

Järn- och stålframställning

Låglegerade stål

Jernkontorets utbildningspaket – del 11



Förord

Jernkontorets utbildningspaket är ett läromedel i tolv delar som täcker hela produktionskedjan vid stålframställning.

Utbildningspaketet vänder sig i första hand till anställda vid stålföretagen, elever vid gymnasie- och högskolor samt stålföretagens kunder.

Läromedlet är författat av experter inom nordisk stålindustri.

Delar av paketet har reviderats.

Utbildningspaketet omfattar följande områden:

Del	Titel	Senaste utgåva
1	Historia, grundläggande metallurgi.....	2000
2	Malmbaserad processmetallurgi.....	2000
3	Skrotbaserad processmetallurgi	2000
4	Skänkmetallurgi och gjutning	2000
5	Underhåll och driftsekonomi	2001
6	Analytisk kemi	1996
7	Energi och ugnsteknik.....	1997
8	Bearbetning av långa produkter	2015
9	Bearbetning av platta produkter.....	2015
10	Oförstörande provning	2007
11	Låglegerade stål	2019
12	Rostfritt stål.....	2015

Jernkontoret, 2019

Källor

Del	Titel	Författat av	Revidering av
1	Historia, grundläggande metallurgi .	Jan Uggla	Sven Ekerot
2	Malmbaserad processmetallurgi	Jan Uggla	Sven Ekerot
3	Skrotbaserad processmetallurgi	Jan Uggla	Henrik Widmark
4	Skänkmetsallurgi och gjutning.....	Jan Uggla	Sven Ekerot
5	Underhåll och driftsekonomi	Hans Gillberg och Niklas Brodd, ABB	
6	Analytisk kemi.....	Carl Bavrell	
7	Energi och ugnsteknik	Jan Fors och Martti Köhli	
8	Bearbetning av långa produkter.....	Magnus Jarl, Håkan Lundbäck, Jan-Olov Perä och Åke Sjöström	Rachel Pettersson, Jernkontorets TO 32
9	Bearbetning av platta produkter	Nils-Göran Jonsson, Jan Levén Åke Sjöström och Olof Wiklund	Rachel Pettersson, Jernkontorets TO 31
10	Oförstörande provning.....	Jan-Erik Bohman, Bernt Hedlund, Bengt Moberg, Bert Pettersson och Björn Zetterberg	Författarna
11	Låglegerade stål.....	Bengt Lilljekvist	Rachel Pettersson, Jernkontorets TO 41
12	Rostfritt stål	Staffan Hertzman och Hans Nordberg	Rachel Pettersson, Jernkontorets TO 43

Del 5 bygger på ABB Handbok Industri och har sammanställts av Hans Gillberg och Niklas Brodd.

Bilderna i den första utgåvan av delarna 1–4 producerades av Jenö Debröczy.
Några av dessa bilder återfinns i den omarbetade utgåvan.

Bilderna i den första utgåvan av delarna 6–12 producerades av Databild AB.

Bilderna i den reviderade utgåvan av delarna 8, 9, 11 och 12 har omarbetats av Rachel Pettersson.

Innehåll, Låglegerade stål, del 11

1	NÅGRA BAKGRUNDSFAKTA	5
1.1	Kristaller	5
1.2	Systemet järn – kol	7
1.3	Härdningsmekanismer	8
1.4	Litet teori om värmebehandling	10
1.5	Avkolning	11
1.6	Spårelement	12
2	EGENSKAPER	13
2.1	Inledning	13
2.2	Hållfasthet	14
2.2.1	Definition och förklaring	14
2.2.2	Hur mäter man hållfasthet?	16
2.2.3	Inverkan av kemisk sammansättning	16
2.2.4	Inverkan av temperatur	16
2.2.5	Inverkan av värmebehandling	17
2.2.6	Inverkan av varmbearbetning	19
2.2.7	Inverkan av kallbearbetning	19
2.3	Hårdhet	20
2.3.1	Definition och förklaring	20
2.3.2	Hur mäter man hårdhet?	20
2.3.3.	Inverkan av värmebehandling	22
2.4	Härdbarhet	29
2.4.1	Definition och förklaring	29
2.4.2	Hur mäter man härdbarhet?	29
2.4.3	Inverkan av kemisk sammansättning	29
2.5	Seghet – sprödhet	30
2.5.1	Definition och förklaring	30
2.5.2	Hur mäter man slagseghet?	30
2.5.3	Inverkan av olika faktorer	31
2.6	Utmattningshållfasthet	32
2.6.1	Definition och förklaringar	32
2.6.2	Hur man mäter utmattningshållfasthet?	33
2.6.3	Inverkan av olika faktorer	34
2.7	Svetsbarhet	35
2.7.1	Definition och förklaringar	35
2.7.2	Hur mäter man svetsbarhet?	36
2.7.3	Inverkan av olika faktorer	36
2.7.4	Svetsfel	37
2.8	Formbarhet	38
2.8.1	Definitioner och förklaringar	38
2.8.1	Hur mäter man formbarhet?	38
2.8.3	Inverkande faktorer	39
2.9	Skärbarhet	40
2.9.1	Definition och förklaringar	40
2.9.2	Hur mäter man skärbarhet?	41
2.9.3	Inverkan av olika faktorer	42
3.	STÅLPRODUKTER	44
3.1	Indelning av stål	44
3.2	Exempel på stålprodukter	46

Olegerade och låglegerade stål, del 11

1 Några bakgrundsfakta

1.1 Kristaller

All materia är uppbyggd av atomer. Atomen kan ses som en ”tung” kärna omgiven av en eller flera elektroner, som snurrar runt kärnan, ungefär som planeterna går runt solen.

Kärnan är uppbyggd av partiklar, kallade protoner och neutroner. Antalet protoner bestämmer kärnans elektriska laddning och därmed också vilket grundämne atomen tillhör och vilket atomnummer den har. Summan av antalet protoner och neutroner anger den ungefärliga atomvikten.

Atomerna kan bindas till varandra på olika sätt, vilket påverkar egenskaperna hos materialet. Exempel på olika bindningstyper visar metaller, keramer och plaster. Här ska vi endast tala om metaller och av dessa bara om järn.

Utmärkande för metaller är att atomerna är ordnade på ett regelbundet sätt. För järn är detta system kubiskt, det vill säga i enhetscellen sitter en järnatom i varje hörn av den tänkta kuben. Men det finns två varianter, den ena kallas **rymdcentrerad**, det vill säga mitt i enhetscellen finns ytterligare en järnatom. Den andra varianten kallas **ytcentrerad** och i det fallet finns en extra järnatom mitt på varje sida av enhetscellen.

Rent järn med temperatur under 911°C har den rymdcentrerade strukturen. Den ytcentrerade varianten har järn inom temperaturområdet 911°C –1395°C.

Eftersom vissa atomer, till exempel hörnatomerna, delas mellan flera celler, ritas cellerna ofta som i de nedre skisserna. Varje atom i kubhörnen är gemensam för åtta stycken enhetsceller, som möts i hörnet. Varje atom i en kubytas centrum är gemensam för två mötande celler.

Det betyder att den rymdcentrerade enhetscellen har två ”hela” atomer och den ytcentrerade fyra stycken. Enhetscellens kantsida är 0,287 respektive 0,357 nm vid 20°C. 1 nm (nanometer) = 10^{-9} m. Det ger en densitet av 7,87 respektive 8,14 kg/dm³.

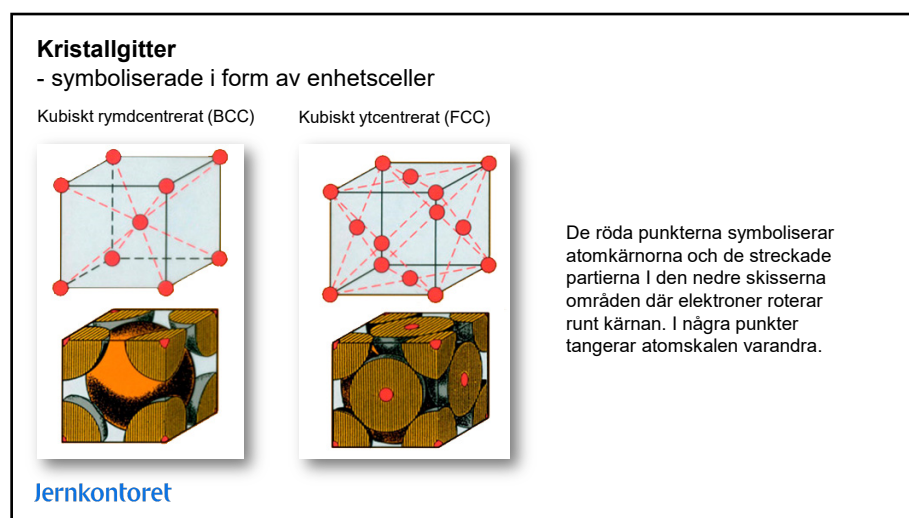


Bild 11-2

Enhetscellerna bygger upp ett gitter av atomer, ungefär som ett enormt Legospel. Denna mängd av atomer, som är ordnad på ett regelbundet sätt enligt enhetscellen, kallas en kristall.

Järnkristallerna är så stora att man kan se dem i vanliga mikroskop. Rent järn är uppbyggt av ett

stort antal kristaller, som inbördes är helt lika varandra med undantag av att kristallgittren har olika riktningar, ungefär som iskristaller på en fönsterruta.

Kristallkornens storlek och form är viktig för egenskaperna. Ju mindre kornen är desto starkare och segare blir stålet.

Kristallgittrets regelbundna rader av atomer kan ha olika störningar och fel. Några exempel visas i bild 11-3. Dessa störningar och fel höjer stålets hållfasthet och är därför i många fall önskvärda.

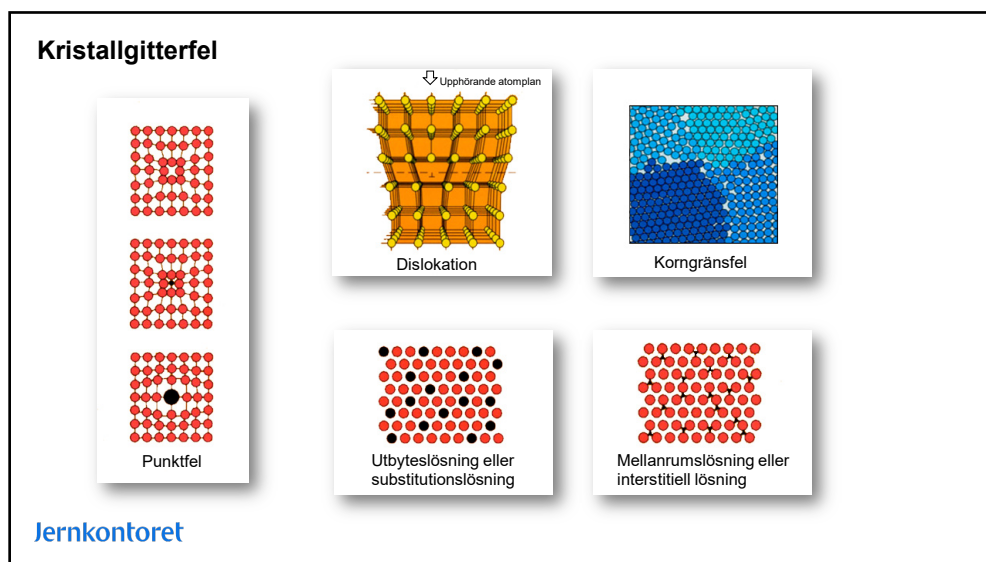


Bild 11-3

Punktfel:

- en atom saknas någonstans
- en främmande mindre atom har tagit en plats
- en främmande större atom har tagit en plats

Linjefel, kallas också **dislokationer** och kan beskrivas som ett atomplan som upphör.

Dislokationer uppstår framförallt vid kallbearbetning och förklarar den hållfasthetshöjning som då uppstår, se vidare i avsnitt 1.3.

Korngränsfel: Kristallgittren är störda och oregelbundna vid kontakten med andra kristallkorn. Detta illustreras i bilden, där fyra olika korn möts. Ju mindre korn, desto fler korngränser och desto segare stål.

Fasta lösningar

Alla vet att vätskor ofta kan lösa andra ämnen, till exempel socker i vatten. Man talar då om lösningar. Men även i fast form kan man tala om lösningar, till exempel när främmande atomer kan få plats i ett kristallgitter utan att detta ändrar sin struktur. Här kommer ett par exempel:

Vid **utbyteslösning** intar de främmande atomerna lägen i gittret, som annars skulle vara besatta av basatomerna. Ett exempel på detta är krom (Cr) i järn och detta är möjligt eftersom atomerna är nästan lika stora. Även två av exemplen på punktfel, bild 11-3, representerar utbyteslösningar.

Vid **mellanrumslösning** lyckas små atomer, till exempel kol (C), kväve (N) eller väte (H) att få plats mellan basatomerna. Det är lättare att hitta platser i järnets ytcentrerade gitter än i det rymdcentrerade, som ju gäller vid rumstemperaturen. Det betyder till exempel att stål som upphettas över omvandlingstemperaturen plötsligt kan lösa mer kol.

Atomer i fast lösning kan i viss mån röra sig i ett kristallgitter och även ta sig över från ett kristallkorn till ett annat. Detta kallas **diffusion**.

Diffusionshastigheten ökar

- vid högre temperatur
- vid större skillnad i koncentration av det diffunderande ämnet.

Diffusionen strävar efter att utjämna koncentrationsskillnader.

1.2 Systemet järn – kol

Kol intar en särställning bland järnets legeringsämnen. Att känna till vilka strukturer, som uppstår vid olika kolhalter och temperaturer är nödvändigt för att förstå ståls egenskaper. Detta samband kan man få fram ur **järn-koldiagrammet**. Diagrammet gäller för olegerade kolstål, som fått svalna långsamt. Vid snabb kylning inträffar andra fenomen, som vi tar upp senare. Legeringsämnen ändrar linjernas läge något, men diagrammet kan användas för låglegerade stål upp till cirka 5 % legeringsämnen, om inte kravet på noggrannhet är stort.

Bild 11-4 visar järn-koldiagrammet. De olika linjerna och ytorna mellan dessa ger en hel del information om systemet vid olika temperaturer. Stålets kolhalt är avsatt på den horisontella axeln. Vid höga temperaturer, över 1150–1538°C (den övre linjen), är metallen i flytande tillstånd. Ju högre C-halt upp till 4,3 % desto lägre smältpunkt.

Om flytande stål med 1 % C långsamt får svalna kan man följa förloppet i diagrammet. Vid cirka 1460°C når man den övre linjen, som anger begynnande stelning. De först bildade kristallerna har en från smältan avvikande kolhalt, nämligen den som visas, när man drar en horisontell linje åt vänster tills man träffar den grå linjen.

Kolhalten blir i början cirka 0,35 %. Det betyder att smältan blir mer och mer kolrik under det fortsatta stelandet och när nästan allt har stelnat vid 1350°C har restsmältan en kolhalt på cirka 2,5 %.

Detta fenomen förklarar varför man får analyskillnader under stelandet och det kallas **segring**.

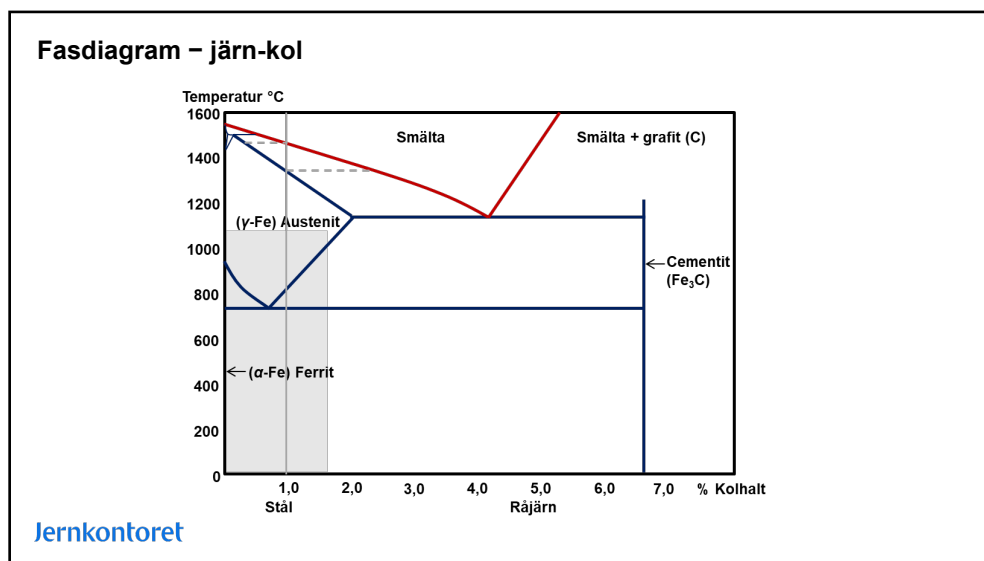


Bild 11-4

Kristallerna, som bildas i detta exempel, har det ytcentrerade gittret och strukturen kallas **austenit** eller γ -järn (gamma-järn). Mer om ståls stelning hittar du i ”Järn och stålframställning, del 4, Skänktmetallurgi och gjutning”.

I fortsättningen ska vi studera det nedre vänstra hörnet av diagrammet, det vill säga temperaturer under cirka 1000°C.

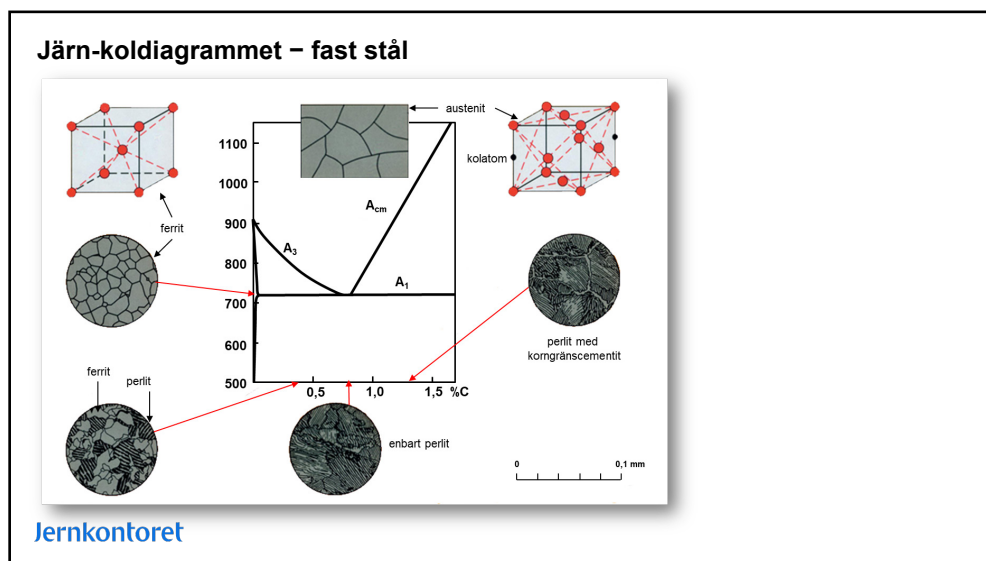


Bild 11-5

Vid mycket låga kolhalter, under 0,05 %, består stål vid rumstemperatur nästan enbart av strukturen **ferrit** eller α -järn (alfa-järn).

Den är uppbyggd av det rymdcentrerade gittret, som tidigare beskrivits. Ferriten är mjuk, seg och mycket formbar.

När kolhalten ökar uppträder en ny strukturbeståndsdel i stålet. Denna består av ferrit och cementit (Fe_3C) och kallas **perlit**. Den börjar uppträda vid cirka 0,05 % C och ökar sedan i mängd ju högre kolhalten blir.

Stål med kolhalt cirka 0,8 % består enbart av perlit. Den har god draghållfasthet, men är inte lika formbar som ferriten. Stål med kolhalter över 0,8 % består också av perlitkorn, men dessutom av **cementit** (Fe_3C), som har bildats som ett skal runt de tidigare austenitkornen och sedan omger perlitkornen.

Det är viktigt att komma ihåg att järn-koldiagrammet gäller, om temperaturförändringarna vid omvandlingarna är långsamma. Vi ska ofta återkomma till diagrammet i fortsättningen så det är bra att försöka förstå det.

1.3 Härdningsmekanismer

Krystaller av rena ämnen, till exempel rent järn, kräver endast små krafter för att deformeras. Det beror på att dislokationer, se bild 11-3, som bildas vid deformationen, kan röra sig lätt i kristallerna, ungefär som korten i en ny kortlek glider mot varandra när man sprider ut leken.

Om man kan begränsa dislokationernas rörlighet, så kan man öka motståndet mot deformation, vilket är detsamma som att höja hållfastheten eller hårdheten. Jämför med en kladdig kortlek.

Det finns fyra metoder för att försvåra dislokationernas rörelser: korngränshårdning, lösningshårdning, utskiljningshårdning och deformationshårdning.

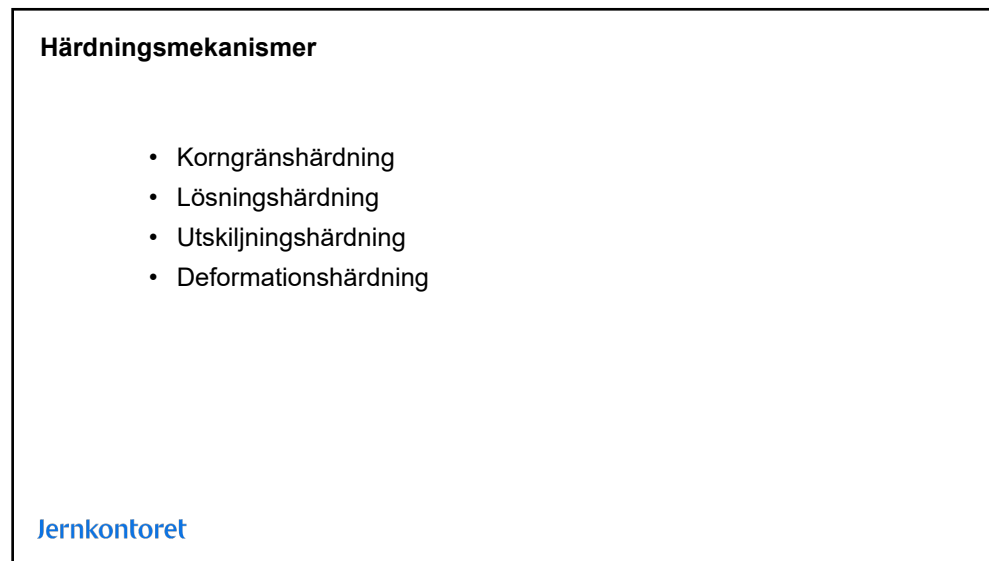


Bild 11-6

Korngränshårdning

En dislokation, som rör sig i en kristall på grund av yttre deformation, stannar upp vid en korngräns. Kommer det fler dislokationer stockas de upp vid gränsen. För att deformationen ska gå vidare in i angränsande korn och starta nya rörliga dislokationer i detta korn, krävs en ökad pålagd kraft.

Ju mindre kornstorlek i ett material desto fler korngränser finns det, och desto kortare sträckor kan dislokationerna röra sig innan de träffar på en korngräns.

Slutsatsen blir alltså att ju finkornigare stålet är desto högre hållfasthet har det. Det är anmärkningsvärt att enda sättet att samtidigt förbättra ett visst ståls hållfasthet och seghet är att minska kornstorleken. Hur man påverkar kornstorleken tar vi upp senare, bland annat i avsnitt 2.2.3.

Lösningshårdning

Genom inlagring av främmande atomer i det ordinarie gittret uppstår det punktfel som ger spänningar i kristallen. De främmande atomerna kan vara mindre eller större än gittrets ordinarie atomer och har beskrivits tidigare, i två av skisserna i bild 11-3.

En vandrande dislokation kommer att hindras av ev. främmande atomer, på grund av de omgivande spänningarna, och det krävs en ökad yttre kraft för att deformera kristallen.

Det betyder att ju fler främmande atomer, som tränger sig in i gittret, desto högre hållfasthet och hårdhet får materialet. Men inte bara antalet spelar roll utan i hög grad också skillnaden i storlek mellan värdgittrets och legeringsämnets atomer. Ju större skillnad desto större hållfasthetshöjning.

För stål finns ett mycket viktigt fall av lösningshårdning. Om kolhaltig austenit snabbkyls, hinner inte perlit att bildas, utan en övermättad, enfasig struktur uppstår, som kallas **martensit**. Dess kristalltyp är en slags avvikande ferrit, som inte längre är helt kubisk, utan vissa atomavstånd är längre än andra, på grund av att de fastfrusna kolatomerna hindrar järnatomerna att inta rätta avstånd. Martensiten är mycket hård och vid högre kolhalter även spröd.

Utskiljningshärdning

Vid utskiljningshärdning är det inte längre främmande atomer, som stör gittret, utan mycket små partiklar av en annan fas eller struktur. För att dessa ska bildas eller utskiljas krävs att man först kan överföra grundmaterialet i ett enfasigt tillstånd, till exempel värma stål till austenit och sedan snabbt kyla, så att man får en övermättad lösning.

Därefter måste de lösta atomerna ges möjlighet att röra sig i kristallen för att genom utskiljning bilda en stabil fas. Denna process kallas också **åldring**. De bildade små partiklarna av den nya fasen verkar som hinder för dislokationernas rörelser. Ju mindre partiklar desto större hinder.

Om martensit uppvärms sönderfaller martensiten, som beskrivits ovan, till ferrit och en mycket fin järnkarbid. Detta kallas **anlöpning** och den anlöpta martensiten representerar ett exempel på utskiljningshärdning.

Andra exempel på utskiljningshärdning är karbonitrering av stål, mikrolegering av kolstål, och härdning av olika aluminiumlegeringar.

Deformationshärdning

Deformationshärdning innebär att hållfastheten ökar vid plastisk deformation, till exempel vid kallbearbetning. Härdningen orsakas av att dislokationerna blir så många att de hindrar varandras rörelser. Hållfasthetsökningen beror alltså på hur mycket materialet deformeras.

De tidigare behandlade härdningsmekanismerna övergår efter det första dislokationsbromsande stadiet till deformationshärdning, genom att tidigt stoppade dislokationer i sig stoppar nya dislokationer i rörelse.

Som synes kan alla hållfasthetsökande åtgärder förklaras av fenomenen i kristallgittret, inte minst av dislokationernas möjligheter eller svårigheter att fritt röra sig i kristallen vid pålagda spänningar.

1.4 Litet teori om värmebehandling

Om stål upphetas till temperaturer över linjerna A_3 eller A_{cm} i diagrammet i bild 11-5 ombildas de tidigare strukturerna helt till austenit. Till skillnad från ferrit så kan austenit, som tidigare nämnts, lösa kol, vid 1150°C ända upp till cirka 2 %, se bild 11-4.

Austenit existerar alltså endast vid högre temperaturer. Om temperaturen sänks under linjerna A_3 respektive A_{cm} börjar austeniten att omvandlas, och beroende på kylningshastigheten kan olika strukturer uppstå.

Låt oss betrakta ett kolstål med 0,8 % C, som får svalna från 750°C . Strax under 725°C börjar omvandlingen, och enligt diagrammet ska ferrit och cementit bildas. De bildas i tunna skivor och formar ett slags lamellat av skivor, varannan ferrit och varannan cementit. Ett perlitkorn består av många skivor, alla i samma riktning, och syns tydligt i mikroskop.

Låter man stålet ligga länge vid en temperatur strax under 725°C blir cementiten nästan rund och ligger som små kulor i den rena ferriten. Detta utnyttjas vid mjukglödning.

Ju snabbare omvandlingen sker desto tunnare blir skiktjockleken hos perliten. Detta beror på att ju snabbare kylningen genomförs desto mer underkyld blir austeniten innan den omvandlas. Vid lägre temperatur minskar kolets möjlighet att diffundera, och samtidigt bildas fler startpunkter för ferrit respektive cementitskivor, vilket leder till fler men tunnare skivor.

Ökas kylningshastigheten ytterligare bildas cementitskivorna mer ofullständigt, och man får en mycket finskiktad struktur, som kallas **bainit**.

En ytterligare ökning av kylningshastigheten, till exempel genom att kyla stålet i vatten eller olja, leder till att austeniten inte hinner omvandlas förrän den nått temperaturer omkring 300°C, och då bildas martensit som beskrivits i avsnittet om lösningshärdning.

Processen att framställa martensit eller bainit kallas **härdning** och är en av våra viktigaste värmebehandlingsmetoder. Efter martensithärdning återuppvärms stålet vanligen för att minska martensitens sprödhet och justera hårdheten till önskad nivå. Detta kallas som tidigare nämnts anlöpning.

Legeringsämnenas inverkan på härdning tas upp i kapitel 2.4.

Man har tagit fram särskilda diagram, som visar vilka strukturer man får vid olika svalningshastigheter. De kallas **CCT-diagram** och varje diagram gäller för en stålsammansättning och en austenitiseringsstemperatur.

I bild 11-7 visas ett sådant diagram för ett stål med C = 0,67, Si = 0,20 och Mn = 0,70 %. Austenitiseringsen sker vid 850°C under 10 minuter. De böjda kurvorna, som utgår från övre vänstra hörnet markerar olika svalningsförlopp med olika svalningshastigheter. Tidsaxeln är logaritmisk, vilket innebär att varje kurva representerar en konstant svalningshastighet.

Luftsvälning motsvarar 0,2–2°C/s och beror på produktens dimension. Vill man öka hastigheten får man kyla, till exempel i olja eller i vatten. Även fördröjd svälning kan behöva tillgripas.

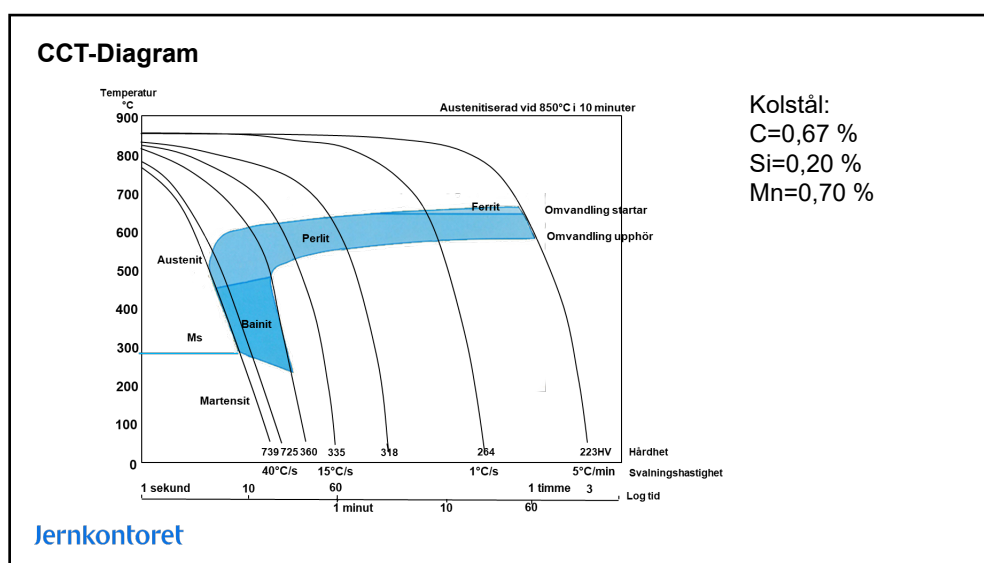


Bild 11-7

CTT-diagrammet visar vilka strukturer och hårdheter man förväntas få vid de olika svalningshastigheterna. Vid snabb kylning kommer givetvis ytan att kylas betydligt snabbare än kärnan.

1.5 Avkolning

När man av olika anledningar värmer stål, sker det oftast i bränsleeldade ugnar med en ugnsatmosfär, som bland annat innehåller koldioxid, ett visst syreöverskott och vattenångor.

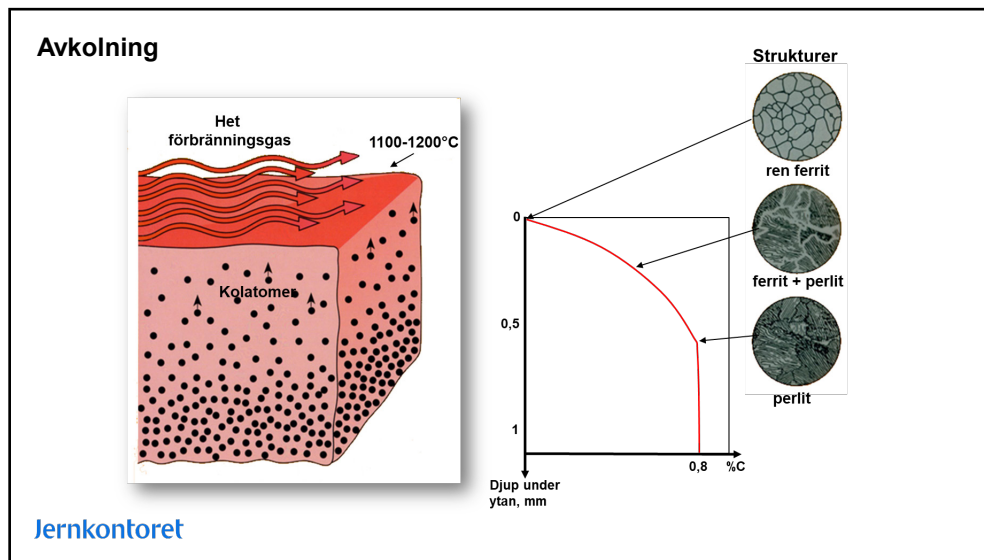


Bild 11-8

Dessa gaser verkar mer eller mindre oxiderande på stålytan och ger dels upphov till ett glödska av järnoxider och dels en utarmning av kolatomer vid ytan. Kol binds med syre till kolmonoxid (CO) och lämnar stålet.

Eftersom stålytan då får en sänkt kolhalt börjar kolatomer närmast innanför att vandra mot ytan eller som man säger att diffundera. Ju längre tid detta pågår och ju högre temperaturen är, desto kraftigare blir förlusten av kol innanför stålytan. Detta fenomen kallas **avkolning** och det kan på högkolhaltiga stål, till exempel verktygsstål ge stora problem genom att ytan efter härdning inte blir tillräckligt hård.

Om uppvärmningen sker i slutna rum kan så kallad skyddsgas användas. Man kan då välja en gassammansättning, som balanserar med stålets kolhalt och därigenom undvika avkolning.

1.6 Spårelement

En ökad användning av skrot i våra stålverk medför att grundämnen som koppar (Cu), tenn (Sn), nickel (Ni), krom (Cr) med flera, kommer att öka i nyttillverkat stål. Detta kan i vissa fall medföra problem såväl i tillverkning som för vissa egenskaper.

Inverkan av olika spårelement, som oavsiktligt följer med skrotet, är komplicerad. Ibland kan ett visst ämne vara till nytta, och i andra fall vara klart skadligt.

Krom, molybden (Mo) och bor (B) påverkar hårdbarheten kraftigt. De behöver alltså inte vara skadliga, men i okontrollerade halter kan olika charger (= smältor) få alltför olika egenskaper, alltför stor spridning, vilket är en allvarlig störning vid till exempel automatisk tillverkning hos kunderna.

I andra fall, till exempel vid för höga halter av koppar och tenn kan rödskörhet uppstå, vilket innebär att materialet spricker eller brister vid varmvalsning eller smide.

Pressbarhet för tunnplåt är känslig för sådana spårelement, som höjer hållfastheten för snabbt vid kallformning.

Listan kan göras lång! I tabellen i bild 11-9 görs ett försök att sammanfatta inverkan av föroreningar. Minustecken betyder allmänt att egenskapen försämras och ett plus att egenskapen ökar eller förbättras. Allmänt kan sägas att man ska ha föroreningskällorna under kontroll och ge

regler för de begränsningar vid ståltillverkningen, som är nödvändiga för en rationell tillverkning och för att uppnå de egenskaper som krävs av stålet.

Påverkan av spårelement									
	Strängjutbarhet	Värmbearbetbarhet (rödskorhet)	Kallformbarhet	Hållfasthet, hårdhet	Seghet	Härdbarhet	Anlöpningsförspridning	Svetsbarhet	Skärbarhet
Lågkolhaltiga presstål ferritiska		Cu- Sn- As-	Si- Cr- Mo- As- Cu-	N+ P+ Cu+ Cr+ Mo+ Al-	Mo- Sn- Ni+				
Allm. konstruktionsstål ferrit-perlitiska	P- S- Nb- Al- Cu-	Cu- Sn- As- Nb-		V+ P+ Mo+ Cr+ Cu+ Si+ Sn+	S- Sb- Sn- Mo- P- Cr-	B+ Cr+ Mo+ Ni+ Cu+		Cr- Mo- V-	
Seg- och sätthärtningsstål, martensitiska		Cu- Sn- As- Nb-	Si- Cr- Mo- Cu- Sb-				P- Sn+ Sb+ As+		Ca+ S+ Pb+ P-
Högkolhaltiga stål, martensitiska						Cr+ Mo+ Ni+ Cu+			

Jernkontoret

Bild 11-9

2 Egenskaper

2.1 Inledning

I detta kapitel beskrivs de viktigaste egenskaperna, som förknippas med olegerade och låglegerade stål.

Varje egenskap definieras först, och därefter följer en kort beskrivning av hur man mäter egenskapens storlek eller betydelse. Faktorer, som påverkar egenskapen, tas sedan upp, till exempel kemisk sammansättning, temperatur etc.

Istället för att ha ett eget kapitel för värmebehandling av stål har de olika glödnings- och härdningsmetoderna lagts in vid den egenskap som mest påverkas av behandlingen.

Stålets fysikaliska egenskaper påverkas av:

- kemisk sammansättning
- stelningsprocess
- mekanisk bearbetning
- dimension och form
- värmebehandling

och denna påverkan kan oftast förklaras med någon av de teoretiska samband som beskrivits i föregående kapitel och som ofta visar sig i mikrostrukturen. Nedanstående skiss ger en uppfattning om påverkande faktorer.

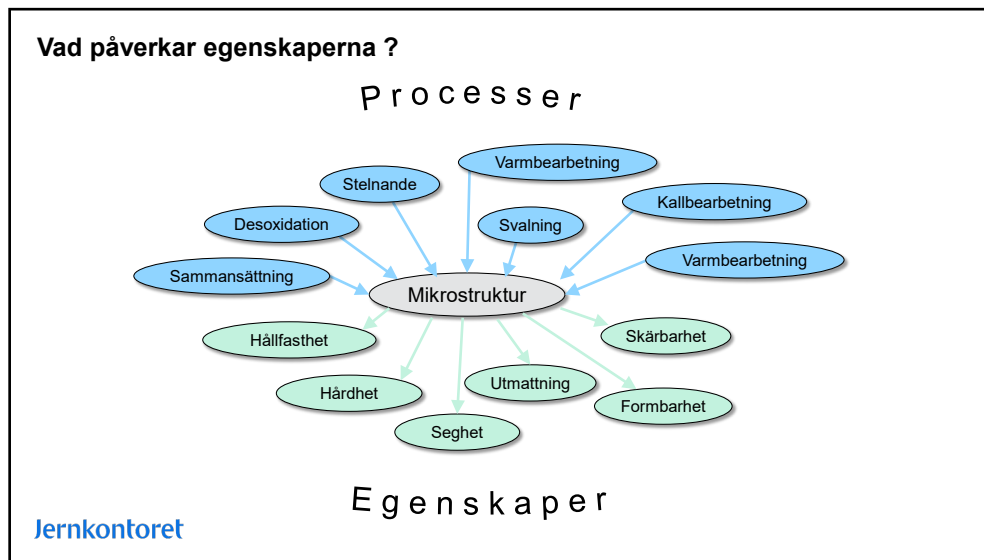


Bild 11-10

2.2 Hållfasthet

2.2.1 Definition och förklaring

Hållfasthet hos ett material kan definieras som motståndsförmågan mot mekaniska påkänningar.

Om en bit stål, till exempel en 10 mm rund stång, utsätts för en dragkraft börjar stängen att förlängas något, att töjas. Om kraften är måttlig återtar stängen sin ursprungliga längd, när kraften tas bort. Man kallar detta för **elastisk deformation**.

Eftersom man känner stängens tvärsnittsarea (S) kan man räkna om kraften (F) till en spänning (R) enligt $R = F/S$. R anges i MPa (Megapascal), som är lika med N/mm² (Newton per kvadratmillimeter). 1 MPa är ungefär 0,1 kg/mm² i gammal beteckning. Ofta används σ (sigma) i stället för R i nedanstående formel.

Vid elastisk deformation finns det ett samband mellan spänning (R), töjning (ϵ =epsilon) och en materialkonstant, som kallas **elasticitetsmodulen** och som skrivs E.

$$E = R/\epsilon \quad \text{eller} \quad R = E \cdot \epsilon$$

Elasticitetsmodulen kan sägas vara ett mått på materialets förmåga att fjädra och är för stål praktiskt taget oberoende av sammansättning och struktur.

E-modulen är för

stål	c:a	210.000	MPa
trä	c:a	15.000	MPa
plast	c:a	5.000	MPa
gummi	c:a	10	MPa

E-modulen sjunker med stigande temperatur för de flesta metaller.

Om dragkraften på den tidigare nämnda 10 mm runda stängen ökas, inträffar en plastisk deformation, det vill säga en del av töjningen kvarstår när kraften avlastas.

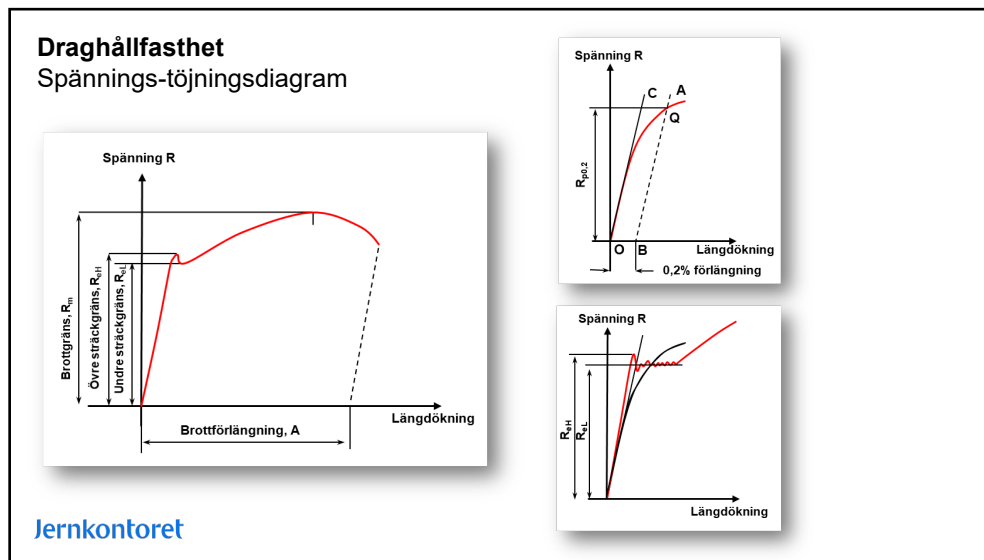


Bild 11-11

I bild 11-11 visas några diagram där provets längdökning är avsatt på x-axeln och den erforderliga dragspänningen R är avsatt på y-axeln.

Det första diagrammet visar det elastiska förloppet, det vill säga den räta linjen C fram till det att kurvan lämnar linjen C. Om provet inte belastas högre än så, återtar det sin ursprungliga längd när lasten tas bort.

Ökas lasten så ökar förlängningen efter den krökta linjen. Stoppar man till exempel vid Q och sedan avlastar helt, så fjädrar provet tillbaka längs den streckade linjen till B, och man kan i detta fall uppmäta en kvarvarande förlängning på 0,2 %. Provet har alltså deformerats plastiskt.

Ett vanligt förlopp visas i det andra diagrammet. Här pågår längdökningen elastiskt till en punkt, där förlängningen plötsligt ökar samtidigt som spänningen sjunker något. Fortsätter man att dra, sker en längdökning utan att spänningen behöver ökas, det vill säga provet ger efter plastiskt.

Den spänning som krävs för att nå plastisk deformation, kallas **sträckgräns** och betecknas R_e och har enheten MPa eller N/mm².

Dras provet sedan vidare till brott, så anger man även **brottgränsen**, som är den högsta uppmätta spänningen strax innan provet går av. Brottgränsen betecknas R_m och har samma enhet som R_e .

I det tredje diagrammet ser man hela förloppet när man drar ett prov till brott. Som framgår kan man ange en övre respektive en undre sträckgräns.

En tredje egenskap, som hör ihop med hållfasthet, är den så kallade brottförlängningen eller **förlängningen**, som man vanligen säger. Den betecknas A och anges i procent av ursprunglig provsträcka enligt givna regler.

Strax före brottet uppstår en tydlig midja på provet. Genom att jämföra midjans tvärsnittsarea (S_u) med provets ursprungsarea (S_o) kan man räkna fram minskningen i procent av S_o . Denna egenskap kallas **kontraktion** och skrivs Z.

Alla de fyra beskrivna hållfasthetsegenskaperna brukar anges i stålnormer för de standardiserade stålsorterna och i broschyrer och annan teknisk information från ståltillverkarna. De används av konstruktörer och kunder för att dimensionera konstruktioner och välja rätt stålsort för varje behov.

2.2.2 Hur mäter man hållfasthet?

I princip mäter man som nyss beskrivits, det vill säga med hjälp av särskilda dragprovningssmaskiner. För att alla ska göra på samma sätt över hela världen är dragprovningen mycket noggrant standardiserad i SS, EN och ISO standarder.

Även sättet att ta ut proven ur olika produkter är reglerat, eftersom egenskaperna kan variera inom ett stålstycke och även i olika riktningar inom detta.

Provberedningen beskrivs med ritningar och toleranser för de olika tillåtna provstavarna, se exempel i bild 11-12. Figuren visar ett exempel på dragprovning. Dragprovning är ett vanligt prov, som ofta utförs på leveransfärdiga poster och vars resultat lämnas i certifikat om kunden så kräver.

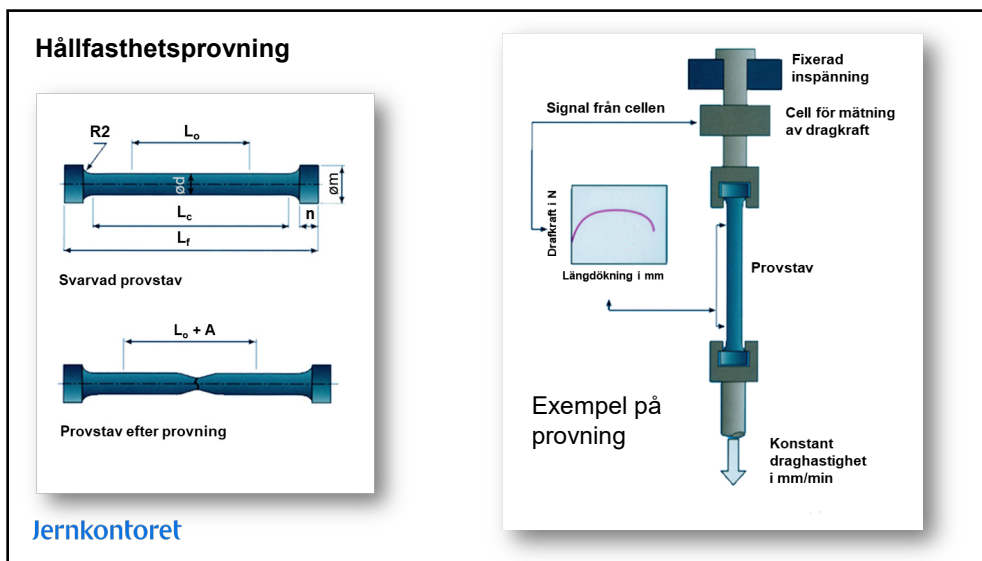


Bild 11-12

2.2.3 Inverkan av kemisk sammansättning

Kol har ett starkt inflytande på hållfastheten. I varmvalsat tillstånd ökar R_e från min 220 MPa vid C cirka 0,18 % till min 340 MPa vid C cirka 0,55 %. De flesta övriga legeringsämnen höjer också hållfastheten och i kombination med värmebehandling kan ökningen bli betydande.

Några ämnen har ett mycket starkt inflytande även vid små tillsatser. Dit hör aluminium (Al), vanadin (V), niobium (Nb) och titan (Ti), som tillsammans med kväve (N) bildar ytterst små partiklar. Dessa verkar alla bromsande på korntillväxten och ger ett finkornigare stål och en upp till 50 % högre sträckgräns med mycket god slagseghet i normaliserat tillstånd.

2.2.4 Inverkan av temperatur

Allmänt sjunker R_e och R_m med stigande temperatur. Det är viktigt att veta när man dimensionerar byggnader i stål med tanke på rasrisken vid brand. R_e kan sjunka till under hälften vid 500°C. R_m för olegerade stål får ett maximum vid cirka 200°C för att sedan snabbt sjunka.

Ett särskilt fenomen är **krypning**. Det innebär att om stål utsätts för en tillräckligt hög spänning under lång tid sker en gradvis plastisk töjning eller förlängning. På olegerade stål märks detta först över cirka 350°C.

Krypningen tilltar både med temperaturen och med den pålagda spänningen. Krypningsförloppet delas in i tre faser, och om fas 3 uppnås, leder belastningen slutligen till brott.

Krypningsbenägenheten provas i dragprovsningsmaskiner, där provstycket kan hållas vid konstant temperatur och last i upp till 10000 timmar.

Rostfria stål är mindre krypbenägna än låglegerade. Metaller typ Inconel, med höga halter av nickel (Ni) och kobolt (Co), ger bland de högsta kryphållfastheterna och används bland annat som turbinskovlar i jetmotorer.

2.2.5 Inverkan av värmebehandling

Värmebehandling av stål har ett mycket stort inflytande på egenskaperna. Vid all värmebehandling av olegerade och låglegerade stål har man stor användning av järnkoldiagrammet. I diagrammet i bild 11-13 har de olika aktuella temperaturområdena lagts in.

Avspänningsglödning

Ett stål, som utsatts för kallbearbetning eller som avkylts hastigt och ojämnt från hög temperatur, har ”inre spänningar”. Det betyder att det finns dragspänningar och tryckspänningar i olika delar av materialet. Sådana spänningar kan också uppstå vid svetsning och kan bland annat leda till krokighet och skevhet. Vid uppvärmning till 500–600°C under några timmar och långsam svalning reduceras dessa spänningar.

Rekristallisationsglödning

Material, som kallvalsats eller djuppressats, hårdnar på grund av att strukturkornen deformerats och en mängd dislokationer, som låser varandra, har uppstått. Om man denna gång väljer en något högre temperatur, så kommer kornen att rekristalliseras, det vill säga nya, deformationsfria korn växer fram, se foton. Därvid återtar materialet sin tidigare låga hårdhet och goda formbarhet.

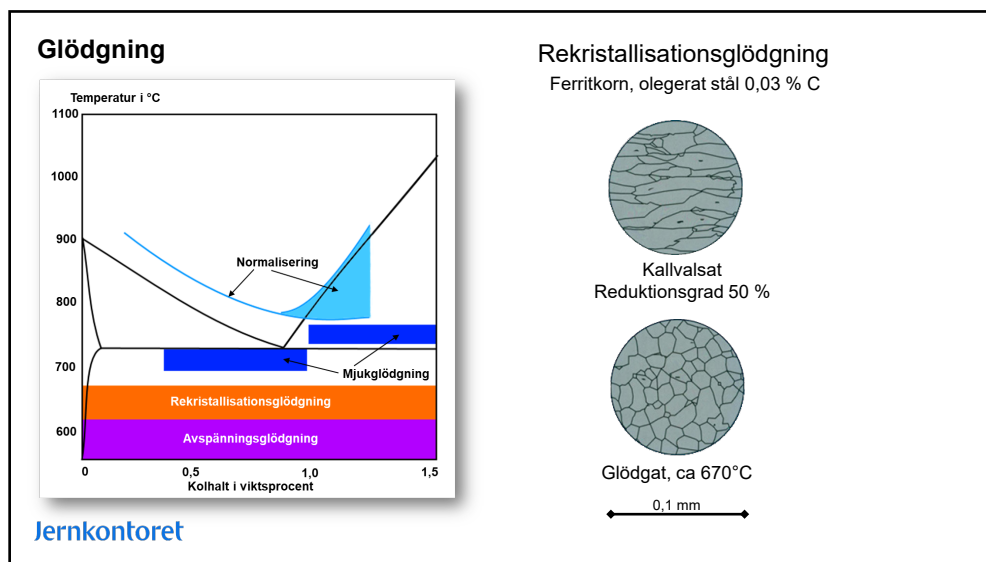


Bild 11-13

Mjukglödning

Perlit är en hård och spröd struktur. Ett stål med hög halt perlit är därför svårt att bearbeta, till exempel att svarva, borra eller att kallforma genom till exempel pressning. En mjukglödning motverkar dessa svårigheter.

Stål med kol under 0,90 % upphettas till en temperatur strax under A_1 under flera timmar, se diagrammet ovan. Cementiten (Fe_3C) i perliten övergår från skivor till rundade korn, som kommer att ligga i den mjuka ferriten.

Stål med kol över 0,90 % uppvärms till en temperatur strax över A_1 . Därvid övergår perliten till austenit, men samtidigt finns korn av cementit kvar i austeniten, eftersom temperaturen ligger under A_{cm} , se bild 11-14.

Efter bara cirka en timme kan man sänka temperaturen långsamt, 15–30°C per timme, genom A_1 . Därvid diffunderar kolatomer till de små kvarvarande cementitkornen, som växer genom att cementit nybildas på ytan. Vid cirka 650°C har allt kol bundits som cementitkorn i en grundmassa av mjuk ferrit utan att perlit har bildats. Denna sfäroidiserade struktur har i stort ferritens egenskaper.

Normalisering

Vid varmbearbetning och särskilt vid smide får man ofta en strukturförgrovnig, det vill säga oönskat stora korn. Delar av svetsfogar kan också innehålla alltför varierande kornstorlekar. Genom **normalisering**, som innebär en uppvärmning till austenitiserings vid drygt 50 °C över A_1 (800–900°C), se bild 11-13, och därefter kylning i luft, erhåller man en finkornig och homogen ferrit-perlitisk struktur.

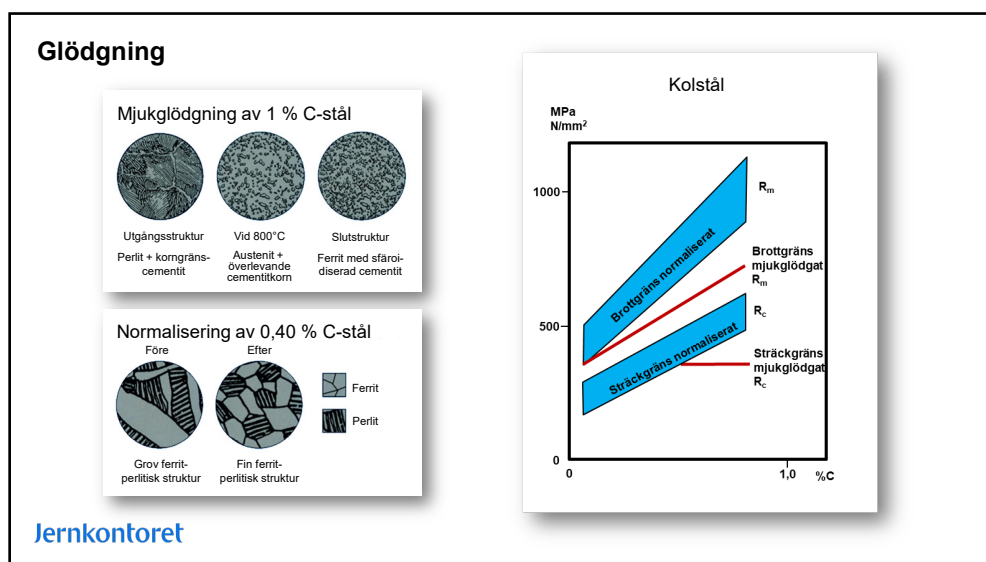


Bild 11-14

Exempel på en struktur före och efter normalisering ges i bild 11-14. Där visas också ett diagram över hur R_c och R_m påverkas av kolhalten vid mjukglödgat respektive normaliserat kolstål. Normalisering innebär också en tydlig förbättring av slagsegheten beroende på kornförminskningen.

Etappglödning

Etappglödning är ett samlingsnamn på glödningar, där man efter uppvärmning och omvandling till austenit, låter materialet svalna i luft till en temperatur mellan 550 och 700°C och sedan tar in det i en ugn med konstant temperatur för att få bästa struktur. Flera tillämpningar finns, bland annat för att få en bra ferrit-perlitisk struktur i sätthärtningsstål.

En snabbare variant kan alternativt vara att bygga en hållugn direkt efter valsverket och, när den varmvalsade produkten fått rätt temperatur, föra in den i hållugnen för omvandling vid konstant temperatur.

Patentering

Patentering är en värmebehandling, som avser att ge stålet, särskilt kolstålstråd, en mycket fin-kornig perlit. Efter austenitisering (cirka 850°C) kyls materialet blixtnabbt i blybad till cirka 500°C, där det omvandlas, se till exempel bild 11-7. Man får en hög brottgräns, en god seghet och bra bearbetbarhet vid efterföljande dragning.

Vattenkylning, direkt efter trådvalsning, ger resultat som motsvarar patentering.

2.2.6 Inverkan av varmbearbetning

Bearbetningen vid varmvalsning eller smidning påverkar egenskaperna. Prov uttagna parallellt med respektive vinkelrät mot valsningsriktningen kan ge olika hållfasthetsvärden. Ju större bearbetningen är från gjutet stadium till färdigbearbetad produkt, desto mer homogena blir egenskaperna.

Genom att avsluta varmvalsningen vid relativt låg temperatur kan hållfastheten förbättras för låg-kolhaltiga och mikrolegerade stål. Detta utnyttjas främst vid valsning av platta produkter varvid två varianter förekommer.

Vid **normaliserande valsning** väntar man med de sista sticken tills temperaturen når ungefär den, som används vid normalisering. Därvid erhålles nästan samma egenskaper som efter en normalisering, men till betydligt lägre kostnad och på kortare tid.

Vid **termomekanisk valsning** görs slutdeformationen vid en ännu lägre temperatur, cirka 800°C. Hållfastheten blir då högre än efter en normalisering. Denna behandling kan kombineras med direkthårdning efter valsningen och efter en följande anlöpning erhålls ”seghärdade” egenskaper.

2.2.7 Inverkan av kallbearbetning

Kallbearbetning sker normalt vid rumstemperatur och definitionsmässigt under rekristallisations-temperaturen, det vill säga de deformerade kornen förblir oförändrade efter valsningen. Vid kallbearbetning är det främst ferritkornen, som deformerar, se bild 11-13. Därvid tilltar hårdheten och hållfastheten, se bild 11-15, och formbarheten avtar.

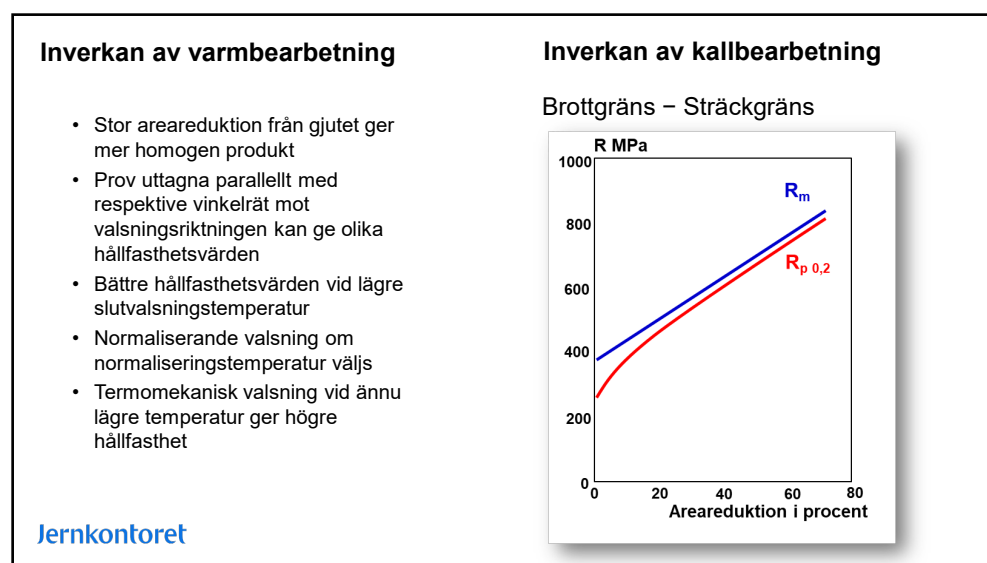


Bild 11-15

Kallbearbetning används också när man vill ha bättre toleranser än vid varmvalsning, eller då produkten är så klen att den inte går att ekonomiskt varmbearbeta.

Om ett kallbearbetat material värms till allt högre temperaturer, kommer hållfastheten, mätt efteråt vid rumstemperatur, att till en början öka något och sedan sjunka. Den är högst efter värmning till cirka 300°C, och detta fenomen kallas **deformationsåldring**.

Efter värmning till 400–600 °C har hållfasthetsegenskaperna gått tillbaka till ungefär samma nivå som efter kallbearbetningen, medan de inre spänningarna, som fanns efter kallformningen, har minskat eller försvunnit.

Om temperaturen höjs till cirka 650°C inträffar **rekristallisation** av ferritkornen. Det har behandlats tidigare i detta avsnitt, se bild 11-13.

2.3 Hårdhet

2.3.1 Definition och förklaring

Hårdheten hos ett material kan definieras som förmågan att motstå plastisk deformation när en främmande kropp trycks mot materialytan. Ju svårare det är att göra ett permanent intryck desto hårdare är materialet.

Det finns ett klart samband mellan brotthållfasthet (R_m) och hårdhet.

Strukturbeståndsdelen ferrit är mjuk medan cementiten (Fe_3C) är hård. Hårdheten hos ferriten ökar med olika störningar i kristallgittret, till exempel ökad dislokationstäthet efter kallvalsning eller ”fastfrusna” kolatomer i nybildad martensit.

Ett ståls hårdhet påverkas alltså av dess kemiska sammansättning, struktur och eventuell kallbearbetning. Genom olika värmebehandling kan strukturen förändras och därmed också hårdheten inom vida gränser.

2.3.2 Hur mäter man hårdhet?

Det finns tre vedertagna metoder att mäta ett ståls hårdhet: Brinell, Vickers och Rockwell. I samtliga fall pressar man ett hårt verktyg mot en slipad yta och mäter sedan på något sätt intryckets storlek.

Brinellhårdhet

Metoden utvecklades vid sekelskiftet av överingenjör Johan A. Brinell i Fagersta och används över hela världen.

I provapparaten trycks en härdad kula av stål eller hårdmetall mot provytan. Vanligen är kuldiametern 10 mm, men vid små prov kan mindre kulor användas. Kraften är normalt 3000 kp (29400 N), men med mindre kulor används motsvarande lägre kraft. Principen framgår av bild 11-16.

Diametern på det uppkomna intrycket mäts noggrant och i en tabell kan man sedan avläsa brinelltalet. Resultatet kan till exempel skrivas 150 HB 10/3000, där 150 är brinellhårdheten, HB betyder hårdhet enligt Brinell och 10/3000 anger kuldiametern i mm och lasten (i kp).

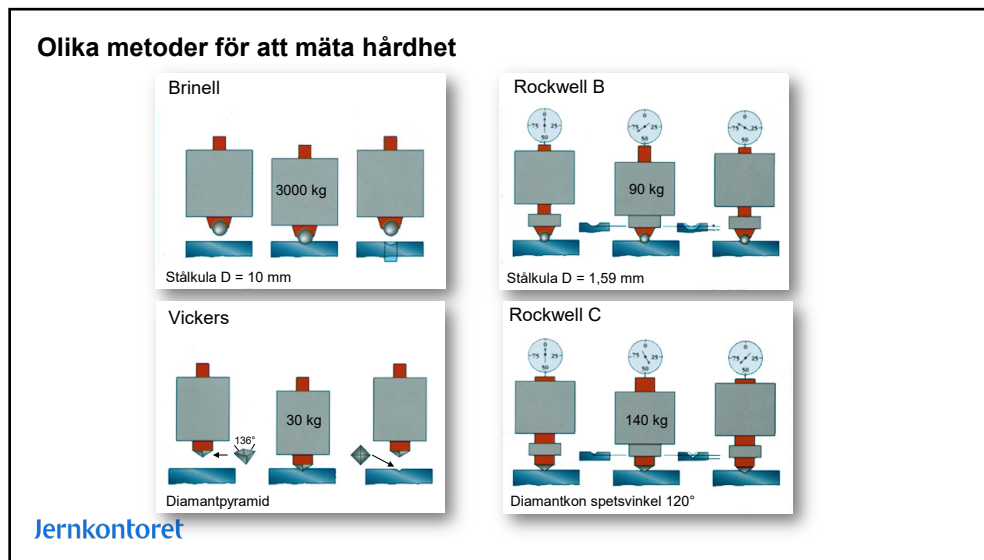


Bild 11-16

Vickershårdhet

Vid vickersprovning använder man en pyramidformad diamant istället för en kula. I princip görs provningen på samma sätt fast med betydligt lägre last, vanligen 30 kp (294 N). Intryckets båda diagonaler mäts upp och medelvärdet ger via en översättningstabell hårdhetstalet.

Metoden tillåter även provning med betydligt mindre laster och ger därför möjlighet att prova mycket små eller tunna prover.

Resultatet ges till exempel som 150 HV 30, där 150 betyder vickershårdheten, HV anger metoden och 30 ger använd last i kp.

Rockwellhårdhet

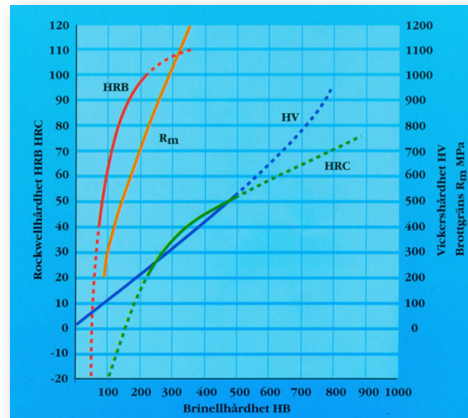
Rockwellmetoden, som härstammar från USA, har två varianter; B för mjukare stål och C för hårdare. Principerna framgår av skissen i bilden. En viktig skillnad jämfört med de båda tidigare beskrivna metoderna är att man mäter intrycket på ett annat sätt.

Vid rockwellprovning lägger man först på en liten last, vanligen 10 kp. Därvid bildas ett litet intryck och alla delar i provmaskinen trycks ihop så att inga glapp finns. En mätklocka, som mäter intryckskroppens lodräta rörelse, ställs på 0. Lasten ökas till föreskriven storlek och får ligga kvar i en bestämd tid. Därefter minskas lasten tillbaka till 10 kp, och intryckets djup mäts direkt på klockan, som är graderad i rockwellenheter.

Exempel på rapportering: 65 HRC. Metoden är den minst använda i Sverige.

Någon bra översättning mellan metoderna kan man inte få. Bäst överensstämmelse har Brinell och Vickers i området upp till cirka 500 HB respektive HV. Vidanstående diagram visar en ungefärlig översättning från brinellhårdhet till de övriga metoderna samt till brottgränsen R_m .

Samband mellan olika hårdhetstal



Jernkontoret

Bild 11-17

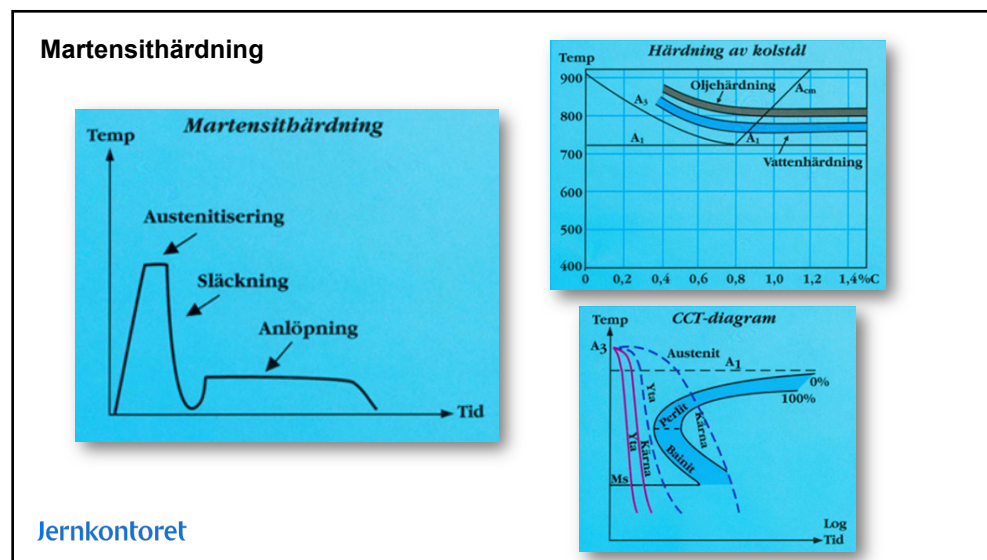
2.3.3. Inverkan av värmebehandling

Hårdheten påverkas i hög grad av de olika glödningarna som beskrivs i föregående kapitel. I detta ska vi koncentrera oss på olika härdningsmetoder, eftersom de ger stålet de högsta hårdheterna.

Genomhärdning till martensit

Martensithärdning är den vanligaste härdningsmetoden. Den följer i princip tid-temp.-diagrammet i bild 11-18.

Austenitiseringstemperaturen väljs ur järn-koldiagrammet och är beroende av kolhalt, eventuella legeringsämnen och släckningsmedlet.



Jernkontoret

Bild 11-18

Släckningen sker på ett sätt, som avgörs av flera faktorer. Den måste vara så snabb att varken perlit eller bainit hinner bildas. Legeringsämnen som Mn, Cr, Mo och B fördröjer bildandet av perlit och bainit och ger austeniten längre tid på sig att nå M_s , det vill säga den temperatur där martensit bildas. God omröring i kylbadet är viktigt.

CCT-diagrammet ovan visar principiellt härdning av en klenare stång (heldragna kurvor) och en grövre stång (streckade kurvor). Dessutom markeras kylningsförloppen för ytan resp. kärnan. Av

diagrammet framgår att kylningshastigheten för den grövre stångens kärna varit för låg och att austeniten hunnit omvandlas till perlit. Däremot har den klenare stången helt omvandlats till martensit liksom ytskiktet på den grövre stången.

Vatten är det kraftigaste kylmedlet särskilt med en tillsats av salt för att höja kylförmågan. Kylhastigheten kan dock bli så hög att risken för kastningar, formförändringar och sprickor blir begränsande. Vattenhärdning används endast för enkla geometrier och låglegerade stål.

Vatten med tillsats av någon polymer ger en kyleffekt, som kan väljas att ligga mellan vatten och olja. Detta kylmedel har blivit vanligare.

Olja är det vanligaste kylmediet vid härdning och har hög kylförmåga. Olja ger tillräcklig kylhastighet i de flesta fall.

Saltbad används ofta med en temperatur kring 150–200°C och ger en snabb nerkyllning, men en tämligen mjuk martensitbildning.

Om detaljen har komplicerad geometri eller då stora krav ställs på att kast och skevhet ska bli små, kan man med fördel **etapphärdna**. Då används också saltbadugnar, men temperaturen väljs högre, strax över M_s -temperaturen för det aktuella stålet, se diagrammet nedan.

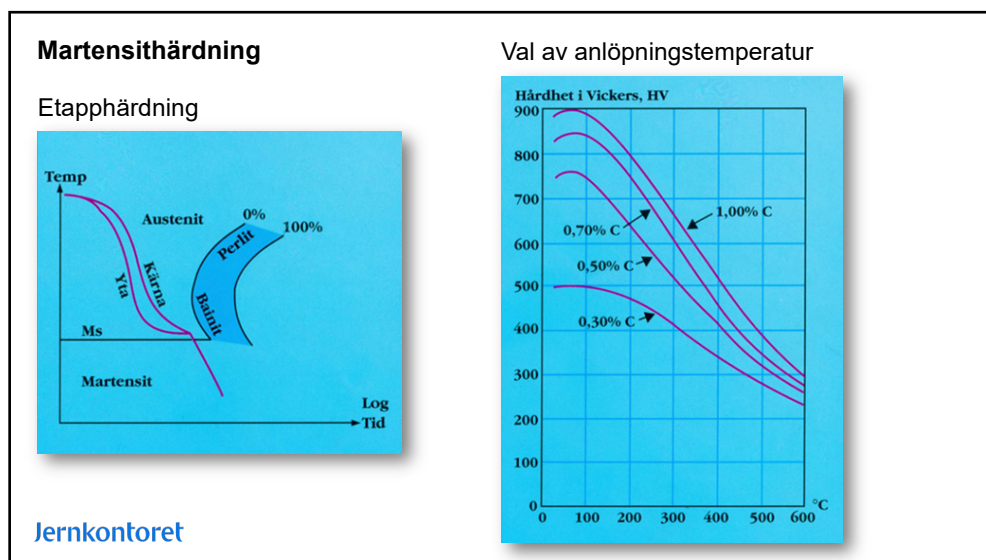


Bild 11-19

När temperaturen mellan yta och kärna har jämnats ut, kan detaljen tas upp och kylas i luft, varvid martensit bildas nästan samtidigt i hela detaljen och utan att större inre spänningar byggs upp.

Anlöpning

Efter martensithärdning är anlöpning nödvändig åtminstone vid högkolhaltiga stål. Anlöpningen innebär ett gradvis sönderfall av martensit mot ferrit och cementit.

Lågtemperaturanlöpning (150–230°C) har två grundsyften, dels att lösa ut de största spänningarna ur materialet, dels att stabilisera strukturen.

Stabiliseringen sker efter två linjer. Martensiten börjar sakta brytas ned och en variant av cementit skiljs ut som mycket små partiklar, samtidigt som martensiten befrias från en del kolatomer i sitt gitter och därigenom blir något segare.

Vid martensithärdning omvandlas normalt inte all austenit till martensit. Vid efterföljande anlöpning sönderfaller denna så kallade **restaustenit** till bainit, en stabilisering som blir allt fullständigare ju högre temperatur och ju längre tid som används.

Eventuell kvarvarande restaustenit kan senare sönderfalla om användningstemperaturen är förhöjd, och detta visar sig som en liten volymökning.

Det högra diagrammet bild 11-19 visar hårdheten för några kolstål vid olika anlöpningstemperaturer. För alla hårdbara stål finns liknande diagram, så att man lätt kan välja rätt temperatur för att få önskad hårdhet.

Högtemperaturanlöpning (550–650°C) används vid **seghärdning**. Det första steget vid seghärdning är en vanlig martensithärdning i olja eller vatten, beroende på hårdbarheten. Normalt önskar man genomhärdning. Anlöpningen vid den höga temperaturen leder till kraftigt martensit-sönderfall och ferrit och cementit bildas i större omfattning. Restausteniten övergår till bainit men ingen perlit bildas.

Anlöpningen ger goda möjligheter att anpassa hållfasthet mot seghet.

Hårdheten väljs ofta så, att materialet ska kunna svarvas eller borraras m.m, och med moderna verktyg innebär det att man kan gå upp till cirka 400 HV, ibland ännu högre.

Seghärdningen utförs ofta av ståltillverkaren. Olika utrustning kan ge olika resultat vad gäller jämnhet i hållfasthet och inre spänningar. Härdning av stångknippor ger krokighet och kräver kraftigare riktning än enstångshärdning.

Härdning av rör är särskilt känslig och kräver en-rörshärdning under rotation, eller att kylmedlet sprutas på röret från alla sidor så att kylningen blir lika kraftig runt omkretsen.

Om man önskar en kombination av seg kärna och hög ythårdhet, kan man som avslutning induktionshärda ytan, eventuellt delar av denna som till exempel utsätts för stark nötning.

Anlöpningssprödhet, det vill säga en försämring av segheten kan förekomma om anlöpningen sker inom temperaturområdena 270–350°C eller 400–550°C. För att undvika detta bör man följa tillverkarnas anvisningar för det aktuella stålet.

Lågkolhaltiga stål, som martensithärdas till en hårdhet av 350–500 HV, brukar inte anlöpas.

Genomhärdning till bainit

Högkolhaltig bainit, som bildats vid låg temperatur, har hög hårdhet och tämligen god seghet. Jämfört med martensitbildning är det en långsam process och därför är risken för hårdsprickor mycket liten.

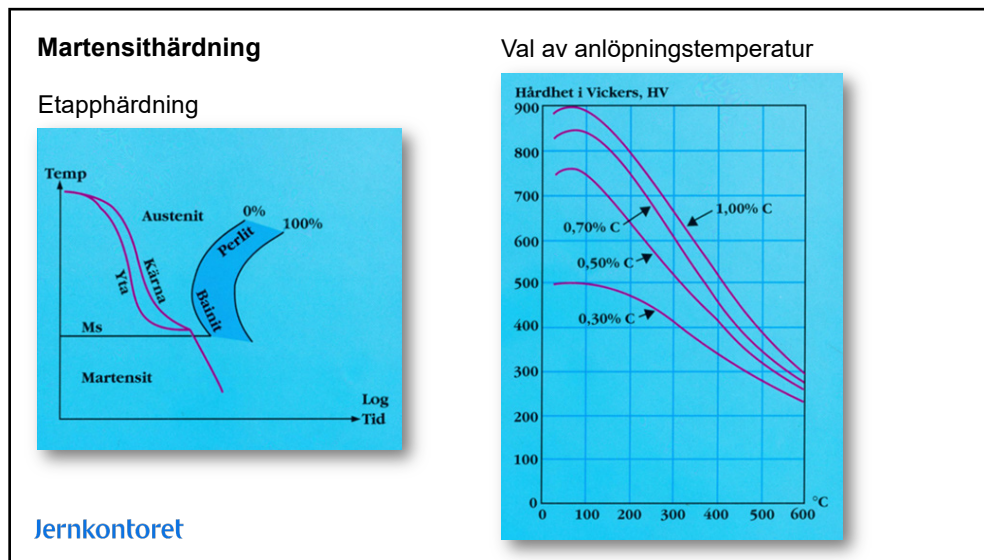


Bild 11-20

Vid bainithärdning värmer man upp stålet till austenit på vanligt sätt, varefter det snabbt kyls till en temperatur strax över M_s (=martensitbildningstemperaturen), se diagrammet. Kylningen görs i saltbad för att den ska gå så fort, att perlit eller högtemperaturbainit inte ska hinna bildas.

Den tid som krävs för bainitombvandling är lång, ofta flera timmar, och detta medför att kostnaden för bainithärdning är högre än för martensithärdning. Även legeringskostnaden blir högre med bainithärdning för samma ändamål.

Bainithärdning används bland annat vid tillverkning av grövre rullningslager och vissa verktyg främst för att undvika härdsprickor.

Sätthärdning

Sätthärdning ger ett hårt, höghållfast ytskikt och en seg kärna. Sätthärdning består av två separata behandlingssteg, ibland genomförs dessa dock i direkt följd,

- i det första steget tillförs kol på något sätt till stålytan
- i det andra steget genomförs härdningen.

Vid sätthärdning används vanligen lågkolhaltiga stål med kolhalter på 0,15–0,25%. För att få lämplig hållfasthet under ytan och i kärnan av arbetsstycket legerar man stålet med mangan, krom och ibland även nickel och molybden.

Processteget där kol tillförs materialets yta kallas **uppkolning** eller inkolning. Uppkolningen sker vid hög temperatur (850–950°C), vilket kan medföra väsentlig korntillväxt. Denna korntillväxt kan effektivt motverkas genom att använda finkornbehandlat material. Oftast räcker det att tillräckligt med aluminium och kväve finns i stålet.

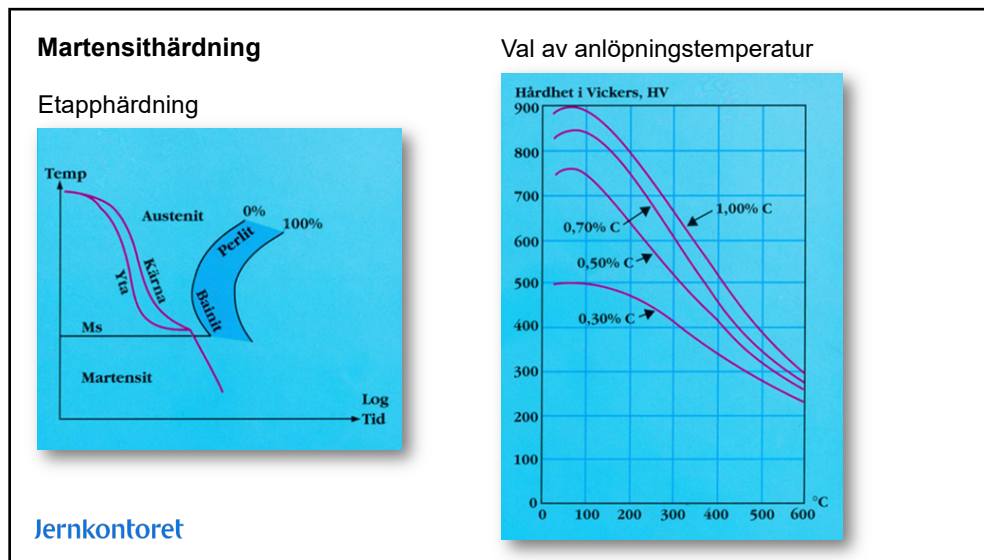


Bild 11-21

Det uppkolade ytskiktets tjockled styrs av kolets diffusion i austeniten, som ju är den struktur materialet har vid uppkolningen. Diffusionshastigheten är i stort beroende av temperatur och tid och därför kan man beräkna uppkolningsdjupet i förväg. Kolhalten vid och under ytan visas schematiskt i skissen ovan.

Tre olika metoder kan användas för att föra till kol. Uppkolningen sker i särskilda ugnar.

Vid **gasuppkolning** tillförs det kolavgivande medlet i form av en gas. Det finns flera sätt att göra detta, antingen generera en gas med hög halt kolmonoxid (CO) genom ofullständig förbränning av något kolväte, eller tillsätta förgasat kolväte direkt i ugnen, vilket då krackar till en uppkolande gas. Man vill inte driva uppkolningen vid ytan längre än till 0,8-1,0% C. Gasuppkolning är den industriellt mest använda metoden och den ger stora fördelar ur produktivitet- och övervakningssynpunkt.

Vid **saltbadsuppkolning** används ett bad av cyanidsalt, som värmts till cirka 900°C. Det används vid små detaljer där man önskar små uppkolningsdjup. Av miljöskäl minskar metoden i användning.

Vid **pulveruppkolning** packas detaljerna ned i en låda med ett pulver, som brukar bestå av en blandning av träkol och bariumkarbonat. Lådan täcks och sätts sedan in i ugnen. Pulveruppkolning kräver mycket manuell hantering och har ingen industriell betydelse längre.

Även processteget **härdning** kan utföras på tre olika sätt, se principskisserna i bild 11-21.

Direkthärdning, som vanligen innebär att materialet efter uppkolningen snabbt kyls till lämplig härdtemperatur för det uppkolade skiktet (800-840°C) och efter temperaturutjämning direkt släcks i vatten eller olja. Direkthärdning är mycket vanlig hos komponenttillverkare, till exempel inom bilindustrin. Metoden kräver ett finkornbehandlat stål för att undvika stora austenitkorn och en grov struktur efter härdningen.

Enkelhärdning innebär att materialet får svalna utan att martensit bildas. Därefter görs en vanlig austenitiserings och härdning.

Dubbelhärdning innebär att materialet direkthärdas efter uppkolning och därefter ges en vanlig austenitiserings och martensithärdning.

I samtliga fall avslutas processerna med en lågtemperatursanlöpning.

Efter sätthårdningen har ytskiktet kraftiga tryckspänningar, vilket ökar utmattningsmotståndet. Sätthårdning används ofta för applikationer, där belastningen ger höga yttryck i kombination med utmattningspåkänningar, till exempel kuggjul och vissa typer av rullager.

Flamhärdning och induktionshärdning

I vissa fall kan det vara lämpligt att värma godset utan att använda ugn i egentlig bemärkelse. Man värmer då antingen med acetylen-syrgaslåga, så kallad **flamhärdning**, eller (vanligen) genom **induktionsvärmning**. I senare fallet värms godset med högfrekvent ström enligt ungefär samma princip som vid smältning i högfrekvensugn. Bild 11-22 visar några olika utföranden.

Det kan finnas många skäl till att man väljer induktionsvärmning. Ett är, att man vill ha bara ett tunt ytskikt av arbetsstycket härdat. Man väljer då högre frekvens på strömmen, varvid ytskiktet värms mycket hastigare än kärnan. Om större härd djup önskas använder man lägre frekvens. Fördelen med induktionsvärmning är att anordningen tar liten plats och sprider föga värme. Det är därför rätt vanligt, att man sätter in ett aggregat för induktionsvärmning i en vanlig verkstadslokal.

Induktionshärdning erbjuder ofta ett antal fördelar:

- Tillåter lokal härdning av stora eller komplicerade detaljer.
- Ger hög ythårdhet i kombination med mjukare kärna.
- Genom att använda material med lämplig kolhalt behöver man inte tillgripa uppkolning.
- Tillåter stora härd djup som inte kan uppnås vid sätthårdning.
- Formförändringarna blir mindre än vid härdning efter genomvärmning.
- Metoden är miljövänlig.
- Induktionshärdning är lämplig att automatisera och ger därmed god reproducerbarhet.

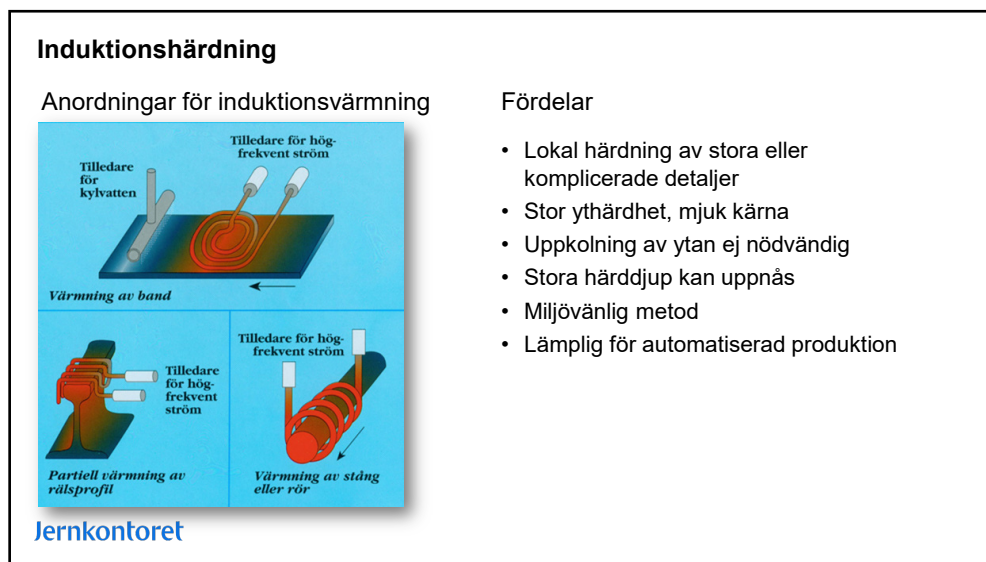


Bild 11-22

Nitrering

Genom nitrering kan lämpligt legerade stål ges relativt höga kvävehalter i ytan redan vid cirka 500°C (under A₁). Därvid kan mycket höga ythårdheter nås, 1000–1200 HV.

Metoden används främst för maskindelar där hög ythårdhet krävs, till exempel för att minska friktionen mellan glidande ytor. Detaljer, som ska nitreras är oftast seghärdade och färdigbearbetade före behandlingen. För att ett stål ska kunna nitreras, måste det innehålla ett

eller flera av legeringsämnen Al, Cr och V, som alla binder N bättre än Fe. De bildar nitrider som utskiljs som mycket små partiklar.

Nitrering sker i strömmande ammoniakgas (NH₃) vid 500–550°C och tar 25–100 timmar. Det finns ett flertal processer i praktisk användning, till exempel Tenifer-behandling, Sulfinuz-behandling, Sur-Sulf-behandling, med flera.

Bland fördelarna: mycket liten formförändring.

Bland nackdelarna: höga kostnader.

Karbonitrering är en kombinationsprocess mellan nitrering och uppkolning, där huvudvikten ligger på uppkolning. Den görs i en uppkolningsgas, som spetsats med ammoniak, vid 800–850°C.

Nitrokarburering är ytterligare en variant, som utförs vid lägre temperatur och därför till lägre kostnad.

Sammanfattning

Som en sammanfattning av värmebehandling från austenitiseringsstemperatur kan uppställningen nedan ges. Den visar framförallt svalningshastighetens inverkan på det behandlade stålets struktur och hårdhet.

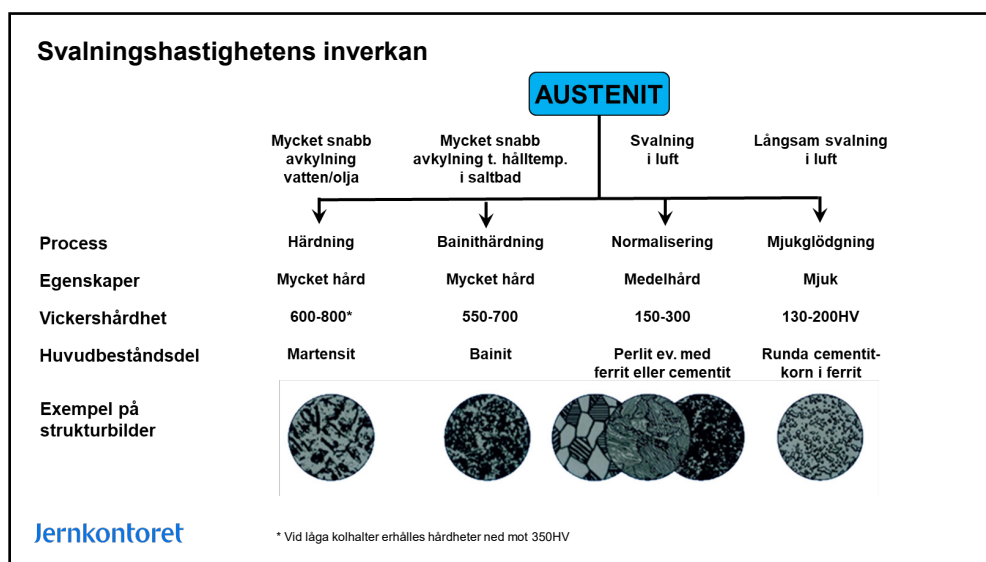


Bild 11-22

Här kan man också sammanställa de vanligaste fel som kan uppstå vid härdning:

- För låg härdningstemperatur. (Ofullständig austenitisering).
- För hög härdningstemperatur. (Grovkornighet och restaustenit).
- För långsam kylning, som kan ha flera orsaker, till exempel dålig omröring, fel kylmedel etc. (För låg hårdhet)
- För stor avkolning (Mjuka fläckar).

Övliga fel som kan uppstå är sprickor, kastningar och krokighet.

2.4 Härdbarhet

2.4.1 Definition och förklaring

Härdbarhet hos stål är en egenskap, som anger hur stålet reagerar vid martensithärdning. Ju högre härdbarhet desto grövre dimensioner av stålet kan härdas till acceptabel hårdhet, även i centrum. Härdbarheten är främst påverkad av stålets kemiska analys, men också av austenitkornstorleken före släckningen. Ju grövre korn desto större härdbarhet. Av andra skäl vill man dock ha finkornigt material.

Ett annat sätt att uttrycka det är att säga, att ju längre till höger perlit- och bainitnosarna i CCT-diagrammet är förskjutna, desto bättre är härdbarheten för stålet i fråga.

Man kan kvantifiera härdbarhet som **ideal kritisk diameter** (D_I). Den anger den diameter av en stålstång, som under bästa härdvillkor ger 50 % martensit i centrum.

2.4.2 Hur mäter man härdbarhet?

Det vanligaste sättet är att utföra ett så kallat Jominy prov. Man använder en provstav, som är 100 mm lång och svarvad till 25 mm runt, se nedan.

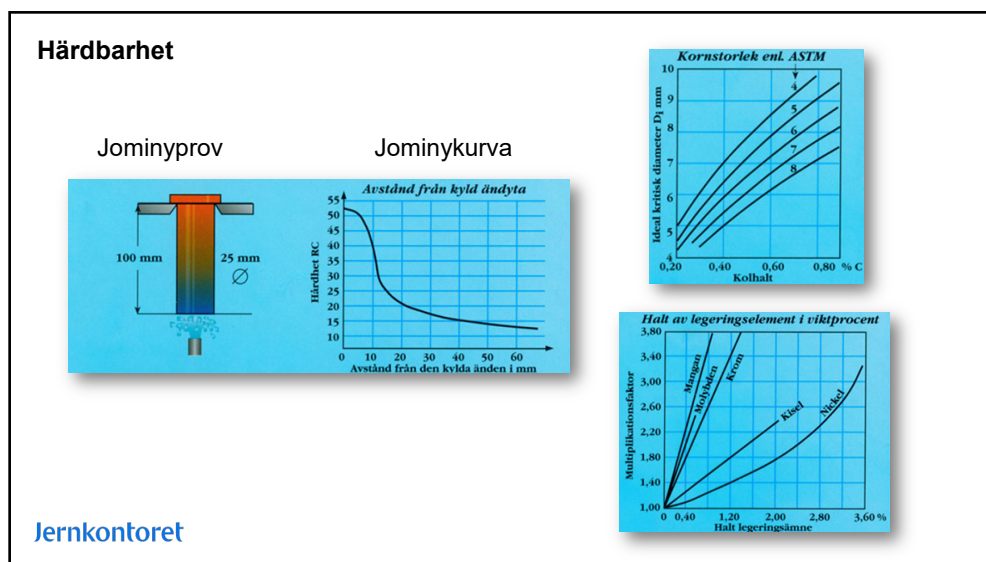


Bild 11-24

Provet värms till härdningstemperatur och insätts vertikalt i en fixtur. Därefter sprutas vatten med bestämt tryck och volym på provets undre ändyta. Provet kyls då underifrån på ett väl definierat sätt. Sedan hela provet kylts tas det ut, och två motstående sidor på cylinderdelen planslipas till bestämt djup. Dessa ytor hårdhetsprovas på fastställda avstånd från den kylda ändytan. Resultatet anges i ett diagram av den typ som visas i bilden ovan. Ju längre från den kylda ytan som provet är hårt desto bättre är härdbarheten. Även andra prov finns, till exempel Grossmanns, men de ska inte tas upp här.

2.4.3 Inverkan av kemisk sammansättning

Kolhalten och materialets kornstorlek har stor betydelse för härdbarheten, se bild 11-24.

För finkornbehandlade stål, som nu är vanligast, bör man använda kurva 7. Kurvan visar vilken stängdiameter som ger 50 % martensit i kärnan efter härdning av olegerat stål med olika kolhalter.

Det undre högra diagrammet visar olika legeringsämnen inverkan på hårdbarheten. Det används i kombination med det undre vänstra på så sätt, att först bestäms D_i enbart på grund av kolhalt och kornstorlek, och sedan tar man fram de olika multiplikationsfaktorerna för respektive ingående ämne och dessa multipliceras alla med det erhållna D_i enligt:

$$D_I = D_i \times f_{Mn} \times f_{Cr} \times \dots \text{ etc,}$$

där D_I är den stångdiameter i mm, som ger 50 % martensit i centrum för det undersökta stålet.

Som framgår av legeringsdiagrammet är mangan, molybden och krom starkt hårdbarhetshöjande. Det betyder metallurgiskt att dessa legeringsämnen flyttar perlit- och bainitnosarna i CCT diagrammen åt höger och tillåter därmed långsammare kylning vid släckningen.

Legeringsämnet bor (B) är inte med i diagrammet, trots att det har en stark effekt på hårdbarheten. Orsaken är svårigheten att visa detta i ett diagram. Bors effekt är starkast vid relativt låga kolhalter och legeringshalter, men har ingen effekt på högkolhaltiga stål.

Med modern metallurgi är bor en billig legering för att höja hårdbarheten. Före borttillsatsen måste löst kväve bindas, till exempel med Ti, för att förhindra att BN bildas. Bor har maximal effekt redan vid halter på 0,0015–0,002% B.

Även andra mer komplicerade samband mellan hårdbarhet och kemisk sammansättning har tagits fram. De flesta läggs in på data, och så fort analysen för en stålcharge är framme, så kan man också få ett hårdbarhetstal eller ett fullständigt jominydiagram. Dessa beräknade jominykurvor är ofta mer pålitliga än verkligt utförda prov, eftersom olika fel kan smyga in vid denna typ av provning.

2.5 Seghet – sprödhet

2.5.1 Definition och förklaring

Tidigt har man observerat att material, som man tyckte var lika, ändå hade olika seghet. Ett enkelt sätt att prova detta var att slå på materialet med en hammare och se vad som hände. Sprack det var det sprött, böjde det sig var det segt.

Seghet för ett material anger förmågan att inte brista vid deformation.

Sprödhet är då motsatsen till seghet, innebärande att sprickor snabbt kan växa utan att nämnvärd plastisk deformation inträffat.

Deformationshastigheten påverkar segheten. Samma material kan brista segt vid långsam deformation och sprött vid, till exempel ett slag. Man talar därför om brottseghet respektive slagseghet. I fortsättningen behandlas slagseghet.

2.5.2 Hur mäter man slagseghet?

Det vanligaste sättet att mäta slagseghet är att i en pendelhejare slå av ett särskilt preparerat provstycke och mäta den energi som krävs för att provet ska brista. Maskinen kallas även Charpy-hejare.

Man använder normalt en provstav som är 55 mm lång och 10 x 10 mm i tvärsnitt. Mitt på gör man en brottanvisning, som kan ha tre olika former, se bild 11-25. Även mindre prov får användas om man inte kan få ut normalprovet ur provmaterialet. V-anvisning är nu vanligast.

Tre provstavar slås normalt av och medelvärdet ges som resultat. Detta anges, till exempel som "KV 76 J vid -20°C ", vilket betyder att V-anvisning använts, att energiupptagningen var 76 joule samt att provets temperatur var $-20^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

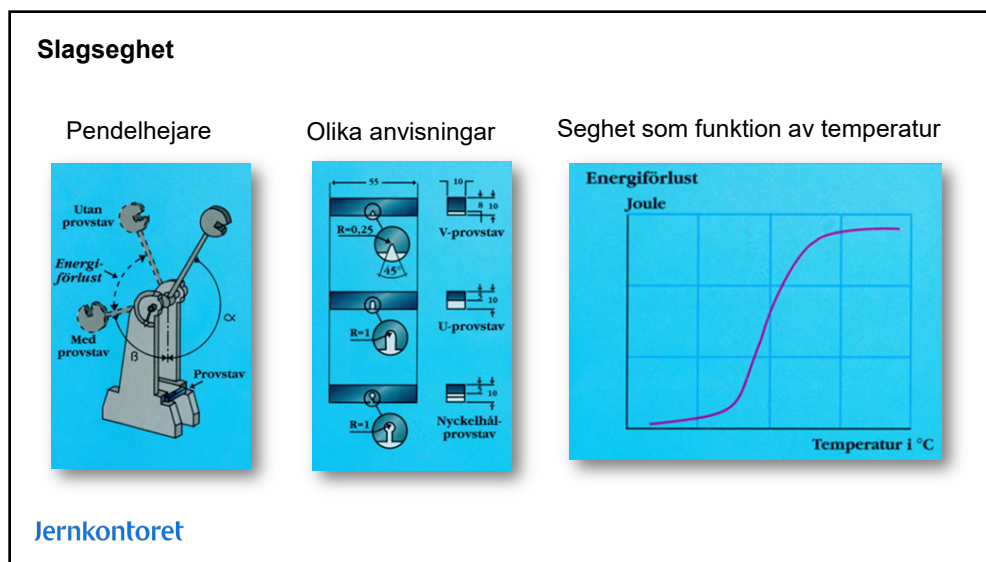


Bild 11-25

2.5.3 Inverkan av olika faktorer

Temperatur

Temperaturen har en stor inverkan på slagsegheten. De flesta stål är spröda vid låga temperaturer och sega vid högre. Den temperatur som ger ett till hälften segt och till hälften sprött brott kallas omslagstemperaturen.

Ofta anger man omslagstemperaturen till den del av kurvan, där energiupptagningen varit 27 J för mjuka stål och 40 J för stål med högre hållfasthet. Vill man bestämma omslagstemperaturen för ett material, måste man först utföra ett antal slagseghetsprov vid olika temperaturer och sedan rita upp samma typ av kurva, som den i bilden ovan.

Att känna till omslagstemperaturen är viktigt när man väljer stål för en rad ändamål, där låga temperaturer kan förekomma. Dit hör till exempel skogsmaskiner, tankar för flytande, nedkyld gas, svetsade konstruktioner i kalla världsdelar, osv.

Kornstorlek

Stål med en finkornig struktur är generellt segare än de med grovkornig. I diagrammet nedan visas sambandet mellan omslagstemperaturen och kornstorleken för ett lågkolhaltigt stål.

För att förbättra ett ståls slagseghet brukar man ofta utföra en normalisering. Därvid minskas kornstorleken och följaktligen ökar segheten och omslagstemperaturen sänks.

Ett annat sätt att ge stål en bättre slagseghet respektive omslagstemperatur är att metallurgiskt finkornbehandla stålet, se kapitel 2.2.3.

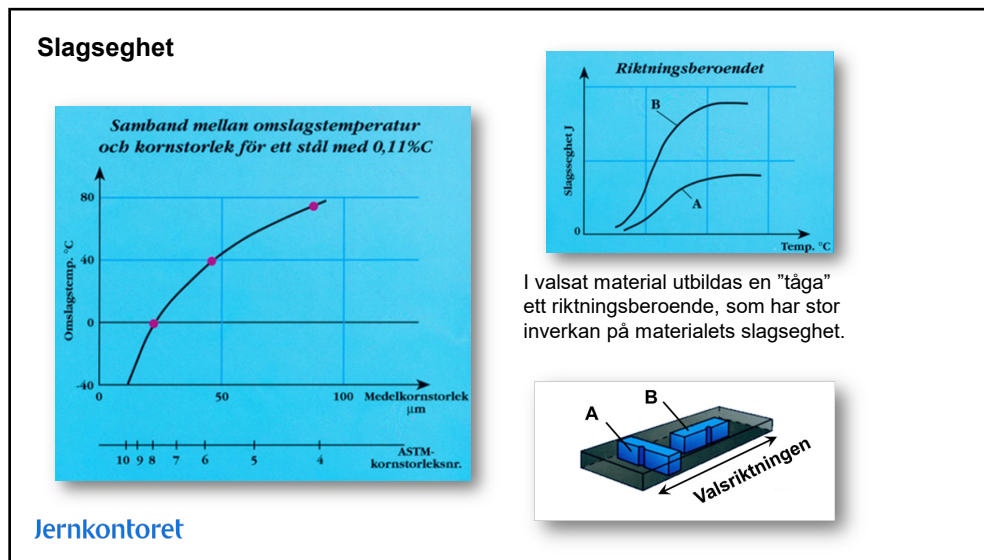


Bild 11-26

Bearbetningsriktning

Provets riktning i förhållande till bearbetningsriktningen påverkar ju resultatet vid dragprovning, och detta är ännu mer tydligt vid slagseghetsprovning.

Bilden ovan visar två olika provriktningar i en grovplåt, och i diagrammet kan man se att "segheten" i valsriktningen (B) är klart bäst både med tanke på energiupptagning och omslagstemperatur. Prov ska normalt tas ut enligt (A).

Anvisningar

Förekomsten av ytliga sprickor eller större inneslutningar och hålrum i stålprodukten sänker slagsegheten på grund av att spricktillväxten underlättas. Andra anvisningar kan vara en olämpligt utformad hålkäl eller en dåligt lagd svets.

Såväl svetsning som kallformning har negativ effekt på slagseghet och särskilt i grövre konstruktioner måste detta uppmärksammas.

2.6 Utmattningshållfasthet

2.6.1 Definition och förklaringar

Utmattning är ett fenomen, som uppstår i metaller vid upprepade belastningar och som medför att brott kan uppstå vid spänningar, väsentligt under materialets statiska hållfasthet.

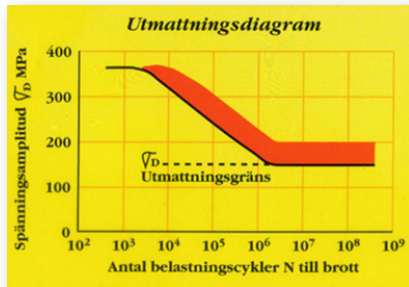
En spiralfjäder till exempel kan belastas kraftigt ett stort antal gånger utan att brista, men så plötsligt går den av. Ett utmattningsbrott har inträffat.

Man har uppskattat att cirka 80–90 % av haverier i maskinkonstruktioner beror på utmattning, när man räknat bort fall av slarv och dåligt underhåll.

En brottyta, som uppkommit genom utmattning, har ett karakteristiskt utseende. Brottet utgår vanligen från någon form av anvisning i materialytan eller inne i materialet, till exempel en för skarp hålkäl eller en slaggpartikel, och växer i början långsamt. Brotttyorna nöts härvid mot varandra och erhåller ringteckningar, som markerar olika tidpunkter i brottets tillväxt. När sprickan blivit nog stor, blir påkänningen för hög för den kvarvarande tvärsektionen, som då brister sprött med kornigt brottutseende. Brottet blir deformationslöst.

Utmattning

Exempel på utmattningsdiagram för olegerat stål. Skuggningen anger att viss spridning förekommer.



Jernkontoret

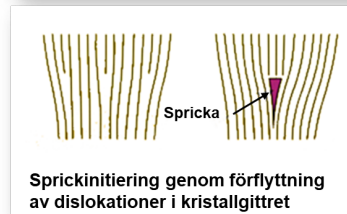


Bild 11-27

Man föreställer sig att växelpåkänningarna förorsakar en kallbearbetning i enskilda, oftast ytligt belägna eller högt belastade kristallkorn, även då spänningarna ligger under den vid dragprovning fastställda sträckgränsen. Kallbearbetningen resulterar bland annat i förflyttningar och sammanslagningar av dislokationer i påverkade kristallkorn. Dessa kan leda till att en spricka uppstår, som sedan växer på grund av de varierande spänningkoncentrationerna vid dess spets.

Det finns även andra mekanismer som kan beskriva olika typer av utmattningsbrott, men här finns tyvärr inte plats att gå djupare in på detta.

Typiskt för utmattningshållfasthet för stål är att man, till skillnad från de flesta övriga metaller, kan finna en **utmattningsgräns**. Om man genomför en serie provningar med lika provkroppar, och börjar med en relativt hög belastningsspänning, så får man ett brott efter ganska få lastväxlingar, se diagrammet ovan.

Sänker man successivt spänningen kommer proven att hålla fler och fler lastväxlingar för att till slut nå en belastningsspänning, där brott inte inträffar, trots ett mycket stort antal lastväxlingar (över en miljon). Den spänningen motsvarar materialets utmattningsgräns och brukar skrivas σ_D . Om provet samtidigt utsätts för korrosionsangrepp hittar man ingen utmattningsgräns, utan brott uppstår till slut även vid låg belastning.

2.6.2 Hur man mäter utmattningshållfasthet?

Det finns tyvärr inte något enkelt och allmängiltigt utmattningsprov, utan de olika prov som finns är anpassade efter aktuella belastningsfall. Som exempel provar man fjädrar, kullager, kugghjul etc i speciellt utformade provmaskiner.

Provning för ett par mer generella belastningsfall bör dock nämnas

- provning med axialspenning
- provning med roterande böjning

Det första fallet kan utföras som ett dragprov men med lastvariationer. Oftast har man en medellast och på den läggs en last, som gör att lasten varierar mellan ett max- och ett min-värde. Resultatet kan till exempel redovisas i ett diagram av den typ som visas i bild 11-27.

Provning med roterande böjning görs i maskiner enligt principskissen i bild 11-28.

Provet är utformat som en rundstav med en skalle, som spänns in i maskinen. Provet ska vara finslipat och med väl definierad hålkäl. På ett bestämt avstånd monteras ett kullager med en belastningsanordning. Bestämd last läggs på och provet får rotera, varvid antal varv till brott registreras. Så kallat Wöhler-diagram liknande det i bild 11-27 ritas upp och utmattningsgränsen bestäms.

Även om provningsbetingelserna i alla avseenden är lika kan resultaten från samma serie prover variera inom ganska vida gränser. Spridningen beror på många faktorer, till exempel provberedning, provmaskinens noggrannhet samt kanske främst på variationer i materialet, såsom slagginneslutningar, segringar eller strukturvariationer. Resultaten används främst i utredningar om nya stål, nya konstruktioner och ibland efter haverier.

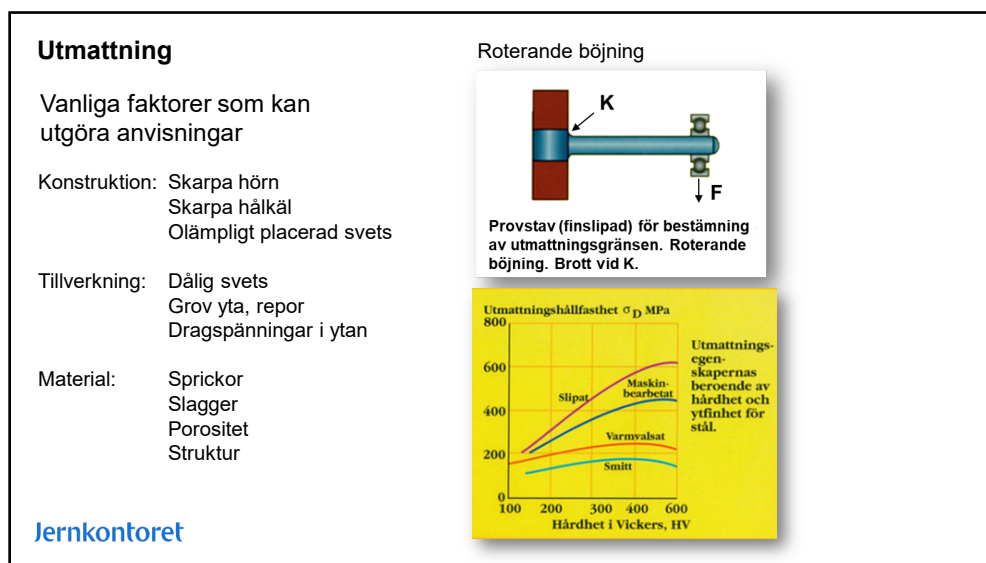


Bild 11-28

2.6.3 Inverkan av olika faktorer

Ett utmattningsbrott startar oftast från någon typ av anvisning. Det betyder naturligtvis att kunskap om olika anvisningar är viktig. Vanliga faktorer, som kan utgöra anvisningar, är

Konstruktionsfaktorer: skarpa hörn
skarpa hålkäl
olämpligt placerad svets

Tillverkningsfaktorer: dålig svets
grov yta, repor
dragspänningar i ytan

Materialfaktorer: sprickor
slagger
porositet
struktur

Runt anvisningarna uppstår vid belastning spänningskoncentrationer, som är svåra att beräkna och som kan leda till spricktillväxt.

Inverkan av ytfinishen framgår tydligt av diagrammet ovan. Ytfinishen har som synes större betydelse än materialets hårdhet, men allmänt ökar utmattningshållfastheten med stigande hårdhet och hållfasthet. Slagginneslutningar, även mikroslagger under några μm , kan i hårda stål leda till utmattningsbrott. Tydliga samband mellan livslängden för rullningslager och oxidiska mikroslagger föreligger.

Ofta är ytskiktet mest utsatt vid utmattningsspåkänningar, samtidigt som detta också kan ha olika typer av felbetingade anvisningar. För att förbättra situationen vill man skapa tryckspänningar i ytan, som motverkar pålagda dragspänningar och minskar spricktillväxten från ytan. Ett sätt att kraftigt förlänga livslängden för hårt belastade fjädrar är att som sista operation stålsandblästra dem. Den hårdhamrade ytan får då de önskade tryckspänningarna.

2.7 Svetsbarhet

2.7.1 Definition och förklaringar

Svetsbarhet är en egenskap som anger hur lätt eller svårt det är att svetsa ett aktuellt material utan att fel uppstår. Svetsbarhet kan sägas vara motsatsen till hårdbarhet och är främst beroende på stålets kemiska analys. Det är framförallt kolhalten, som inte får vara för hög, helst under 0,25 %. Men även halten av andra legeringar har betydelse. Är svetsbarheten dålig får man lätt härdade områden och sprickbildning i anslutning till svetsen. Man har tagit fram ett begrepp, som kallas kolekvivalent (E_C) och som skrivs

$$E_C = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

där C, Mn, Cr ...etc. är legeringsämnenas procenthalter.

E_C är ett uttryck för materialets svetsbarhet och är, som framgår av formeln, endast beroende av den kemiska sammansättningen.

Under normala svetsförhållanden bör man välja material med E_C under cirka 0,45.

Andra faktorer för att få en bra svets spelar också stor roll. Dit hör val av svetsmetod, godstjocklek, materialtemperatur, elektrodtyp etc. För att litet bättre förstå svetsbarhet ska vi studera en vanlig svets.

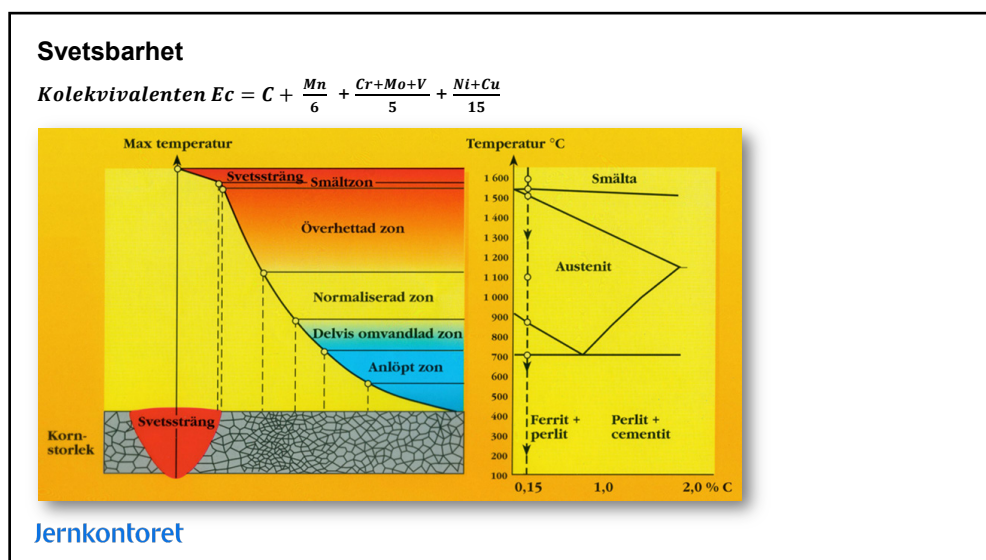


Bild 11-29

Av bilden kan man se att temperaturen varit mycket olika i olika delar under svetsningen. Själva svetssträngen har ju varit smält, kanske över 1600°C. I området närmast, den ”överhettade” zonen, har temperaturen nått mellan 1100° och 1500°C, och där har austenitkornstillväxten varit stor. I den ”normaliserade” zonen har istället den fina austenitkornstorleken givit en finkornig ferrit-perlit struktur.

Slagsegheten är sämre i den överhettade zonen och i den delvis omvandlade zonen. Även hållfasthet och hårdhet varierar i olika zoner.

2.7.2 *Hur mäter man svetsbarhet?*

Det saknas en standardiserad provningsmetod. Man använder allmänt kolekvivalenten eller liknande beräkningar som mått på svetsbarhet.

Ofta görs en svetsprocedurprovning innebärande att till exempel stålplåt som ska dokumenteras, svetsas med ett visst svetsgods med olika parametrar, som till exempel värmeförsel (ström, spänning och matningshastighet) och arbetstemperatur. Slagseghet mäts sedan i olika positioner i svetsgods och värmepåverkat grundmaterial (plåten). Detta visar vilka svetsparametrar, som krävs, för att en viss seghet i ett svetsförband för detta stål ska erhållas. Metoden är mycket vanlig och krävs regelmässigt av offshorekunder.

2.7.3 *Inverkan av olika faktorer*

Kolekvivalenten, som beskrivits ovan, ger en bra uppfattning om de ingående ämnenas inverkan på svetsbarheten och då främst för att undvika stelningssprickor i svetsen och hårdsprickor invid svetsens smältgräns.

Andra ämnen, som har betydelse är väte, svavel och titan.

Väte kan föras till svetsen genom fuktigt tillsatsmaterial. Det är viktigt att väte undviks, eftersom för hög vätehalt leder till så kallade kallsprickor, som utvecklas under 200°C.

Svavel bidrar lätt till uppkomsten av så kallade varmsprickor, och svavelhalten bör hållas under 0,035 % för att undvika detta problem.

Bra slagseghet i svetsförbanden är ett viktigt krav för en del svetskonstruktionsstål. Detta kan vara svårt att nå vid högenergisvetsning. Genom tillsats av **titan**, som bildar TiN-partiklar, kan kornstorleken i den överhettade zonen hållas nere och slagsegheten för svetsen hållas uppe.

Betydelsen av slagseghet i svetsbara stål belyses av den internationella så kallade Bonhomme-rekommendationen. Den klassar in de svetsbara stålen i fyra kvalitetsklasser från B till E:

IIWs Bonhomme-rekommendation

Klass	Kort beskrivning	Krav på slagseghet omslagstemperatur
B	Stål för normalbelastning med liten risk för sprödbrott	Inget krav
C	Stål med viss motståndsförmåga mot sprödbrott	Max 0°C
D	Stål med hög motståndsförmåga mot sprödbrott	Max -20°C
E	Stål med särskilt hög motståndskraft mot sprödbrott eller p.g.a. katastrofala följder vid eventuellt brott	Max -40°C

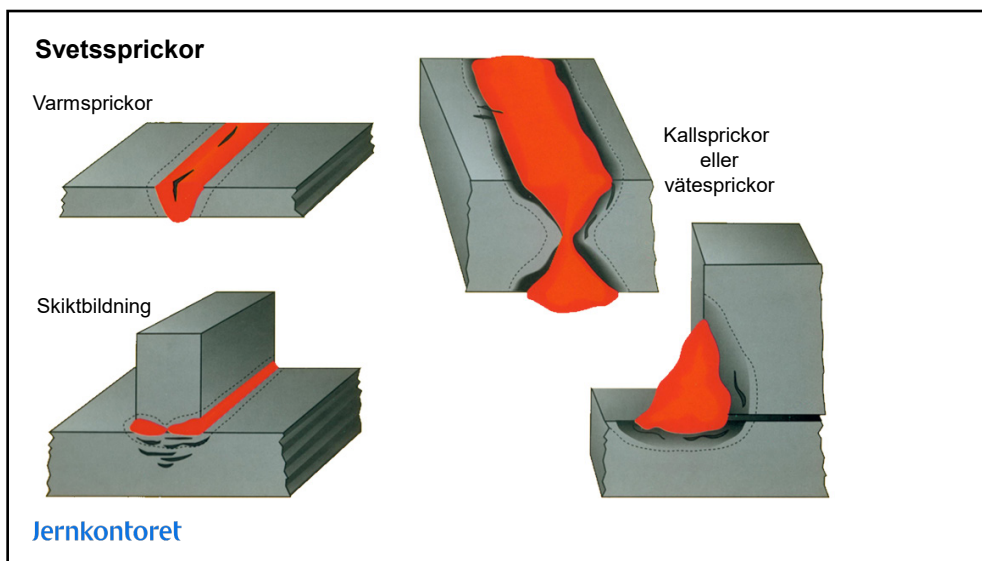
Jernkontoret

Bild 11-30

2.7.4 Svetsfel

Tre fel ska här beskrivas.

- Varmsprickor är längdgående sprickor i själva svetsgodset, se bild 11-31. Sprickan kan ibland stanna strax under ytan. Denna typ av sprickor uppstår vid hög temperatur. Vid svetsens stelning och vid svalning bildas dragspänningar, som kan leda till bristningar om ämnena S, C, P och Nb har för höga halter. Att bygga svetsen med flera tunnare strängar minskar felriskerna.
- Kallsprickor eller vätesprickor. Som redan nämnts uppstår dessa sprickor vid för hög vätehalt i svetsen, ofta i kombination med att martensit bildats i den påverkade zonen. Sprickorna ligger i den påverkade zonen, se exempel på lägen i bild 11-31. Sprickorna uppstår under 200°C och kan även uppstå långt efter svetsningen. För att undvika såväl varm- som kallsprickor ska halterna av påverkande ämnen hållas låga.
- Skiktbildning eller ”Lamellar tearing” kan uppstå då materialet är belastat i tjockleksriktningar. Det beror på att platta utvalsade mangansulfider bildar försvagningar, som vid belastning spricker upp. Om man Ca-behandlar stålet före gjutningen, bildas i stället hårda runda sulfider, som behåller sin runda form vid varmvalsningen och denna typ av fel kan då undvikas.



Jernkontoret

Bild 11-31

2.8 Formbarhet

2.8.1 Definitioner och förklaringar

God formbarhet kan antingen betyda att materialet tål stor plastisk deformation utan att brista, eller att det lätt kan deformerar, det vill säga med liten energiförbrukning, se bild 11-32.

God formbarhet enligt det första fallet är liktydigt med hög duktilitet, medan det i det andra fallet är fråga om lågt deformationsmotstånd.

Man använder begreppet formbarhet både vid varm och kall deformation. I fortsättningen tas endast det senare upp. Aktuella bearbetningsformer är valsning, dragning, bockning, pressning och stukning.

Formbarhet

God formbarhet är antingen:

- Stor deformation utan bristningar = bra duktilitet
- Deformation med litet deformationsmotstånd

Aktuella kallbearbetningssätt är:
Valsning, dragning, bockning, pressning och stukning

r-värde anger förhållande bred-/tjocklekstjöjning (ett mått på anisotropi eller riktningberoende skillnader)
Högre r-värde ger bättre dragpressbarhet

n-värde är ett mått på deformationshårdnande
Högre n-värde ger bättre sträckpressbarhet

Jernkontoret

Bild 11-32

I samband med pressning av plåt, i synnerhet tunnplåt, talar man om r-värden och n-värden. Båda värdena beräknas ur resultaten från dragprovning enligt vissa formler. **r-värdet** är ett mått på plåtens **anisotropi** (texturbetingad) och definieras som förhållandet mellan bredd- och tjocklekstjöjning vid dragprovning. Det finns ett starkt samband mellan materialets r-värde och dess dragpressbarhet. r-värdet bör vara högt, normalt cirka 1,8.

n-värdet kallas också **deformationshårdnandeexponenten** och är ett mått på materialets förmåga att deformationshårdna. Högre värden på n ger större deformationshårdnande och bättre sträckpressbarhet genom att sprida töjningen till närliggande områden. Normala n-värden är 0,15–0,25. Kombinationen av sträckpressbarhet och dragpressbarhet ger plåtens formbarhet.

2.8.1 Hur mäter man formbarhet?

Det finns ett flertal metoder, varav några ska nämnas här.

Det enklaste är att mäta förlängningen, A , vid dragprovning. Det ger en viss uppfattning om formbarheten.

Ett vanligt prov, som kan användas för plåt, band, stång och tråd är bockprovet. Provstycket bockas vid rumstemperatur med måttlig hastighet. I bild 11-33 visas några olika fall. Bockningsvinkeln och inre bockningsradien föreskrivs av respektive materialstandard eller ges efter överenskommelse med kunden.

Vid parallellstyrd bockning trycker man ned provstycket till föreskriven vinkel. De övriga skisserna beskriver alternativa metoder för bockprovet. Vid fri bockning måste man först bocka enligt parallellstyrd bockning och då med större vinkel (α) än 90° och sedan pressa ihop enligt skissen, antingen med viss inre radie eller också med skarpt veck. Om brott uppstår eller sprickor och andra fel bildas så underkänns provet, annars godkänns det.

Ett prov för sträckpressbarheten hos plåt är Erichsen-provet. Plåtprovet smörjs in och kläms fast mellan de båda hålförsedda hållarna. Därefter pressas en kulformad dorn mot provet tills det börjar brista. Det uppmätta intrycksdjupet i mm är resultatet, ju större desto bättre pressbarhet.

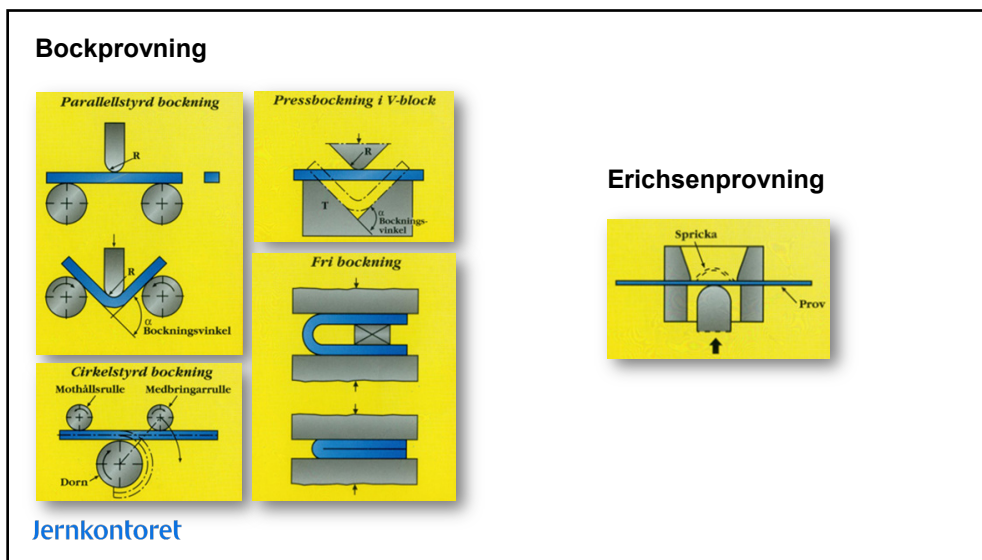


Bild 11-33

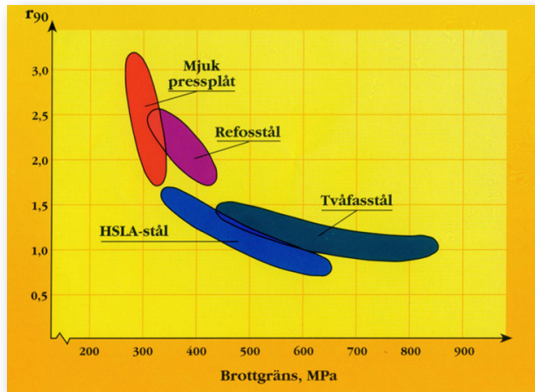
2.8.3 Inverkande faktorer

De flesta ämnen, som förekommer i stål, försämrar formbarheten. Särskilt stor verkan har C, Si och S.

Särskilda stål har tagits fram efter marknadens önskemål om att bockningsoperationer ska kunna göras i kallt tillstånd och med snäva bockningsradier. Det vanliga förr var att bockningen utfördes i varmt tillstånd.

En viktig orsak till förbättrad bockbarhet är lägre S-halt och en desoxidation, som ger globulära sulfider, som inte fungerar som sprickanvisningar. Även en låg Mn-halt förbättrar sulfidformen.

Sambandet mellan pressbarhet och brottgräns för några olika kallvalsade bandstål



r_{90} är r-värdet mätt tvärs valsriktningen och är ett mått på dragpressbarhet. HSLA-stål är mikrolegerade stål.

Jernkontoret

Bild 11-34

För att tillmötesgå ökade krav på högre hållfasthet har stål, som mikrolegerats med Nb, tagits fram och ännu längre når man med Ti eller V. Därigenom täcker man min. sträckgränsområdet från 220 MPa till 690 MPa. De högre hållfastheterna har inneburit att man kunnat använda tunnare plåt och fått lättare konstruktioner.

Vid tillverkning av tunnplåt för pressning inträffar ett åldringsfenomen, som försämrar pressbarheten redan efter några veckor. Fritt C och N anses vara orsaken och genom att hålla låga halter av dessa samt binda dem med Ti eller Nb, får man ett åldringsstabil stål, som dessutom har höga r- och n-värden.

Refosstål är ett höghållfast presstål, min R_e 220–300 MPa, som fått sin hållfasthetsförstärkning genom en tillsats av upp till 0,1 % P. Detta har endast obetydligt försämrat pressbarheten.

Ännu högre sträckgränser, upp till min 800 MPa, kan nås med så kallat tvåfasstål, men på bekostnad av pressbarheten.

2.9 Skärbarhet

2.9.1 Definition och förklaringar

Ett materials skärbarhet anger hur det beter sig vid spånavverkande bearbetning. Skärbarhet är en sammansatt egenskap, som beror av flera faktorer, och det finns följaktligen flera olika skärbarhetskriterier. De viktigaste är:

- Verktygsförslitning vid svarvning med
 - hårdmetallverktyg
 - snabbstålsverktyg
 - skärkeramik
- Skärmotstånd (skärkrafter)
- Spån brytning
- Löseggsbildning
- Kladdning

Det är viktigt att man skiljer mellan de olika skärbarhetsegenskaperna. Ett material kan ha god skärbarhet enligt en mätmetod och dålig enligt en annan.

Den skärande bearbetningen utförs mer och mer i mycket dyra, högproduktiva maskiner. Bearbetningsekonomi kräver därför att skärdata hålls på en hög nivå, i synnerhet som maskinerna ofta går på skift och ibland är obemannade i perioder. En hög och framförallt jämn skärbarhet hos materialet är då ett måste.

2.9.2 Hur mäter man skärbarhet?

Först några enkla begrepp enligt bild 11-35.

Skärhastigheten, v , är arbetsstyckets periferihastighet i m/min.

Matningen, s , är verktygets längd- eller tvärförflyttning i mm/varv.

Skärdjupet, a , är tjockleken på det materialskikt som verktyget avverkar vid varje varv eller skär. Anges i mm.

Skärkraften, som påverkar situationen vid eggen, delas upp i tangential-, radial- och axialkrafter. Dessa kraftkomponenter är relativt lätta att mäta.

Av de nämnda skärbarhetskriterierna är verktygsförslitningen den man vanligen mäter. I produktionsprov är också spånbrytningen, det vill säga möjligheten att undvika långa sega, spånor, en viktig faktor. Löseggsbildning respektive kladdningstendenser följs också upp. Vid laboratorieprovning av olika material används dock nästan enbart verktygsförslitningen som ett mått på skärbarhet. Det finns många varianter av dessa prov. Här ska nämnas ett för hårdmetallverktyg och ett för snabbstål.

Mekanförbundets längdsvärningsprov

Provet utförs i princip så som visas i bild 11-35, men endast med längdmatning. För varje provmaterial körs ett antal förslitningskurvor vid olika skärhastigheter. Den tid det tar att uppnå en viss fastställd förslitningsgrad, till exempel 0,5 mm fasförslitning, mäts upp och prickas in i ett v/T -diagram, se bild 11-35. Vid detta prov används oftast ett standardiserat hårdmetallskär.

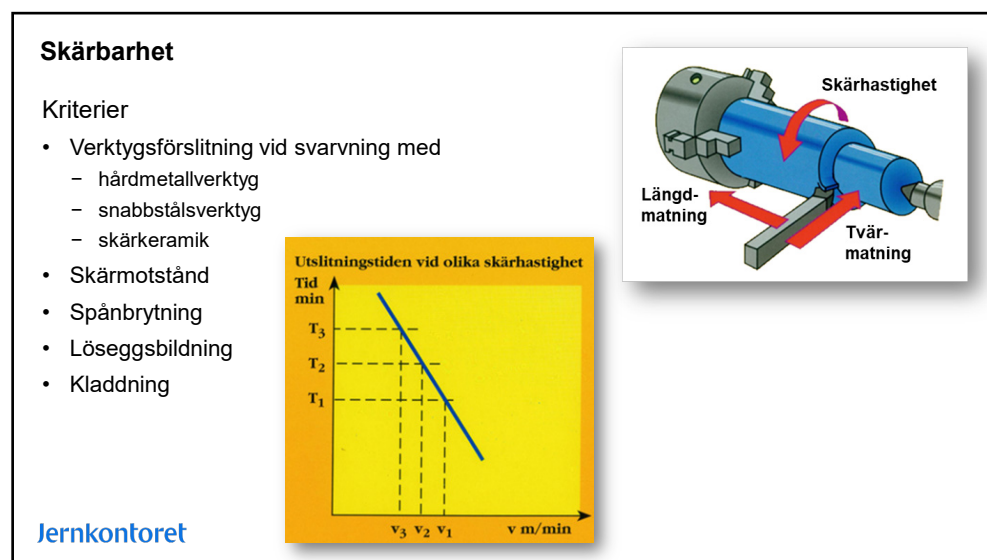


Bild 11-35

Vid den högsta hastigheten v_1 får man den kortaste utslitningstiden T_1 , vid v_2 den längre tiden T_2 osv. Linjen, som sammanbinder de tre punkterna, beskriver provets skärbarhet. Prover från andra material ger räta linjer med andra lägen och lutningar i diagrammet.

Ju längre linjen ligger åt höger desto bättre skärbarhet. Ju brantare linjen står desto mer hastighetsberoende är verktygsförslitningen.

SFA-provet

Provet är också ett standardiserat prov, i detta fall för fräsning med snabbstålsverktyg. Provstycket utgörs av en 50 mm rund stång, vars ändyta fräses ned 1 mm åt gången enligt skiss i bild 11-36.

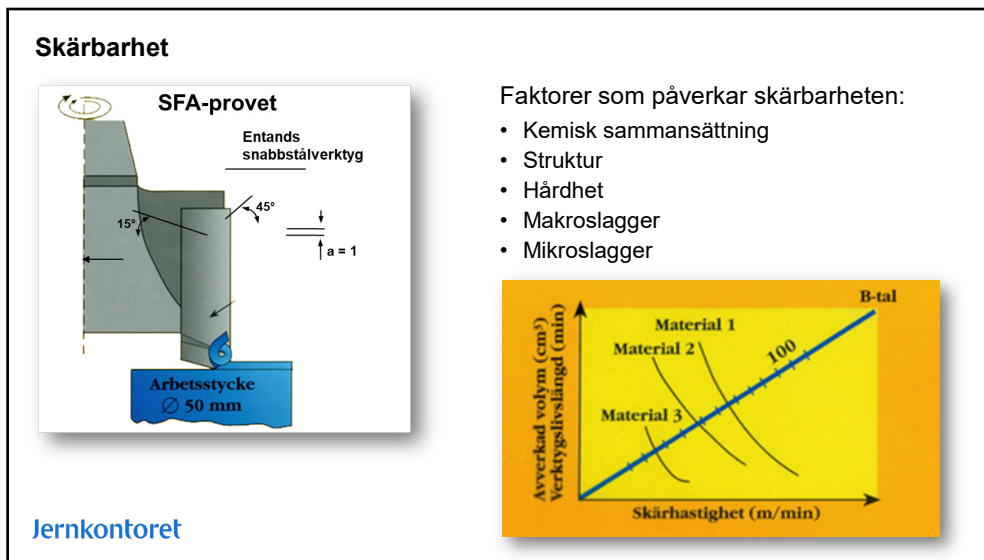


Bild 11-36

Bearbetningen pågår tills fasförslitningen är 0,7 mm. Avverkad materialvolym prickas in i ett diagram. Man får för varje prov en krökt linje. Ju längre åt höger desto bättre skärbarhet. Detta anges av ett så kallat B-tal, som fås av skärningen mellan kurvan och den räta linjen.

2.9.3 Inverkan av olika faktorer

Det finns flera materialberoende faktorer, som påverkar skärbarheten och direkt också kostnaderna vid skärande bearbetning.

De viktigaste är:

- kemisk sammansättning
- struktur
- hårdhet
- makroslaggar
- mikroslaggar.

Dessutom kan rost, glödska, sprickor och toleransfel störa bearbetningen och ge extra snabb förslitning eller till och med verktygshaverier.

Sammansättning

Några bra och några sämre ämnen kan nämnas, som påverkar skärbarheten:

Bra:	Sämre:
Bly	Kol
Svavel	Krom
	Molybden
	Vanadin

Bly ingår i vissa automatstål och har en smörjande effekt. Pb-legerade stål tillverkas inte i Sverige. Svavel, i form av mangansulfider, verkar också smörjande. Effekten av ämnena i den ”sämre” kolumnen är i hög grad beroende av stålets struktur.

Struktur

En strukturs nötande förmåga har störst inflytande på snabbstålsverktyg. Främst är det karbider, därav kols inverkan, som i form av perlit eller olika legerade karbider bryter ned eggarna

Mycket lågkolhaltiga stål, som består av enbart ferrit, kan ge löseggs- eller kladdningsproblem.

I sätthärdningsstål får man lätt en så kallad bandad struktur av ferrit och perlit, som är svårsvarvad. Kontrollerad svalning eller viss värmebehandling kan eliminera bandigheten.

Stål med kol över 0,3–0,5 % behöver värmebehandlas för att få acceptabel skärbarhet. Vid hårdmetallverktyg kan normalisering ge goda resultat annars etappglödgar man eller mjukglödgar, det senare alltid vid kol över 0,8 %.

Hårdhet

Hårdmetallverktyg påverkas negativt av hårdheten hos arbetsmaterialet. Hårdhet, som beror på kallvalsning, kan vara positiv vid svarvning med snabbstålsverktyg.

Slagger

Makroslagger, med längd över 0,5 mm, har ofta hög hårdhet och sliter snabbt verktygen om de förekommer i stor mängd. De ger dessutom fula svarvytor.

Oxidiska mikroslagger ger också en snabb förslitning av snabbstålsverktyg. Genom metallurgiska knep, bland annat kalciumbehandling, kan man få fram blandslagger som mjuknar vid de temperaturer som råder vid hårdmetallsvärning. Då verkar dessa smörjande, ungefär som MnS vid lägre temperatur och förbättrar alltså skärbarheten.

3. Stålprodukter

3.1 Indelning av stål

Traditionella system för att dela in olika ståltyper, till exempel dem man finner i standard (SS, EN och ISO) och i översiktsverk, använder namn och beteckningar, som ibland syftar på stålets sammansättning, ibland på process eller egenskaper och ibland på användningsändamålet.

De flesta av dessa namn är väl inarbetade och de ger ofta någon form av association till ståltypen ifråga. I den följande indelningen används dessa inarbetade namn, men de har sorterats in i ett övergripande ”system”. Rostfria stål och andra specialstål har inte tagits med.

Den första huvudgruppen kallas **Konstruktionsstål** och till den förs allt, som används i större eller mindre ”stela” konstruktioner. Dit hör broar, maskinfundament, chassin, fartygsskrov, kylskåpsdörrar, med mera. Produkterna från stålverken kapas, klipps, pressas etc, och oftast svetsas man ihop konstruktionen.

Indelning av stål			
Konstruktionsstål		Stål för komponenter	
<ul style="list-style-type: none">• Ingår i "stela" konstruktioner• Kapas och svetsas oftast• Normalt ingen spånavskiljande bearbetning		<ul style="list-style-type: none">• Ingår i maskiner och fordon• Maskinbearbetas oftast• Ofta härdade eller värmebehandlade detaljer	
Långa produkter	Platta produkter	Långa produkter	Övrigt varmformat
<ul style="list-style-type: none">• Stång• Tråd• Profiler inkl. räls• Svetsade rör	<ul style="list-style-type: none">• Plåt• Band• Kallvalsad tunnplåt	<ul style="list-style-type: none">• Stång• Tråd• Sömlösa rör	<ul style="list-style-type: none">• Smide• Valsade ringar

Jernkontoret

Bild 11-37

Den andra huvudgruppen kallas **Stål för komponenter**. Stål i denna grupp används oftast i rörliga delar, till exempel axlar, fjädrar, kuggväxlar, kullager, maskiner och olika typer av verktyg. Ofta sker en spånavverkande bearbetning av de produkter som levereras från stålverken. Ibland sker någon form av värmebehandling och i en del fall förekommer att detaljerna slipas eller poleras som slutoperation.

Konstruktionsstålen delas sedan in i **Långa produkter** och **Platta produkter** och syftar på den produktform stålen har när de lämnar stålverken, se bild 11-37.

Konstruktionsstålen delas även in i två andra grupper efter sammansättning, process eller egenskap respektive användningsändamål, som framgår av bild 11-38. Under dessa båda rubriker har de vanligaste stålnamnen placerats in och korta beskrivningar av vissa av dessa följer senare.

Namn på konstruktionsstål

Efter sammansättning, process eller egenskap	Efter användningsändamål
<ul style="list-style-type: none">• Olegerade kol- och kolmanganstål• Mikrolegerade finkornstål (HSLA-stål)• Borlegerade seghärtningsstål• Stål för Z-plåt• ULC-stål• Refosstål• Tvåfasstål	<ul style="list-style-type: none">• Allmänna konstruktionsstål• Kallformningsstål• Stål för armeringsjärn• Skruv-, mutter- och nitstål• Kättingstål• Tryckkårsstål• Stål för kallvalsad tunnplåt för konstruktionsändamål• Stål för kallvalsad tunnplåt för bockning och pressning• Stål för kallvalsad belagd tunnplåt• Stål för pansarplåt• Stål för slitplåt

Jernkontoret

Bild 11-38

Även stål för komponenter delas in på likartat sätt.

Istället för platta produkter har gruppen **Övrigt varmformat** lagts in.

Namn på stål för komponenter

Efter sammansättning, process eller egenskap	Efter användningsändamål
<ul style="list-style-type: none">• Olegerade kol- och kolmanganstål• Mikrolegerade finkornstål (HSLA-stål)• Automatstål• Sätthärtningsstål• Seghärtningsstål• Genomhårdande stål• Nitrestål	<ul style="list-style-type: none">• Maskinstål• Axelstål• Kallformningsstål• Fjäderstål• Kullagerstål• Stål för slitplåt• Verktygsstål, kallarbeitsstål• Verktygsstål, varmarbetsstål• Verktygsstål, plastformstål• Snabbstål

Jernkontoret

Bild 11-39

Gränserna mellan stål med olika namn är inte strikta, och det förekommer ofta att en viss stålsort kan betecknas med flera namn, till exempel seghärtningsstål och fjäderstål. Det behöver inte vara något problem, om man är medveten om detta.

3.2 Exempel på stålprodukter

Följande avsnitt är ett tillägg till kursen, vilket beskriver ett antal stålprodukter tillverkade vid svenska stålverk. Tillverkarna har bidragit med bildmaterial.

Höghållfasta stål

För höghållfasta stälen kan den förhöjda hållfastheten antingen utnyttjas till att

- sänka vikten på den pressade detaljen utan att styrkan försämräs,
- höja styrkan utan att vikten ökas

Inom SSAB tillverkas i huvudsak tre olika typer av höghållfast stål:

Typ	Beteckning	Hållfasthet
LA (Low alloy) mikrolegerade stål	Domex/Docol LA + sträckgräns	220LA till 500LA
DP (Dual phase) flerfasstål	Docol DP + brottgräns	440DP till 1000DP
M martensitiska stål	Docol M + brottgräns	900M till 1700M

LA-stälen är lämpliga för enklare pressning och formningsoperationer av olika slag

- Kallas också ibland HSLA-stål främst för varmvalsade stål i hållfastheter mellan 315MC till 700MC

DP-stälen värmebehandlas så att en tvåfasstruktur har erhållits (mjuk ferrit och hård martensit)

- Kännetecknas av en låg sträckgräns i förhållande till brottgränsen.
- Uppvisar ett kraftigt deformationshårdnande vid formning
- Har i övrigt mycket bra sträckpressningsegenskaper i förhållande till sin hållfasthet

Jernkontoret

SSAB

Höghållfasta kallformningsstål för extrema applikationer

Kallformningsstål upp till sträckgräns på 1300 MPa ger möjlighet till längre räckvidd och tyngre last.



Jernkontoret

SSAB

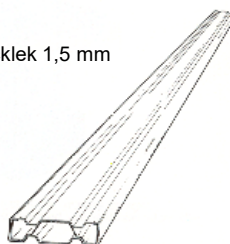
Kallvalsat tunnlåt för konstruktionsändamål

Stakar till timmervagnar | Docol 1400M



- Högre lastbärande förmåga
- 20 % lättare
- 2,5 x starkare

Tjocklek 1,5 mm



Jernkontoret

SSAB

Kallvalsat tunnplåt för konstruktionsändamål

DP stål - Trailer Docol 1000DP i sidorna och Hardox i botten



I tipperflak kan med fördel Hardox 450 användas för att få en lättare konstruktion utan förstyrningar.

Livslängden två- till tredubblas samtidigt som lastkapaciteten ökar.

Jernkontoret

SSAB

Höghållfasta mikrolegerade konstruktionsstål

Användningsområden:

Kranar och trailers

Stål	Sträckgräns (Mpa)
Strenx 700	700
Strenx 960	960
Strenx 1100	1100
Strenx 1300	1300

- God seghet
- God svetsbarhet och bockbarhet
- God planhet
- Bra ytor



Jernkontoret

SSAB

Mikrolegerade stål

Användningsområden: Kranar, hjulaxlar, vevaxlar, drivaxlar, trailers, järnvägsvagnar, etc

- Grundsammansättning cirka 0,18% C och 1,4% Mn
- Mikrolegeringsementen V, Ti och Nb ger ökad hållfasthet och seghet genom utskiljningshärdning och kornförfining
- Högt sträckgränsförhållande ger
 - reducerad godstjocklek
 - sänkt vikt i konstruktioner
 - lägre kostnad
- God svetsbarhet
- God bearbetbarhet med skärande verktyg



Jernkontoret

OVAKO

Höghållfasta konstruktionsstål

Kemisk sammansättning (%)

Stålsort		C	Si	Mn	P	S	Cr	V
19MnV6*/ Ovako 280T	Min	0,17	0,30	1,45	–	0,020	0,20	0,08
	Max	0,20	0,45	1,60	0,025	0,035	0,28	0,12

* Är inte en officiell EN-standard, men uppkallad enligt reglerna i EN 10027

Ca max 10 ppm, Ti max 30 ppm, O max 11 ppm och N 70–150 ppm

Mekaniska egenskaper

Vägg tjocklek, mm	Sträckgräns R _{0,2} min. MPa	Brottgräns R _m min. MPa	Förlängning A ₅ min. %	Hårdhet ca HB
≤ 25	500	670	20	225
> 25	470	640	20	220

Skärbarhet: V15 = 320 m/min

Svetsbarhet: Ec = 0,51

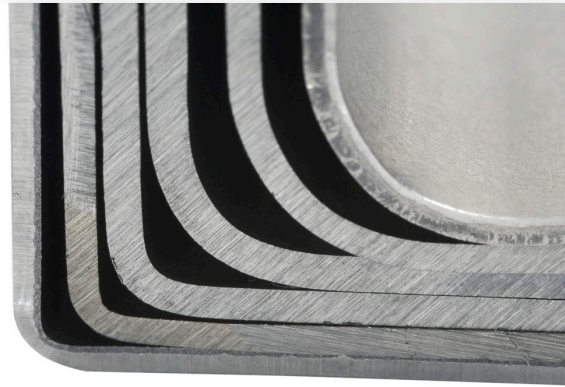
Jernkontoret



OVAKO

Kallformningsstål

Bockningsradier



Modernt kallformningsstål
tillåter mycket skarpa
hörn vid bockning.

1400 M
1200 M
1000 DP
800 DP
600 DP
DC06

Jernkontoret

SSAB

Mjukt kallvalsat tunnplåt för bockning och pressning

Kallvalsad tunnplåt (tjocklek ca 0,5-3 mm) för bockning
och pressning är vanligt förekommande

- Goda formnings- och pressningsegenskaper
- Lätta att sammanfoga
- Fina ytor för vidare ytbehandling

Exempel på applikationer:

- Bilkarosser
- Kylskåp
- Belysningsarmaturer
- El- och vattenradiatorer

Den mjuka pressplätens egenskaper styrs av de krav som finns i
normer och standarder. Här anges bl.a. max tillåtna sträckgränser i
kombination med krav på förlängning, r- och n-värden.

Förekommande stålsorter är SSAB Form 03, 04, 05, 06 och 07,
där pressbarheten ökar i ordning 03 till 07.

Jernkontoret



De allra mjukaste stålen används
för riktigt avancerad formning, som
till den här lampan där SSAB Form
07 används.

SSAB

Höghållfast kallvalsad tunnplåt för bockning och pressning



Dörrbalkar idag görs i martensitiska elgalvade stål upp till Docol 1400 MPa brottgräns. Bilen får genom detta bättre styrka och ökad krocksäkerhet vid sidokrockar.

DP-stålen är också vanliga tack vare att de deformationshårdnar kraftigt vid en kalledeformation, vilket gör att balken kan ta upp stor energi vid en kollision.

Stötfångare görs i Docol 1700 M

Jernkontoret

SSAB

Kallvalsad belagd tunnplåt

Kallvalsad belagd tunnplåt finns också i form av färgbelagd plåt.

Basmaterialen är normalt varmförzinkad plåt eller Aluzink, och det finns både som mjukt och höghållfast stål. SSAB:s färgbelagda stål heter Greencoat.

Färgen läggs på i kontinuerliga processer inom stålverket. Allt fler kunder har gått över till att köpa den redan färgbelagda plåten direkt från SSAB, istället för att själva sköta all hantering kring färgbeläggningen av plåten. Detta är betydligt enklare ur miljösynpunkt.

Det vanligaste användningsområdet för färgbelagd plåt är som takplåt och profilerad fasadplåt till olika byggnader. Materialet används även i många andra detaljer, såsom elpannor, hyll- och lagerställ, inredningsdetaljer i hotell och fartyg, industriportar, detaljer i dammsugare, instrumentpaneler i lastbilar, m.m.



Tin House, Prisbelönt arkitektur i London
Material: Galvaniserad PLX Z350 med beläggning GreenCoat Pro BT. En färgbeläggning där väsentlig mängd fossilt lösningsmedel bytts ut mot ett miljövänligt alternativ som kommer från rapsolja.

Jernkontoret

SSAB

Kallvalsad belagd tunnplåt



Kallvalsad SSAB Form 200 konvektorelement

Elradiator som har tillverkats av färgbelagd plåt.

Basmaterialen är ett varmförzinkat stål

Den färgbelagda plåten kan formas till komplicerade detaljer på olika sätt (rullformning, bockning, pressning).

Man måste dock vara något försiktigare än vid formning av vanlig plåt för att undvika skador på färgskiktet.

Jernkontoret

SSAB

Kallvalsad belagd tunnplåt



Kallvalsat SSAB Form 200 konvektorelement

Elradiator som har tillverkats av färgbelagd plåt.

Basmaterialen är ett varmförzinkat stål

Den färgbelagda plåten kan formas till komplicerade detaljer på olika sätt (rullformning, bockning, pressning).

Man måste dock vara något försiktigare än vid formning av vanlig plåt för att undvika skador på färgskiktet.

Jernkontoret

SSAB

Stål för slitplåt

Användningsområden:

Flak, skopor, betongmixer, slitbanor

Stål	Hårdhet (HBW)
Hardox HiTuf	310-370
Hardox 400	370-430
Hardox 450	425-475
Hardox 500	470-530
Hardox 550	525-575
Hardox 600	570-640
Hardox Extreme	60 HRC

- God svetsbarhet och termisk skärbarhet
- God seghet



Jernkontoret

SSAB

Stål för slitplåt



I tipperflak kan med fördel Hardox 450 användas för att få en lättare konstruktion utan förstyrningar. Livslängden två- till tredubblas samtidigt som lastkapaciteten ökar.

Konstruktioner utsatta för slitage:

- Maximera konstruktionens livslängd, relativt mängd använt stål

Jämförelse med konventionella, mjukare, stål:

- Minska mängden stål, behåll livslängden
- Behåll mängden stål, öka livslängden

Jernkontoret

SSAB

Stål för skyddsplåt

Användningsområden:
Skyddspansar i fordon, fartyg och anläggningar (t.ex. banker)

Viktiga egenskaper:

- Hårdhet
- Seghet
- Hållfasthet
- Ballistiskt skydd
- Skydd mot detonationer
- Svetsbarhet
- Bockningsegenskaper



Jernkontoret

SSAB

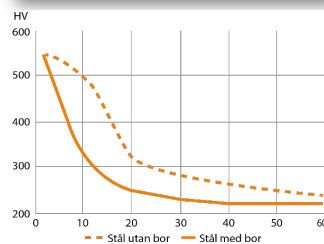
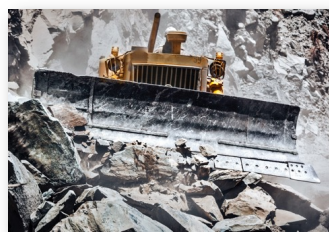
Borstål

Användningsområden: Jordbruksmaskiner, vägghylar, truckgafflar, grävtänder, skogsmaskiner, framaxlar, bultar etc.

- Låglegerade stål med ca 0,06–0,4 % C och 0,8–1,4 % Mn
- Bor i små mängder (10–50 ppm) ökar hårdbarheten kraftigt
- Lågt innehåll av dyra legeringsämnen
- God kombination av seghet och hållfasthet
- Bra seghet i hårdat tillstånd utan anlöpning
- Kan med fördel direkthärdas
- Mindre benägenhet för härdsprickor
- God svetsbarhet vid låga kolhalter

Kemisk sammansättning (%)

Stål	Ovako	C	Si	Mn	Cr	Övrigt
43MnB6-3*	SB43M14B	0,40	0,30	1,40	–	B
27MnCrB5-2	SB27M12CB	0,30	0,20	1,30	0,50	B
7CRMoB5S	Imaform	0,07	0,25	0,90	1,35	B



Jernkontoret

OVAKO

Borstål

- Största kundsegment för varmvalsade borstål är jordbruksutrustning
- Årlig global användning av borstål för härvskivor är redan > 2 miljoner ton
- Hårdhet ger mot nötning
- Seghet ger motstånd mot slag
- Material B 24, B 27, även högre nötningsmotstånd som hos SSAB Boron 38

Härdade borstål används även för:

- Vägghylar
- Brickor
- Trädgårdsredskap
- Skogsmaskiner
- Oljeborring



Vändskivor



Brickor



Härvskivor

Jernkontoret

SSAB

Fjäderstål

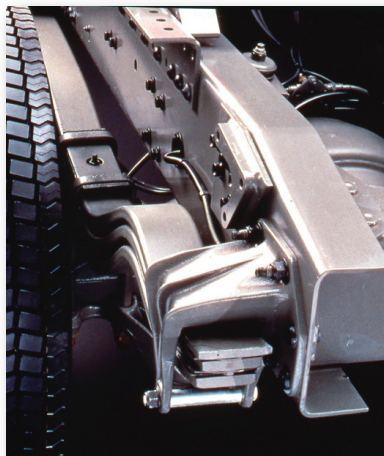
Användningsområden: Olika slag av fjädrar, speciellt till fordon, t.ex. spiralfjädrar, plattfjädrar och stabilisatorer

- De stålsorter som används är antingen Si-legerade eller Cr-legerade. Sammansättning:

Si-typ	Cr-typ
C ~ 0,60 %	C ~ 0,55 %
Si ~ 1,7 %	Si ~ 0,3 %
Mn ~ 0,9 %	Mn ~ 0,9 %
Cr ~ 0,3 %	Cr ~ 1,0 %
	V ~ 0,13 %

Grövre dimensioner kromfjäderstål är legerade med ca 0,15 % Mo

- Fjäderstål används i seghärdad tillstånd med brottgräns 1500–1700 MPa
- Fjäderstål utmärks av goda utmattningssegenskaper och ett högt sträckgräns/brottgräns – förhållande



Jernkontoret

OVAKO

Seghärtningsstål

Användningsområden: Maskindelar, axlar, vevstakar, bultar och verktyg

Viktiga egenskaper:

- Hårdhet
- Hållfasthet



Ovako standardstålsorter:
Kemisk sammansättning (%)

Std	Ovako	C	Si	Mn	Cr	Mo	Anm.
C45	SB1672	0,45	0,25	0,70	–	–	Varianter finns
25CrMo4	MoC 210 M	0,30	0,20	0,90	1,10	0,20	
34CrMo4	MoC 310 M	0,30	0,30	0,80	1,10	0,20	
42CrMo4	SB9288	0,42	0,25	0,75	1,05	0,23	
34CrNiMo6	356D	0,30	0,20	0,70	1,40	0,20	1,30 % Ni
40SiCrMnMo7-6-6*	477L	0,40	1,70	1,50	1,50	0,40	

* Är inte en officiell EN-standard, men uppkallad enligt reglerna i EN 10027

Jernkontoret

OVAKO

Sätthärtningsstål

Användningsområden: Växellådor, kugghjul, hydraulikkomponenter och verktyg

Viktiga egenskaper:

- Seghet
- Nötningsmotstånd
- Utmattningshållfasthet
- Ythårdhet



Ovako standardstålsorter:
Kemisk sammansättning (%)

Std	Ovako	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
20MoCr4	124	0,20	0,25	0,80	0,45	–	0,45
16NiCrS4+HL*	4730	0,16	0,18	0,85	0,80	0,95	–
20NiCrMo2-2	152	0,20	0,25	0,80	0,55	0,55	0,20
16MnCrS5	SB16MnCrS5(M)	0,16	0,25	1,20	1,00	–	–
22NiCrMo12-5*	253	0,22	0,30	0,70	1,30	2,90	0,24
21NiCrMo2	4542	0,20	0,25	0,80	0,55	0,55	0,20

* Är inte en officiell EN-standard, men uppkallad enligt reglerna i EN 10027

Jernkontoret

OVAKO

Stål för rullningslager

Viktiga egenskaper:

- Nötningsbeständighet
- Utmattningshållfasthet
- Tillförlitlighet

Ovako standardstålsorter:

Kemisk sammansättning (%)

Std	Ovako	C	Si	Mn	Cr	Mo
100Cr6	803	1,00	0,25	0,35	1,50	–
100CrMo7	824	0,95	0,30	0,35	1,75	0,20
100CrMo7-3	825	0,95	0,30	0,70	1,75	0,27
100CrMo7-4	826	0,95	0,30	0,70	1,75	0,45
100CrMnMoSi8-4-6	827	0,95	0,50	1,00	1,95	0,55
100CrMnSi4-4	831	0,95	0,60	1,10	1,05	0,08
100CrMnSi6-4	837	0,95	0,60	1,10	1,50	–
100CrMnSi6-6	832	0,95	0,70	1,60	1,50	0,08



Jernkontoret

Ovako

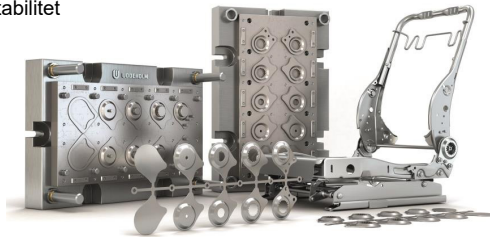
Verktogsstål – kallarbetsstål

Användningsområden: Stansning, formning, pulverkompaktering, klippning, med flera.

Viktiga egenskaper:

- Hårdhet
- Nötningsbeständighet
- Duktilitet/Seghet
- Dimensionsstabilitet

Stålsort	Kemisk sammansättning (%)			
	C	Cr	Mo	V
Calmax	0.6	4.5	0.5	0.2
Sleipner	0.9	7.8	2.5	0.5
Sverker 21	1.55	11.3	0.8	0.8
Caldie (ESR)	0.7	5.0	2.3	0.5
Vanadis 4 Extra (PM)	1.4	4.7	3.5	3.7
Vanadis 8 (PM)	2.3	4.8	3.6	8.0



Jernkontoret

UDDEHOLM

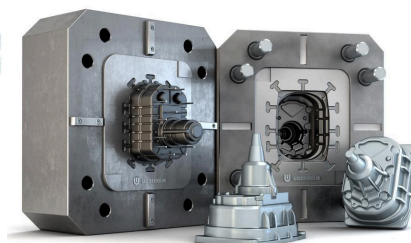
Verktogsstål – varmarbetsstål

Användningsområden: Pressgjutning, smide, varm formning, extrusion, med flera.

Viktiga egenskaper:

- Hållfasthet vid förhöjd temperatur
- Seghet

Stålsort	Kemisk sammansättning (%)			
	C	Cr	Mo	V
Orvar Supreme	0.39	5.2	1.4	0.9
Vidar Superior	0.36	5.0	1.3	0.5
Dievar	0.35	5.0	2.3	0.6
QRO 90 Supreme	0.38	2.6	2.3	0.9



Jernkontoret

UDDEHOLM

Verktøysstål – plastformstål

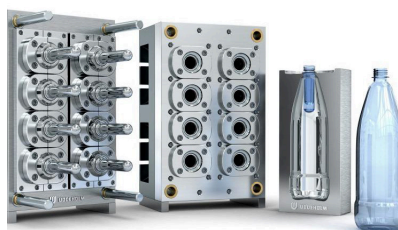
Användningsområden: Plastformning

Viktiga egenskaper:

- Polerbarhet
- Korrosionsbeständighet
- Nötningsbeständighet



Stålsort	Kemisk sammansättning (%)					
	C	Cr	Mo	V	Ni	Mn
Nimax	0.1	3.0	0.3	0.9	1.0	2.5
Stavax ESR	0.38	13.6	-	0.3	-	0.5
Mirrax 40	0.21	13.5	0.2	0.2 5	0.6	0.5 +N
Corrax	0.03	12.0	1.4	-	9.2	0.3 +Al 1.6



Jernkontoret

Uddeholm

Den svenska stålindustrins branschorganisation

Jernkontoret grundades 1747 och ägs sedan dess av de svenska stålföretagen. Jernkontoret företräder stålindustrin i frågor som berör handelspolitik, forskning och utbildning, standardisering, energi, miljö, hållbarhet samt transportfrågor. Jernkontoret leder den gemensamma nordiska stålforskningen. Dessutom utarbetar Jernkontoret branschstatistik och bedriver bergshistorisk forskning.