allmän regel gäller att ju långsammare kylningen kan göras desto mindre formförändring uppstår på grund av

värmespänningar. Men, som tidigare nämnts, resulterar en snabbare kylning i bättre mekaniska egenskaper.

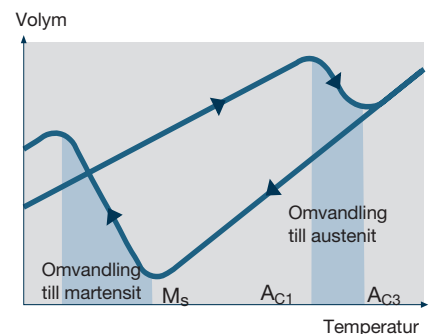
Det är viktigt att kylmediet fördelas så jämnt som möjligt. Detta gäller speciellt när cirkulerande luft eller skyddsgasatmosfär (som i vakuumugnar) används. I annat fall kan temperaturskillnader i verktyget leda till betydande formförändring.

OMVANDLINGSSPÄNNINGAR

Omvandlingsspänningar uppstår när stålets mikrostruktur omvandlas. Orsaken är att de tre aktuella strukturer – ferrit, austenit och martensit – har olika densitet, dvs. olika volym.

Av de mikrostrukturella förändringar som sker under värmebehandlingen är det omvandlingen från austenit till martensit som har störst inverkan. Denna omvandling orsakar en volymökning.

En mycket kraftig och ojämn kylning kan också bilda martensit lokalt, vilket leder till en ojämn volymförändring med spänningar som följd. Dessa spänningar kan då ge upphov till formförändringar och i vissa fall sprickor.



Volymförändringar vid strukturomvandling.

HUR KAN FORMFÖRÄNDRING MINSKAS?

Formförändring kan minimeras genom att:

- hålla konstruktionen enkel och symmetrisk
- ta bort bearbetningsspänningar genom avspänningsglödning efter grovbearbetning
- värma upp långsamt till hårdtemperatur
- använda lämplig stålqualität
- detaljen kyls så långsamt som möjligt, men tillräckligt snabbt för att uppnå en korrekt mikrostruktur i stålet
- använda etapphärdning
- anlöpa vid lämplig temperatur

Följande värden för bearbetningsmån kan användas som riktlinjer.

Uddeholms stålsort	Bearbetningstillägg på dimensionerna i % av måttet
ARNE	0.25 %
CALDIE	0.25 %
CALMAX/CARMO	0.20 %
CHIPPER/VIKING	0.20 %
RIGOR	0.20 %
SLEIPNER	0.25 %
SVERKER 3	0.20 %
SVERKER 21	0.20 %
VANADIS 4 EXTRA SUPERCLEAN	0.15 %
VANADIS 8 SUPERCLEAN	0.15 %
VANADIS 23 SUPERCLEAN	0.15 %
VANCRON 40 SUPERCLEAN	0.20 %
CORRAX	0.05–0.15 %*
ELMAX SUPERCLEAN	0.15 %
MIRRAX ESR	0.20 %
STAVAX ESR	0.15 %
UNIMAX	0.30 %
ALVAR 14	0.20 %
DIEVAR	0.30 %
FORMVAR	0.30 %
ORVAR 2 MICRODIZED	0.20 %
ORVAR SUPREME	0.20 %
QRO 90 SUPREME	0.30 %
VIDAR SUPERIOR	0.25 %
BURE	0.20 %

* Beroende på åldringstemperatur

DJUPKYLNING

Restausteniten i ett verktyg kan omvandlas till martensit under drift. Detta beror på förekomsten av oanlöst martensit och kan leda till lokal formförändring och sprödhet i verktyget. Kravet för maximal dimensionsstabilitet under drift är därför indirekt ett krav på mycket låg eller ingen restaustenit. Detta kan uppnås genom djupkylning efter kylning eller genom högtemperatur-anlöpning.

Djupkylningsbehandlingen leder till en reducering av restaustenithalten genom att verktyget eller detaljen utsätts för mycket låg temperatur. De vanligaste temperaturerna är cirka -80°C och -196°C. Detta resulterar i sin tur i ökad hårdhet på upp till 1–2 HRC jämfört med icke djupkylda verktyg som endast lågtemperatur-anlöpts.

För högtemperaturanlöpta verktyg blir hårdhetsökningen liten eller ingen alls.

Verktyg som högtemperaturanlöpts har, även utan djupkylning, normalt en låg halt av restaustenit och i de flesta fall också tillräcklig dimensionsstabilitet. För höga krav på dimensionsstabilitet vid användningen av verktyget rekommenderas dock en djupkylningsbehandling även i kombination med högtemperatur-anlöpning.

För de högsta kraven på dimensionsstabilitet rekommenderas djupkylning i flytande kväve efter kylning i samband med härdning och mellan

anlöpningarna. Avsluta alltid med en anlöpning som sista moment för att undvika oanlöst martensit i detaljen.

YTBEHANDLING

NITRERING

Vid nitring tillförs kväve till stålets yta från ett kväveavgivande medium under specifika fysikaliska förhållanden. När kväveatomer diffunderas in i stålet bildas nitrider, vilket ger ett hårdare ytskikt med högre slitstyrka.

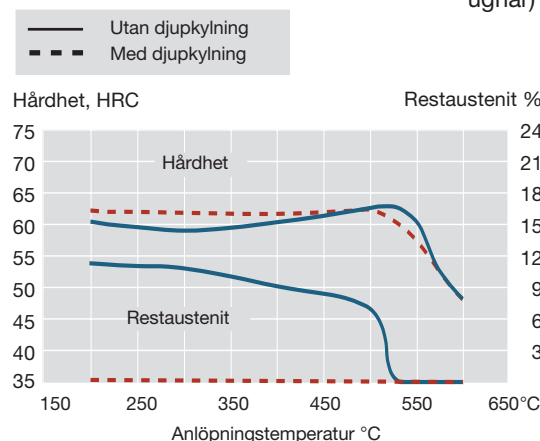
Det är väldigt viktigt att beakta att nitring har en negativ effekt på korrosionsbeständigheten för rosttröga stål med hög kromhalt. I andra fall kan nitring ha en positiv effekt på korrosionsbeständigheten.

Stål som är lämpliga att nitrera är vanligen stål med en medium kolhalt och nitridbildande legeringsämnen som krom, aluminium, molybden och vanadin.

Kärnan ska verka som ett stabilt substrat när det gäller mekaniska egenskaper och mikrostruktur. Det betyder att det för härdade material är nödvändigt att anlöpa vid högre temperatur än nitringstemperaturen för att undvika att kärnan mjuknar under nitringprocessen.

Det ska påpekas att en nitrerad yta inte kan bearbetas med skärande verktyg och endast med svårighet slipas. En nitrerad yta orsakar även problem vid svetsreparationer.

Det finns flera nitringstekniker att tillgå; de vanligaste är gasnitring, högtrycksnitring (utförs i vakuum-ugnar) och plasmanitring.



Uddeholm Sleipner. Anlöpningstemperaturens inverkan på hårdhet och restaustenit med och utan djupkylning.

Två vanliga problem med konventionella nitreringstekniker är risken för överanlöpning av substratmaterialet och förtjockning av det nitrerade skiktet i skarpa hörn.

Pulsad plasmanitrering minskar risken för överanlöpning genom att plasma anbringas intermittent på detaljen. Det ger en bättre kontroll över lokala temperaturer under processen.

Active screen-plasmanitrering är också en utveckling av plasmanitreringstekniken. Med denna teknik förväntas ett jämnt tjockt nitrerskikt oberoende av detaljens geometri.

NITROKARBURERING

Nitrokarburering är en process där det förutom kväve även tillförs kol till detaljens yta. Detta sker genom exponering i en atmosfär som är rik på dessa två ämnen. En blandning av ammoniakgas och kolmonoxid eller koldioxid är exempel på lämpliga atmosfärer för denna behandling. Temperaturområdet för processen är 550°C till 580°C och exponeringstiden är mellan 30 minuter och 5 timmar.

Efter exponeringen ska detaljen kylas ned snabbt.

SÄTTHÄRDNING

Sätthärdning är en process i vilken en färdig detalj behandlas i en uppkolande atmosfär vid hög temperatur. Temperaturområdet är 850°C–950°C. Metoden ger ett skikt med högre kolhalt, som normalt är 0,1–1,5 mm tjockt. När skiktet har bildats ska detaljen kylas. Vid kylningen omvandlas det uppkolade skiktet till martensit med en högre kolhalt och därmed högre hårdhet. Detaljen ska därefter anlöpas.

TERMISK DIFFUSION

Termisk diffusion är en process i vilken vanadin diffunderar in i materialet, reagerar med befintligt kol och bildar ett vanadinkarbidskikt. Stålet måste innehålla minst 0,3 % kol. Denna ytbehandling ger mycket hög slitstyrka.

YTBELÄGGNING

Ytbeläggning av verktygsstål blir allt vanligare. Syftet med dessa processer är att skapa ett ytterskikt med mycket hög hårdhet och låg friktion, som ger god slitstyrka och minimerar risken för vidhäftning och kletning. För att kunna utnyttja dessa egenskaper maximalt måste ett verktygsstål av hög kvalitet väljas.

De mest använda beläggningsmetoderna är:

- **PVD-beläggning (Physical Vapour Deposition)**
- **CVD-beläggning (Chemical Vapour Deposition)**

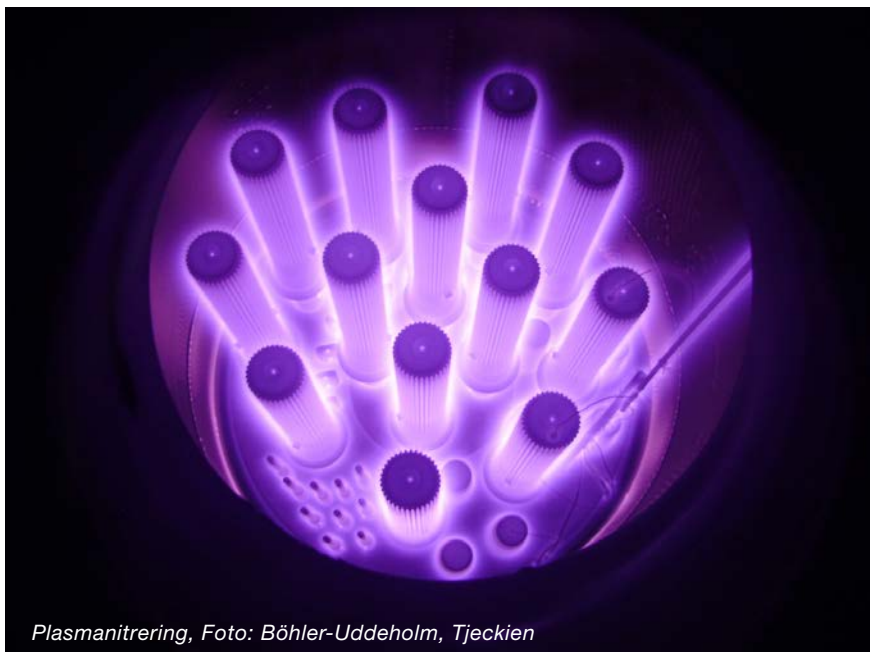
CVD-beläggning kan även utföras med plasmastödd teknik (PACVD).

PLÄTERING

Krom- och nickelpläteringar är vanligt förekommande i olika verktygsapplikationer, som till exempel formsprutningsverktyg. De flesta stålqualiteter kan pläteras för att förhindra kärning och påkletning, minska friktion, öka ythårdheten och förhindra eller minska korrosion på substratets yta.



CVD TiC/TiN. Foto: Eifeler Werkzeuge, Tyskland.



Plasmanitrering, Foto: Böhler-Uddeholm, Tjeckien

PROVNING AV MEKANISKA EGENSKAPER

När stålet härdas och anlöps påverkas dess hållfasthet och det kan därför vara värdefullt att titta närmare på hur dessa egenskaper mäts.

HÅRDHETSPROVNING

Hårdhetsprovning är det vanligaste sättet att kontrollera hårdresultatet. Oftast är hårdheten den egenskap som är föreskriven vid härdning av verktyg.

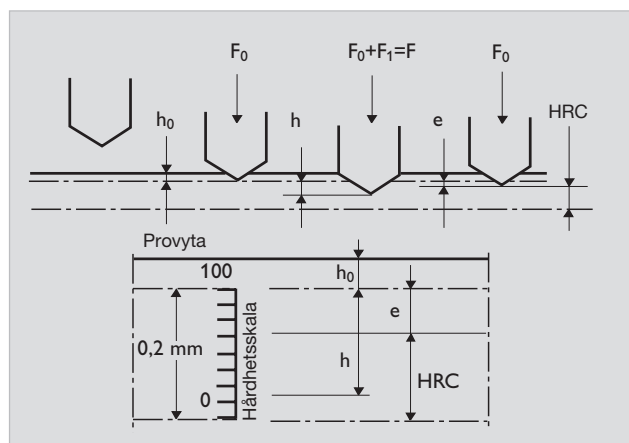
Det är enkelt att prova hårdheten. Materialet förstörs inte och utrustningen är relativt billig.

De vanligaste metoderna är Rockwell C (HRC), Vickers (HV) och Brinell (HBW).

Vi ska inte helt glömma det gamla uttrycket "filhårt". För att kontrollera om hårdheten är tillräckligt hög, t.ex. över 60 HRC, kan en fil av god kvalitet ge en bra indikation.

ROCKWELL (HRC)

Denna metod är lämplig att använda på härdade material, men aldrig på material i mjukglödgat tillstånd. Vid provning enligt Rockwell trycks en diamantkon först med en kraft F_0 och därefter med en kraft F_0+F_1 mot en provkropp av det material som ska hårdhetsbestämmas. Efter avlastning till F_0 bestäms den ökning (e) av intryckningsdjupet som orsakats av F_1 .



Principen för provning enligt Rockwell (HRC).

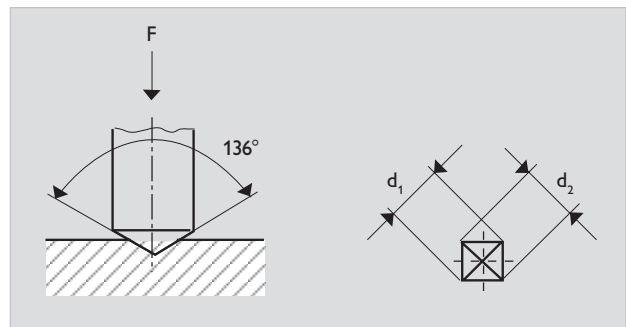
Intryckningsdjupet (e) omräknas till rockwellhårdheten (HRC) som avläses direkt från apparaten mätskala.

VICKERS (HV)

Vickers är den mest generella av de tre testmetoderna. Vid hårdhetsprovning enligt Vickers trycks en pyramidformad diamant med kvadratisk bas och en toppvinkel av 136° med belastningen F mot det materialet som ska hårdhetsbestämmas. Efter avlastning mäts intryckets diagonaler d_1 och d_2 och hårdheten (HV) avläses i en tabell.

När provningsresultatet redovisas betecknas vickershårdhet med HV och ett tillägg för den massa som åstadkommer belastningen samt (vid behov) belastningstid enligt följande exempel:

HV 30/20 = vickershårdhet bestämd med en belastning av 30 kp under 20 sekunder.



Principen för provning enligt Vickers (HV).

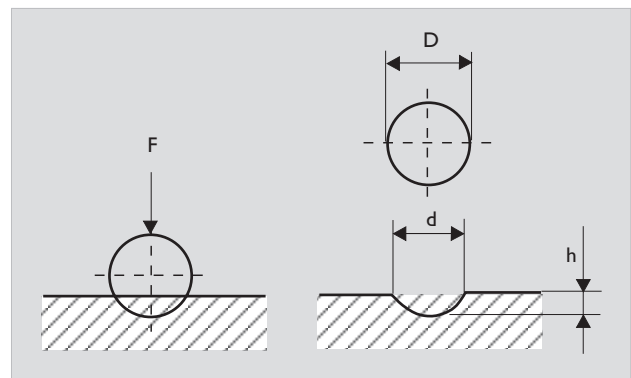
BRINELL (HBW)

Denna metod är lämplig på mjukglödgat stål och seghärdat stål med relativt låg hårdhet.

Vid provning enligt Brinell trycks en hårdmetallkula (W) mot det material som ska hårdhetsbestämmas. Efter avlastning mäts intryckets diameter i två mot varandra vinkelräta riktningar (d_1 och d_2) och HBW-värdet avläses i en tabell utifrån medelvärde av d_1 och d_2 .

När provningsresultatet redovisas betecknas brinellhårdheten med HBW och ett tillägg för kuldiameter, den massa som åstadkommer belastningen och (vid behov) belastningstiden enligt följande exempel:

HBW 5/750/15 = brinellhårdhet bestämd med en hårdmetallkula (W) med diametern 5 mm och med en belastning av 750 kp i 15 sekunder.



Principen för provning enligt Brinell (HBW).

DRAGHÅLLFASTHET

Draghållfastheten bestäms på en provstav som dras i en speciell provningsapparat, där den utsätts för en successivt ökande belastning tills brott sker. De mekaniska egenskaper som normalt registreras är sträckgräns $R_{p0,2}$ och brottgräns R_m , Förlängning A_5 och kontraktion Z mäts på provstaven. I allmänhet kan det sägas att sträckgräns och brottgräns beror på hårdheten, medan förlängning och kontraktion är mått på segheten. Höga värden på sträckgräns och brottgräns ger i regel låga värden på förlängning och kontraktion.

Dragprov används mest för konstruktionsstål, mer sällan för verktygsstål. Det är svårt att göra dragprov vid hårdheter över 55 HRC.



Dragprov.

Dragprov kan vara av intresse för segare typer av verktygsstål, speciellt när de används som höghållfasta konstruktionsmaterial. Hit räknas t.ex. Uddeholm Impax Supreme och Uddeholm Orvar Supreme.

SLAGSEGHETSPROVNING

För att det ska uppstå ett brott i ett material krävs en viss mängd energi. Denna energimängd kan användas som ett mått på materialets seghet. Högre energiåtgång innebär bättre seghet. Den vanligaste och enklaste metoden att bestämma seghet är genom slagseghetsprovning.

En pendelhammare får falla från en viss höjd och i sitt nedersta läge slå av en provstav. Pendelhammarens utslagsvinkel efter det att provstaven slagits av mäts och den energimängd som gått åt för att slå av provstaven kan beräknas.

Det finns flera typer av slagseghetsprovningar. Skillnaden mellan dem ligger i utformningen av provstavarna. Dessa har vanligen en V- eller U-formad anvisning och metoderna benämns Charpy V respektive Charpy U.

Verktygsstål har på grund av sin höga hållfasthet oftast en relativt låg seghet. Material med låg seghet är anvisningskänsliga och därför används ofta släta och oanvisade provstavar vid slagseghetsprovning av verktygsstål. Provningsresultaten anges vanligen i joule (J) eller kpm (närmare bestämt kgfm), men även J/cm^2 eller kpm/cm^2 förekommer, speciellt vid Charpy U-provning.



Maskin för slagseghetsprovning.

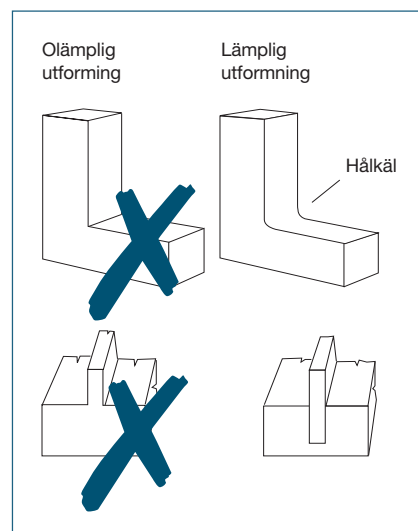
NÅGRA RÅD TILL VERKTYGS-KONSTRUKTÖRER

KONSTRUKTION

Undvik:

- skarpa hörn
- anvisningar
- stora skillnader i godsstorlek

Dessa orsakar ofta härdsprickor, speciellt om materialet kyls ned för långt eller får ligga oanlöp.



VÄRMEBEHANDLING

Välj lämplig hårdhet för applikationen. Var speciellt noga med att undvika temperaturområden som kan minska segheten efter anlöpning.

Tänk på risken för formförändring och följ rekommendationerna för arbetsmån.

Ange gärna avspänningsglödning på ritningarna.



Vakuumugn

UNGEFÄRLIG HÅRDET EFTER HÄRDNING OCH ANLÖPNING

Uddeholms stålsort	Aust.- temperatur °C	HRC vid anlöpningsstemperatur °C, 2 x 2 timmar					
		200	250	500	525	550	600
ALVAR 14	850 ¹⁾	54	53	45	–	42	38
ARNE	830 ¹⁾	62	60	45	43	41	38
BURE	1020	52	52	53*	–	52	46
BALDER ⁶⁾	–	–	–	–	–	–	–
CALDIE	1020	3 x 525°C*** 60		3 x 540°C 59		3 x 560°C 56	
CALMAX	960	59	58	53	53	50	43
CARMO	960	59	58	53	53	50	43
CHIPPER	1010	59	57	59*	58	56	48
CORRAX	850 ²⁾	–	–	–	–	–	–
DIEVAR	1025	53	52	52*	–	52	47
ELMAX ³⁾	1080	59	58	60**	59**	58**	–
FERMO	–	Levereras i seghärdat tillstånd					
FORMAX	–	Levereras i seghärdat tillstånd					
FORMVAR	1025	53	52	52*	–	52	47
HOLDAX	–	Levereras i seghärdat tillstånd					
IDUN	–	Levereras i seghärdat tillstånd					
IMPAX SUPREME	–	Levereras i seghärdat tillstånd					
MIRRAX ESR	1020	–	50	52**	–	42**	36
MIRRAX 40	–	Levereras i seghärdat tillstånd					
NIMAX ⁴⁾	–	Levereras i seghärdat tillstånd					
ORVAR SUPREME	1020	52	52	54*	–	52	46
ORVAR SUPERIOR	1020	52	52	54*	–	52	46
ORVAR 2 M	1020	52	52	54*	–	52	46
POLMAX	1030	53	52	54**	–	53**	37
QRO 90 SUPREME	1020	49	49	51*	–	51*	50 ⁵⁾
RAMAX HH	–	Levereras i seghärdat tillstånd					
ROYALLOY	–	Levereras i seghärdat tillstånd					
RIGOR	950	61	59	56*	55*	53	46
SLEIPNER	1030	3 x 525°C*** 62		3 x 540°C 60		3 x 560°C 58	
SR 1855	850	63	62	50	48	46	42
STAVAX ESR	1030	53	52	54**	–	43**	37
SVERKER 3	960	60	59	56	53	–	–
SVERKER 21	1020	63	59	60	57	54	48
UHB 11	–	Lev.tillstånd (~200 HB)					
UNIMAX	1020	–	–	–	57***	55	49
VANADIS 4 EXTRA ³⁾	1020 ⁷⁾ 1180 ⁸⁾	3 x 525°C*** 61 64		3 x 540°C 60 64		3 x 560°C 59 63	
VANADIS 8 ³⁾	1020 ⁷⁾ 1180 ⁸⁾	61 64		60 64		59 63	
VANCRON 40 ³⁾	950–1100	3 x 560°C 57–65					
VIDAR SUPERIOR	1000	52	51	51*	–	50	45
VIDAR 1	1000	54	53	55*	–	52	46
VIDAR 1 ESR	1000	54	53	55*	–	52	46
Snabbstål		3 x 560°C					
VANADIS 23 ³⁾	1050–1180	60–66					
VANADIS 30 ³⁾	1000–1180	60–67					
VANADIS 60 ³⁾	1000–1180	64–69					

* Denna anlöpningsstemperatur bör undvikas på grund av risken för anlöpningssprödhet.

** Hos Uddeholmsstålen Stavax ESR, Mirrax ESR, Polmax och Elmax SuperClean minskar korrosionsbeständigheten.

*** Den lägsta anlöpningsstemperaturen vid högttemperaturanlöpning är 525°C.

¹⁾ Släckning i olja.

²⁾ Upplösningsbehandling. Åldring: ~51 HRC efter 525°C/4 timmar, ~44 HRC efter 575°C/4 timmar, ~41 HRC efter 600°C/4 timmar.

³⁾ SuperClean PM-stål.

⁴⁾ Leveranshårdheten för Uddeholm Nimax kan inte ökas. Anlöpning bör undvikas p g a minskning av segheten..

⁵⁾ Vid 650°C 2 x 2 timmar: 42 HRC ⁶⁾ Uddeholm Balder levereras seghärdat, anlöpt vid 590°C /2 x 2 timmar.

⁷⁾ För bättre seghet ⁸⁾ För bättre nötningsbeständighet

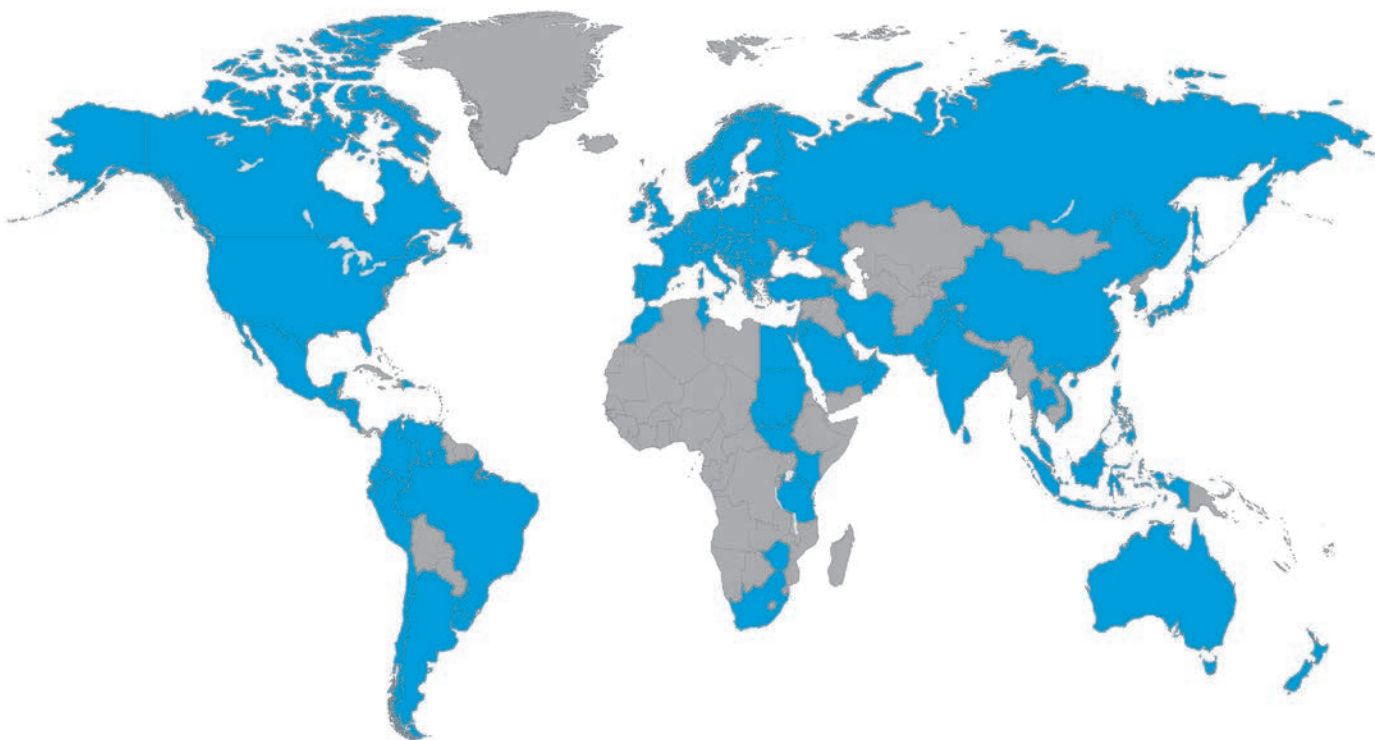
HÅRDHETSTABELL

Omvandlingstabellen är baserad på EN-ISO 18265:2013.

Ungefärligt samband mellan hårdhet och brotthållfasthet.

Rockwell HRC	Brinell* HBW	Vickers 30 kg	Ungefärlig brottröns	
			N/mm ²	kp/mm ²
26	259	273	873	89
27	265	279	897	92
28	272	286	919	94
29	279	294	944	96
30	287	302	970	99
31	295	310	995	101
32	303	318	1024	104
33	311	327	1052	107
34	320	336	1082	110
35	328	345	1111	113
36	337	355	1139	116
37	346	364	1168	119
38	354	373	1198	122
39	363	382	1227	125
40	373	392	1262	129
41	382	402	1296	132
42	392	412	1327	135
43	402	423	1362	139
44	413	434	1401	143
45	424	446	1425	145
46	436	459	1478	151
47	448	471	1524	155
48	460	484	1572	160
49	474	499	1625	166
50	488	513	1675	171
51	502	528	1733	177
52	518	545	1793	183
53	532	560	1845	188
54	549	578	1912	195
55	566	596	1979	202
56	585	615	2050	209
57	603	634	2121	216
58		654		
59		675		
60		698		
61		720		
62		746		
63		773		
64		800		

* 10 mm kula, 3 000 kg belastning.



NETWORK OF EXCELLENCE

Uddeholms globala närvaro innebär att du alltid kan vara säker på att få samma höga kvalitet var du än befinner dig. Vi befäster ställningen som världsledande leverantör av verktygsstål.

Uddeholm är världsledande leverantör och tillverkare av verktygsstål. Det är en position vi har nått genom att ständigt bidra till bättre affärer för våra kunder. Genom lång erfarenhet, grundlig forskning och kontinuerlig utveckling av nya produkter är vi väl rustade att lösa alla de problem som kan uppstå. Det är en tuff utmaning, men målsättningen är lika tydlig som alltid – att vara bästa affärspartner och förstahandsleverantör.

Vi finns över hela världen. Det innebär att du alltid kan vara säker på att få samma höga kvalitet var du än befinner dig. Vi befäster ställningen som världsledande leverantör av verktygsstål. Det handlar om förtroende, såväl i långvariga samarbeten som vid utveckling av nya produkter. För oss är förtroende något man lever upp till – varje dag.

Mer information finner du på www.uddeholm.com