



TIBNOR

# Stålvälsguiden

En guide för att välja rätt specialstål

## Marknadens mest kompletta sortiment inom specialstål

# EN GUIDE FÖR ATT VÄLJA RÄTT SPECIALSTÅL

Den här guiden har vi tagit fram för att underlätta valet av lämpligt specialstål utifrån just dina behov. Guiden är baserad på vårt stora lagersortiment. Naturligtvis finns ytterligare stålsorter och utföranden som kan användas, men i just denna guide har vi valt att fokusera på material med hög tillgänglighet från våra lager.

Om du har andra behov som kräver ett specialstål utanför vårt lagerprogram är du varmt välkommen att kontakta oss, gärna redan på konstruktionsstadiet. På så vis kan vi från början hjälpa åt med materialval till just ditt projekt med hänsyn till analys, utförande och eventuell värmebehandling.

Guiden är inget facit utan ska i första hand ses som en användbar vägledare. I synnerhet vid val av specialstål gäller det att söka en bra balans mellan ställda krav och tillgängliga egenskaper.

Återigen, tveka inte att höra av dig till oss på Tibnor om ditt projekt kräver särskilda åtgärder som inte tas upp i den här guiden.

På följande sidor använder vi oss konsekvent av de nya EN-normerna för att beteckna stålsorter, med närmast jämförbara SS-norm angiven inom parentes.

Exempel:

- S355JR (SS 2172)
- 34CrNiMo6 (SS 2541-03/05)

## Höga krav för bästa möjliga stålval

Vi strävar alltid efter att tillsammans med våra kunder och leverantörer utveckla de bästa lösningarna för materialval, logistik och produktion. Material som bearbetas måste ha snäva toleranser och stor jämnhet för att vid bearbetningen uppträda på samma sätt leverans efter leverans. Därför är våra specifikationer till leverantörerna extra noggranna när det gäller sortimentet av specialstål.

Eftersom bearbetning ofta utgör en stor del av totalkostnaden för att ta fram en detalj är en annan viktig del av vårt erbjudande att utifrån kundens behov gemensamt öka effektiviteten. Exempelvis genom ökade möjligheter för automatisering eller förbättrad skärbarhet. Allt vi gör omfattas av vårt kvalitetsledningssystem som är certifierat enligt SS-ISO 9001:2008 och vårt miljöledningssystem som är certifierat enligt SS-ISO 14001:2004. Mer information finns på [www.tibnor.se](http://www.tibnor.se)

## Innehåll

Att välja rätt stål	4
Legeringsämnen och deras inverkan i stål	6
Val av stål baserat på kravspecifikation	8
Måttsättning och toleranser	13
Stångtoleranser	14
Rörtoleranser	16
Allmänna konstruktionsstål och mikrolegerade konstruktionsstål	17
Sätthärdningsstål (och metoder för ythärkning)	20
TOOLOX® och HARDOX®	22
Seghärdningsstål	23
Sträck/brottgränser för seghärdningsstål	25
Fjäderstål	27
Kullagerstål	28
Härdförkromad stång	29
Automatstål	30
Stränggjutjärn	31
M-Steel® för skärande bearbetning	33
Hårdhet	34
Svetsning	35
Kallformning	36
Utmattning och hur man minskar riskerna för utmattningsbrott	37
Att minska vikten på komponenter eller konstruktioner	40
Stålnormer	41
Färgmärkning	42
Certifikat	43

# ATT VÄLJA RÄTT STÅL

För att kunna välja lämpligt stål behöver du veta vilka krav som fordras av din konstruktion eller detalj. Vissa krav kan enkelt definieras medan andra är betydligt svårare att få grepp om. Till exempel kan det vara svårt att exakt fastställa belastningen som en komponent utsätts för och därmed vilka mekaniska egenskaper som fordras av stålet.

Många gånger utgår man ifrån samma materialval som använts till en tidigare, liknande detalj. Denna metod fungerar ofta bra men det kan finnas nya stålsorter och/eller utföranden som är både lämpligare och billigare.

För att du ska kunna använda dig av den här guiden behöver du först fastställa kraven som gäller för din specifika konstruktion eller detalj. Du hittar ett förslag till hur du kan gå tillväga på sidorna 8-9. Med detta som utgångspunkt ska vi först ge en kort sammanfattning av stålets vanligaste material- och bearbetningsegenskaper lösningen.

## Tillgänglighet

Vid val av lämpligt stål bör du alltid eftersträva ett som lagerhålls i de dimensioner och utföranden som är aktuella för just din applikation. Detta brukar sällan vara ett problem då vårt lagertiment omfattar i stort sett alla olika tänkbara kombinationer av egenskaper som både uppfyller ställda krav och kan levereras med kort ledtid. Om du ändå väljer ett stål utanför vårt lagerprogram är du varmt välkommen att kontakta oss för mer information rörande just denna produkt och dess ledtider, minkvantiteter och så vidare.

## Hårdhet/slitstyrka

För de vanligaste maskin- och konstruktionsstålen ökar slitstyrkan med tilltagande hårdhet. Bäst slitstyrka uppnås därför med högkolhaltiga stål som härdats till 60 - 62 HRC. Vid sådana hårdheter blir stålet relativt sprött och en ythårdning, där hård yta och en mjukare, segare kärna kombineras, kan vara att föredra. Två exempel på lämpliga ythårdningsmetoder är induktionshärdning och sätthårdning. Begreppet hårdhet och olika metoder för att mäta den diskuteras längre fram i denna guide.

## Härdbarhet

Härdbarhet avser ett ståls förmåga att bli hårt vid kylning från härdtemperaturen. Ett stål med låg härdbarhet måste kylas snabbare om det ska bli hårt. Om härdbarheten däremot är högre kan kylningen gå långsammare och/eller grövre dimensioner kan härdas. Högre halter av kol och framför allt legeringsämnen ökar härdbarheten.

Härdresultatet påverkas också av vilket kylmedel som används. Vanliga kylmedel är vatten, polymerkylmedel, olja och även luft. Snabb kylning, till exempel med vatten, visserligen ger effektiv härdning men medför större formförändringar och risk för härdsprickor.

Normalt anlöps stål som härdats i syfte att förbättra segheten och minska härdspänningar. Anlöpnings-temperaturerna kan ligga mellan 150 och 700°C. Vid seghärdning anlöps det härdade stålet vid hög temperatur, 500-700°C, vilket sänker hårdheten men förbättrar segheten avsevärt.

## Hållfasthet, sträck- och brottgräns

Sträckgränsen är relaterad till den belastning en detalj tål utan att deformeras permanent. Brottgräns avgör den maximala belastning som en detalj eller konstruktion kan utsättas för utan att helt haverera.

Grovt förenklat kan man säga att sträck- och brottgräns ökar med kolhalten. Vid en given kolhalt inverkar även vissa legeringsämnen positivt på speciellt sträckgränsen. Till exempel är sträckgränsen på stål S355J2 (SS 2172) med 0,15 % C och 1,5 % Mn i stort sett lika med den för C45E (SS 1672) med 0,45 % C. Särskilt positiv inverkan på sträckgränsen har även så kallade mikrolegeringstilsetser, till exempel niob och/eller vanadin, som i mycket små mängder (<0,1 %) medför en kraftig utskiljning härdning.

Sträck- och brottgräns påverkas positivt av värmebehandling och i synnerhet av seghärdning, vilket innebär en härdning följt av anlöpning vid förhållandevis hög temperatur. Högst hållfasthet vid seghärdning fås genom att kombinera legering med kol och tillsatser av krom (Cr), nickel (Ni) och molybden (Mo) i halter mellan 0,2 och 2 %, stundtals ännu mer.

Vid en given kol- och legeringshalt är hållfastheten mycket beroende av dimension; grövre dimensioner får en lägre hållfasthet än klenare. Detta innebär att man kan tvingas välja ett stål med högre legeringsinnehåll om man vill behålla samma hållfasthet i grova detaljer som i de som är klenare.

Utmattningshållfastheten är en viktig egenskap hos stål som definierar dess förmåga att stå emot varierande eller pulserande belastning. Denna parameter är starkt kopplad till brottgränsen och diskuteras mer i detalj i ett senare avsnitt i denna guide.

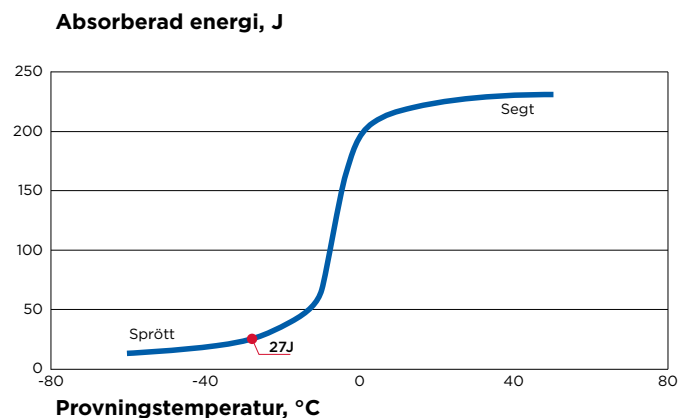
## Seghet / duktilitet

Med seghet avses stålets motståndskraft mot sprickbildning vid belastning, sprickbildning som slutligen leder till brott. Sådan sprickbildning sker med viss svårighet i ett segt stål medan ett sprött stål är desto mer benäget att spricka.

Det finns en mängd olika metoder för att mäta stålets seghet varav en del är tekniskt komplicerade. Charpy-V (KV) testet innefattar slagprovning av anvisade proppor och är en både enkel och billig metod. KV-provning av de flesta stål uppvisar vid lägre temperaturer ett omslag mellan segt och sprött brott, se diagrammet nedan. Omslagstemperaturen kan variera mellan 50 och -100°C. Ofta minskas segheten (det vill säga omslagstemperaturen höjs) då stålets hållfasthet och hårdhet ökar, även om så inte alltid är fallet. En fin mikrostruktur är positiv för både hållfasthet och seghet, seghårdning ger en optimal kombination av de båda.

Med duktilitet menas stålets förmåga att deformeras plastiskt utan att brista. Duktiliteten hos ett stål framgår av värden för förlängning (A) och areakontraktion (Z) vid dragprovning till brott. Duktilitet och seghet är i många avseende liknande begrepp och det finns ett tydligt samband mellan KV-värden vid högre temperaturer då brottet är segt och till exempel areakontraktionen vid dragprovning.

Med vissa undantag avtar duktiliteten med ökad hållfasthet. Stålets renhet är också av stor betydelse, till exempel ger höga halter av slagginneslutningar upphov till minskad duktilitet.



Schematisk omslagskurva från Charpy-V provning av ett lågkolhaltigt konstruktionsstål. Omslagstemperaturen, till exempel temperaturen då den absorberade energin är 27J, är i detta fall -28°C.

## Skärbarhet

Generellt sett så försämras skärbarheten eller lättheten att maskinbearbeta stålet i och med ökad hårdhet. Dock har lågkolhaltiga och mjuka stål en tendens att "kleta" av sig på skärverktyg vilket förkortar livslängden och leder till sämre ytor. Optimal skärbarhet får du vid hårdheter på 180 - 220 HB och för stålsorter som ger korta spån.

Skärbarheten är oftast acceptabel upp till cirka 300 HB, men stål med hårdhet upp till 450 HB kan bearbetas om skärhastigheten sänks. Bearbetning av ännu hårdare stål kräver slipning eller bearbetning i stabila maskiner med speciella verktyg.

Genom att tillsätta vissa ämnen (till exempel svavel eller bly) kan skärbarheten hos ett stål förbättras avsevärt, dock sker detta många gånger på bekostnad av andra egenskaper. Skärbarheten förbättras även genom Si/Ca-behandling, så kallad M-behandling, vilket tas upp senare i denna guide.

## Svetsbarhet

Med rätt teknik och tillsatsmaterial kan alla de stålsorter som tas upp i den här guiden svetsas, åtminstone om syftet är enbart att foga samman. Men om krav ställs på svetsteknikens enkelhet samt svetsens mekaniska egenskaper, bör kolhalten i stålet begränsas till < 0,25 % och legeringsinnehållet inte vara alltför högt. Detta innebär att höghållfasta stål och stål med hög slitstyrka är besvärligare att svetsa. Mer detaljerad information om svetsning hittar du längre fram i denna guide.

## Kallformbarhet

Ståldetaljer kan kallformas genom bland annat böckning, stukning, dragnig eller djupdragnig. Med kallformbarhet menas stålets förmåga att utstå sådan plastisk bearbetning utan att brista. Kallformbarheten är med andra ord starkt kopplat till stålets duktilitet. Generellt sett avtar kallbearbetbarheten med ökad hållfasthet, men vissa höghållfasta stål går utmärkt att kallforma med enklare metoder, som till exempel böckning eller stukning. Du hittar mer detaljerad information om kallformning senare i denna guide.

## Korrosionsskydd

En av stålets nackdelar är att grundämnet järn korroderar och bildar rost relativt lätt. Rostbildning kan ske i utomhusluft (speciellt vanligt är det nära havet eller om luftfuktigheten är hög av annan anledning), i syresatt vatten eller i jord. I samtliga fall skapas ytliga elektrokemiska celler där järnet löses upp och reagerar med syre för att bilda korrosionsprodukt (rost). Korrosionsskydd går ut på att begränsa denna elektrokemiska reaktion. Man kan bland annat olja in eller måla stålet och på så vis fysiskt förhindra dess kontakt med den omgivande miljön. Vid förzinkning täcks stålytan med zink, en metall som korroderar ännu lättare än järn. Man kan säga att zinken "offrar sig" och på så vis håller stålet skyddat. I vissa fall kan man även belägga stålets yta med en ännu mera korrosionsbeständig metall såsom krom, tenn eller nickel. Förkromning har dessutom den fördelen att kromskiktet är hårt och ökar ytans slitstyrka. Även ytbehandling genom nitrering och speciellt jonitring förbättrar både korrosionsskydd och slitstyrka.

# LEGERINGSÄMNINGEN OCH DERAS INVERKAN I STÅL

Stål är unikt bland konstruktionsmaterial. Ingen annan metall kan uppvisa sådana skiftande mekaniska egenskaper och kan användas på så många olika sätt. Stål kan göras mjukt och formbart eller hårt, höghållfast och slitstarkt. Detta suveräna omfång av egenskaper hör ihop med järnets omvandling mellan olika former och dess beroende av temperatur och kolhalt. Andra grundämnen än järn uppvisar liknande omvandlingar men vad gäller den positiva inverkan av legering med kol är järn unikt.

## Kol (C)

Legering med kol är grunden för nästan allt stål. Undantaget är vissa legeringar för speciella ändamål samt många kvaliteter av rostfritt stål där kol kan betraktas som en oönskad förorening. Kolet ökar stålets hållfasthet, dock oftast på bekostnad av en försämrad duktilitet och seghet. Om stålet ska härdas är kolets närvaro väsentlig eftersom rent järn inte kan härdas. Hårdhet och slitstyrka efter härdning ökar med ökande kolhalt vilket illustreras i diagrammet här nedanför.

## Oxidbildare: mangan (Mn), kisel (Si), aluminium (Al) och ibland även kalcium (Ca)

Vid smältning av stål förorenas stålbadet av luftens syre som är direkt skadligt och därför måste avlägsnas. Syret tas bort genom så kallad desoxidation. Det betyder att man tillsätter ämnen med högre attraktionskraft för syre än vad järn har. Mangan och kisel tillsätts så gott som alltid och om ännu kraftigare desoxidation önskas används dessutom aluminium.

Reaktionen mellan oxidbildare och syre ger upphov till slaggar i stålsmältan såsom mangansilikat och/eller aluminiumoxid. Eftersom slaggparklarna är lättare än järnet flyter merparten upp till ytan och försvinner på så vis ur smältan. En mindre mängd finns dock kvar i det färdiga stålet i form av slagginneslutningar. Kontrollen av slagginneslutningar är viktig eftersom de påverkar stålets mekaniska egenskaper, många gånger på ett negativt sätt. Desoxidation med kalcium tillsammans med kisel ger inneslutningar med en speciell sammansättning som gynnar stålets skärbarhet. Du hittar mer information i avsnittet om M-Steel®.

## Mangan (Mn)

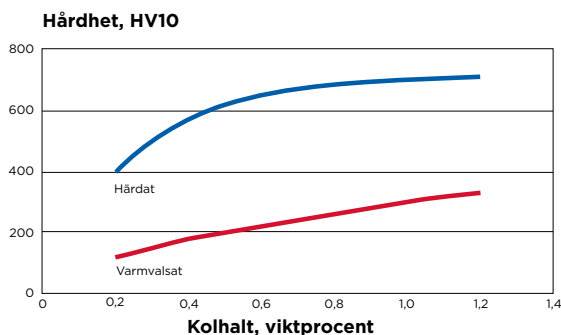
Mangan fyller flera funktioner och tillsätts i nästan alla stål i halter mellan 0,5 och 2 %. Förutom manganets funktion som desoxidationsmedel (som nämns ovan) har det en förfiningseffekt på stålets mikrostruktur som påverkar såväl hållfasthet som seghet positivt. Som exempel kan nämnas att den högre hållfastheten för S355 (SS 2172) i jämförelse med S235 (SS 1312) beror uteslutande på skillnaden i manganhalt på 1,5 % respektive 0,7 %. Mangan i kombination med en tillsats av svavel bildar inneslutningar av mangansulfid som är positiva för skärbarheten.

## Härdbarhetshöjande tillsatser: mangan (Mn), krom (Cr), nickel (Ni), molybden (Mo) och kisel (Si)

Kol höjer stålets härdbarhet men effekten räcker endast till för klen gods. För att uppnå full hårdhet vid härdning av grövre gods krävs det att stålet legeras med ämnen som förstärker kolets härdningseffekt. Som illustreras i diagrammet nedan förbättras härdbarheten av mangan, krom och i synnerhet molybden medan effekten av nickel är något svagare. Nickel förbättrar dock segheten i härdat och anlöpt stål.

Stål som är legerade med krom, molybden och nickel uppvisar i seghärdat tillstånd en svåröverträffad kombination av hållfasthet och seghet även hos mycket grovt gods. CrNiMo-stål har dessutom en så pass hög härdbarhet att full härdeffekt kan uppnås genom ganska långsam kylning, med minskad risk för dimensionsändringar och/eller härdsprickor.

Kisel har endast en måttlig härdbarhetshöjande effekt, dock innehåller vissa typer av fjäderstål höga halter av kisel.



Inverkan av kolhalt på hårdhet i varmvalsat och härdat (men ej anlöpt) tillstånd för kolstål.



Inverkan av legeringsämnen på ståls härdbarhet.

## Bor (B)

Även mycket små mängder av bor (ca 0,002 %) påverkar hårdbarheten positivt. Borstål, som förutom med bor även legeras med mangan och/eller krom, utgör till viss del ett kostnadseffektivt alternativ till dyrare stålsorter. Effekten av bor är dock begränsad och försvinner till stor del då kolhalten överstiger 0,4 %. Borstål används flitigt i applikationer som slitgods. Detaljer härdas i vatten och används oanlöp. Segheten kan bli ganska dålig men är oftast tillräcklig för att användas som just slitstål.

## Finkornbildare: niob (Nb), vanadin (V), titan (Ti) och aluminium (Al)

I svetsbara stål med låg kolhalt är förfining av strukturen det enda sättet att samtidigt höja både hållfasthet och seghet/duktilitet. Finkornbildare tillsätts i små mängder mellan 0,01-0,1 % (mikrolegering) för att hindra stålets mikrostruktur från att bli för grov i samband med varmvalsning, värmebehandling eller svetsning. Kännetecknande för dessa ämnen är att de mycket effektivt binder sig med såväl kol som kväve (en stålsmjälta tar alltid upp kväve från luften).

Vid tillsats av niob, vanadin eller titan bildas mycket små partiklar av karbider och nitrider. Dessa partiklar ger upphov till så kallad utskiljningshärdning och bidrar ytterligare till stålets hållfasthet. Speciellt vanadin är synnerligen effektiv och det har positiv inverkan oberoende

av kolhalt. Stål som mikrolegerats med vanadin får goda hållfasthetsegenskaper redan i varmvalsat tillstånd då utskiljningarna bildas under svalning efter valsning. Sådana stål fodrar ingen värmebehandling och är därmed kostnadseffektiva.

## Tillsatser som höjer skärbarhet: svavel (S), bly (Pb) och kalcium (Ca)

Tillsats av svavel i ett stål som innehåller mangan resulterar i bildning av små inneslutningar av mangansulfid. Dessa inneslutningar påverkar skärbarheten positivt och i synnerhet vid bearbetning med snabbstål. Svavel är annars för det mesta en oönskad förorening. En annan tillsats som höjer skärbarheten är bly. Automatstål som är legerade med svavel och/eller bly har sämre mekaniska egenskaper eftersom partiklarna av mangansulfid och/eller bly påverkar seghet och duktilitet negativt.

Samtidig behandling med kisel och kalcium (Si/Ca-behandling) har en mycket positiv effekt på skärbarheten utan att i någon högre grad påverka stålets övriga egenskaper negativt. Se avsnittet om M-Steel senare i guiden för mer information om detta. Effekten av Si/Ca-behandling märks mest vid höga skärhastigheter som möjliggörs med belagda skär av hårdmetall. Si/Ca-behandling kräver mycket god kontroll av ståltillverkningen, annars kan utfallet vad gäller förbättring av skärbarheten variera från smälta till smälta eller i värsta fall helt utebli.



# VAL AV STÅL BASERAT PÅ KRAVSPECIFIKATION

De krav som ställs på stål som ska användas till en specifik detalj eller konstruktion kan delas upp i följande tre kategorier:

## 1. Ekonomiska krav.

Till exempel låg kostnad för utgångsmaterial, inga fördyrande specialåtgärder eller onödigt materialspill vid framställning, låg risk för reklamationer med utbetalning av kompensation som följd. Även god tillgänglighet från lager med snabb leverans av exakt rätt kvantitet är i hög grad ett krav med ekonomiska aspekter.

## 2. Tillverkningskrav.

Det betyder att alla eventuella verkstadstekniska processer (svetsning, maskinbearbetning, kallformning, värmebehandling) ska vara enkla och kunna utföras med den tillgängliga maskinparken så tidseffektivt som möjligt.

## 3. Driftprestationskrav.

Som exempel kan nämnas styvhet, hållfasthet, utmattningsbeständighet, seghet samt slitstyrka och är alltid kopplat till användning av detaljen eller konstruktionen i fråga.

Det är många gånger svårt att förena krav från alla tre grupper. Till exempel kan det billigaste materialet med goda egenskaper gällande framställning av detaljen eller konstruktionen falla på dålig driftsprestanda.

Försök nu att sammanställa ett antal krav som stålet till din detalj eller konstruktion behöver uppfylla. För att underlätta sammanställningen kan du utgå från listan med de tre kravkategorierna, som på intet sätt är uttömmande. Du bör rangordna dina krav efter följande nivåer:

- Helt avgörande (nivå 5),
- Mycket viktiga (nivå 4),
- Ganska viktiga (nivå 3).

Till höger och på nästa sida hittar du en uppställning av olika egenskaper där olika grupper av specialstål har tilldelats ett betyg för varje egenskap och där betyg 1 är sämst och 5 bäst. Specialstål från samtliga grupper ingår i Tibnors lagerprogram och kan tillhandahållas med kort ledtid i exakt den kvantitet som behövs. Hitta den stålgrupp som motsvarar din kravprofil bäst, dock är det väldigt vanligt att man tvingas kompromissa med några av de ställda kraven. Ibland kan en värmebehandling vara nödvändig för att uppnå en viss egenskap hos stålet. I så fall påpekas detta i egenskapslistan för varje stålsort. Tänk på att en värmebehandling innebär en extra kostnad även om den utförs i egen regi.

HÅLLFASTHET Sträckgräns, brottgräns, utmattningshållfasthet	
	Betyg
Konstruktionsstål	1
Mikrolegerade stål	2
Sätthärtningsstål	2/5(*)
Seghärtningsstål	3
Hardox	4
Toolox	4
Fjäderstål	4 (**)
Kullagerstål	5 (**)
Automatstål	1
Stränggjutjärn - grå	1
Stränggjutjärn - seg	2

(\*) Kärnan/ytan efter sätthärtning  
(\*\*) Efter värmebehandling

HÄRDHET/ SLITSTYRKA	
	Betyg
Konstruktionsstål	1
Mikrolegerade stål	2
Sätthärtningsstål	5(*)
Seghärtningsstål	3
Hardox	4
Toolox	4
Fjäderstål	4 (*)
Kullagerstål	5 (*)
Automatstål	1
Stränggjutjärn - grå	2
Stränggjutjärn - seg	2

(\*) Efter värmebehandling

SLAGSEGHET	
	Betyg
Konstruktionsstål	4
Mikrolegerade stål	5
Sätthärtningsstål	3/1 (*)
Seghärtningsstål	4
Hardox	5
Toolox	3
Fjäderstål	1 (**)
Kullagerstål	1 (**)
Automatstål	2
Stränggjutjärn - grå	1
Stränggjutjärn - seg	2

(\*) Kärnan/ytan efter sätthärtning  
(\*\*) Efter värmebehandling

SKÄRBARHET	
	Betyg
Konstruktionsstål	3
Mikrolegerade stål	3 (**)
Sätthärtningsstål	3 (*)
Seghärtningsstål	2 (**)
Hardox	2
Toolox	2
Fjäderstål	2 (*)
Kullagerstål	3 (*)
Automatstål	5
Stränggjutjärn - grå	5
Stränggjutjärn - seg	4

(\*) Avser leveranstillstånd  
(\*\*) Betyget +1 om M-behandlat

SVETSBARHET	
	Betyg
Konstruktionsstål	5
Mikrolegerade stål	4
Sätthärtningsstål	3
Seghärtningsstål	2 (*)
Hardox	3
Toolox	2
Fjäderstål	1
Kullagerstål	1
Automatstål	1
Stränggjutjärn - grå	1
Stränggjutjärn - seg	1

(\*) Betyg 3 för stål 25CrMo4

KALLFORMBARHET	
	Betyg
Konstruktionsstål	4
Mikrolegerade stål	4
Sätthärtningsstål	3 (*)
Seghärtningsstål	2
Hardox	3
Toolox	2
Fjäderstål	2 (*)
Kullagerstål	2 (*)
Automatstål	1
Stränggjutjärn - grå	1
Stränggjutjärn - seg	1

(\*) Avser leveranstillstånd



TOLERANS/ YTFINNET		PRIS Avser grundmaterialet, priset är beroende även av utförande		SKALA FÖR EGENSKAPER:	SKALA FÖR PRIS:
Utförande	Betyg		Betyg		
Varmvalsat	1	Konstruktionsstål	5	(5) - mycket bra	(5) - lågt
Grovsvarvat	1	Mikrolegerade stål	4	(4) - bra	(4) - medellågt
Skalsvarvat	2	Sätthärtningsstål	3 (*)	(3) - ganska bra	(3) - medel
Kalldraget	3	Seghärtningsstål	2-3	(2) - måttligt bra	(2) - medelhögt
Komprimerad axel	3	Hardox	1	(1) - mindre bra	(1) - högt
Slipat	4	Toolox	1		
Skalat/rullpolerat (rör)	5	Fjäderstål	3 (*)		
Härdförkromat	5	Kullagerstål	2 (*)		
		Automatstål	4		
		Stränggjutjärn - grå	4		
		Stränggjutjärn - seg	3		

(\*) Kostnad för värmebehandling tillkommer

Vi tittar på ett exempel som illustrerar hur man kan gå tillväga. Låt oss förutsätta att du har kommit fram till följande kravprofil:

- Pris (nivå  $\geq 3$ )
- Hållfasthet (nivå 5)
- Skärbarhet (nivå 4)
- Slitstyrka (nivå 4).

Eftersom du anser att hållfastheten är mycket viktig utgår vi ifrån stålgrupper med hållfasthetsbetyg 4 eller 5, sätt-härtningsstål, Toolox, Hardox, fjäderstål och kullagerstål. Ett sätt att skilja mellan dessa alternativ är att tilldela varje krav en vikt, till exempel, nivå 5 har vikt 1, nivå 4 vikt 0,75 och nivå 3 vikt 0,5. Utvärderingen sammanfattas då i form av en enkel tabell.

Egenskaper/ kravnivå	Vikt	Betyg gånger vikt			
		Sätthärtningsstål	Toolox/Hardox	Fjäderstål	Kullagerstål
Pris/3	0,5	$3 \times 0,5 = 1,5$	$1 \times 0,5 = 0,5$	$3 \times 0,5 = 1,5$	$2 \times 0,5 = 1$
Hållfasthet/5	1	$5 \times 1 = 5$	$4 \times 1 = 4$	$4 \times 1 = 4$	$5 \times 1 = 5$
Skärbarhet/4	0,75	$3 \times 0,75 = 2,25$	$2 \times 0,75 = 1,5$	$2 \times 0,75 = 1,5$	$3 \times 0,75 = 2,25$
Slitstyrka/4	0,75	$5 \times 0,75 = 3,75$	$4 \times 0,75 = 3$	$4 \times 0,75 = 3$	$5 \times 0,75 = 3,75$
SUMMA		12,5	9	10	12

Som framgår erbjuder sätthärtningsstål och kullagerstål högsta sammanlagt viktat betyg. Man ska dock ha i åtanke att båda dessa ståltypen kräver värmebehandling för att kunna tilldelas betyg 5 för hållfasthet och slitstyrka. Fjäderstål måste också värmebehandlas för att klara hållfasthetsbetyg 4 men inte Hardox eller Toolox.

När du har bestämt dig för vilken typ av stål som bäst motsvarar din kravbild kan stålvalet förfinas ytterligare genom användning av följande sammanställning (se sidor 10-12) där egenskapsprofiler anges för enskilda stålsorter inom varje stålgrupp. Som tidigare har nämnts så utgår sammanställningen ifrån vårt lagerprogram. I dessa fall har även de mest framträdande negativa egenskaperna (med betyg 1 och 2) tagits med för att du ska vara medveten om eventuella nackdelar kopplade till ditt val. Dessutom specificeras vilka former, ytbeskaffenheter och toleranser som är tillgängliga (se sidor 14-16).

För den som söker ytterligare information kring en viss stålgrupp eller en specifik stålsort ges en mer detaljerad beskrivning längre fram i guiden. Där framgår förutom kemisk analys och mekaniska egenskaper även i vilka dimensioner och utföranden varje stålsort finns tillgänglig från lager.

Kontakta gärna oss på Tibnor om du har svårt att hitta ett specialstål som motsvarar din kravbild, eller om du undrar över en egenskap som inte specificeras i sammanställningen. Vi ser då till att du får den information och hjälp du behöver.

## KONSTRUKTIONSTÅL med egenskapsprofil

Mindre bra hållfasthet (1\*)  
Mycket bra svetsbarhet (5)  
Bra slagseghet (4)  
Bra kallformbarhet (4)

(\*) Kalldragna produkter 2

S355J2 (SS 2172-00)	Varmvalsad rundstång, varmvalsad platt- och fyrkantstång
S355J2G3 + N (SS 2172-01)	Varmvalsad eller grovsvarvad rundstång, normaliserad
E355 + C (SS 2172-06)	Kalldragen rundstång, komprimerad axel (#)
E355 + C (SS 2172-04)	Kalldragna svetsade rör (#)
E355 + SR (SS 2172-07)	Invändigt skalade + rullpolerade rör (‡), kalldragna

Toleranser på utgångsmaterial 3(#) eller 5(‡)

## MIKROLEGERADE KONSTRUKTIONSTÅL med egenskapsprofil:

Måttligt bra hållfasthet (2) (520M (1))  
Bra svetsbarhet (4)  
Måttligt bra slagseghet (2) (520M (4))  
Ganska bra skärbarhet (3) (520M (4))  
Bra kallformbarhet (4)

Mindre bra hållfasthet (1)  
Mycket bra skärbarhet (5)  
Mindre bra svetsbarhet (1)  
Ganska bra slagseghet (3)

Måttligt bra hållfasthet (2)  
Måttligt bra slagseghet (2)

Bra svetsbarhet (4)  
Bra skärbarhet (4)  
Ganska bra toleranser på utgångsmaterial (3)

Måttligt bra hållfasthet (2)  
Måttligt bra slagseghet (2)  
Mindre bra svetsbarhet (1)  
Mycket bra skärbarhet (5)  
Ganska bra toleranser på utgångsmaterial (3)

Ganska bra hållfasthet (3)  
Måttligt bra slagseghet (2)  
Bra svetsbarhet (4)  
Ganska bra toleranser på utgångsmaterial (3)

S450J0/280 (SS 2142)	Varmvalsad alt. svarvad (†) rundstång Centerlesslipad axel (‡)
OVAKO 280	Sömlösa ämnesrör
E470	Sömlösa ämnesrör
S355J2/520M	Varmvalsad alt. svarvad (†) rundstång

Toleranser på utgångsmaterial 2(†) eller 5(‡)

520MW+	Varmvalsad alt. svarvad (†) rundstång
--------	---------------------------------------

Toleranser på utgångsmaterial 2(†)

S355J2C/550M	Kalldragen rundstång
--------------	----------------------

550MW+	Kalldragen rundstång
--------	----------------------

OVAKO 280D	Kallbearbetade sömlösa ämnesrör
------------	---------------------------------

## SÄTTHÄRDNINGSTÅL med egenskapsprofil

Mycket bra slitstyrka (5)  
Mycket bra utmattningshållfasthet (böj/slag) (5)  
Mycket bra ythårdhet (5)  
Ganska bra slagseghet (3) (\*)  
Ganska bra svetsbarhet (3) (#)  
Ganska bra skärbarhet (3) (#)

\* Avser kärnan i sätthärdat tillstånd  
# Avser leveranstillstånd

16NiCrS4 + A (SS 2511)	Varmvalsad alt. svarvad (†) rundstång
16NiCrS4 + A (SS 2511)	Smidd rundstång (grovsvarvad)
16NiCrS4 + A + C (SS 2511)	Kalldragen rundstång (#)

Toleranser på utgångsmaterial 2(†) eller 3(#)

## TOOLOX med egenskapsprofil

Mycket bra slitstyrka (4)  
Mycket bra utmattningshållfasthet (böj/slag) (4)  
Mycket bra ythårdhet (4)  
Ganska bra slagseghet (3)  
Måttligt bra svetsbarhet (2)  
Måttligt bra skärbarhet (2)

TOOLOX	Svarvad (†) rundstång
--------	-----------------------

Toleranser på utgångsmaterial 2(†)

## HARDOX med egenskapsprofil

Bra hållfasthet (4)  
Bra utmattningshållfasthet (4)  
Bra slitstyrka (4)  
Mycket bra slagseghet (5)  
Ganska bra svetsbarhet (3)  
Måttligt bra skärbarhet (2)

HARDOX Varmvalsad rundstång (\*)

\* Kan levereras skavsvarvad med måttligt bra toleranser på utgångsmaterial (2)

## SEGHÄRDNINGSSTÅL med egenskapsprofil

Mindre bra/måttligt bra hållfasthet (1-2) (\*)  
Måttligt bra slagseghet (2)  
Måttligt bra svetsbarhet (2)  
Ganska bra skärbarhet (3)  
Bra för induktionshärdning (4)

\* Leveranstillstånd ej seghärdat (1); seghärdat tillstånd (2)

C45R Varmvalsad alt. svarvad (\*) rundstång  
(SS 1672) Centerlesslipad axel (§)

C45R Platt och fyrkant stång  
(SS 1672)

C45R + N Smidd rundstång (grovsvarvad)  
(SS 1672)

C45E + C Rund (kalldragen (#))  
(SS 1672-06)

Toleranser på utgångsmaterial 2(\*), 3(#) eller 4(§)

Ganska bra hållfasthet (3)  
Bra slagseghet (4)  
Ganska bra svetsbarhet (3)  
Bra skärbarhet (4) (om M-stål)

25CrMoS4 Varmvalsad alt. svarvad (\*) rundstång  
(SS 2225) (seghärdad)

25CrMoS4 +C +QT Kalldragen rundstång (#)  
(SS 2225) (seghärdad)

Toleranser på utgångsmaterial 2(\*) eller 3(#)

Ganska bra hållfasthet (3)  
Ganska bra utmattningshållfasthet (3)  
Bra slagseghet (4)  
Mindre bra svetsbarhet (1)  
Ganska bra skärbarhet (3) (om M-stål)  
Ganska bra slitstyrka (3)

42CrMoS4 Varmvalsad alt. svarvad (\*) rundstång  
(SS 2244) (seghärdad)

42CrMoS4 +C +QT Kalldragen rundstång (#)  
(SS 2244) (seghärdad)

Toleranser på utgångsmaterial 2(\*) eller 3(#)

Ganska bra hållfasthet (3)  
Ganska bra utmattningshållfasthet (3)  
Mycket bra slagseghet (5)  
Mindre bra svetsbarhet (1)  
Måttligt bra skärbarhet (2) (om M-stål)  
Ganska bra slitstyrka (3)

34NiCrMo6 Varmvalsad alt. svarvad (\*) rundstång  
(SS 2541) (seghärdad)

34NiCrMo6 Smidd rundstång (grovsvarvad)  
(SS 2541) (seghärdad)

34NiCrMo6 +C +QT Kalldragen rundstång (#)  
(SS 2541) (seghärdad)

Toleranser på utgångsmaterial 2(\*) eller 3(#)

## FJÄDERSTÅL med egenskapsprofil

Bra hållfasthet (4)  
Bra utmattningshållfasthet (4)  
Bra fjädringsegenskaper (resiliens) (4)  
Mindre bra slagseghet (1)  
Måttligt bra skärbarhet (2) (\*)  
Bra slitstyrka (4)

SS-EN 56SiCr7 +A Plattstång (rundkant)  
(SS 2090-00)

SS-EN 51CrV4 +A Svarvad (\*) rundstång  
(SS 2230-02)

Toleranser på utgångsmaterial 2(\*)

\* Avser leveranstillstånd. Övriga egenskaper avser härdat/anlöpt tillstånd

## KULLAGERSTÅL med egenskapsprofil

Mycket bra hållfasthet (5)  
Mycket bra utmattningshållfasthet (5)  
Mycket bra slitstyrka (5)  
Mycket bra ythårdhet (5)  
Bra eggskärpa (4)  
Mindre bra slagseghet (1)  
Ganska bra skärbarhet (3) (\*)

\* Avser leveranstillstånd (mjukglödgat)

100Cr6 Svarvad (\*) rundstång  
(SS 2258/Ovako 803) Ämnesrör

100CrMo7 Ämnesrör  
(Ovako 824)

100CrMo7-3 Svarvad (\*) rundstång  
(Ovako 825)

Toleranser på utgångsmaterial 2(\*)

## HÅRDFÖRKROMAD STÅNG med egenskapsprofil

Bra slitstyrka (låg friktion) (4)  
Ganska bra korrosionsbeständighet (3)  
Måttligt bra hållfasthet (2)  
Bra svetsbarhet (4)  
Bra slagseghet (4)  
Ganska bra skärbarhet (3)  
Mycket bra toleranser på utgångsmaterialet (5)

S450J0/Cromax  
280X Hårdförkromad rundstång  
(SS 2142) Hårdförkromat rör

Cromax 482 Induktionshärddad, hårdförkromad rund-  
stång (†)

Motstånd mot slag 5 (†)

## AUTOMATSTÅL med egenskapsprofil

Mycket bra skärbarhet (5)  
Måttligt bra hållfasthet (2) (§)  
Mindre bra svetsbarhet (1)  
Måttligt bra slagseghet (2) (\*)  
Ganska bra toleranser på utgångsmaterialet (3) (#)

§ 11SMnPb30 och 11SMn30 har mindre bra hållfasthet (1)

\* 520MW+ har ganska bra slagseghet (3)

# Avser kalldraget utförande

11SMnPb30 +C Kalldraget runt, fyrkant och sexkant  
(SS 1914-04) Skalsvarvad (\*) rundstång  
Kan sätthärdas

11SMn30 +C Kalldragen rundstång  
(SS 1912-04) Kan sätthärdas

36SMnPb14 +C Kalldragen rundstång  
(SS 1957-04 +Pb) Kan seghärdas, induktionshärddas

520MW+ Varmvalsad (\*) eller svarvad (\*) rundstång  
Kan sätthärdas, nitrerhärddas

550MW+ Kalldragen rundstång  
Kan sätthärdas, nitrerhärddas

Toleranser på utgångsmaterial 1(\*) eller 2(\*)

## GRÄJÄRN med egenskapsprofil

Mindre bra hållfasthet (1)  
Mindre bra slagseghet (1)  
Måttligt bra slitstyrka (3)  
Mycket bra skärbarhet (5)  
Mycket bra vibrationsdämpning (5)

GJL-250C (SS 0125) Stränggjuten stång, rund, fyrkant, platt

## SEJÄRN med egenskapsprofil

Måttligt bra hållfasthet (2)  
Måttligt bra slagseghet (2) (\*)  
Måttligt bra slitstyrka (3)  
Bra skärbarhet (4)  
Bra vibrationsdämpning (4)

\* GJS-400-15C har ganska bra slagseghet (3)

GJS-400-15C Stränggjuten stång, rund, fyrkant, platt  
(SS 0717)

GJS-500-7C Stränggjuten stång, rund, fyrkant, platt  
(SS 0727)

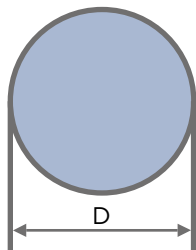
# MÅTTSÄTTNING OCH TOLERANSER

Ett rätt valt utförande har lika stor betydelse för tillverkningskostnaden som valet av lämpligt stål.

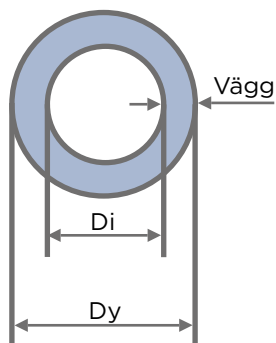
Vårt lagerprogram omfattar ett antal olika utföranden, till exempel varmvalsat, svarvat, centerlesslipat och draget. Beroende på utförande gäller olika toleranser som i regel är normerade. Vissa speciella toleranser som är framtagna för en specifik applikation kan förekomma.

Alla angivna mått i mm. Tätheten av stål är 7,85 kg/dm<sup>3</sup>.

## Stång



## Rör

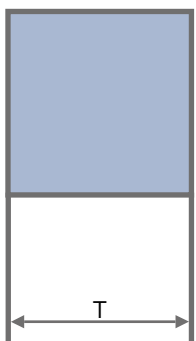


D = Nominell diameter  
Dy = Nominell ytterdiameter  
Di = Nominell innerdiameter  
Vagg = Nominell väggjocklek

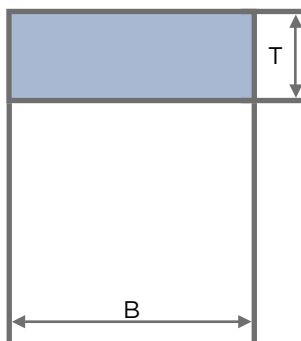
Metervikt rundstång:  
 $D^2 \times 0,006165 \text{ kg/m}$

Metervikt rör:  
 $Dy^2 - Di^2 \times 0,006165 \text{ kg/m}$

## 4-kant



## Platt

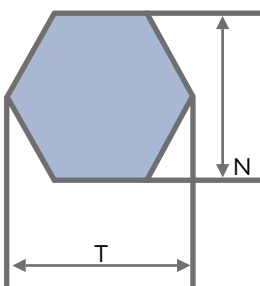


T = Nominell tjocklek  
B = Nominell bredd

Metervikt fyrkantstång:  
 $T^2 \times 0,00785 \text{ kg/m}$

Metervikt plattstång:  
 $T \times B \times 0,00785 \text{ kg/m}$

## 6-kant



Metervikt sexkantstång:  
 $N^2 \times 0,006798 \text{ kg/m}$

# STÅNGTOLERANSER

## Dimensionstolerans

- Varmvalsad stång har normalt en  $\pm$  tolerans på D, T och B. Eftersom stången krymper under svalning är toleransen mycket beroende av processkontrollen vid valsning.
- Skalsvarvad rundstång har som regel en minustolerans på D. Beroende på diameter kan denna variera mellan h12 och h15 enligt ISO 286-2.
- Grovsvarvad rundstång kan ha både en minus- och plus/minus tolerans. Mycket grova stänger svarvas till en snävare "varmvalsad tolerans" på normalt  $+3/-0$  mm.
- Slipad alt. kalldragen stång har som standard en minustolerans. För slipad stång gäller normalt h6 eller h8 och för kalldragen stång h9-h11.
- Hårdförkromad rundstång har som standard en tolerans på f7 som ryms inom h9. Toleransområde f representerar en minus/minus tolerans medan h är noll/minus.

## Rundhet

För rundstång definieras orundhet (eller ovalitet) som skillnaden mellan två vinkelräta diametermått. Denna skillnad jämförs sedan med toleransvidden för diameter.

- Varmvalsad: Rundhet får vara bättre än 75 % av toleransvidden för D.
- Svarvad: Rundhet får vara bättre än 50 % av toleransvidden för D.
- Slipad: Rundhet får vara bättre än 33 % av toleransvidden för D.
- Kalldragen: Rundhet får vara bättre än 100 % av toleransvidden för D.

Exempel: en slipad stång med  $D = 40$  mm h8 har faktisk diameter mellan 39,961 och 40,000 mm. Toleransvidden är därmed 0,039 mm och orundheten får därför vara som mest 0,013 mm (33% av 0,039 mm).

## Rakhet

Rakheten är mycket viktig, framförallt vid svarvning. Rakheten mäts som maximal pilhöjd då stången är utlagd på ett horisontellt underlag. Pilhöjden är avståndet mellan underlaget och stångbågens högsta punkt. För normalriktad, varmvalsad stång ska pilhöjden vara mindre än  $0,004 \times$  längden. Med andra ord är pilhöjden för en vanlig 6 meters stång maximalt  $6000 \times 0,004 = 24$  mm. För andra utföranden är rakheten bättre, till exempel för skalsvarvad stång där  $0,0015 \times L$  gäller och för kalldragen och slipad stång med en rakhet på  $0,001 \times L$ .

## Ytfel

Stål är en massproducerad vara och man måste räkna med att ytfel förekommer till viss grad. Större fel såsom valshud, sprickor, flakes, övervalsning eller omfattande avkolning upptäcks och åtgärdas vid tillverkning. Däremot kan levererat material, speciellt i valstillstånd, fortfarande dras med mindre fel vilket måste beaktas vid beräkning av bearbetningspålägg. Ytfel förekommer till mindre grad på till exempel skalsvarvad eller slipad stång eftersom valsytan har bearbetats bort. Däremot kan ytfel härrörande från den varmvalsade stången finnas kvar på en dragen stång. Omfattning och storlek på ytfel som kan finnas på varmvalsade stålstänger specificeras i SS-EN 10221.

## Inre fel

Håligheter, större slagger, segringar, pipes med mera kontrolleras av ståltillverkaren genom ämnesprov och/eller ultraljudsprovning på färdig produkt. En viss grad av segring och mindre slagginneslutningar är normala inslag i allt stål och har många gånger ingen betydelse vid användning.

Ange gärna om du har några speciella önskemål kring förekomst av slagginneslutningar eller inre fel i stålet. Det gör du såväl vid förfrågan som vid beställning, helst med referens till lämpliga normer (till exempel SS-EN 10247 om det gäller stålets innehåll av slagginneslutningar).

## Varmvalsad rund- och fyrkantstång (SS-EN 10060 resp. 10059)

Diameter (runt), mm		Tolerans (*)	Kantlängd (fyrkant), mm		Tolerans (*)
Större än	t o m		Större än	t o m	
5,5	15	± 0,4	5,5	15	± 0,4
15	25	± 0,5	15	25	± 0,5
25	35	± 0,6	25	35	± 0,6
35	50	± 0,8	35	50	± 0,8
50	80	± 1,0	50	90	± 1,0
80	100	± 1,3	90	100	± 1,3
100	120	± 1,5	100	120	± 1,5
120	160	± 2,0	120	150	± 1,8
160	200	± 2,5			
200	290	± 3,0			

\* Toleransklass "normal", samtliga toleransangivelser är i mm om inte annat anges.

## Varmvalsad platt- och universalstång (SS-EN 10058 resp. DIN 59200)

Bredd, mm		Tolerans	Tjocklekstolerans						
Större än	t o m		Tjocklek ≤ 20 mm		> 20 - 40			> 40	
-	40	± 0,75	± 0,5		± 1,0			-	
40	80	± 1,0	± 0,5		± 1,0			± 1,5	
80	100	± 1,5	± 0,5		± 1,0			± 1,5	
100	120	± 2,0	± 0,5		± 1,0			± 1,5	
120	150	± 2,5	± 0,5		± 1,0			± 1,5	
			< 10 mm	10 - < 20	20 - < 25	25 - < 30	30 - < 40	40 - < 50	50 - < 60
150	400	± 2%	-0,4/+0,6	0,4/+0,8	-0,5/+0,9	-0,6/+1,0	-0,7/+1,1	-0,9/+1,1	-1,0/+1,2

## Skal- och grovvarvad rundstång (ISO 286-2 - toleransangivelser i millimeter)

Diameter, mm		Tillstånd	Tolerans (gränsvärd)
fr o m	t o m		
20	30	skalsvarvad	h12 +0,00/-0,21
>30	50	"	h12 +0,00/-0,25
>50	80	"	h12 +0,00/-0,30
>80	100	"	h12 +0,00/-0,35
>100	120	"	h13 +0,00/-0,54
>120	135	"	h13 +0,00/-0,63
>135	175	"	h14 +0,00/-1,00
>175	225	"	h14 +0,00/-1,15
>225	250	"	h15 +0,00/-1,85
>250	300	"	h15 +0,00/-2,10
>300		grovvarvad	+3,0/-0,0

## Dragen, slipad och hårdförkromad stång (toleransangivelser i millimeter)

Nominell dimension, mm	Tolerans enligt ISO 286-2 (*)					
	h6	h8	h9	h10	h11	f7
> 6 - ≤ 10	-0,009	-0,022	-0,036	-0,058	-0,090	-0,013/-0,028
> 10 - ≤ 18	-0,011	-0,027	-0,043	-0,070	-0,110	-0,016/-0,034
> 18 - ≤ 30	-0,013	-0,033	-0,052	-0,084	-0,130	-0,020/-0,041
> 30 - ≤ 50	-0,016	-0,039	-0,062	-0,100	-0,160	-0,025/-0,050
> 50 - ≤ 80	-0,019	-0,046	-0,074	-0,120	-0,190	-0,030/-0,060
> 80 - ≤ 120	-0,022	-0,054	-0,087	-0,140	-0,220	-0,036/-0,071
>120 - ≤ 180	-0,025	-0,063	-0,100	-0,160	-0,250	-0,043/-0,083

\* "h" toleransvidder är negativt fördelade från den nominella dimensionen, t ex 40 mm h9 betyder att diametern ligger mellan 39,938 och 40,000 mm. För f7 är såväl den övre som den undre gränsen av toleransvidden negativ så 40 mm f7 motsvarar 39,950-39,975 mm.

## Stångprodukter med ovanstående toleranser:

h6	h8	h9	h10	h11	f7
Slipad, stålsort 280	Slipad, stålsort C45E	Dragen rund, automatstål, kompr. axel	Dragen rund, seghärdade och sätthärdningsstål	Dragen fyrkant och sexkant	Härdförkromad

# RÖRTOLERANSER

## Rakhet

Maximal pilhöjd varierar beroende på utförandet men är högst 1 mm på en mätlängd av 1 m (1000 x 0,001).

## Rundhet

Maximal tillåten ovalitet är 65 % av toleransvidden för Dy.

## Invändigt rullpolerade cylinderrör

Har en H-tolerans (en plus/0 tolerans) på Di med standard H8. Rörens Dy-tolerans svarar mot EN 10305-1.

## Maximalt färdigmått

Maximalt färdigmått på rör beror på om röret är uppsatt med inner- eller yttercentrering vid bearbetning. Det garanterade färdigmåttet gäller då för en längd som är beroende på Dy.

## Kallvalsade rör

Kallvalsade rör har en Dy-tolerans på +0,6/-0 mm och maximal rakhetsavvikelse på 1 mm över längden 1 m (1000 x 0,001).

Vägg	Max. vägg variation
<6 mm	0,7 mm
6-8 mm	0,8 mm
>8 mm	0,9 mm

## Ytfel

Rören ska ha släta ytor. Upphöjningar, fördjupningar och grunda längsgående sprickor tillåts så länge deras djup inte överskrider toleransgränsen för Dy.

## Varmvalsade ämnesrör (SS-EN 10294-1 - toleransangivelser i millimeter)

Stålsort	Dy, mm	Dy tolerans	Vägg, mm	Väggtolerans	Färdigmåttslängd (#)
Ovako 280 (*)	≤ 80 mm	± 0,4	< 12 mm	± 0,7	2,5 x Dy
	> 80 mm	± 0,5 % av Y D	≥ 12 mm	± 5 % av vägg + 0,1	
E470	≤ 75 mm	± 0,5	≤ 15 mm	± 12,5 % eller 0,4 (*)	3 x Dy
	> 75 - ≤ 180 mm	± 0,75	> 15 mm	± 10 %	
	> 180 mm	± 1 %	≤ 30 mm > 30 mm	± 12,5 % ± 10 %	

## Kallbearbetade ämnesrör (toleransangivelser i millimeter)

Stålsort	Dy, mm	Dy tolerans	Vägg, mm	Väggtolerans	Färdigmåttslängd (#)
Ovako 280D	< 40 mm	+ 0,30/-0	< 6 mm	± 0,30	2,5 x Dy
	≥ 40 - 80 mm	+ 0,35/-0	≥ 6 - 8 mm	± 0,35	
	≥ 80 mm	+ 0,40/-0	≥ 8 mm	± 0,40	

## Kalldragna hydrauliska cylinderrör (I D toleranser enligt ISO 286-2, angivelser i millimeter)

RTU "ready-to-use" svetsade rör (Dy)	Dy tolerans	Di tolerans H10	Skalade-rullpolerade sömlösa rör (Di)	Dy tolerans (*)	Di tolerans H8
> 30 - ≤ 50 mm	Enligt SS-EN 10305-2	-0/+0,100	> 30 - ≤ 50 mm	Enligt SS-EN 10305-1	-0/+0,039
> 50 - ≤ 80 mm	"	-0/+0,120	> 50 - ≤ 80 mm	"	-0/+0,046
> 80 - ≤ 120 mm	"	-0/+0,140	> 80 - ≤ 120 mm	"	-0/+0,054
			> 120 - ≤ 180 mm		-0/+0,063
			> 180 - ≤ 250 mm	"	-0/+0,072



# ALLMÄNNA KONSTRUKTIONSTÅL OCH MIKROLEGERADE KONSTRUKTIONSTÅL

Allmänna konstruktionsstål används för både svetsade och icke-svetsade konstruktioner med måttliga hållfasthetskrav. Om din detalj eller konstruktion kräver högre hållfasthet ska du i stället välja ett mikrolegerat stål. Båda ståltyper har en anpassad sammansättning som gör att de i de flesta fall kan svetsas utan förvärmning. Mikrolegering höjer både sträck- och brottgräns vilket gör att det i vissa fall räcker med klenare dimensioner av mikrolegerat stål utan att göra avkall på eventuella hållfasthetskrav. På så vis kan en lägre konstruktionsvikt uppnås (viktbesparing behandlas utförligare i ett senare avsnitt av guiden). Ett mikrolegerat konstruktionsstål har normalt en lika hög sträckgräns som ett maskinstål.

Vissa svårigheter kan uppstå vid skärande bearbetning av konstruktionsstål i form av löseggsbildning med anknytande verktygsförslitning och undermålig ytkvalité samt svårhanterlig spånbildning. För att förbättra skärbarheten finns nu dessa stål i M-utförande från Ova-ko. M-behandling innebär att stålet får en mycket god skärbarhet utan att andra egenskaper påverkas negativt i större utsträckning. Se även avsnittet om M-Steel® för mer information.

Många gånger levereras allmänna konstruktions- och mikrolegerade stål i varmvalsat tillstånd med riktning som enda efterbehandling. Grova dimensioner kan dock vara normaliserade i syfte att förfina strukturen och förbättra slagsegheten.

Stål som kallbearbetats används normalt i sitt leveranstillstånd. Bearbetning genom dragning eller kallvalsning ger en förhöjd hållfasthet och den färdiga stången eller det färdiga röret får en bättre tolerans. Även skärbarheten förbättras något genom kallbearbetning.

Kallbearbetning medför restspänningar vilka varierar kraftigt mellan sektionens yta och centrum. Risk för formförändringar vid efterföljande bearbetning finns därför, speciellt hos långa detaljer som kan bli krokiga. Vid svetsning av kallbearbetat material kan värmeförloppet leda till sänkt hållfasthet intill svetsen. Därför bör svetsar i största möjliga mån placeras där belastningen på den färdiga detaljen är som lägst.



Stålsort	Typisk analys %	Tillstånd	Godstjocklek mm	Mekaniska egenskaper				
				Draghållfasthet SS-EN 10002-1			Hårdhet SS-EN ISO 6506-1	Slagseghet SS-EN ISO 148-1
				Re* N/mm <sup>2</sup> min	Rm N/mm <sup>2</sup>	A % min	HB	KV min 27 J vid °C
<b>S355J2</b> <b>#S355J2G3+N</b> <b>+S355J2C+C</b> <b>(SS 2172)</b> Kan sätt- eller nitrerhärddas	C 0,18 Si 0,30 Mn 1,50 S 0,030  CEV % max >40-150 0,45 >150-250 0,47 >250 0,49 0,52	<b>Varmv. stång</b> (finns som rund, fyrkant eller platt)	- 16	355	470 - 630	22	140-200	-20
			>16 - 40	345	470 - 630	22	140-200	-20
			>40 - 63	335	470 - 630	21	140-200	-20
			>63 - 80	325	470 - 630	20	140-200	-20
			>80 - 100	315	470 - 630	20	140-200	-20
			>100 - 150	295	450 - 600	18	140-200	-20
		<b>Norm. stång#</b> (grovsvavrad)	>150 - 200	285	450 - 600	17	140-200	-20
			>200 - 290	275	450 - 600	17	140-200	-20
			150 - 200	285	450 - 630	17	207 max	-40
		<b>Kalldr. stång†</b> (komprimerad axel)	>200 - 250	275	450 - 630	17	207 max	-40
			>250 - 505	260	450 - 630	16	207 max	-40
			>5 - 16	490	600 - 850	9	190 - 250	
			>16 - 40	460	600 - 820	9	185 - 240	
<b>E355+C</b> (SS 2172)	C 0,18 Si 0,30 Mn 1,50 S 0,020	<b>Kalldr. svetsade rör</b> ("RTU")	>40 - 63	400	580 - 800	10	180 - 230	
			>63 - 100	375	550 - 740	11	175 - 220	
			2 - 5	590	650 min	10	≈200	
<b>E355+SR</b> (SS 2172)	C 0,18 Si 0,30 Mn 1,50 S 0,030	<b>Kalldr. sömlösa rör</b> (skalade-rullpo-lerade)	>16 - 40	460	600 - 820	9	185 - 240	
			5 - 15	520	580 min	15	≈200	
<b>280/S450JO</b> (SS 2142) Kan sätt-, nitrer- eller seghärddas	C 0,18 Si 0,35 Mn 1,50 S 0,025 V 0,10 Al-finkornbe-handlat	<b>Varmv. stång</b> (finns även som slipad)	- 80	450	580-750	19	180 - 230	
			>80 - 160	410	580-750	19	180 - 230	
			>160 - 185	380	580-750	19	180 - 230	
		<b>Norm. stång</b>	- 16	390	490-630	20	140 - 200	-20
			>16 - 35	380	490-630	20	140 - 200	-20
			>35 - 50	370	490-630	20	140 - 200	-20
>50 - 70	360	490-630	20	140 - 200	-20			
<b>Ovako 280</b> Kan sätt-, nitrer- eller seghärddas	C 0,18 Si 0,30 Mn 1,50 S 0,025 Cr 0,25 V 0,10 Al-finkornbe-handlat	<b>Varmv. rör</b>	≤ 25	500	670 min	20	≈225	
			> 25	470	640 min	20	≈220	
		<b>Norm. rör</b>	≤ 15	430	600 min	25	≈190	-40
			15 - 25	400	580 min	25	≈185	-40
		<b>Seghärddade rör</b>	> 25	380	560 min	25	≈180	-40
			≤ 30	600	700 min	20	≈250	-40
<b>E470</b> Kan sätt-, nitrer- eller seghärddas	C 0,20 Si 0,30 Mn 1,50 S 0,030 V 0,12 Al-finkornbe-handlat	<b>Varmv. rör</b>	≤ 16	470	650 min	17	≈225	
			17 - 25	460	620 min	17	≈220	
			26 - 40	430	600 min	17	≈190	
			41 - 50	430	550 min	17	≈180	
<b>Ovako 280D</b> Kan seghärddas		<b>Kalldr. rör</b>	5-14	740	760 min	10	≈ 250	

\* R<sub>eH</sub> eller om markerad sträckgräns ej förekommer, 0,2% förlängningsgräns, R<sub>p0,2</sub>

Blått: ej lagerstandard

Stålsort	Typisk analys %	Tillstånd	Godstjocklek mm	Mekaniska egenskaper				
				Draghållfasthet SS-EN 10002-1			Hårdhet SS-EN ISO 6506-1	Slagseghet SS-EN ISO 148-1
				$R_{e}^{*}$ N/mm <sup>2</sup> min	$R_{m}$ N/mm <sup>2</sup>	A % min	HB	KV min 27 J vid °C
<b>520M (S355J2+N)</b> Kan sätt- eller nitrerhärddas	C 0,18 Si 0,30 Mn 1,50 S 0,030 V 0,07 M-behandlat CEV % max -30 0,45 >30-150 0,47 >150-250 0,54	Norm. valsad stång	≤ 40	380	520 - 630	22	≈180	-40
			>40 - 63	380	520 - 630	21	≈180	-40
			>63 - 100	380	520 - 630	20	≈180	-40
			>100 - 180	350	500 - 630	20	≈180	-20
			>180 - 200	350	450 - 630	17	≈160	-20
			>200 - 250	275	450 - 630	17	≈160	-20
<b>520MW+</b> Kan sätt- eller nitrerhärddas	C 0,18 Si 0,30 Mn 1,50 S 0,15 V 0,07 M-behandlat	Norm. valsad stång (finns även som skalsvarvad)	25 - 70	380	490 - 630	22	150 - 200	-20
			>70 - 90	350	490 - 630	20	150 - 200	-20
			>90 - 200	350	490 - 630	20	150 - 200	0
<b>550M (S355J2C + C)</b> Kan sätt- eller nitrerhärddas	C 0,18 Si 0,30 Mn 1,50 S 0,030 V 0,07 M-behandlat CEV % max -30 0,45 >30-55 0,47	Kalldr. stång	20 - 55	500	550 - 750	12	≈200	+20
<b>550MW+</b> Kan sätt- eller nitrerhärddas	C 0,18 Si 0,30 Mn 1,50 S 0,15 V 0,07 M-behandlat	Kalldr. stång	20 - 55	500	550 - 750	12	≈200	+20

\* ReH eller om markerad sträckgräns ej förekommer, 0,2% förlängningsgräns, Rp0,2.

## Värmebehandling av konstruktionsstål och mikrolegerade stål

Dessa ståltypen är i första hand avsedda för leverans och användning i varmvalsat eller kalldraget tillstånd. Ibland finns dock behov av värmebehandling för att erhålla vissa egenskaper. Betingelserna som då gäller är:

<b>Varmsmidning</b>	900 - 1200°C	Svalning fritt i luft.
<b>Normalisering</b>	900 - 930°C	Hålltid vid temperatur 15-20 min. Svalning fritt i luft.
<b>Seghårdning</b>	Hårdning: 900 - 930°C Anlöpning: 550 - 600°C	Hålltid vid temperatur 15-30 min. Kylning i vatten eller polymer kylmedel. Luftsvaning
<b>Avspänningsglödning</b>	550 - 600°C	Hålltid vid temperatur 1-2 tim. Fördröjd svalning.
<b>Sätthårdning</b>	Uppkolning: 850 - 950°C	Temperatur och tid anpassas till uppkolningsmedium och önskat härdjup.
	Hårdning: 800 - 850°C Anlöpning: 150 - 200°C	Kylning i vatten, olja eller etappbad. Luftsvaning

# SÄTTHÄRDNINGSTÅL (OCH METODER FÖR YTHÄRDNING)

Sätthärdningsstål har låg kolhalt och levereras i mjukglödgat tillstånd. Därför är de enkelt att maskinbearbeta. Den avsedda detaljen bearbetas först för att sedan sätthärdas och slipas till färdiga mått. Sätthärdningsstål används till komponenter som kräver till synes motstridiga egenskaper som seghet och slitstyrka, motstånd mot slagpåkning samt god utmattningshållfasthet.

Vid sätthärdning värms stålet i ett uppkolande medium med hög kolaktivitet som oftast består av en gasblandning innehållande kolväteföreningar. Kolet som frigörs från gasblandningen diffunderar in i stålet till ett visst djup beroende av tid och temperatur. Efter uppkolningen härdas detaljerna och på så vis fås en kombination av ett hårt och slitstarkt ytskikt med seg kärna. Ytkolhalten ligger normalt mellan 0,8 och 1,0 % så att en ythårdhet på > 60 HRC kan uppnås. Härdjupet, mellan 0,2 och 1,5 mm, styrs av uppkolningstemperatur, tid och kolaktivitet (d v s vilket medium som används). Man kan förkorta uppkolningstiden genom att välja ett stål med högre grundkolhalt, då finns dock risk för att kärnegenskaperna blir sämre.

Sätthärdade detaljer kombinerar god allmän hållfasthet med utmärkt utmattningsmotstånd. Vid härdning skulle det uppkolade ytskiktet ta upp en större volym om inte det var förbundet med kärnan, vilket resulterar i att höga tryckspänningar bildas i härdskiktet. För att utmattningsprickor ska uppstå krävs dragspänningar, därför är denna spänningsbild gynnsam ur ett utmattningsperspektiv. Då det uppkolade ytskiktet härdas uppstår en annan effekt av volymtillväxten i form av en dimensionsförändring vars omfattning beror på detaljens utformning och som kan bli ganska stor. Vid större krav på måttolerans måste detaljen slipas efter härdning. Formförändringen är även beroende på svalningshastigheten och är därför mindre för ett stål som kan härdas i olja, som 16NiCrS4 (SS 2511) än med ett vattenhärdande såsom S355J2 (SS 2172).

Karbonitrering liknar sätthärdning men förutom kol tillförs även kväve till stålytan. Vad avser härdning är effekterna av kol och kväve additiva och gör att ett enklare stål som normalt skulle vattenhärdas kan kylas i olja vilket påverkar formstabiliteten positivt.

Nitrering sker vid lägre temperatur än sätthärdning och är en process där kväve förmås diffundera in i stålets yta. Till skillnad från sätthärdning krävs inga efterföljande härdningssteg eftersom härdeffekten från kväve uppnås direkt. Nitrering kan ske i gas (ammoniak), saltbad eller genom jonitrering. Vid gasnitrering kan man blanda ammoniak med kolväten och utöver kväve även tillföra en viss mängd kol. Denna process kallas för nitrokarburering.

Nitrerade skikt uppvisar hög hårdhet och slitstyrka. Andra positiva effekter är låg friktion samt förbättrat korrosionsskydd. Dessutom är formförändringen vid nitrering mycket mindre än vid sätthärdning. Även stålets förmåga

att stå emot utmattning förbättras, dock inte lika mycket som vid sätthärdning.

Vid jonitrering bildas en plasma mellan godset och väggen i en nitrerkammare som är fylld med kvävgas. Godset bombarderas med högaktiva kvävejoner och kvävet förenar sig med stålet på samma sätt som i andra nitreringsmetoder. Jonitrering sker vid betydligt lägre temperaturer än i andra nitreringsprocesser. Det betyder att formförändringar är mycket små samtidigt som processen tillåter en noggrannare kontroll för att optimera ytskiktets seghet och korrosionsskydd.

Nitrering görs på fullt färdiga detaljer som sista arbetsmoment. Ytfinheten efter jonitrering är i stort sett densamma som på ingående gods. Detaljer som nitreras med andra metoder kan behöva en lätt putsning om applikationen kräver en mycket fin yta.

Ythårdheten efter nitrering ökar med stålets legeringsinnehåll. Nedan anges några exempel på typiska hårdhetsutfall efter jonitrering.

Stålsort	Yta HV1*	Kärna HV10*
C45E (SS 1672)	490	180
S450J0/280 (SS2142)	650	200
42CrMoS4 (SS 2244)	650	300
16NiCrS4 (SS 2511)	730	175
34CrNiMo6 (SS 2541)	650	290

\*Se avsnittet om hårdhet senare i guiden.

Det kan noteras att efter nitrering får S450J0/280 samma ythårdhet som stålsorter med betydligt högre legeringsinnehåll. Detta beror på att stålet innehåller vanadin som (trots den ringa mängden) är en mycket stark nitridbildare och därför bidrar till en hög ythårdhet. Även det faktum att stålet har ca 1,5 % mangan är gynnsamt för ythårdheten.

Finkorneffekten som härrör från vanadin gör S450J0 mycket lämpligt för ytbehandling även genom sätthärdning.

För sätthärdningsstål är även grundhärdbarheten en viktig faktor då den avgör kärnegenskaperna efter härdning och anlöpning. Den anges normalt i form av ett Jominy-diagram där hårdheten avläses på en provstav som härdats genom kylning med vatten i ena änden enligt en standardiserad procedur.

Härddjup är en väsentlig parameter för alla ythärdningsmetoder. Normalt definieras härddjupet som avstånd i millimeter från ytan till den position där hårdheten har fallit till en viss nivå.



Ythärdningsmetod	Hårdhetsnivå som definierar härddjupet
Sätthärdning:	≥550 HV1
Karbonitrering:	≥550 HV1
Nitrering:	≥400 HV1
Induktionshärdning:	≥400 HV1

Stålsort	Typisk analys %	Tillstånd	Godstjocklek mm	Mekaniska egenskaper				
				Draghållfasthet SS-EN 10002-1			Hårdhet SS-EN ISO 6506-1	Slagseghet SS-EN ISO 148-1
				R <sub>e</sub> * N/mm <sup>2</sup> min	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	A % min	HB	KV min 27 J vid °C
16NiCrS4 +HL (SS 2511)	C 0,16 Si 0,30 Mn 0,80 S 0,030 Cr 0,80 Ni 1,00	Kalldr. stång	12 - 20	500 <sup>†</sup>	625 - 750 <sup>†</sup>	10 <sup>†</sup>	200 - 240	
		Varmv. stång (M-behandlad, skalsvarvad)	>20 - 290				217 max <sup>‡</sup>	
		Smidd stång (grovsvarvad)	≥300 - 430				217 max <sup>‡</sup>	
		M-behandlat Al-finkornbe-handlat						

\* R<sub>eH</sub> eller om markerad sträckgräns ej förekommer, 0,2% förlängningsgräns, R<sub>p0,2</sub>.

<sup>†</sup> Typiska värden, ej garanterade.

<sup>‡</sup> Mjukglödgat tillstånd (+A enligt SS-EN ISO 683-3).

För information om andra stål som är lämpliga för sätthärdning, se avsnitten konstruktionsstål/mikrolegerade stål samt automatstål.

### Värmebehandling av sätthärdningsstål

Varmsmidning	900 - 1 200°C	Från 1000°C, snabb uppvärmning. Hålltid endast till full genomvärmning. Svalning fritt i luft.
Normalisering	860 - 890°C	Hålltid vid temperatur 15 - 20 min. Svalning fritt i luft. Behandlingen görs för att uppnå finkorning mikrostruktur innan sätthärdning.
Glödning	600-670°C Anlöpning: 550 - 600°C	Hålltid vid temperatur 2 tim. Fördröjd svalning i luft eller ugn. Luftsvälning
Sätthärdning	Uppkolning: 850 - 950°C	Temperatur och tid anpassas till uppkolningsmedium och önskat härddjup.
	Glödning: 650 - 700°C.	Utförs om godset måste maskinbearbetas efter sätthärdning.
	Härdning: 800 - 850°C Anlöpning: 150 - 200°C	Kylning i vatten, olja eller etappbad. Luftsvälning

Stålets analys anpassas så att härdbarhetskravet "+HL" i SS-EN ISO 683-3 uppfylls.

### Härdbarhet enligt Jominy (se SS-EN ISO 683-3)

	Avstånd*, mm	1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40
16NiCrS4/	HRC max	44	43	40	38	36	34	32	30	28	26	25	24	24
SS2511-08	HRC min	39	36	33	29	27	25	23	22	20	-	-	-	-

\*Från den kylda ändytan.

# TOOLOX® OCH HARDOX®

Med erfarenhet från mer än 40 år är SSAB ledande för höghållfasta härdade och anlöpta plåtprodukter och varumärken Hardox och Strenx är kända över hela världen. Sedan 2002 har man marknadsfört även Toolox, en plåtprodukt för verktygsapplikationer.

Nu finns Toolox och Hardox som rundstång med exakt samma förmånliga egenskaper som motsvarande produkter i form av plåt.

Kännetecknande för Toolox och Hardox är att de levereras härdad och anlöpt till mycket hög hållfasthet med typiska nivåer för brottgräns av 1 450 respektive 1 350 N/mm<sup>2</sup>. Trots den höga hållfastheten är stålen förhållandevis låglegerade vilket betyder att såväl skärbarhet som svetsbarhet är ändå ganska bra. Dessutom när hänsyn tas till den höga hårdheten uppvisar båda produkter god slagseghet.

Den höga hållfastheten av Toolox och Hardox kan utnyttjas för att öka prestandan hos en konstruktion speciellt vad avser utmattningsmotståndet. Alternativt kan man sänka vikten med bibehållen prestanda. Goda utmattningsegenskaper främjas dessutom av stålets höga renhetsgrad, det vill säga låg halt av icke-metalliska inneslutningar, som uppnås tack vare noggrann process kontroll vid ståltillverkning.

Såväl Toolox som Hardox lämpar sig väl för ytbehandling genom nitring som medför ett hårdskikt med ännu högre hårdhet, låg friktion och ett visst korrosionsskydd.

Stålsort	Typisk analys %	Tillstånd	Godstjocklek mm	Mekaniska egenskaper				
				Draghållfasthet SS-EN 10002-1			Hårdhet SS-EN ISO 6506-1	Slagseghet SS-EN ISO 148-1
				R <sub>e</sub> * N/mm <sup>2</sup>	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	A %	HB	KV min J vid °C
Toolox 44 Kan nitrerhärdas	C 0,32 Si 0,80 Mn 0,80 S < 0,002 Cr 1,35 Ni 0,80 Mo 0,80 V 0,14  Al-finkornbehandlat	Varmv. stång härdad/anlöpt skalsvarvad	21 - 121	1300 <sup>†</sup>	1450 <sup>†</sup>	13 <sup>†</sup>	410 - 475	18 @ 20 <sup>□</sup>
Hardox 400 Kan nitrerhärdas	C < 0,32 Si < 0,70 Mn < 1,60 S < 0,010 Cr < 1,40 Ni < 1,50 Mo < 0,60 B < 0,004 CEV < 0,60%  Al-finkornbehandlat	Varmv. stång härdad/anlöpt	30 - 70	1100 <sup>†</sup>	1350 <sup>†</sup>	15 <sup>†</sup>	370 - 430	45 @ -40

\* R<sub>eH</sub> eller om markerad sträckgräns ej förekommer, 0,2% förlängningsgräns, R<sub>p0,2</sub>

† Typiska värden, ej garanterade.

□ I tvärriktning

# SEGHÄRDNINGSTÅL

Seghärtningsstål används i applikationer där en god kombination av hållfasthet och seghet krävs. De låglegerade seghärtningsstålen levereras värmebehandlade. Generellt så klarar seghärtningsstål högre statisk och varierande belastning än maskinstål och andra konstruktionsstål. Det gör seghärtningsstål till ett intressant alternativ om man önskar minska vikten av en detalj eller konstruktion som inte ska svetsas.

Det enda seghärtningsstålet som går att svetsa med ett något så när enkelt förfarande är 25CrMoS4 (SS 2225). Övriga låglegerade seghärtningsstål med högre kolhalt uppvisar endast begränsad svetsbarhet. Om nu svetsning är nödvändig bör man vara uppmärksam över förändringar i den av svetsen värmepåverkade zonen. Närmast svetsen kommer stålet att omhärddas och blir därmed sprödare. Längre ifrån svetsen finns ett område, där temperaturen har varit högre än använd anlöpning temperatur och där hållfastheten kan ha sjunkit. Svetsar bör därför läggas på ställen där belastningen är låg. Om inte detta nu är möjligt kan man överväga att åter härda och anlöpa den färdigsvetsade detaljen.

Skärande bearbetning av seghärtningsstål kan vara besvärligt och leder lätt till en snabb verktygsförslitning även om man sänker skärhastigheten. Med M-behandling kan stora förbättringar av skärbarheten åstadkommas utan att övriga egenskaper försämras i större utsträckning. Detta tas upp i ett separat avsnitt senare i denna guide. Seghärtningsstålen som lagerförs av oss på Tibnor har som regel M-utförande.

Som tidigare nämnts levereras seghärtningsstål i härdad och anlöpt tillstånd. Ytterligare värmebehandling är normalt inte nödvändigt. Undantaget är C45E/R där lagerstandard är varmvalsat tillstånd och en eventuell seghärtning måste utföras på den färdigbearbetade detaljen.



Stålsort	Typisk analys %	Tillstånd	Godstjocklek mm	Mekaniska egenskaper					
				Draghållfasthet SS-EN 10002-1			Hårdhet SS-EN ISO 6506-1	Slagseghet SS-EN ISO 148-1	
				Re* N/mm <sup>2</sup> min	Rm N/mm <sup>2</sup>	A % min	HB	KV min J vid °C	
<b>C45E/C45R (SS1672)</b> Kan seg- eller induktionshärddas	C 0,47 Si 0,25 Mn 0,60 För C45E gäller: S < 0,035 För C45R gäller: S < 0,020-0,040 Cr+Mo+Ni < 0,63	<b>Kalldr. stång/C45 + C C45R stång</b> (finns som varmvalsad, skalsvarvad eller slipad (rund) och varmv. (fyrkant, platt))	8 - 16	320	590 - 740	9	165 - 220		
			>16 - 40	310	590 - 740	14	165 - 220		
			>40 - 63	300	590 - 740	14	165 - 220		
			>63 - 290	280	590 - 740	14	165 - 220		
		<b>Norm. stång/C45R+N</b> grovvarvad	220 - 550	280	590 - 740	16	< 220		
<b>SS2225M (25CrMoS4)</b> Kan induktions- och nitrerhärddas	C 0,26 Si 0,25 Mn 0,80 S 0,020-0,035 Cr 1,05 Mo 0,20 M-behandlat	<b>Kalldr. stång Varmv./skalsv. stång</b>	15 - 20	700	900 - 1050	10	275 - 325		
			-05 seghärdad	>20 - 40	700	900 - 1050	13	270 - 325	27 @ -20
			-03 seghärdad	>40 - 100	500	700 - 850	17	205 - 250	27 @ -20
			-06 seghärdad	>100 - 160	410	640 - 780	16	185 - 230	27 @ -20
<b>25CrMoS4</b> Kan induktions- och nitrerhärddas	C 0,25 Si 0,25 Mn 0,75 S 0,020-0,040 Cr 1,05 Mo 0,20	<b>Varmv./skalsv. stång</b> seghärdad	-16	700	900 - 1100	12			
			>16 - 40	600	800 - 950	14		50 @ +20	
			>40 - 100	450	700 - 850	15		50 @ +20	
			>100 - 160	400	650 - 800	16		45 @ +20	
<b>SS2244M (42CrMoS4)</b> Kan induktions- och nitrerhärddas	C 0,42 Si 0,25 Mn 0,80 S 0,020-0,035 Cr 1,05 Mo 0,20 M-behandlat	<b>Kalldr. stång Varmv./skalsv. stång</b>	15 - 20	700	900 - 1050	10	275 - 320		
			-05 seghärdad	>20 - 40	750	1000 - 1150	11	290 - 340	27 @ -20
			-05 seghärdad	>40 - 105	690	900 - 1050	12	270 - 310	27 @ -20
			-04 seghärdad	>105 - 160	600	800 - 950	14	235 - 285	27 @ -20
<b>42CrMoS4</b> Kan induktions- och nitrerhärddas	C 0,42 Si 0,25 Mn 0,75 S 0,020-0,040 Cr 1,05 Mo 0,20	<b>Varmv./skalsv. stång</b> seghärdad	-16	900	1100 - 1300	10			
			>16 - 40	750	1000 - 1200	11		35 @ +20	
			>40 - 100	650	900 - 1100	12		35 @ +20	
			>100 - 160	550	800 - 950	13		35 @ +20	
			>160 - 250	500	750 - 900	14		35 @ +20	
<b>SS2541M (34CrNiMo6)</b> Kan induktions- och nitrerhärddas	C 0,35 Si 0,25 Mn 0,80 S 0,020-0,035 Cr 1,50 Ni 1,50 Mo 0,20 M-behandlat	<b>Kalldr. stång Varmv./skalsv. stång</b>	10 - 20	700	900 - 1100	10	275 - 335		
			-03 seghärdad	>20 - 275	700	900 - 1050	12	270 - 325	27 @ -20
<b>34CrNiMo6</b> Kan induktions- och nitrerhärddas	C 0,34 Si 0,25 Mn 0,75 S < 0,035 Cr 1,50 Ni 1,50 Mo 0,20	<b>Varmv./skalsv. stång</b> seghärdad	-16	1000	1200 - 1400	9			
			>16 - 40	900	1100 - 1300	10		45 @ +20	
			>40 - 100	800	1000 - 1200	11		45 @ +20	
			>100 - 160	700	900 - 1100	12		45 @ +20	
			>160 - 250	600	800 - 950	13		45 @ +20	
		<b>Smidd stång</b> seghärdad, grovvarvad	285 - 610	600	800 - 950	13		27 @ -40	

\* R<sub>eH</sub> eller om markerad sträckgräns ej förekommer, 0,2% förlängningsgräns, R<sub>p0,2</sub>.  
Blått: ej lagerstandard

## Seghärddning av C45E/R

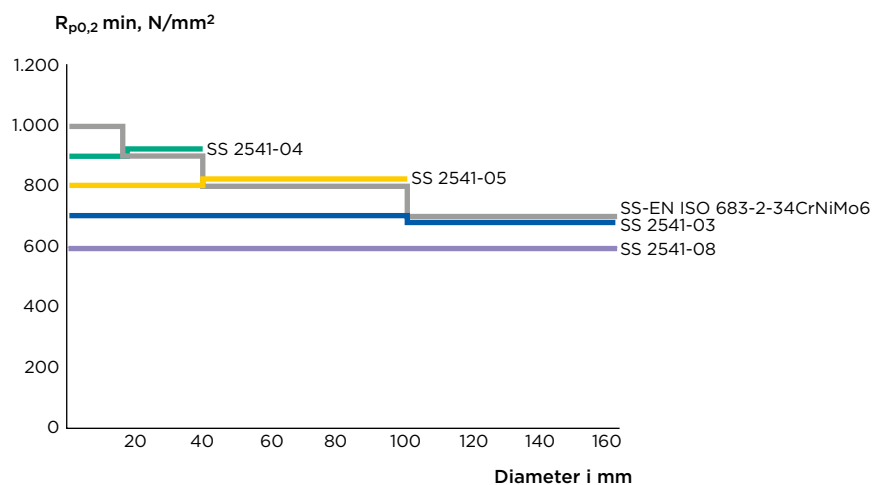
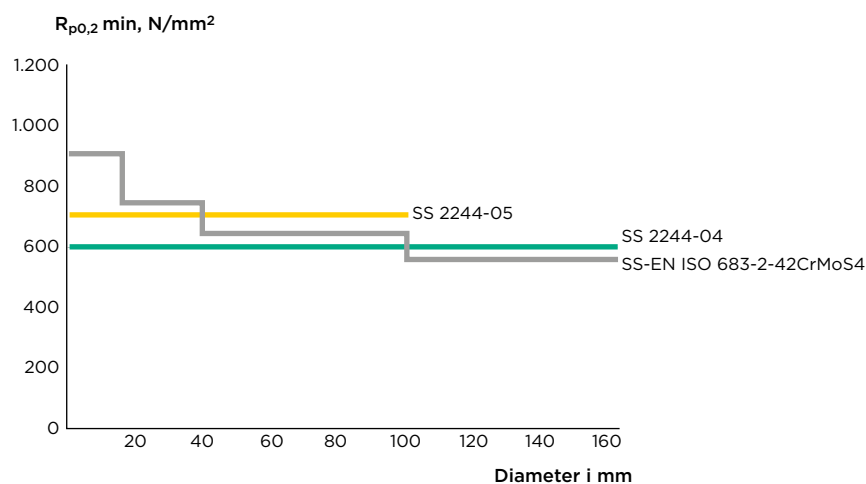
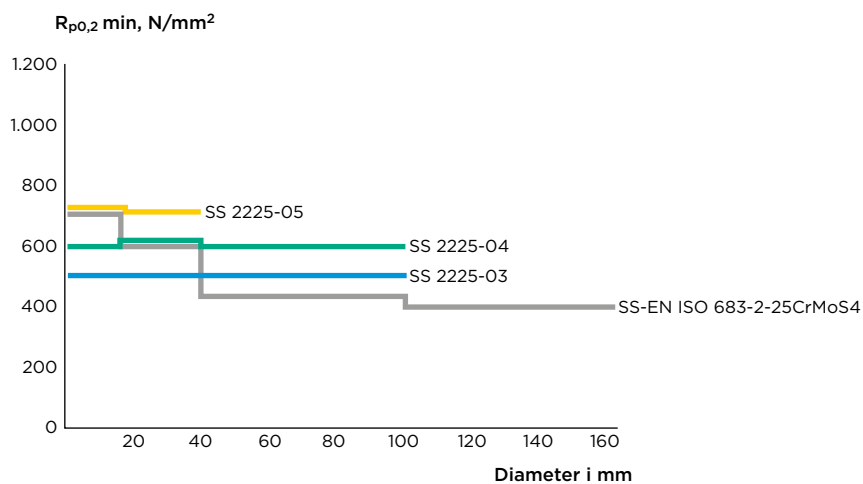
Härddning: 820 - 860°C	Hålltid vid temperatur 15-30 min. Kylning i vatten, polymert kylmedel eller snabbkylande olja.
Anlöpning: 550 - 650°C	Luftsvälning. Hårdhet 180 - 250 HB (190 - 260 HV30) beroende på dimension.



# STRÄCK/BROTTRÄNSER FÖR SEGHÄRDNINGSTÅL

Här följer en jämförelse mellan den utgångna SS-normen och SS-EN-normen.

## Sträckgräns minimum

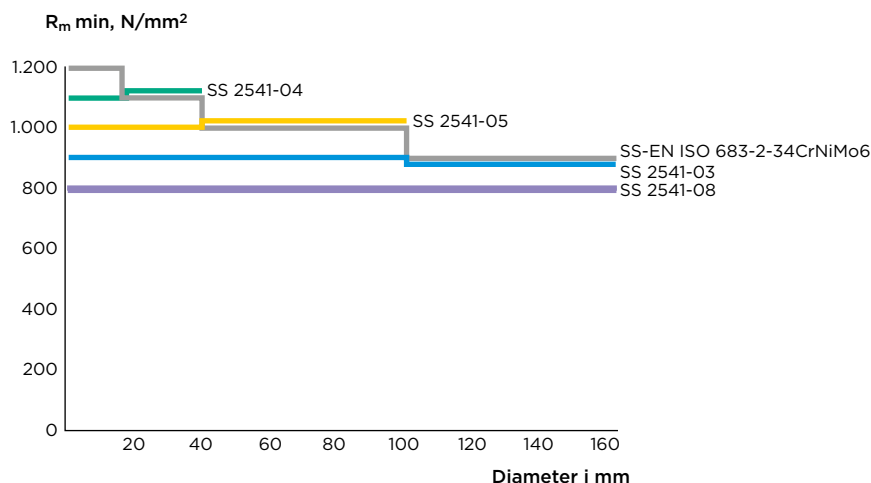
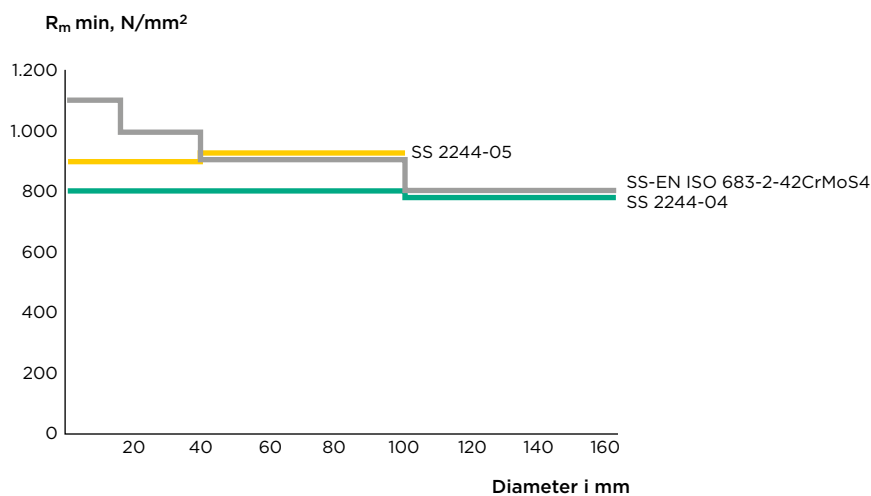
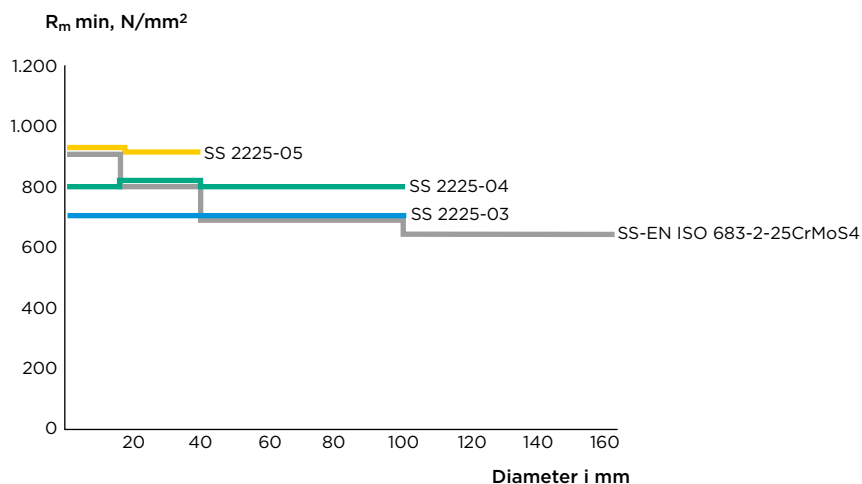


Övergången till SS-EN-normerat stål innebär att krav som tagits fram utifrån den äldre SS-normen måste ses över och eventuellt även ändras så att de stämmer överens med den nya standarden. Det kan till och med visa sig nödvändigt att byta stålsort eller undersöka om kraven på materialet kan ändras.

SS-EN är uppbyggd så att en given nivå av sträck- och brottgräns gäller inom ett visst dimensionsintervall

medan den tidigare SS-normen tillät olika hållfasthetsnivåer för en och samma dimension. Till exempel kunde en diameter på 80 mm i SS 2541 specificeras som antingen 2541-03 med minimivärden för sträck- och brottgräns på 700 respektive 900 N/mm<sup>2</sup> eller som 2541-05 med 800 respektive 1000 N/mm<sup>2</sup>. Enligt SS-EN går samma dimension att få enbart med kombinationen 800 och 1000 N/mm<sup>2</sup>, det vill säga samma som 2541-05.

### Brottgräns minimum



# FJÄDERSTÅL

Fjäderstål har en kolhalt på 0,5 - 0,6 % vilket betyder att genom härdning och anlöpning kan utmärkt utmattningshållfasthet samt höga nivåer för sträck- och brottgräns uppnås. Precis som namnet antyder så används fjäderstål främst vid tillverkning av fjädrar men fungerar, tack vare den höga hårdheten, även bra i verktyg, vissa maskindelar och slitdelar.

För användning som fjädrar anlöps fjäderstål vid temperaturer på 350 - 500°C så att en hårdhet på 44 - 50 HRC uppnås motsvarande en brottgräns inom intervallet 1 300-1 600 N/mm<sup>2</sup>. Den höga hårdheten/sträckgränsen främjar goda fjädringsegenskaper eftersom stora mängder elastisk energi kan lagras och återhämtas upprepade gånger. Dock är segheten mindre bra vid dessa höga nivåer av hårdhet.

Tibnors lagerprogram omfattar fjäderstål av typen kisel-krom och krom-vanadin. Vid samma hårdhet är dessa stål i stort sett utbytbara, dock har Cr-V-stålet en bättre

hårdbarhet och kan därför användas för grövre gods. Tänk på att stålen lagerhålls i varmvalsat eller glödgat tillstånd och att de färdiga detaljerna kräver värmebehandling för att uppnå önskad hårdhet/hållfasthet.

För klenare dimensioner kan liknande resultat som med härdning och anlöpning uppnås genom kallbearbetning och efterföljande glödning vid låg temperatur.

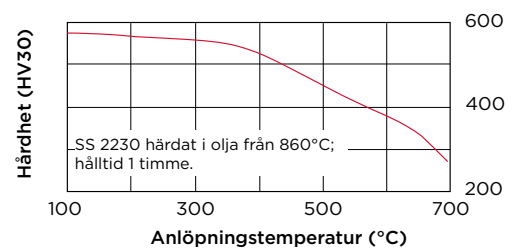
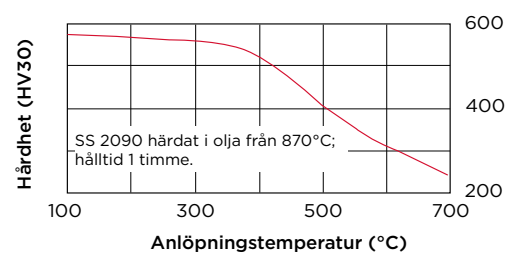
Arbetstemperaturen för detaljer gjorda av fjäderstål bör inte överskrida 200°C (Si-Cr) eller 225°C (Cr-V) då risken finns att hållfastheten annars försämras.

Stålsort	Typisk analys %	Tillstånd	Godstjocklek mm	Mekaniska egenskaper				
				Draghållfasthet SS-EN 10002-1			Hårdhet SS-EN ISO 6506-1	Slagseghet SS-EN ISO 148-1
				Re N/mm <sup>2</sup> min	Rm N/mm <sup>2</sup>	A % min	HB	KV min 27 J vid °C
<b>SS2090 (56SiCr7)</b>	C 0,56 Si 1,80 Mn 0,85 S < 0,025 Cr < 0,30	<b>Varmv. plattstång</b>	4 - 13*				< 248	
		rundkant						
<b>SS2230M (51CrV4)</b>	C 0,51 Si 0,30 Mn 0,90 S < 0,025 Cr < 1,05 V 0,15 M-behandlat	<b>Varmv. rundstång</b>	25 - 100				< 240	
		-02 glödgad, skalsvarvad						

\* Tumdimensioner, bredd 30 - 102 mm

## Värmebehandling av fjäderstål

	SS 2090	SS 2230
<b>Varmsmidning</b>	800 - 1025°C	800 - 1050°C
Svalning fritt i luft.		
<b>Varmformning</b>	830 - 900°C	800 - 900°C
Svalning fritt i luft.		
<b>Mjukglödning</b>	680 - 720°C	730 - 750°C
Hålltid 0,5 tim. efter genomvärmning. Avsvalning i ugn ca 20°C/tim. till 650°C, därefter fritt i luft.		
<b>Avspänningsglödning</b>	550 - 650°C	550 - 650°C
Hålltid ≈2 tim. efter genomvärmning. Avsvalning i ugn till 500°C, därefter fritt i luft.		
<b>Oljehärdning</b>	850 - 910°C	840 - 870°C
<b>Anlöpning</b>		
Efter härdning bör stålet anlöpas så snart det har blivit "handvärt". Temperatur: 350 - 550°C. Anlöpningsdiagram visas bredvid tabellen.		



# KULLAGERSTÅL

Kullagerstål är anpassat för tillverkning av kul- och rullningslager som ställer höga krav på slitstyrka, hållfasthet och utmattningstålighet. Kullagerstål kan därför även användas till andra detaljer med liknande krav på materialet. Analysmässigt påminner kullagerstålen om vissa enklare verktygsstål.

Kullagerstål innehåller cirka 1 % kol vilket gör det till ett materialalternativ för detaljer som annars skulle sätthärdas. Genom att använda kullagerstål istället för sätthärdningsstål kan man i många fall minska kostnaden för värmebehandling utan att kompromissa med egenskaperna hos den färdiga komponenten. Man kan då välja mellan genomhårdning eller induktionshårdning, det sistnämnda om en seg kärna önskas.

Ett exempel:

Detalj	Krav
D40 X 300 mm	Ythårdhet ≥60 HRC God rakhet Snäva toleranser



Man kan tänka sig flera alternativ, men två är följande:

**S355J2** sätthärdas till 0,8 mm djup och slipas till färdig dimension. För att få till önskad hårdhet i aktuell dimension måste denna stålsort vattenhärddas. Vattenhårdningen medför stora formförändringar, krokighet och risk för härdsprickor varför man måste räkna med betydande bearbetningspålägg för att klara av kraven på rakhet och måttolerans.

**100Cr6 (Ovako 803/SS 2258)** som induktionshärddats. Grundstålet är visserligen dyrare men detaljen är rak efter härdning och en enkel och betydligt billigare slipoperation räcker för att uppnå toleranskraven. Induktionshårdning kan utföras till en lägre kostnad än sätthårdning och man slipper en kostsam efterbearbetning. Detta är ett bra exempel på hur val av material som är dyrare i inköp ändå sänker den totala kostnaden för en detalj.

Stålsort	Typisk analys %	Tillstånd	Godstjocklek mm	Mekaniska egenskaper				
				Draghållfasthet SS-EN 10002-1			Hårdhet SS-EN ISO 6506-1	Slagseghet SS-EN ISO 148-1
				R <sub>p0,2</sub> N/mm <sup>2</sup> min	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	A % min	HB	KV min 27 J vid °C
<b>100Cr6 (SS2258) (Ovako 803F)</b> Kan induktionshärdas	C 0,97 Si 0,25 Mn 0,30 S 0,010 Cr 1,50	Varmv./skalsv. stång glödgad	25 - 55	410	700*	27*	≈200	
		Kallbearb. stång	25 - 55	≈740 <sup>†</sup>	≈930 <sup>†</sup>	≈13 <sup>†</sup>	≈290	
		Varmv. rör glödgat	5 - 25	410	700*	27*	≈200	
<b>100CrMo7 (Ovako 824B)</b> Kan induktionshärdas	C 0,97 Si 0,30 Mn 0,30 S <0,015 Cr 1,80 Mo 0,20	Varmv. rör glödgat	>25 - 35	460	700*	27*	≈210	
<b>1100CrMo7-3 (Ovako 825B)</b> Kan induktionshärdas	C 1,00 Si 0,30 Mn 0,70 S <0,015 Cr 1,80 Mo 0,30	Varmv./skalsv. stång glödgad	>55 - 160	460	700*	27*	≈210	

\* Typiska värden.

<sup>†</sup> Cirkavärden beroende på reduktionsgrad.

Blått: ej lagerstandard

## Värmebehandling av fjäderstål

Mjukglödning	800 - 820°	Hålltid 2-5 tim. efter genomvärmning. Avsvalning i ugn 15-20°C/tim till 650°C, därefter fritt i luft.
Avspänningsglödning	550 - 650°C	Hålltid ≈2 tim. efter genomvärmning. Avsvalning i ugn till 500°C, därefter fritt i luft.
Oljehårdning	830 - 875°C	För stora och komplicerade detaljer bör kylningen avbrytas vid 100-150°C, med efterföljande dubbelanlöpning.
Anlöpning	100 - 250°C eller 350-500°C	Skär och klippverktyg anlöps vanligtvis mellan 150-200°C. Erfordras bättre seghet bör temperaturer >350°C väljas. Området 250-350°C bör undvikas pga att slagsegheten blir låg.
Bainithårdning/austemperring	830-875°C	Saltbadstemperatur 220 - 250°C, hålltid 3 - 7 tim. beroende på dimension, med kraftig omrörning under första 10 min.
Ythårdning		Stålen lämpar sig för induktionshårdning, varvid en hårdhet av ca 60-65 HRC kan uppnås efter härdning och efterföljande anlöpning vid 150-200°C.

# HÅRDFÖRKROMAD STÅNG

Hårdförkromad stång kan betraktas som ett speciellt produktutförande snarare än en stålsortgrupp. Produkten utnyttjas nästan uteslutande för kolvstänger i hydrauliska och pneumatiska cylindrar. Induktionshärdad, hårdförkromad stång med en mycket hård och slitstark yta har med viss framgång även kunnat användas i pinn- och ledbulvar.

Som standard lagerhåller Tibnor hårdförkromad stång i stålsort 280X som är ett lågkolhaltigt, mikrolegerat konstruktionsstål vars analys motsvarar EN-SS S450J0 (SS 2142). Stålet är dock optimerat på så sätt att sträck- och brottgräns är cirka 20 % högre än normalt för EN-SS S450J0. Denna förbättring har uppnåtts utan avkall på varken svets- eller skärbarhet. Den högre hållfastheten gör det möjligt att använda en kolvstång med mindre diameter vilket i sin tur medför besparingar i vikt och därmed även kostnad.

Hårdförkromad stång kan tillhandahållas även i ett induktionshärdat utförande och är då baserad på stålsorten Ovako 482 (medelkolhaltigt, mikrolegerat stål). Ythårdenheten är 55 HRC min och härddjupet cirka 2 mm. Induktionshärdad hårdförkromad stång används i hydrauliska applikationer där kolvstångerna är utsatta och där de riskerar att skadas av slag eller annan extern åverkan.

Metallen krom har utmärkta korrosionsegenskaper, trots detta är korrosionsbeständigheten hos hårdförkromad stång begränsad. Kromskiktet är hårt och har stora inre spänningar vilket resulterar i att ett nätverk av korta, hårfina sprickor bildas.

Genom att styra hårdförkromningsprocessen samt efterbehandla på ett lämpligt sätt går det ändå att upprätthålla en god korrosionsbeständighet vid exponering mot fuktig luft och/eller syresatt vatten. Om din applikation innebär långvarig exponering av kolvstänger i salthaltig eller sur miljö bör du rådfråga Tibnor angående alternativa produkter med förbättrad korrosionshärdighet.



Stålsort	Typisk analys %	Tillstånd	Godstjocklek mm	Mekaniska egenskaper				
				Draghållfasthet SS-EN 10002-1			Hårdhet SS-EN ISO 6506-1	Slagseghet SS-EN ISO 148-1
				$R_{eH}^*$ N/mm <sup>2</sup> min	$R_m$ N/mm <sup>2</sup>	A % min	HB	KV min 27 J vid °C
<b>280X S450J0 (SS2142)</b>	C 0,18 Si 0,35 Mn 1,50 S 0,025 V 0,10	<b>Hårdförkromad stång, f7</b>	10 - 18	520	650 - 800	12	200 - 240	
			20 - 90	520	650 - 800	19	200 - 240	-20
			>90 - 125	440	550 - 700	19	180 - 230	-20
			>125 - 150	400	550 - 700	19	180 - 230	-20
<b>482 38MnVS6</b>	C 0,39 Si 0,40 Mn 1,20 S 0,020 V 0,13	<b>Hårdförkromad stång induktionshärdad, f7</b>	>20 - 125	580	850-1000	14	250-300	

\* Övre sträckgräns  $R_{eH}$  för 280X och  $R_{p0,2}$  för 482.

Övriga egenskaper: ytfinheten  $R_a \leq 0,2 \mu\text{m}$ ,  $R_t \leq 2 \mu\text{m}$ . Rakhet  $\leq 0,1 \text{ mm}/0,5 \text{ m}$  för  $D < 30 \text{ mm}$  och  $\leq 0,1 \text{ mm}/\text{m}$  för större diametrar. Kromskikt  $20 \mu\text{m}$  min med min hårdhet 850 HVO. Dessutom för induktionshärdad stång gäller min. ythårdhet 55 HRC och härddjup 1,0 - 2,3 mm beroende på dimension.

Blått: ej lagerstandard

# AUTOMATSTÅL

Automatstål har genomgående mycket god skärbarhet och kan bearbetas med höga skärhastigheter. Spånformen är kort och spånor kan transporteras lätt. Dessa egenskaper gör att automatstål passar bra för bearbetning i obemannade, automatiska CNC-maskiner därav namnet. Den utmärkta skärbarheten härrör från tillsatser av svavel och/eller bly.

Merparten av dimensionerna i vårt lagerprogram har kalldraget utförande vilket betyder snäv tolerans (h9-h11) och fin yta. Skärbarheten förbättras dessutom ytterligare genom kallbearbetning. Den snäva dimensionstoleransen är ännu en fördel vid bearbetning i automatiska maskiner.

Kalldragning tar inte bort eventuella ytdefekter (såsom sprickor, gropar och repor) även om dessa blir grundare än på det varmvalsade utgångsmaterialet. Om detaljen eller konstruktionen kommer att utsättas för växlande belastning och därmed risk för utmattningsbrott bör den kallbearbetade ytan inte lämnas obearbetad. I standarden SS-EN 10277-1 stipuleras att det maximalt tillåtna sprickdjupet på dragen rundstång är 2 % av diametern per sida (kvalitetsklass 1).

Ett annat problem som kan uppstå när obearbetade, kalldragna ytor ska ytbehandlas är så kallad "apelsinyta". För att få till en dekorativ yta kan då en fin maskinbearbetning eller slipning krävas innan slutlig ytbehandling.

Trots att automatstål många gånger har låga halter kol och legeringsämnen är de inte speciellt svetsbara på grund av innehållet av svavel och i många fall även bly. Därmed är det en god idé att i förväg konsultera med Tibnor om tillverkning av detaljen eller konstruktionen kräver att automatstål ska svetsas.

Automatstål är optimerade för maskinbearbetning och detta sker på bekostnad av andra egenskaper, i synnerhet duktilitet och seghet. Användning av dessa stålsorter bör därför begränsas till detaljer eller konstruktioner som utsätts för endast måttlig belastning.



Stålsort	Typisk analys %	Tillstånd	Godstjocklek mm	Mekaniska egenskaper				
				Draghållfasthet SS-EN 10002-1			Hårdhet SS-EN ISO 6506-1	Slagseghet SS-EN ISO 148-1
				Re* N/mm <sup>2</sup> min	Rm N/mm <sup>2</sup>	A % min	HB	KV min 27 J vid °C
<b>11SMnPb30+C (SS1914)</b> Kan sätthärdas	C <0,14 Si <0,05 Mn 1,10 P <0,11 S 0,30 Pb 0,28	<b>Kalldr. stång</b> (finns som rund, fyrkant och sexkant)	4 - 10	440	510 - 810	6	150 - 250	
			>10 - 16	410	490 - 760	7	150 - 220	
			>16 - 40	370	460 - 710	8	140 - 240	
			>40 - 63	300	400 - 650	9	130 - 230	
			>63 - 100	245	360 - 630	9	120 - 220	
		<b>Varmv./skalsv. stång</b>	>90 - 100	245	360 - 520	10	170 max	
<b>11SMn30+C (SS1912)</b> Kan sätthärdas	C <0,14 Si <0,05 Mn 1,10 P <0,11 S 0,30	<b>Kalldr. stång</b>	4 - 10	440	510 - 810	6	150 - 250	
			>10 - 16	410	490 - 760	7	150 - 220	
			>16 - 40	375	460 - 710	8	140 - 240	
			>40 - 63	305	400 - 650	9	130 - 230	
			>63 - 80	245	360 - 630	9	120 - 220	
<b>36SMnPb14+C (SS1957-04+Pb)</b> Kan seg- eller induktionshärdas	C 0,36 Si 0,20 Mn 0,90 S 0,20 Pb 0,25	<b>Kalldr. stång</b>	8 - 10	550	700 - 960	6	210 - 280	
			> 10 - 16	440	620 - 920	6	190 - 270	
			> 16 - 40	390	600 - 900	7	180 - 260	
			> 40 - 60	360	580 - 840	8	170 - 250	
<b>520MW+</b> Kan sätt- eller nitrerhärdas	C 0,18 Si 0,30 Mn 1,50 S 0,15 V 0,07 M-behandlat	<b>Norm. valsad stång</b> (finns även som skalsvarvad)	25 - 70	380	490 - 630	22	150 - 200	-20
			>70 - 90	350	490 - 630	20	150 - 200	-20
			>90 - 200	350	490 - 630	20	150 - 200	0
<b>550MW+</b> Kan sätt- eller nitrerhärdas	C 0,18 Si 0,30 Mn 1,50 S 0,15 V 0,07 M-behandlat	<b>Kalldr. stång</b>	20 - 55	500	550 - 750	12	≈200	+20

\* ReH eller om markerad sträckgräns ej förekommer, 0,2% förlängningsgräns, Rp0,2

# STRÄNGGJUTJÄRN

Vårt lagerprogram omfattar både gråjärn och segjärn. Gjutjärn liknar stål men har ett överskott av kol som förekommer i form av grafit i mikrostrukturen. Om grafiten bildar fjäll får man gråjärn medan i segjärn är grafitpartiklarna i form av kulor. I jämförelse med stål uppvisar gjutjärn ett antal fördelaktiga egenskaper.

Gjutjärn i stränggjutet utförande kan med fördel användas då man vill dra nytta av gjutjärnets speciella egenskaper samtidigt som seriestorleken inte motiverar formgjutning. Dessutom har stränggjutjärn jämnare egenskaper och färre defekter än gjutjärn som formgjutits.

Grafitens närvaro medför att gjutjärn har cirka 10% lägre täthet än stål. Med andra ord blir en viss detalj 10% lättare om den görs i gjutjärn i stället för stål. Dessutom och tack vare grafiten dämpar gjutjärn vibrationer mycket bättre än vad stål gör. Konsekvenser är en minskning av ljudnivå från maskiner samt lägre spänningar till följd av vibrationer. Dämpningskapaciteten är störst för gråjärn, 10 - 20 gånger bättre än stål. Segjärn dämpar inte lika bra men ändå 3 - 5 gånger bättre än stål. Andra positiva karaktäristik hos gjutjärn är en utomordentlig skärbarhet samt bra smörjande egenskaper vid metall-metallkontakt.

Gråjärnets stora nackdel är dess sprödhet varför gråjärnsdetaljer inte kan utsättas för höga spänningar. Vid tillverkning av segjärn behandlas smältan med en liten tillsats av magnesium som gör att grafiten skiljs ut som kulor i stället för fjäll. Därmed elimineras anvisningsverkan från grafitfjäll som är grunden till gråjärnets sprödhet. Segjärn med kulformig grafit har lika god duktilitet och seghet som många maskinstål och kan gott och väl övervägas som alternativ i applikationer där man kan dra nytta av segjärnets lägre vikt, bättre dämpningskapacitet och god skärbarhet.

En intressant möjlighet med segjärn är så kallad austemperering, en värmebehandlingsmetod där man värmer järnet till cirka 900°C för att sedan kyler i ett saltbad med en temperatur mellan 250 och 400°C. Genom detta förfarande kan en kombination av hållfasthet och duktilitet uppnås som är fullt jämförbar med seghärdsningsstål.

Stålsort	Typisk analys %	Tillstånd	Godstjocklek mm	Mekaniska egenskaper				
				Draghållfasthet SS-EN 10002-1			Hårdhet SS-EN ISO 6506-1	Slagseghet SS-EN ISO 148-1
				R <sub>po,2</sub> N/mm <sup>2</sup> min	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	A % min	HB	KV
<b>GJL-250C</b> Gråjärn (SS0125)	C 3,50 Si 2,50 Mn 0,50 S <0,10 P <0,05	<b>Stränggjuten stång</b> (finns som rund, fyrkant eller platt)	40 - 50	-	195	-	170 - 240	
			>50 - 100	-	180	-	170 - 240	
			>100 - 200	-	165	-	170 - 240	
			>200 - 400	-	155	-	170 - 240	
<b>GJS-400-15C</b> Segjärn (SS0717)	C 3,50 Si 2,50 Mn 0,20 S <0,015 Mg 0,04	<b>Stränggjuten stång</b> (finns som rund, fyrkant eller platt)	40 - 60	250	400	15	130 - 180	Min 12J vid -20°C
			>60 - 120	250	390	14	130 - 180	Min 12J vid -20°C
			>120 - 400	240	370	11	130 - 180	Min 10J vid -20°C
<b>GJS-500-7C</b> Segjärn (SS0727)	C 3,50 Si 2,50 Mn 0,20 S <0,015 Mg 0,04	<b>Stränggjuten stång</b> (finns som rund, fyrkant eller platt)	40 - 60	320	500	7	150 - 240	
			>60 - 120	300	450	7	150 - 240	
			>120 - 400	290	420	5	150 - 240	

## Bearbetningspålägg för stränggjutjärn

Mikrostrukturen och därmed mekaniska egenskaperna av gjutjärn styrs i hög grad av svalningshastigheten vid gjutning. Ytzone av stränggjutjärn utsätts för mycket snabb kylning varför mikrostrukturen där avviker väsentligt från den närmare stängens centrum. Av denna anledning kan inte de specificerade mekaniska egenskaperna garanteras i denna ytzone som måste bearbetas bort.

Stångdimension, runt eller fyrkant, mm*	Bearbetningspålägg, mm Gråjärn (per sida)	Bearbetningspålägg, mm Segjärn (per sida)
40 - 50	2	3
>50 - 100	3	4
>100 - 200	4	5
>200 - 300	6	7
>300 - 400	7	8

\* För plattstång, lägg till 0,5 mm per sida. Exempel: den minsta utgångsdimensionen för en segjärnsdetalj med färdigmått 200 x 90 mm blir i stränggjutet utförande (200 + 2,75) x (90 + 2,45), d v s 215 x 99 mm.

## Värmebehandling av segjärn

<b>Glödning</b>	Används för att förbättra duktilitet (förlängning), slagseghet och skärbarhet men på bekostnad av hållfasthet/hårdhet. Genom glödning kan GJS-500-7C konverteras till GJS-400-15C.	
	850 - 900°C	Hålltid 30 min för varje 20 mm av dimension. Avsvalning i ugn till 300°C, därefter fritt i luft.
<b>Avspänningsglödning</b>	Nödvändig endast om mycket höga toleranser eftersträvas.	
	450 - 600°C	Hålltid ≈2 tim efter genomvärmning. Avsvalning i ugn till 200°C, därefter fritt i luft.
<b>Normalisering</b>	Används för att höja hårdhet och därmed slitstyrka men på bekostnad av duktilitet, slagseghet och skärbarhet.	
	850 - 950°C	Hålltid 1 timme efter genomvärmning. Svalning i luft helst med forcerad (fläkt-)kylning.





# M-STEEL® FÖR SKÄRANDE BEARBETNING

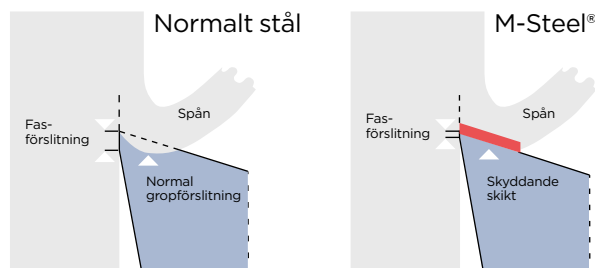
Skärande bearbetning utgör en stor del av den totala kostnaden för att ta fram en detalj, inte sällan upp till 50 %. Av denna anledning har vi valt att lagerhålla alla kvaliteter av seg- och sätthärtningsstål i M-utförande. Dessutom i vårt lagerprogram finns konstruktionsstålen 520M och 520MW+ samt fjäderstålet SS 2230M. Genom M-behandling förbättras skärbarheten utan att övriga egenskaper påverkas nämnvärt. Som exempel kan M-Steel® svarvas med 20 - 30 % högre skärhastighet med bibehållen verktyglivslängd. Om man i stället väljer att bearbeta stålet med samma skärdata som för konventionella stål ökar skärets livslängd fyrfaldigt.

## Ett skyddande skikt bildas då M-Steel® bearbetas

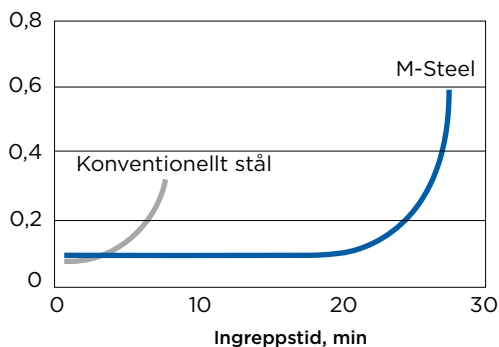
M-behandlingen eliminerar hårda, abrasiva inneslutningar samt gör att det bildas ett skyddande skikt på skärebben vid höga skärhastigheter.

## Svarvning av M-Steel®

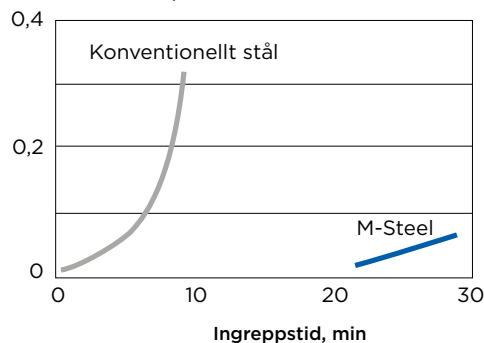
Vid svarvning av ett icke M-behandlat stål vid höga skärhastigheter ökar fasförslitningen av skäret snabbt efter en relativt kort ingreppstid. Med samma stål som M-behandlats förskjuts punkten för snabb förslitning mot betydligt längre tider. När det gäller gropförslitning är den hos M-stålet mycket liten tack vare det skyddande skiktet som bildas på skärebben under bearbetning.



Fasförslitning,  $V_B$ , mm



Gropförslitning,  $V_T$ , mm



Skärdata: skärdjup = 2,5 mm,  
matning = 0,4 mm/varv,  
skärhastighet = 450 m/min.  
Skärsort: GC 415 P15

M-Steel® kommer till sin fulla rätt då skärhastigheten och därmed temperaturen hos skärebben är hög. M-effekten är därför klart mera påtaglig vid bearbetning med belagda hårdmetallskär än med till exempel obelagt snabbstål där skärhastigheten är väsentligt mycket lägre. På samma sätt ger M-behandling störst effekt då ingreppet är långvarigt (svarvning, borring) än om det är intermitterant som vid fräsning. Den förbättrade skärbarheten hos M-Steel är betydande även vid bearbetning med cermets och vissa keramiska skär.

Verktyg	Betingelser	M-behandlingens inverkan
Snabbstål, obelagt	Låga skärhastigheter	Medel
Snabbstål, obelagt	Höga skärhastigheter	Mindre
Snabbstål, PVD-belagt (TiN)	Låga skärhastigheter	Medel
Snabbstål, PVD-belagt (TiN)	Höga skärhastigheter	Betydande
Hårdmetall, P10 (obelagd)	Mycket stabil maskin	Mycket betydande
Hårdmetall, P20 (obelagd)	Normal stabilitet	Betydande
Hårdmetall, P30 (obelagd)	Normal stabilitet	Mindre
Hårdmetall, alla sorter, belagd TiC-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -TiN	Normal stabilitet	Mycket betydande
Hårdmetall, alla sorter, belagd Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Normal stabilitet	Betydande
Cermets, alla sorter och beläggningar	Finbearbetning	Mycket betydande
Blandkeramiska, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiC	Mycket stabil maskin	Mycket betydande
Keramiska, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mycket stabil maskin	Mindre

\* M-Steel är ett registrerat varumärke av Ovako AB. Vill du veta mer om M-Steel finns flera tekniska detaljer samt skärdatarekommendationer att inhämta från Tibnors broschyr "M-Steel: för bättre ekonomi vid maskinbearbetning" som du hittar på [www.tibnor.se](http://www.tibnor.se).

# HÅRDHET

Med hårdhet avses stålets förmåga att stå emot yttre intryckningar. Man mäter hårdheten genom att med en viss förutbestämd kraft pressar en kula eller spets in i stålets yta. Storleken på intrycket mäts, vanligtvis med hjälp av mikroskop, och hårdheten räknas fram utifrån arean eller djupet av intrycket. En stor area eller stort djup visar att stålet är mjukt medan ett hårt stål ger ett mindre eller grundare intryck.

Här följer en beskrivning av de tre vanligaste metoderna för att prova hårdheten hos ett stål.

## Brinell (HB eller BHN)

Vanligast är att provkroppen är en kula av härdat stål eller hårdmetall med diameter  $D = 10$  mm, som pressas med en kraft av 3 000 kp\*. Används normalt för mjuka eller måttligt hårda material. Provpåberedning är inte så kritisk.

## Rockwell C (HRC)

Provkroppen är en konisk diamantspets. Används mest för hårda material. Metoden är snabb då hårdheten avläses direkt från en skala på själva provningsapparaten. Kräver ganska noggrann provpåberedning (finslipning).

## Vickers (HV)

Provkroppen är en pyramidisk diamantspets. Kan användas över hela spektrum av hårdheter. Intryckskraften kan justeras mellan 1 och 30 kp. Därför bör även belastningen specificeras då man anger en Vickers hårdhet, till exempel HV1 eller HV30. Vid mätning av hårdhetsprofiler och/eller härddjup efter sätthärdning, induktionshärdning, nitring och andra metoder för ythärdning, är det en fördel att hårdhetsintrycken inte är för stora och 5 kp eller 1 kp är lämpliga belastningar i dessa fall.

Alla tre metoder har sina fördelar respektive begränsningar. Då hårdheten hos stål kan variera inom ett brett intervall (från mjukt och formbart till hårt och slitstarkt) väljer man metod beroende på ståltyp, provgeometri och tillstånd.

HB- eller HV-värden beräknas genom att dividera intryckskraften (belastningen) med intryckets area. I dessa fall anges hårdheten i kp/mm<sup>2</sup> även om för det mesta är de bara ett tal som redovisas. För ett givet stålprov betyder detta att HB och HV uppvisar ganska likartade numeriska värden (avvikelsen är ca 5 %). HRC-värdet baseras på intryckets djup och är mycket grovt beräknat en tiondel av värdet för HB och HV. Eftersom Rockwell-intrycket blir ganska djupt lämpar sig denna metod inte för tunna detaljer.

Hårdheten hos olegerade och låglegerade stål uppvisar en ganska nära korrelation med brottgränsen. Om man delar HB-värdet för ett stål med talet tre och sedan multiplicerar resultatet med tio så ligger svaret förvånansvärt nära brottgränsen i N/mm<sup>2</sup>, åtminstone om HB-värdet är lägre än 450. Det här sambandet är användbart om man vill uppskatta brottgränsen (till exempel efter värmebehandling) och inte har möjlighet att utföra dragprovning. Kopplingen till brottgränsen fungerar något bättre för HB än för HV.

I följande tabell jämför vi värdet för hårdhet enligt de olika metoderna med brottgränsen. Någon exakt omräkningsfaktor finns inte och värdena ska endast ses som riktvärden. Värden är tagna från tabellen för olegerade och låglegerade stål i SS-EN ISO 18265.

## Hårdhet / Brottgräns

HV10	HRC	HB	R <sub>m</sub> , N/mm <sup>2</sup>	HV10	HRC	HB	R <sub>m</sub> , N/mm <sup>2</sup>
150		143	480	310	31,0	295	995
160		152	510	320	32,2	304	1030
170		162	545	330	33,3	314	1060
180		171	575	340	34,4	323	1095
190		181	610	350	35,5	333	1125
200		190	640	370	37,7	352	1190
210		199	675	400	40,8	380	1290
220		209	705	420	42,7	399	1350
230		219	740	450	45,3	428	1455
240		228	770	470	46,9	447	1520
250	22,2	238	800	500	49,1	475	1630
260	24,0	247	835	520	50,5	494	1700
270	25,6	257	865	550	52,3	523	1810
280	27,1	266	900	570	53,6	542	1880
290	28,5	276	930	600	55,2	570	1995
300	29,8	285	965	650	57,8	618	2180

\* Kraftenheten kp är utgången och enheten för kraft i SI-systemet är Newton (N). Dock används kp (eller kgf i engelsk text) fortfarande vid hårdhetsmätning och intryckskraften hos hårdhetsmätare är kalibrerade i kp där 1kp = 9,81N.

# SVETSNING

Ju mer kol och legeringsämnen ett stål innehåller desto sämre lämpar det sig för svetsning. Med andra ord är stål med högre hållfasthet och slitstyrka svårare att svetsa. Kolhalten ska helst ligga under 0,25 % och även svavelhalten bör begränsas om en detalj ska svetsas.

Ett enkelt sätt att kvantifiera svetsbarheten hos konstruktionsstål, kolstål och låglegerade stål är med kolekvivalentformel (CEV):

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

*Symboler avser halter i viktprocent.*

Ett stål med låg CEV är lätt att svetsa och tvärtom. Ett ämne som påverkar svetsbarheten mycket negativt och som inte finns med i kolekvivalentformeln är svavel. Även förhållandevis låga halter av svavel kan ge upphov till varmsprickor i svetsgodset. Den negativa effekten av svavel begränsas av mangan som binder svavel i form av mangansulfider. Mn/S-förhållandet bör därför vara minst 5:1. Automatstål lämpar sig inte för svetsning även om vissa sorter har en låg halt av kol och lågt legeringsinnehåll.

Svetsbarheten kan förbättras till viss del genom att godset förvärmas innan svetsning. Förvärmning har till syfte att dämpa svalningshastigheten efter avslutad svetsning. Därmed minskas risken att en spröd mikrostruktur bildas i den av svetsning värmepåverkade zonen. Långsam avsvälning bidrar även till att driva ut väte från svetsgodset vilket minskar risken för kallsprickor orsakade av väteförspredning. Stål med CEV större än 0,55 % bör förvärmas. Dessutom, och oberoende av stålets CEV, är förvärmning alltid att rekommendera vid svetsning av grovt gods.

För detaljer eller konstruktioner som ska svetsas används i första hand allmänna konstruktions- och mikrolegerade stål där CEV normalt är mindre än 0,55 %. Dessa material kan svetsas utan förvärmning och efterbehandling om diametern eller tjockleken på godset inte är allt för stor.

Om högre hållfasthet krävs kan man använda EN-SS 25CrMoS4 (SS 2225) som har förhållandevis god svetsbarhet och speciellt då i klena dimensioner.

Även höghållfasta stål med högre kolhalt och betydande legeringsinnehåll kan med rätt svetsprocedur och tillsatsmaterial svetsas med gott resultat. Förvärmning är absolut nödvändig och energitillförseln vid svetsning bör begränsas (större antal mindre svetssträngar) för att minska risken för att hårda, spröda zoner bildas i såväl svetsgodset som i den värmepåverkade zonen. För seghärtningsstål med högre kolhalt än SS-EN 25CrMo4 (SS 2225) bör man i kritiska fall överväga att åter härda och anlöpa den färdigsvetsade detaljen. Att värmebehandla en andra gång har dessutom fördelen att svetsrestspänningar minskas och att eventuellt förekommande väte drivs ut. Höghållfasta stål är extra känsliga för väteförspredning.

Med undantag av automatstål kan stålsorter som lagervål i kalldraget utförande svetsas. Dock bör man vara medveten om att hållfastheten i den värmepåverkade zonen intill svetsen kan sjunka något.

MAG-svetsning med skyddsgas och tillsatsmaterial i form av tråd ger bättre kontroll och mindre risk för intrång av väte. MMA-svetsning ska helst utföras enbart med basiska elektroder och det är viktigt att dessa är ordentligt torkade så att risken för väteupptagning minimeras. Kontakta oss på Tibnor eller din leverantör av tillsatsmaterial vid minsta osäkerhet om hur svetsningen ska utföras. Detta gäller i synnerhet när höghållfasta stål med hög kolhalt och legeringsinnehåll ska svetsas. I följande tabell redovisas lämpliga tillsatsmaterial (ESAB beteckningar) och övriga svetsbetingelser för ett antal olika stålsorter i vårt lagerprogram på Tibnor.

Stålsort	MAG (GMAW) svetsning Tråd (skyddsgas M21*)	MMA (SMAW) svetsning Elektrod	Förvärmning?	Övrigt
S355/280/520M/550M	Autorod 12.64 Aristorod 12.50	OK 48.00 OK 55.00 Femax 38.65	>150°C vid större godstjocklek/diam.	Femax är en elektrod av typ rutil (risk at väteupptagning kan ge problem)
C45E	Autorod 12.62 Aristorod 12.62	OK 74.78	> 200°C	
25CrMoS4 (SS 2225)	Autorod 13.29 Aristorod 69	OK 74.70 OK 78.16	> 150°C om inte detaljer är mycket små	Bör i kritiska fall härdas och anlöpas igen efter svetsning
16NiCrS4 (SS 2511)	Autorod 13.29 Aristorod 69	OK 74.70	> 150°C om inte detaljer är mycket små	Kompatibelt endast med basstålet
42CrMoS4 (SS 2244)	Autorod 13.29 Aristorod 69 Aristorod 89	OK 75.75 OK 76.18	> 300°C	Bör i kritiska fall härdas och anlöpas igen efter svetsning

\*M21 = 80 % Ar, 20 % CO<sub>2</sub>

# KALLFORMNING

Med kallformbarhet menar man hur mycket ett material kan bearbetas i en kallformningsoperation, till exempel bockning, utan att brista. Kallformbarheten hos stål är kopplad till dess duktilitet. Därför är höghållfasta stål generellt sett svårare att kallforma eftersom duktiliteten minskar med ökad kolhalt och hållfasthet. Man kan göra mycket duktila stål genom att sänka kolhalten till låga nivåer (cirka 0,01 %) men sådant material i form av band är avsett i huvudsak för pressning och djupdragning. För de stålsorter och utföranden som tas upp i denna guide är aktuella kallformningsoperationer bockning, stukning och enklare kallsmede.

En grov illustration av duktilitetens (brottförlängningens) beroende av hållfasthet (brottgräns) ges i diagrammet längst ner på sidan.

Bland de stål som tas upp i den här guiden är det konstruktions- och mikrolegerade stål som är lättast att kallforma. Kallformbarheten för dessa ståltypen blir något bättre om de värmebehandlas genom normalisering. Detta kan behövas om tillverkningen av en detalj innebär omfattande kallformningsoperationer.

Slagginneslutningar påverkar duktiliteten negativt eftersom de fungerar som startpunkt för sprickor. Därför har rent stål bättre kallformbarhet än stål med stora mängder inneslutningar. I stort sett alla typer av inneslutningar försämrar duktiliteten, även de som finns avsiktligt i automatstål och M-behandlade stål.

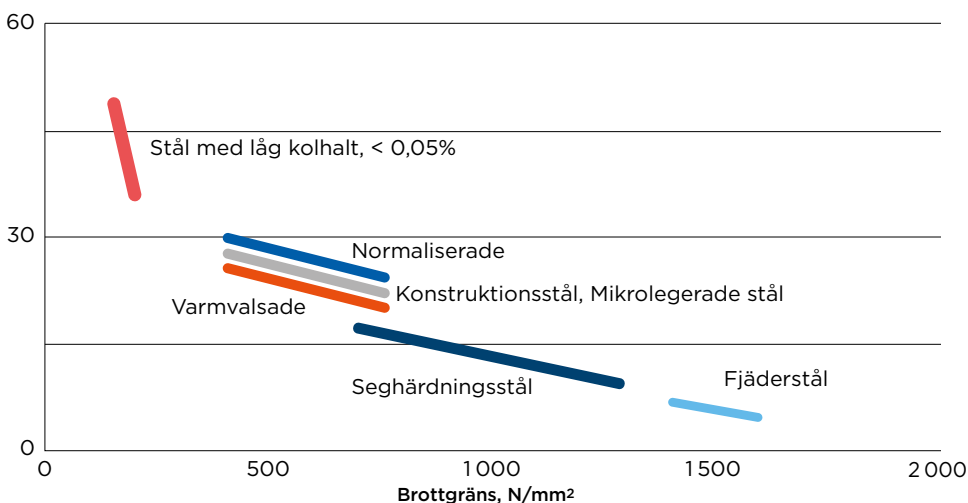
Inneslutningarnas betydelse för duktiliteten ger upphov till ytterligare en effekt. Under varmvalsning dras slagginneslutningar ut i stångens (eller rörets) längdriktning och stålet får så kallad "tåga". Det innebär betydande skillnader i duktilitet beroende på om man mäter längs eller tvärs valsriktningen. Det här har betydelse vid till exempel bockning då dragspänningar uppstår på utsidan av det böjda materialet. För plattstång gör tidigare

nämnd skillnad i duktilitet att bockbarheten förbättras väsentligt om bockningsaxeln ligger vinkelrätt mot stångens längdriktning istället för parallellt.

De typer av inneslutningar som bildas i M-behandlade stål dras inte ut i längdriktningen under varmvalsning, åtminstone inte i samma utsträckning som andra inneslutningar, till exempel mangansulfider. Därför är skillnaden längs/tvärs för duktiliteten inte lika stor hos stål som behandlats med kisel plus kalcium. Bäst kallformbarhet, såväl längs som tvärs valsriktningen, har dock alltid rent stål med liten mängd inneslutningar.

Stukning och kallsmede är kallformningsmetoder som i stort sett alltid innebär tryckbelastning. Under sådana omständigheter är duktiliteten hos stål betydligt bättre än när höga dragspänningar förekommer, som till exempel vid bockning. Emellertid kan dragspänningar ibland uppstå vid fria ytor även under dessa processer som en konsekvens av friktion mellan arbetsmaterial och verktyg. Sådana spänningar uppkommer tvärs med stukriktningen och riskerar att orsaka bristningar om de utvecklas parallellt med den valsade stångens ursprungliga tvärriktning.

Förlängning till brott, %



Duktilitetens (förlängning till brott, A, i längsriktning) beroende av brottgräns för ett antal olika ståltypen. Diagrammet är avsett endast som illustration.

# UTMATTNING OCH HUR MAN MINSKAR RISKERNA FÖR UTMATTNINGSBROTT

Utmattning är ett skadeförlopp där initiering och tillväxt av sprickor sker under växlande belastning vid väsentligt lägre laster än den som motsvarar brottgränsen. Ungefär 90 % av alla haverier som drabbar maskinkomponenter eller -konstruktioner beror på utmattning. I många fall kan utmattningsbrott undvikas genom en lämpligare utformning och/eller bättre yta hos detaljen.

En detalj som råkat ut för haveri genom utmattning uppvisar ett karaktäristiskt utseende hos brottytan. Normalt kan man tydligt se var skadan först har uppstått vilket många gånger är vid detaljens yta. Spricktillväxten kännetecknas av konvexa så kallade striationer som är koncentriska med skadans utgångspunkt. Denna del av brottytan är ganska slät. När sprickan har vuxit till en kritisk längd sker det slutliga restbrottet som ger upphov till en grovre, ojämnare brottyta.

Utmattningsegenskaperna för ett specifikt stål redogörs ofta genom ett så kallat Wöhler-diagram (se exemplet). I ett sådant plottas spänningsamplituden (halva skillnaden mellan största och minsta spänningsnivån) vid växlande belastning mot antalet lastväxlingar till brott. Antalet lastväxlingar som stålet kan stå emot minskar i takt med att spänningsamplituden ökar.

Stål är tämligen unikt bland vanliga metalliska material genom att det uppvisar en utmattningsgräns. Inga brott inträffar överhuvudtaget om spänningsamplituden underskrider en viss nivå. För fallet som visas i diagrammet är utmattningsgränsen cirka 350 N/mm<sup>2</sup>. När man talar om ett ståls utmattningshållfasthet är det normalt sett nivån på utmattningsgränsen man menar.

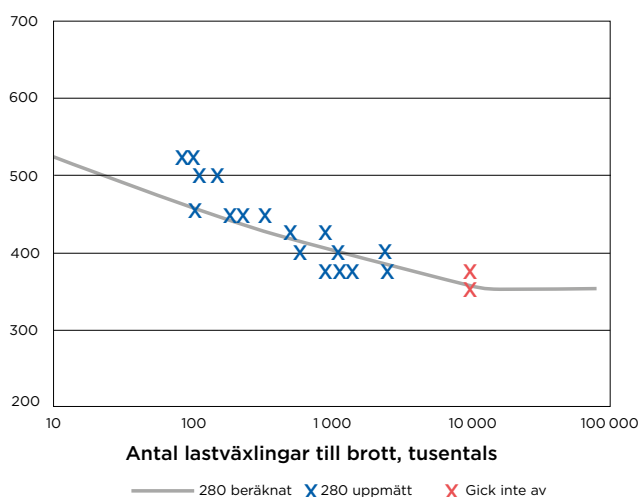
Utmattningshållfastheten hos stål påverkas av en rad olika faktorer. Här följer en uppräknig av några av de allra viktigaste.

- Ökande brottgräns och hårdhet som förbättrar utmattningshållfastheten.
- Stålets renhet. Icke-metalliska inneslutningar (slaggar), och då speciellt hårda sådana, påverkar utmattningshållfastheten negativt.
- Ytfinhet. En detalj med polerad yta har betydligt bättre utmattningshållfasthet än en motsvarande med till exempel en varmvalsad yta.
- Anvisningar, skarpa radier och hålkål ger upphov till spänningskoncentrationer som i betydande grad sänker utmattningshållfastheten.



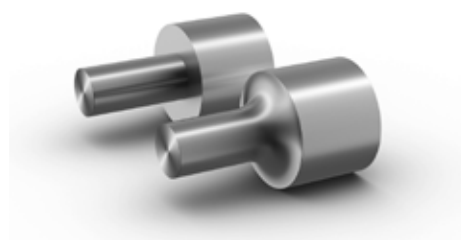
- Restspänningar påverkar utmattningshållfastheten negativt om de är dragspänningar (till exempel intill svetsar) medan tryckrestspänningar har motsatt effekt och förbättrar utmattningsegenskaperna. Ytliga och gynnsamma tryckspänningar kan skapas genom kallbearbetning (kulpning eller rullpolering) eller genom värmebehandling (sätthärdning, induktionshärdning med mera).

Spänningsamplitud, N/mm<sup>2</sup>



Wöhler-diagram för det mikrolegerade stålet Ovako 280 (S450J0) framtaget genom roterande böjprovning.

Utmattningshållfastheten påverkas även av belastningens karaktär, till exempel böjning, dragning/tryckning eller vridning. Belastningstypen karaktäriseras av medelvärde hos den högsta och lägsta spänningen i en lastcykel, den så kallade medelspänningen. Om en roterande axel utsätts för konstant belastning (roterande böjning) känner en viss punkt på axelns yta för växlande och lika stora drag- och tryckspänningar. Därmed är medelspänningen noll. Effekterna av medelspänning på utmattningshållfastheten kan sammanfattas på följande sätt:



- Utmattningshållfastheten sänks (från nivån motsvarande noll medelspänning) om lastcykeln domineras av dragspänningar (medelspänningen är positiv)
- Utmattningshållfastheten höjs (från nivån för noll medelspänning) om lastcykeln består till största del av tryckspänningar (medelspänningen är negativ). Om endast tryckspänningar förekommer uppstår ingen utmattningshållfasthet alls.

Farligast är belastningstyper med enbart dragspänningar, så kallad pulserande dragbelastning.

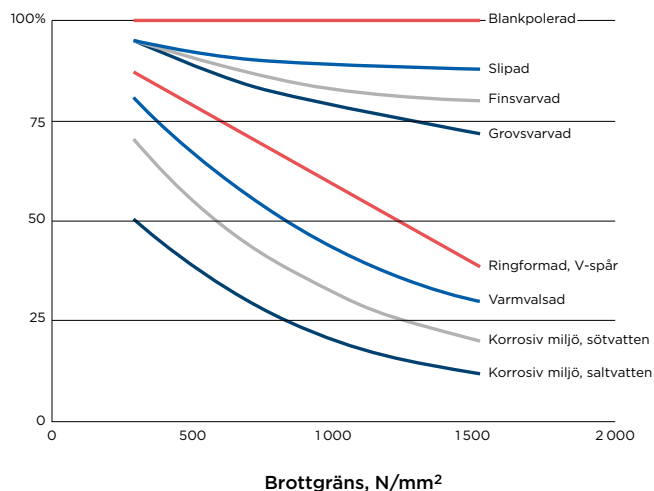
Ytterligare en faktor som inverkar på utmattningshållfastheten är spänningsfördelningen i tvärsnittet då en detalj belastas. Till exempel kan man jämföra dragbelastning och böjning. Vid den förstnämnda är spänningen jämnt fördelad över hela tvärsnittet medan böjning karaktäriseras av att spänningen är högst vid detaljens yta. Därmed är volymen som utsätts för en viss spänning mindre vid böjning och utmattningshållfastheten blir högre. Således visar ett material lägre utmattningshållfasthet vid axiell belastning i drag/tryck än vid roterande böjning trots att medelspänningen i båda fall är lika med noll.

Korrosiv miljö är mycket negativ vad avser motstånd mot utmattningshållfasthet. Dessutom försvinner den för stål karakteristiska utmattningsgränsen och detaljen kan haverera redan vid mycket låga belastningsnivåer. Tyvärr kan även vissa ytbehandlingsmetoder som har till syfte att skydda mot korrosion (till exempel förkromning eller förnickling) försämra utmattningshållfastheten.

Svetsar är speciellt farliga ur utmattningsavseende. Orsaken är dels att typiska svetsdefekter (större slaggar, sprickor, rotfel med mera) fungerar som startpunkter för utmattningsprickor och dels på grund av de ogynnsamma dragrestspänningarna.

Den negativa inverkan på utmattningshållfastheten som beror på ytans beskaffenhet, anvisningar och korrosiv

Procent av utmattningshållfasthet i förhållande till blankpolerad



Nedsättning av utmattningshållfasthet till följd av olika ytfiniteter, en anvisning samt korrosiv miljö. Källa: K B Lundqvist "Hållfasthetslära", Albert Bonniers Förlag (1959), s. 44.

miljö ökar i proportion till brottrörelsegränsen. Med andra ord är hög hållfasta stål mer känsliga för nämnda effekter. Diagrammet nedan illustrerar graden av nedsättning av utmattningshållfastheten i förhållande till brottrörelsegränsen.

Utmattningshållfastheten för konstruktions- och seghärtningsstål med brottrörelsegräns <math><1 200 \text{ N/mm}^2</math> kan vid roterande eller flexande böjprovning uppskattas till 50 % av  $R_m$ . För axiell drag-tryckbelastning med medelspänning noll är utmattningshållfastheten ungefär 40 % av brottrörelsegränsen.

Det finns flera åtgärder för att förebygga risken för utmattningshaveri. Här följer fem exempel:

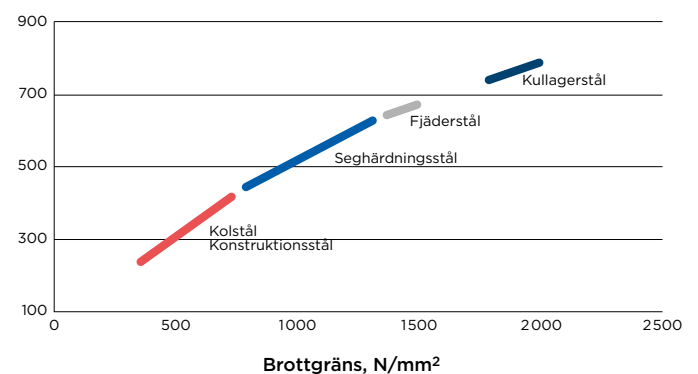
1. Välj ett material med bättre utmattningshållfasthet.
2. Modifiera utformningen av detaljen.
3. Förbättra ytans beskaffenhet.
4. Behandla för att uppnå tryckspänningar i ytan.
5. Om svetsning är nödvändig så tänk på svetsarnas placering.

Osäkerhet i specifikation av belastningsvariationer för en viss applikation samt avsaknad av materialdata för utmattningshållfasthet gör att det är ibland svårt att konstruera och dimensionera en detalj så att risken för utmattningshaveri helt kan uteslutas. För kritiska säkerhetsdetaljer har man inget annat val än att mäta verkliga lastvariationer under drift för att sedan utföra provning av färdiga komponenter med verklighetstroga lastspektra. Den här sortens tester är naturligtvis mycket kostsamma. För andra mindre kritiska detaljer kan man ändå begränsa risken för utmattningsbrott genom att vidta någon eller några av åtgärderna i föregående lista. Nu diskuterar vi dessa åtgärder i lite mer detalj.

### 1. Välj bättre material

Stålets förmåga att motstå utmattningshållfasthet ökar med brottrörelsegräns. Därför kan utmattningshållfastheten förbättras genom val av ett material med högre brottrörelsegräns och hårdhet. Diagrammet visar i grova drag förhållandet mellan brottrörelsegräns och utmattningsgräns vid böjbelastning.

Utmattningshållfasthet, N/mm²



Utmattningsgränsens ungefärliga variation med brottrörelsegräns för att ett antal olika typer av stål (roterande böjning).

För  $R_m < 1\ 200\ \text{N/mm}^2$  är utmattningshållfastheten ca 50 % av brottgränsen. Förhållandet sjunker dock successivt då brottgränsen stiger.

Som redan har påpekats i denna guide har slagginneslutningar en negativ inverkan på stålets utmattningsegenskaper. Därför bör stålet i komponenter som utsätts för höga nivåer av växlande belastning (höga spänningsamplituder) vara rent och innehålla låga halter av icke-metalliska inneslutningar. Slaggerna fungerar som startpunkter för utmattningssprickor samtidigt som den kritiska storleken på slagginneslutningar som kan starta utmattning minskar med ökande brottgräns. Slaggrenhet är därför synnerligen viktig i höghållfasta stål. Genom raffinering (speciellt vad gäller desoxidation) och vakuum-avgasning uppnår man en hög renhetsgrad. Smältan får låg syrehalt och det färdiga stålet låg halt av hårda (och ur utmattningssvavseende farliga) oxidiska inneslutningar.

I vissa stålsorter, till exempel automatstål och M-behandlade stål, tillsätts ämnen som svavel och kalcium för att bilda inneslutningar och på så vis få bättre skärbarhet. Dessa inneslutningar kan försämra utmattningshållfastheten och gör automatstål till ett sämre materialval för detaljer som utsätts för växlande belastning. De karaktäristiska inneslutningarna hos M-Steel®, kalciumaluminater med sulfidhölje, har ingen större negativ inverkan på stålets utmattningsegenskaper om hårdheten underskrider 350 HB. Detta gäller dock endast under förutsättning att inneslutningarna inte tillåts bli för stora. Vid högre hårdheter kan utmattningshållfastheten påverkas negativt av M-behandling.

## 2. Begränsa anvisningseffekterna så gott det går

Anvisningar till följd av ändringar i sektion, hål och skarpa radier medför kraftigt nedsatt utmattningshållfasthet.

Därför bör man se till att:

- Övergången från en sektion till en annan är mjuk.
- Undvika skarpa radier.
- Eliminera hålkäl i största möjliga mån.

Ibland måste anvisningar accepteras, till exempel i gängade detaljer. I sådana fall har man inget annat val än att välja ett stål med passande hållfasthet, kontrollera anvisningseffekten från gängan (finns i standardtabeller) och dimensionera efter detaljens belastning. Gångor som formas genom rullning har bättre utmattningshållfasthet än de som maskinbearbetas.

## 3. Förbättra ytfinheten

Detaljer som löper risk för haveri genom utmattning bör bearbetas med omsorg. Desto finare yta desto högre är utmattningshållfastheten samtidigt som känsligheten för ojämna ytor tilltar med ökande brottgräns. Det är ingen tillfällighet att kulor och ringar i kullager med en hårdhet av 60-62 HRC är finslipade eller högglanspolerade.

## 4. Introducera gynnsamma restspänningar

Eftersom uppkomsten av utmattningssprickor förutsätter dragbelastning förbättras utmattningshållfastheten av tryckrestspänningar. Dessa kan till viss del motverka dragspänningar som förekommer under drift. Ytliga tryckspänningar kan skapas genom kallbearbetning (till exempel kulpening eller rullpolering) eller genom värmebehandling. Vid alla ythärdningsmetoder (sätthärdning, nitrering, induktionshärdning med mera) begränsas volymökningen i ytskiktet av det underliggande materialet. På så vis uppstår tryckspänningar i ytan som förbättrar stålets utmattningsegenskaper.

Det bör nämnas att denna metod (att framkalla ytliga tryckspänningar för att förbättra utmattningshållfastheten) har störst effekt vid belastningsfall då högsta spänning uppnås i detaljens yta, det vill säga vid böjning eller vridning. För drag- och tryckbelastning då spänningen är mer konstant över detaljens tvärsnitt har ytliga tryckspänningar från kallbearbetning eller värmebehandling mycket mindre eller till och med ingen effekt alls.

## 5. Undvik svetsar eller tänk på deras placering

Som redan nämnts har svetsar en mycket negativ inverkan på stålets utmattningshållfasthet. För detaljer utsatta för lastväxlingar bör svetsning helst undvikas. Om detta inte är möjligt kan man överväga följande alternativ:

- Placera svetsar där belastningen är som lägst.
- Efterbearbeta svetsen på så sätt att utmattningshållfastheten förbättras. Lämpliga metoder för detta är nedslipning av svetsrågen eller TIG-omsmältning av svetsgodsets yta samt övergångarna till grundmaterialet. Syftet med bägge metoderna är att minska antalet svetsdefekter där utmattningssprickor kan uppstå. Dessa efterbehandlingar kan dock vara både tidskrävande och kostsamma. En enklare och billigare metod som ändå påverkar utmattningshållfastheten positivt är kallhamring av svetsgodset.
- Värmebehandla så att restspänningar minskas (avspänningsglödning). Svetsade detaljer i höghållfasta seghärdningsstål, till exempel SS-EN 42CrMo4 (SS 2244) och SS-EN 34CrNiMo6 (SS 2541), bör återhärdas och anlöpas.

# ATT MINSKA VIKTEN PÅ KOMPONENTER ELLER KONSTRUKTIONER

Strävan att utveckla lättare konstruktioner har pågått i många år men har intensifierats under 2000-talet, särskilt inom fordonsindustrin. Till viss del har man kunnat ersätta stål med lättare material såsom aluminium eller plast. Många maskindetaljer är dock så hårt belastade under drift att något ekonomiskt alternativ till stål finns inte. Omfånget av hållfastheten hos stål är så stort att man i teorin borde kunna byta ut "ordinära" stål, till exempel S355, till ett material med högre hållfasthet som tillåter att dimensionerna hos detaljen och därmed vikten kan minskas. Riktigt så enkelt är det dock inte och vad som är praktiskt möjligt beror mycket på vilka egenskaper som styr vid dimensioneringen av detaljen på konstruktionsstadiet.

I många fall vill man att en komponent eller konstruktion ska vara elastiskt styv. Med andra ord kan böjning, vridning, utdragning eller komprimering tolereras endast till en viss grad. Eftersom alla stål har i stort sett samma elasticitetsmodul kan man inte rakt av minska dimensionen utan att formförändringen blir större och styvheten minskar. Men ibland går det att minska vikten utan att ge avkall på styvhet. Som enkelt exempel kan man betrakta ett fritt upplagt rör med dimensioner 50/30 mm och längd 1 m som belastas på mitten med 1,5 ton (se skiss). Den elastiska nedböjningen på mitten är cirka 5 mm oberoende av stålsort vilket gör S355J2 (SS 2172) till ett ekonomiskt bra val. Om man istället gör den enda skillnaden att man byter rørets dimensioner till 70/65 mm så blir nedböjningen fortfarande cirka 5 mm, men det går inte längre att använda S355J2 eftersom spänningen på utsidan av røret överskrider materialets sträckgräns. Hos det mikrolegerade stålet E470 (Ovako 280) är dock sträckgränsen högre än högsta böjspänningen i 70/65-røret och gör därför detta stål till ett utmärkt alternativ. Skillnaden är att stålet i 50/30-røret väger 9,9 kg medan det i 70/65-røret väger endast 4,2 kg, en viktbesparing med nästan 60 %.

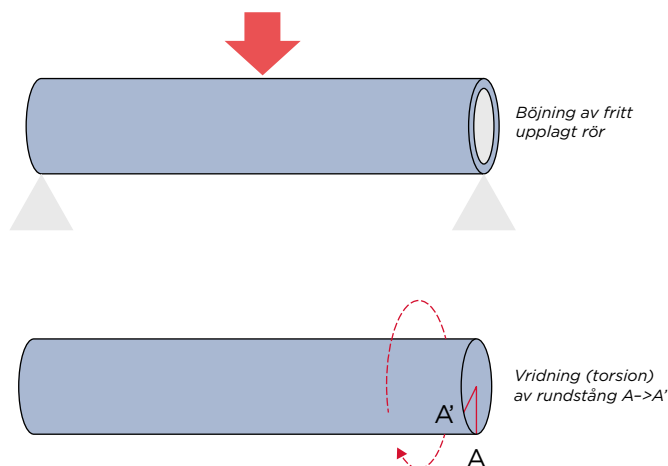
För vissa detaljer kan en högre grad av nedböjning, vridning, förlängning eller komprimering accepteras så länge formförändringen inte är permanent (man får ingen så kallad plastisk deformation). I sådana fall kan man alltid uppnå en viktminskning genom att byta till ett höghållfastare stål. Som exempel kan en solid rundstång som vrids i ena ändan nämnas (se skiss). En axel i S355J2 (SS2172) med diametern 50 mm och längd 1 m kan utsättas för ett vridmoment på cirka 9 kN.m innan permanent (plastisk) deformation uppstår i det yttre skiktet (9 kN.m motsvarar överföring av en effekt på 100 kW @ 100 varv/minut). Om man byter stål till 42CrMoS4 (SS 2244) med högre sträckgräns så räcker diameter 40 mm för att stå emot samma vridmoment vilket medför en viktbesparing på över 35 %. Det bör dock noteras att vinkelvridningen när plastisk deformation inträffar är i detta exempel endast 10° för S355J2 medan den är 26° för 42CrMoS4. Den större vridningen måste i så fall kunna tolereras.

För komponenter eller konstruktioner som utsätts för växlande belastning med risk för utmattningskador kan vikten nästan alltid minskas genom byte till ett höghållfastare stål. Utmattningshållfastheten hos stål blir bättre i takt med att brottgränsen höjs, men som redan påpekats i avsnittet om utmattning bör en sådan förändring göras med viss eftertanke. Då grundhållfastheten hos stålet

höjs blir den negativa inverkan av ytfinhet, anvisningar (ändring i sektion med mera) samt svetsdefekter på utmattningsegenskaperna desto mera påtaglig. Om man vill spara vikt hos en detalj som utsätts för utmattning, genom att minska dimensionerna, kan man tvingas att bättre optimera utformning, förbättra ytfinheten och i vissa fall även eliminera eller omplacera svetsar.

I belastningsfall där högsta spänning uppstår i detaljens yta, till exempel vid böjning eller vridning, kan man minska dimensionerna genom en värmebehandling (till exempel sätthårdning, nitrering, induktionshårdning) som höjer hållfastheten i detaljens yttre skikt. Tänk dock på att sådan behandling gör ytskiktet sprödare än grundmaterialet och uppvisar därmed också mindre tolerans mot plastisk deformation. Knäckmotståndet vid axiell belastning av långa och slanka detaljer kan höjas rejält genom ythårdning och speciellt genom induktionshårdning. Eftersom knäcklasten ligger långt under den som motsvarar materialets sträckgräns kan man sänka detaljens dimensioner betydligt om knäckmotståndet kan höjas. Denna möjlighet är speciellt intressant för höghållfasta, mikrolegerade stål där den låga kolhalten försäkrar en tillräckligt god seghet i det induktionshårdade skiktet.

Ovanstående exempel är långt ifrån heltäckande men ger en fingervisning om vad som är möjligt. Stål med högre hållfasthet är visserligen lite dyrare men möjliggör en lättare konstruktion vilket kan vara av stor betydelse i specifika fall. Om viktminskningen är tillräckligt stor kompenseras dessutom det högre kilopriset helt (och kanske lite därtill) av en mindre inköpt vikt per detalj.





# STÅLNORMER

Nedan redovisas våra svenska SS- (utgångna) och SS-EN-normer tillsammans med motsvarande interna och internationella normer. Någon exakt överensstämmelse råder sällan mellan olika normer utan de översättningar som gjorts ska betraktas som "närmast jämförbara norm".

## Konstruktionsstål

SS	SS-EN 10025-2:2004	Tibnor	DIN	W.Nr.	ASTM/SAE	BS
2174	S355J2	S355J2	St52-3N	1.0577	A572 Grade 50	50D

## Mikrolegerade konstruktionsstål

SS	SS-EN 10025-2:2004 * SS-EN 102277-2:2008	Tibnor	DIN	W.Nr.	ASTM/SAE	BS
2142	S450J0	280/280X	17MnV6	1.0590	A572 Grade 65	-
2144-01	S355J2	520M/520MW+	StE380	1.0577	A572 Grade 55	-
2144-01	S355J2C (*)	550M/550MW+	StE380	1.0579	A572 Grade 65	-

## Sätthärtningsstål

SS	SS-EN ISO 683-3:2018	Tibnor	DIN	W.Nr.	ASTM/SAE	BS
2511	16NiCrS4	16NiCrS4	15CrNi6	1.5715	3115	637 M 17

## Seghärtningsstål

SS	SS-EN ISO 683-1:2018 * SS-EN ISO 683-2:2018	Tibnor	DIN	W.Nr.	ASTM/SAE	BS
1672	C45E	C45E	Ck45	1.1191	1045	080 M 46
1672	C45R	C45E	Ck45	1.1201	1045	080 M 46
2225	25CrMoS4 (*)	2225	25CrMo4	1.7213	4130	-
2244	42CrMoS4 (*)	2244	42CrMo4	1.7227	4140	708 M 40
2541	34CrNiMo6 (*)	2541/34CrNiMo6	34NiCrMo6	1.6582	4340	817 M 40

## Fjäderstål

SS	SS-EN 10089	Tibnor	DIN	W.Nr.	ASTM/SAE	BS
2090	56SiCr7	2090	56SiCr7	1.7106	9255	250 A 53
2230	51CrV4	2230	50CrV4	1.8159	6150	735 A 50

## Kullagerstål

SS	SS-EN ISO 683-17:2014	Tibnor	DIN	W.Nr.	ASTM/SAE	BS
2258	100Cr6	Ovako 803F	100Cr6	1.3505	52100	534 A 99
-	100CrMo7	Ovako 824B	100CrMo7	1.3537	-	-
-	100CrMo7-3	Ovako 825B	100CrMo7-3	1.3536	-	-

## Automatstål














SS	SS-EN 10087:1998 * SS-EN 10025-2:2004 § SS-EN 10277-2:2008	Tibnor	DIN	W.Nr.	ASTM/SAE	BS
1912	11SMn30	11SMn30	9SMn28	1.0715	1213	230 M 07
1914	11SMnPb30	11SMnPb30	9SMnPb36	1.0718	12L13	230 M 07Pb
1957 + Pb	36MnPb14	36SMnPb14	36SMnPb14	1.0765	11L37	212 M 36
2144-01	S355J2 (*)	520MW+	StE380	1.0577	A572 Grade 55	-
2144-01	S355J2C (§)	550MW+	StE380	1.0579	A572 Grade 65	-

## Stränggjutjärn

SS	SS-EN 16482:2014	Tibnor	DIN	W.Nr.	ASTM/SAE	BS
0125	GJL-250C	GJL-250C	GG-FP	5.1203	A48 Class 30	250
0727	GJS-500-7C	GJS-500-7C	GGG-50	5.3203	A536 80-55-06	500-7
0717	GJS-400-15C	GJS-400-15C	GGG-40	5.3126	A536 65-45-12	420-12

# FÄRGMÄRKNING


Allmänna konstruktionsstål, seg- och sätthärtningsstål, och kullagerstål

280 ORANGE		2541 VINRÖD 34CrNiMo6		S355 SVART 2172	
2244 BRUN 42CrMo4		C45 GRÖN 1672		2225 OLIVENGRÖN 25CrMo4	
520M GULGRÖN		16NiCrS4 BLÅGRÅ 2511		520MW+ GULGRÖN/SVART	
803 RÖD 824/825		550MW ROSA		2230 BRUN/GUL	
E470 MÖRKBLÅ 280D					

## Automatstål

11SMn30+C ROSA 1912		11SMnPb30+C MÖRKBLÅ 1914		36SMnPb14+C LILA 1957+Pb	
---------------------------	---	--------------------------------	---	--------------------------------	---

## Gjutjärn

GJL-250C SILVER 0125		GJS-400-15C/18C GUL/RÖD 0717		GJS-500-7C GUL 0727	
----------------------------	---	------------------------------------	---	---------------------------	---

Färgmärknigen som anges för SS-norm är samma för motsvarande SS-EN norm.

# CERTIFIKAT

Standarden som reglerar innehållet i intyg (certifikat) för metalliska varor heter SS-EN 10204:2005. Här följer en kort redogörelse över vad olika typer av certifikat innebär.

## Kvalitetsintyg 2.1

Dokument i vilket tillverkaren, utan att ange typiska värden för till exempel kemisk analys och mekaniska egenskaper, intygar att de levererade varorna överensstämmer med bestämmelserna i köpeavtalet.

## Kvalitetsintyg 2.2

Dokument i vilket tillverkaren intygar att de levererade varorna överensstämmer med bestämmelserna i köpeavtalet och i vilket lämnas typiska värden för till exempel kemisk analys och mekaniska egenskaper grundade på icke-specifik provning av liknande material.

## Provningsintyg 3.1 (tidigare 3.1.B)

Dokument som utfärdas av den från tillverkningsavdelningen oberoende kontrollavdelning och bekräftas av en av företaget auktoriserad representant som är oberoende av tillverkningen. De värden som redovisas i intyget är resultat från verklig provning på den charge och dimension som anges på intyget.

## Provningsintyg 3.2 (tidigare 3.1.C)

Dokument som utfärdas och bekräftas av en auktoriserad representant för köparen i enlighet med bestämmelserna i köpeavtalet, det vill säga kunden skall ange vilka provningar som skall utföras. Detta är ett så kallat tredjepartsintyg där köparen begärt att en kontrollant från en angiven kontrollinstans antingen utför eller närvarar vid provning. I vissa fall kan en tillverkare ha ett godkännande från en viss kontrollinstans för att utfärda 3.2 certifikat i egen regi, det vill säga utan närvaro av kontrollant.

## Vad innehåller dessa olika typer av intyg?

### Kvalitetsintyg 2.2

Detta intyg innehåller riktanalys och eventuellt exempel på mekaniska egenskaper från liknande material.

### Provningsintyg 3.1

#### Konstruktionsstål, seghärtningsstål, automatstål, stränggjutjärn

Kemisk analys, sträckgräns, brottgräns, förlängning till brott, eventuellt även hårdhet, areareduktion till brott (brottkontraktion) och slagseghet.

#### Sätthärtningsstål, fjäderstål, kullagerstål

Kemisk analys, hårdhet, för sätthärtningsstål kan eventuellt även resultat från Jominyprovning redovisas.

## Provningsintyg 3.2

Vad som skall redovisas i detta intyg är reglerat i köpeavtalet. I detta ska köparen ange vilka provningar som skall redovisas och tillverkaren ska ha i förväg bekräftat att dessa provningar är genomförbara.

## Provuttag för provning av mekaniska egenskaper

### Konstruktionsstål

För dimensioner D, B eller T >25 mm är provkroppen för dragprovning uttagen så att provkroppens centrum är minst en tredjedel av avståndet mellan periferin och stångens centrum. Om D, B eller T ≤25 mm skall provkroppens centrum sammanfalla med stångens centrum. För slagseghetsprovning är provkroppen uttagen så att den ena sidan är 2 mm från stångens yta.

### Seghärtningsstål

För dimensioner D >25 mm är provkroppen för dragprovning eller slagprovning uttagen så att provkroppens centrum är minst 12,5 mm in från ytan. För D ≤ 25 mm skall provkroppens centrum sammanfalla med stångens centrum.

### Viktigt att notera

På grund av det ytliga läget för det standardiserade provuttaget kan mekaniska egenskaper i centrum av en grov seghärdad stång skilja sig betydligt från de som redovisas på provningsintyget. För seghärtningsstålen SS-EN 25CrMo4 och SS-EN 42CrMo4 sträcker sig normerna inte längre än till D=160 mm eftersom dessa stål är så pass lågt legerade att hållfastheten i centrum på grövre dimensioner skulle avvika mycket kraftigt mot det som redovisas i certifikatet. Seghärtningsstålet SS-EN 34CrNiMo6 som är högre legerat är normerat till och med D=250 mm. Önskas garantier för nivån av olika mekaniska egenskaper i ett läge, som skiljer sig från det som standardiseras, måste detta stipuleras vid förfrågan och beställning.

Tibnor förser industrin i Norden och Baltikum med stål och metaller. Vi är samlingspunkten för smartare lösningar, där vår kompetens och potential möter våra kunders och leverantörers. Tillsammans gör vi den nordiska industrin ännu starkare. Tibnor är ett dotterbolag till SSAB. Vi har 1000 anställda och finns i 7 länder. [www.tibnor.se](http://www.tibnor.se).

**Tibnor AB**

Box 600  
169 26 Solna

Besöksadress:  
Sundbybergsvägen 1

Telefon: 010-484 00 00  
Fax 010-484 00 75  
Email: [info@tibnor.com](mailto:info@tibnor.com)

[www.tibnor.se](http://www.tibnor.se)

