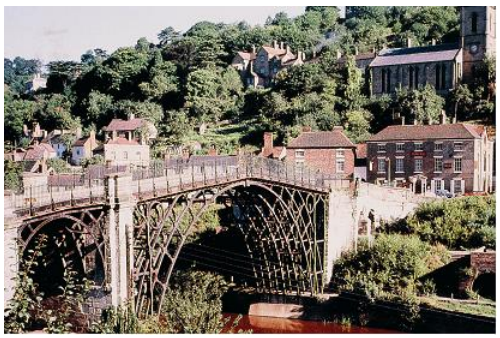
STÅLETS EGENSKAPER

Björn Åstedt • bjorn@sbi.se • www.sbi.se
Skapad 2009-10-12

Stål är benämningen på en legering av järn och högst ca 2 procent kol samt mindre mängder andra grundämnen.

Järn används idag som namn på grundämnet Fe och i sammansättningar som gjutjärn och tackjärn, vilka är högkolhaltiga legeringar. Förr användes ordet järn för alla järnlegeringar och har givit upphov till en tidsålder i förhistorisk tid. Järnåldern började för ca 3400 år sedan i mellanöstern och kom till Norden för ca 2500 år sedan. Perioden kännetecknas av en omfattande användning av järn i redskap och vapen. Det finns fynd av betydligt äldre järnföremål men dessa har tillverkats av meteoritjärn. Tekniken att framställa järn ur malm var förutsättningen för järnålderns inträde. Tekniken att bygga i stål har inte lika gamla anor. Den tidiga användning av stål var som förbindare, t ex spik, dymlingar och kramlor i trä- och stenkonstruktioner. Från 1500-talet och framåt utvecklades ett bruksmässigt smide av stång och plåt. Under 1700-talet blev plåt allt vanligare som taktäckningsmaterial. Den första större järnkonstruktionen Ironbridge uppfördes åren 1776–1779 i England. Bron, som fortfarande står kvar, är byggd av gjutjärn och har en spännvidd på 30 m. Den är så unik att den har gett namn åt det kringliggande samhället och finns dessutom upptagen på Unescos världsarvslista.



Ironbridge från 1779 i Storbritannien.

Världens kanske mest kända stålkonstruktion är Eiffeltornet som uppfördes till världsutställningen i Paris år 1889 av Gustave Eiffel. Tornet som är 300 m högt tog 17 månader att bygga och är ett av fackverksteknikens mästerverk. De olika delarna sammanfogades med nitar. Nitning var den dominerande sammanfogningsmetoden fram till 1900-talets början.

Eiffeltornet

Modern massproduktion av stål började i och med bessemerprocessen som patenterades 1855 och samtidigt utvecklades valsningstekniken. Man valsade vid denna tid plåt och vinklar och 1895 patenterades valsning av I-balk av Carnegie Steel i USA. I-balkar används som pelare och balkar och var en förutsättning för det snabbt ökande höghusbyggandet i USA. I början av 1900-talet utvecklades svetsningen och denna ersatte, tillsammans med skruvförband, nitning som sammanfogningsmetod. I och med detta var grunden lagd för det moderna stålbyggandet. Den första svenska stålbyggnadsnormen var Järnbestämmelser av år 1919. Tidigare hade Kungliga Väg- och Vattenbyggnadsstyrelsen angivit materialkrav och tillåtna spänningar, i cirkulär från 1886 och 1901. Sedan dess har många stålbyggnadsnormer passerat och i dag gäller Eurokoderna, som är gemensam för Europa.

Tillverkningsprocesser

De viktigaste råvarorna vid tillverkning av stål är järnmalmsmineralen magnetit och hematit. Magnetit (svartmalm), Fe_3O_4, är ett magnetiskt mineral och hematit (blodstensmalm), Fe_2O_3, är ett omagnetiskt mineral. En annan viktig råvara är skrot, alltså återvunnet stål. Malmen kan inte användas direkt för järnframställning utan måste först anrikas. Vid anrikning koncentreras värdefullt mineral, dvs. magnetit och hematit, genom att andra mineraler tas bort. För att skilja olika mineraler från varandra ut-

nyttjas skillnader i magnetiska egenskaper, densitet och ytegenskaper. Beroende på vilken typ av malmprodukt som önskas, genomgår malmen vid anrikning ett antal olika operationer som t ex krossning och malning. Styckemalm, mull och kulsinter (pellets) är exempel på olika malmprodukter som används för järnframställning. Legeringar med grundämnet järn som basmetall benämns, beroende på kolhalt, gjutjärn eller stål. Gjutjärn har en hög kolhalt, vanligen 2–4 procent, medan stål normalt innehåller 0,2-2 procent. I stålverk framställs så kallat råstål. Anläggningar för framställning av råstål kan uppdelas i tre huvudtyper:

- Malm- och koksbaserade järnverk med masugnar och syrgasstålverk.
- Skrotbaserade elektrostålverk.
- Direktreduktionsugnar (järnsvampugnar) med elektrostålverk.

Den dominerande andelen av världens stålproduktion sker i malm- och koksbaserade järnverk med masugnar och syrgasstålverk. Följande redogörelse beskriver översiktligt några processer för stålframställning.

Masugnen, som är ett högt tegelinfodrat schakt, påfylls i toppen med omväxlande styckeformig koks och malm. I ugnens nedre del tillsätts förvärmd luft (ca 1 000°C), eventuellt med tillsats av syrgas. Koks är en produkt, som erhålls vid torrdestillation av stenkol. Malmen kan utgöras av t.ex. kul-sinter (pellets) eller styckemalm.

I masugnen sker reduktion av malm till järn genom att syret tas bort ur den oxidiska järnmineralen. Det fasta kolet förbränns med luftens syre under bildning av gasen koloxid (CO) och under utveckling av värme.

Flödesschema för masugnslinjen

Koloxiden reducerar malm till järn genom att reagera med malmens syre och bildar koldioxid (CO_2). Järnet löser kol. Därmed sjunker smältpunkten, och järnet övergår i flytande form. Det så kallade råjärnet från masugnen innehåller förutom järn också 3–4 procent kol och låga halter av kisel, mangan, fosfor och svavel. Kisel och mangan är legeringselement, medan fosfor och svavel är oönskade föroreningar. Förloppet i masugnen är kontinuerligt, varför denna tappas med jämna mellanrum. Råjärnstemperaturen är vid tappning ca 1250°C. Det flytande råjärnet transporteras i en torpedvagn till stålverket. I vagnen renas ofta råjärnet från svavel. Reningen sker genom tillsättning av avsvavlingsmedel, t ex kalciumkarbid (CaC_2) i kombination med gasomrörning.

Det flytande råjärnet omvandlas till stål i stålverket. Detta sker i stålugnen (LD-ugn). Vid ståltillverkning oxideras kol, kisel, mangan, fosfor och vissa andra legeringselement. Kolhalten sänks från ca 4 procent till ca 0,10 procent i smältan. Som oxidationsmedel används nästan undantagslöst syrgas, som blåses in i smältan. Icke gasformiga reaktionsprodukter samlas i en slagg. Dess egenskaper styrs genom tillsats av slaggbildare, t ex kalk. På så sätt kan föroreningar som svavel och fosfor till stor del raffineras bort från stålet genom slaggreaktioner.

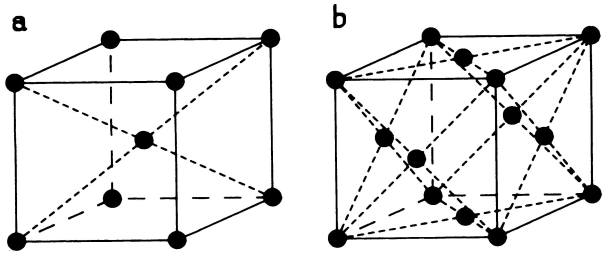
Chargering av stålugn

För att ge stålet de egenskaper man önskar, tillsätter och varierar man halter av vissa legeringsämnen. Kol är det viktigaste legeringsämnet och har stor inverkan på stålets egenskaper. Vid ökande kolhalt stiger stålets hållfasthet,

medan seghet och svetsbarhet påverkas negativt. Andra viktiga legeringsämnen hos konstruktionsstål är kisel, mangan och mikrolegeringselement (t ex aluminium, vanadin, titan och niob). Dagens processtyper för råstålsproduktion kan delas upp i syrgasprocesser och elektrostålprocesser. I föregående stycke redogjordes för en syrgasprocess. Tidigare förekom även Martin- och Thomasprocesser. I elektrostålprocessen kan insatsen till stor del utgöras av skrot. Man utgår då från gamla balkar, bilar m.m. som smälts ned i en elektrostålugn. Fördelen med en malmbaserad stålproduktion är möjligheten att producera stål med mycket låga, noggrant kontrollerade halter av föroreningar. Raffinering av flytande stål i skänk, så kallad skänkmetallurgi, betecknar de processer som sker efter stålugnen men före gjutning. Viktigt här är desoxidationen (tätningen), dvs. bindningen av i stålet löst syre, för att inte stålet senare skall stelna under gasutveckling. I skänken renas stålet ytterligare genom att sänka bl.a. svavel- och fosforhalterna ännu mer. Vidare görs legeringsjusteringar och inställning till rätt gjuttemperatur. Vid produktion av stål med höga krav på egenskaper i tjockleksriktningen, dvs. vinkelrät valsningsriktningen sänks särskilt svavelhalten till mycket låga nivåer. Stålet transporteras sedan i en skänk till stränggjutningsanläggningen. Stränggjutning är en kontinuerlig gjutmetod för att direkt överföra det flytande stålet till färdiga stålämnen. Denna teknik har så gott som helt ersatt den traditionella kokillgjutningen. Beroende på tvärsnittets form benämns ämnena efter gjutning slabs, blooms eller billets. Vid kokillgjutning tappas smältan i gjutformar, så kallade kokiller. När stålet stelnat i kokill bildas göt. Göten återupphettas för att valsas till stålämnen. Stålämnena går vidare till valsverket för att valsas till färdiga produkter.

Metallurgi

Atomerna i stål liksom i andra metaller har en speciell ordning. Denna kan skilja sig, beroende på typ av metall och tillstånd. Den minsta del, där man kan iaktta en ordning som upprepas kallas metallens elementarcell.



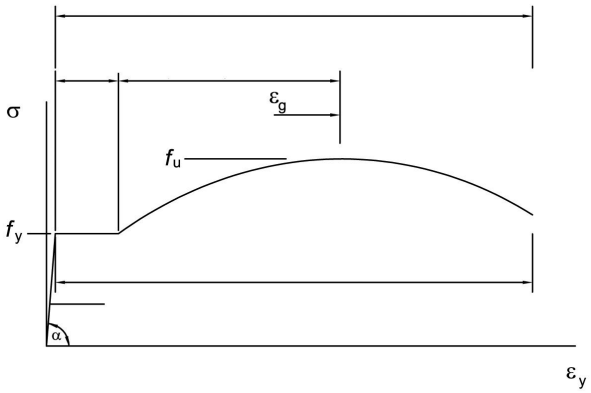
Exempel på två vanliga sådana visas i Figur a och b. Båda är kubiska. I delfigur a) befinner sig atomerna i kubens hörn och i dess centrum. Denna cell kallas kubiskt rymdcentrerad. En fas, dvs. ett tillstånd för stålet, som har denna atomordning är ferrit där cellens sida är 2,87 x 10-10 m. I delfigur b), som är mer tätpackad, är atomerna placerade i kubens hörnpunkter samt i mittpunkten på kubens sidoytor. Denna cell kallas kubiskt ytcentrerad. Fasen austenit har denna atomordning. En kristall består av en mängd elementarceller uppradade invid varandra, ett gitter. Tekniska metaller är polykristallina, det vill säga uppbyggda av en mängd kristallkorn. Dessa skiljs åt i korngränser. Även om elementarcellen är densamma i alla kornen, är gittrens orientering olika.

Stålets fysikaliska egenskaper

Ett konstruktionsstål viktigaste egenskaper är hållfasthet, seghet och svetsbarhet. Andra viktiga egenskaper är t ex bockbarhet och skärbarhet.

Arbetskurva

Flera materialegenskaper har betydelse för en stålkonstruktions verkningssätt och bärförmåga.



I princip inverkar hela sambandet mellan töjning och spänning men oftast räcker det att utnyttja följande:
• hållfastheten (sträckgräns, brottgräns)
• elasticitetsmodulen och skjuvmodulen
Figuren till vänster visar sambandet mellan töjning och spänning vid enaxlig dragning för vanligt konstruktionsstål. I ett sådant spännings-töjningsdiagram kan man avläsa flera av de storheter som är av betydelse för en konstruktions beteende och bärförmåga.

Sträckgränsen fy är det värde som i de flesta formler används som mått på materialets hållfasthet. Det är den spänning, vid vilken man börjar få stora så kallade plastiska töjningar i materialet, man säger att materialet flyter. Sträckgränsen kallas ibland också för flytspänning. Vid lägre spänningar har man mycket begränsade töjningar. Töjningen εy , som motsvarar att man når sträckgränsen, är av storleksordningen 0,1–0,3 procent beroende på hållfasthetsklassen. Att materialet flyter benämner man även plasticering. När man uppnår sträckgränsen över ett tvärsnitt säger man att det plasticeras.

Brottgränsen fu är den högsta registrerade spänningen vid ett dragprov. När man når brottgränsen har materialet töjts mycket kraftigt. För normala konstruktionsstål rör det sig om töjningar av storleksordningen 8-15 procent. Denna töjning brukar kallas gränstöjningen εg och är den största jämnt fördelade töjningen materialet klarar. Den är inte standardiserad för konstruktionsstål.

Brottförlängningen för normala konstruktionsstål är av storleksordningen 15–25 procent. Den mäts vanligen på en längd 5 gånger provstavens diameter och betecknas A5. Den innefattar en lokal töjning kring brottstället och är därför större än gränstöjningen. En tillräckligt stor brottförlängning är viktig för att konstruktionen ska få ett segt brottbeteende. Ju högre hållfasthet materialet har desto mindre brukar brottförlängningen vara. För de stål som används i byggnadskonstruktioner kan man dock räkna med att brottförlängningen är tillräckligt stor.

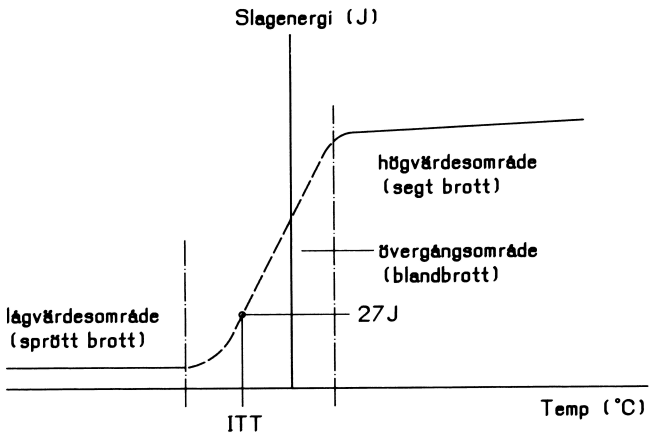
Elasticitetsmodulen E är förhållandet mellan spänning och töjning inom det elastiska området och beräknas som E=tanα, med α enligt figuren ovan. Till skillnad från flera andra av de storheter som framgår av spänningstöjningskurvan varierar elasticitetsmodulen inte med hållfastheten. Alla konstruktionsstål antas ha elasticitetsmodulen 210 000 MPa.

Skjuvmodulen G framgår inte direkt av spännings-töjningskurvan. Man kan beräkna skjuvmodulen i elastiskt område ur sambandet G = E/2(1+v). För stål är tvärkontraktionsalet v lika med 0,3 i elastiskt område, vilket innebär att G är 81 000 MPa.

Längdutvidgningskoefficienten α är 12 • 10-6 1/°C. Det värdet behöver man för att beräkna temperaturrörelser i stålkonstruktioner eller de tvångskrafter som uppstår om rörelsen är förhindrad. Man indelar konstruktionsstålen i hållfasthetsklasser efter hur hög garanterad sträckgräns de har.

Seghet

Med hänsyn till bl.a. sprödbrottssäkerhet brukar olika stålsorter indelas i kvalitetsklasser eller hellre seghetsklasser. Genom att välja rätt seghetsklass på materialet kan risken för sprödbrott elimineras. Känsligheten för sprödbrott ökar med ökande plåttjocklek. Ett kriterium som används vid indelning i seghetsklasser är slagsegheten. Slagseghetsprovning är en metod avsedd att gradera materials känslighet för sprött brottbeteende. Provningen genomförs på provstavar med kvadratisk tvärsektion, 10 x 10 mm. De är försedda med en V-anvisning. Stavarna slås av i pendelhejare vid några olika temperaturer. En typisk slagprovkurva för ett ferritiskt stål återges schematiskt i figuren till vänster. Energin avsätts på vertikal- och temperaturen på horisontal-axeln. Vid högre temperaturer, högvärdesområdet, är brottet segt och energiabsorptionen hög för att slå av staven. Brottytan får ett fibrigt eller trådigt utseende med läppbildning, som indikerar att plasticering skett. Vid låga temperaturer däremot, lågvärdesområdet, blir brottet sprött och energiabsorptionen låg. Brottytan får kristallint utseende utan spår av plasticering.



Övergången mellan låg- och högvärdesnivåerna sker inom ett temperaturintervall på, ca 20–60 grader, övergångsområdet. Man har här blandbrott. Det är av stort intresse att känna till var detta temperaturområde finns för materialet i fråga. Med omslagstemperatur ITT, Impact Transition Temperature, menas övergången till sprött brottbeteende, av hävd ofta temperaturen för energiabsorption 27 J. För stål med högre hållfasthet sätts ofta kravet på energiabsorption till 40 J. Kombinationen av material, laster, konstruktionsutformning och temperatur är avgörande för sprödbrott. I Eurokod 3-1-10 finns anvisningar för val av seghetsklass med hänsyn till dessa faktorer.

Standarder för stål

För att nå enhetlighet har man standardiserat vissa stålsorter vad beträffar fordringar på analys, materialegenskaper samt dessutom de provningsmetoder som används för bestämning av egenskaperna. Standarderna är sedan flera år gemensamma för EU och EFTA. I Sverige ges de ut som SS-EN av SIS. Notera att nu gällande terminologi är stålsort. Förr benämndes de olika stålen stålkvalitet, vilket inte bör användas. Stålsort anger hållfasthetsklass och kvalitet seghetsnivå. Svarta konstruktionsstål betecknas SXXX YY, där S står för konstruktionsstål, XXX för garanterad sträckgräns i MPa och YY för seghetsklass, t.ex. S355 NL Materialstandarden SS-EN 10025 del 1-6 gäller för varmvalsade konstruktionsstål och ersätter de tidigare standarderna SS-EN 10025+A1, SS-EN 10113, SS-EN 10155 och SS-EN 10137. Några gamla material har att utgått i den nya standarden och några har ändrat beteckning. Eurokod 3-1-1 hänvisar till den nya standarden.

Det är här även viktigt att man håller sig informerad om vad stålgrossisterna lagerlägger och därmed kan sälja med kort varsel. Även ståltillverkarna informerar gärna om moderna stål, deras tillämpningar samt leveranstider.

Övriga egenskaper

Riktvärden för några övriga fysikaliska egenskaper anges nedan:

- Densitet 7 850 kg/m3
- Längdutvidgningskoefficient 1,2
- 10-5/°C
- Värmeledningsförmåga 60 W/m°C
- Specifik värmekapacitet 450 J/kg°C
- Elasticitetsmodul 210 GPa
- Skjuvmodul 81 GPa

Fakta

En historisk tillbakablick och allmän information om stålets egenskaper.

Läs mer

Ironbridge på Unescos världsarvslista

Mer om stål på Jernkontorets hemsida

EN-beteckning	Innehåll
SS-EN 10025-1:2004	Del 1: Allmänna tekniska leveransbestämmelser
SS-EN 10025-2:2004	Del 2: Tekniska leveransbestämmelser för olegerade stål
SS-EN 10025-3:2004	Del 3: Tekniska leveransbestämmelser för normaliserade/normaliservalsade finkornstål
SS-EN 10025-4:2004	Del 4: Tekniska leveransbestämmelser för termomekaniskt valsade finkornstål
SS-EN 10025-5:2004	Del 5: Tekniska leveransbestämmelser för konstruktionsstål med förbättrat motstånd mot atmosfärisk korrosion (Corten)
SS-EN 10025-6:2004+A1:2009	Del 6: Tekniska leveransbestämmelser för platta produkter av höghållfast stål i seghärdat tillstånd