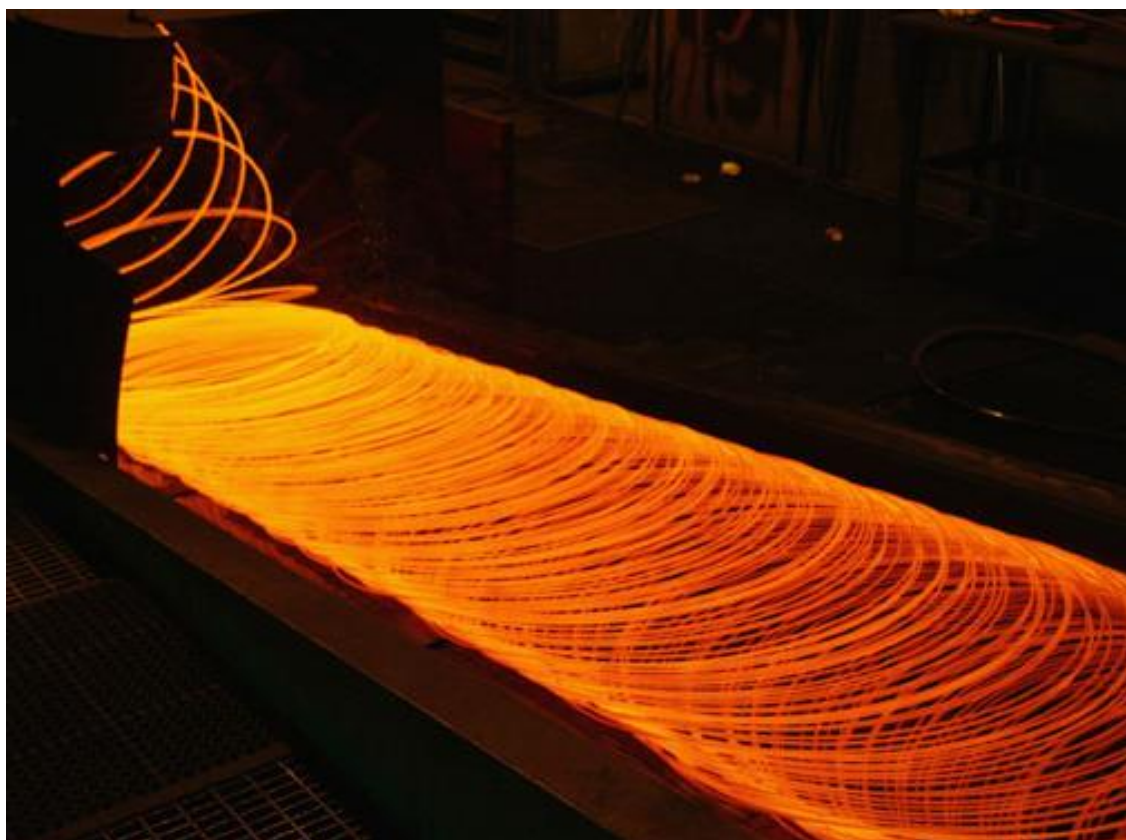


# Järn- och stålframställning

## Bearbetning av långa produkter

Jernkontorets utbildningspaket – del 8



## Förord

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

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

Läromedlet är författat av experter inom nordisk stålindustri.

Delar av paketet har reviderats.

Utbildningspaketet omfattar följande områden:

<b>Del</b>	<b>Titel</b>	<b>Senaste utgåva</b>
1	Historia, grundläggande metallurgi .....	2016
2	Malmbaserad processmetallurgi .....	2000
3	Skrotbaserad processmetallurgi .....	2000
4	Skänkmetallurgi och gjutning .....	2000
5	Underhåll och driftsekonomi .....	2001
6	Analytisk kemi .....	1996
7	Energi och ugnsteknik .....	1997
8	Bearbetning av långa produkter .....	2015
9	Bearbetning av platta produkter .....	2015
10	Oförstörande provning .....	2007
11	Olegerade och låglegerade stål .....	1996
12	Rostfritt stål .....	2015

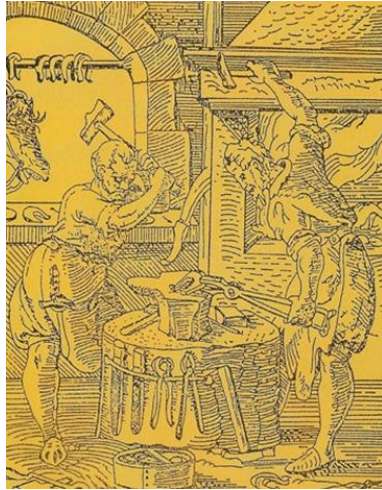
# Innehåll, Del 8 Bearbetning av långa produkter

1	INLEDNING .....	3
2	ÄMNESFRAMSTÄLLNING .....	5
2.1	Götgjutning .....	5
2.2	Stränggjutning .....	5
2.3	Ämneskrav på blooms och billets .....	7
3	ÄMNESBEHANDLING .....	8
3.1	Ytkonditionering .....	8
3.2	Ämnesslipning .....	9
4	VÄRMNING .....	11
4.1	Allmänt .....	11
4.2	Ugnstyper .....	12
4.3	Glödskalsbildning .....	13
4.4	Inverkan på ämnet .....	14
5	BEARBETNING – ÖVERSIKT .....	15
5.1	Elastisk och plastisk deformation .....	15
5.2	Varm- och kallbearbetning .....	16
5.3	Duktilitet och bearbetbarhet .....	17
6	VALSNING .....	18
6.1	Översikt principer .....	18
6.2	Valsverksutrustning .....	20
6.3	Valsningsmetoder och spårserier .....	23
6.4	Valsningsterminologi .....	24
6.5	Spärfyllnad .....	26
6.6	Dimensionsmätning .....	26
6.7	Valsade produkter .....	27
6.8	Valsar .....	27
7	SMIDE .....	29
7.1	Allmänt .....	29
7.2	Utrustning .....	30
7.3	Verktyg och metoder .....	30
7.4	Smidesparametrar .....	31
7.5	Efterbehandling .....	32
8	RÖRTILLVERKNING .....	33
8.1	Valsade rör .....	33
8.2	Extrusion av rör .....	33
8.3	Kallbearbetning av rör .....	34
8.4	Svetsade rör .....	35
9	TRÅDDRAGNING .....	36
9.1	Allmänt .....	36
9.2	Teknik .....	36
10	EFTERBEHANDLING AV LÅNGA PRODUKTER .....	38
10.1	Riktning .....	38
10.2	Rullriktning .....	39
10.3	Rullriktning med konkava-konvexa valsar .....	39
10.4	Värmebehandling .....	40
11	PRODUKTEGENSKAPER .....	41
12	PRODUKTIONSEKONOMI .....	43
12.1	Nyckeltal .....	43
12.2	Utbyte .....	44
13	PROCESSIMULERING .....	45
14	PROCESSTYRNING .....	46

# Bearbetning av långa produkter, del 8

## 1 Inledning

Människan har känt till metaller under ca 4000 år. Den första metoden att bearbeta metaller var smide.



*Bild 8-1*

I dag kan vi dela in metoderna för att bearbeta metaller i:

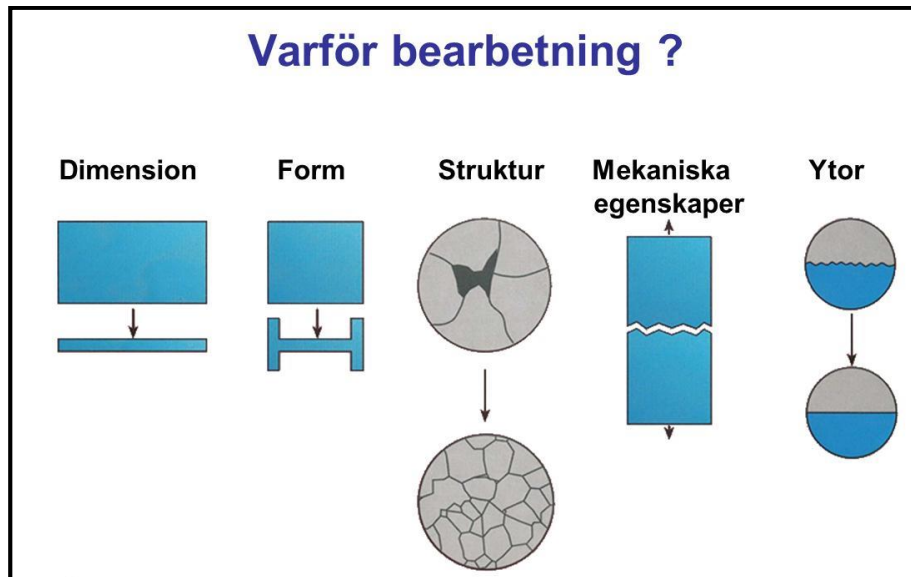
- plastisk bearbetning
- skärande (spånskarande) bearbetning
- klippande (styckskärande, frånskiljande)
- hopfogande bearbetning (svetsning).

Det vi skall behandla är plastisk bearbetning, det vill säga bearbetning som ger kvarstående deformation. Plastisk bearbetning sker vid:

- smide
- valsning
- dragning
- riktning
- plåtformning.

En mycket stor del av det stål som tillverkas gjuts till ämnen, som sedan bearbetas genom valsning eller smide. Det finns flera skäl att bearbeta ett stål. Bearbetningen påverkar:

- dimension
- form
- inre struktur
- mekaniska egenskaper
- ytor.



**Bild 8-2**

Dimensionen ändras, då t ex ett 200 mm tjockt slabs valsas ner till ett 3 mm tjockt band. Formen ändras, då ett blooms valsas till en H-balk.

I gjutet tillstånd innehåller ett stålämne porer och dessa välls samman under varmbearbetning. Den gjutna strukturen är grovkornig. Genom rekristallisation vid varmbearbetning minskar kornstorleken. Vidare kan grova karbider delas upp i mindre delar vid bearbetning.

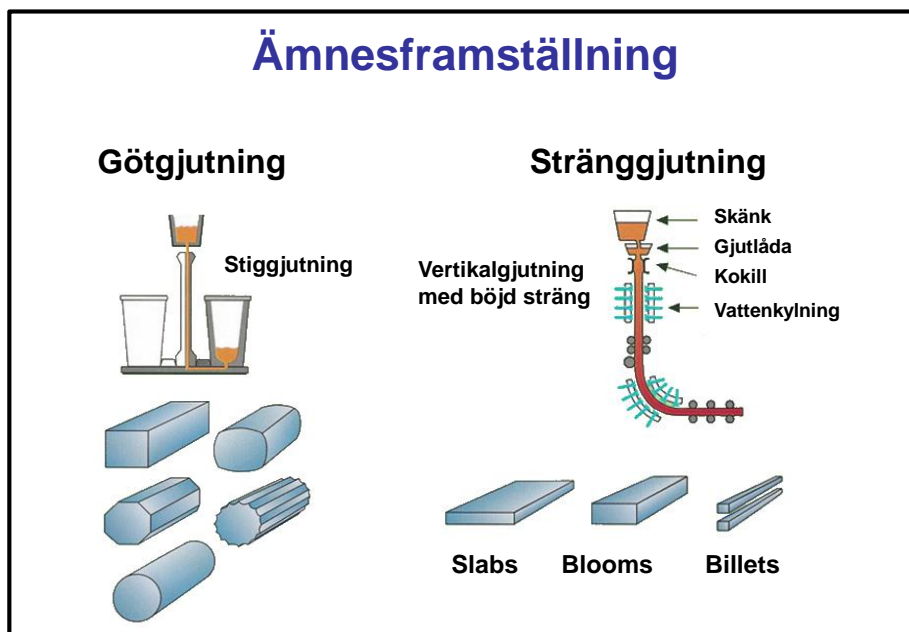
Ojämnheter i stålets sammansättning, s k segringar, jämnas ut vid värmning och varmbearbetning. Förslutning av porer, bildande av mindre korn genom rekristallisation, uppdelning av grova karbider och utjämning av segringar sammanfattas i begreppet "nedbrytning av gjutstruktur".

Denna nedbrytning av gjutstrukturen förbättrar de mekaniska egenskaperna, det vill säga stålet tål större belastningar och kan deformeras mer utan att brista.

Vid kallbearbetning blir ytorna slätare. Detta ger ett utseende som t ex gör det möjligt att använda rostfri plåt i diskbänkar utan ytbehandling. Dessutom gör den släta ytan det möjligt att hålla en rostfri plåt ren, vilket är av stor betydelse i livsmedelsindustrin.

## 2 Ämnesframställning

Ämnen för valsning och smide framställs antingen som göt via götjutning eller som slabs, blooms eller billets via strängjutning.



*Bild 8-3*

Strängjutningen vinner allt större tillämpning och svarar idag för ca 85 % av världsproduktionen av stålämnen. Förutom rektangulära, fyrkantiga och runda tvärsnitt kan även förprofiler för balk stränggjutas. En utveckling inom stränggjutningen är att gjuta tunna slabs.

### 2.1 Götjutning

Götjutning var tidigare den vanligaste metoden för framställning av ämnen. Sedan 1960-talet tillämpas endast stiggjutning. Stiggjutning innebär att stålmältan fylls på i formar av gjutjärn, kokiller, via hål i botten. Kokillerna är placerade på plattor av gjutjärn, s.k. stigplan, i vilka det finns eldfasta kanaler. Kanalerna mynnar i botten på kokillerna. Genom att utforma kokillerna på ett speciellt sätt, kan man minska utbytesförlusterna på grund av pipe i götet. Man förser kokillerna med en s.k. sjunkbox.

Götjutning tillämpas numera främst av företag, som producerar mindre volymer, har många ämnesformat, eller gjuter vissa höglegerade stålsorter, som är segringsbenägna och därför inte kan stränggjutas.

Göt tillverkas i många olika format och med vikter upp till ca 100 ton. Formen kan vara fyrkant, sexkant, åttkant, tolvkant eller rund som hos ESR-göt.

### 2.2 Stränggjutning

Stränggjutning är en kontinuerlig tillverkningsprocess för ämnen. Det innebär att man gjuter en eller flera charger i följd med samma tvärsnitt. Skänken med det raffinerade stålet placeras ovanför gjutlådan. Via ett hål i skänkens botten tappas stålet ner i gjutlådan och vidare via dess utloppshål

ner i den vattenkylda kopparkokillen. Strängen kapas efter stelning till beställda ämneslängder. Processen lämpar sig bäst för tillverkning av stora tonnager i samma stålsort och med samma dimension.

Stränggjutningsmaskiner kan delas in i olika typer, beroende på i vilken riktning gjutning respektive utmatning och kapning sker. Vanligast är att gjutningen sker vertikalt och att strängen böjs av så att utmatningen sker horisontellt. Andra typer är de horisontella, dvs gjutning och utmatning sker i horisontalplanet.

I jämförelse med götgjutning är de viktigaste fördelarna med stränggjutning:

- Högre utbyten
- Lägre energiförbrukning
- Jämnare kvalitet
- Kortare produktionsväg, götvalsning behövs ej.

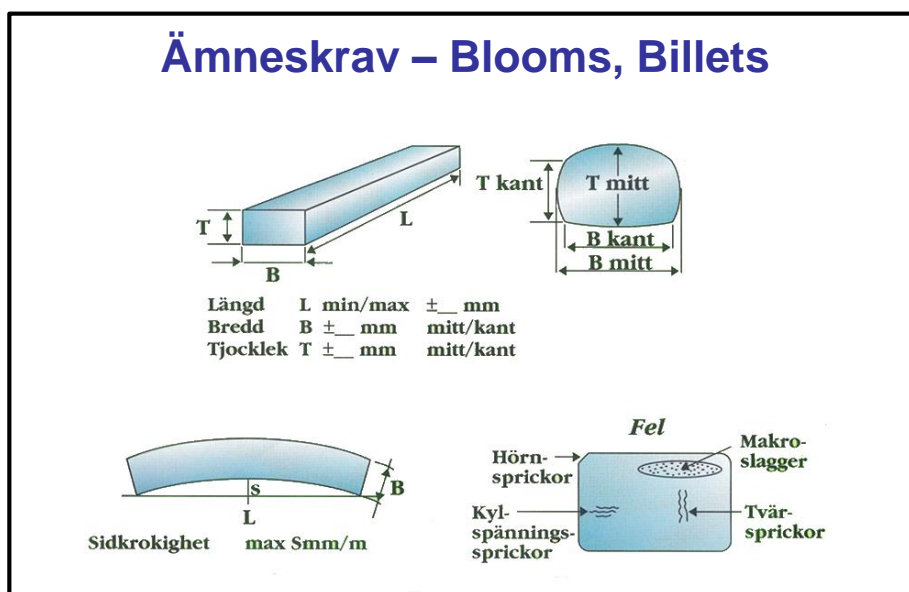
Nackdelen med stränggjutning är att stålsortsortimentet är begränsat. Endast tätade stål kan stränggjutas. Många höglegerade och segringsbenägna stålsorter lämpar sig ännu inte för stränggjutning.

Benämningen på de ämnesformat som stränggjuts är:

- Billets                    100 x 100 – 180 x 180 mm
- Blooms                    200 – 400 x 200 – 400 mm
- Slabs                      150 – 300 x 400 – 2200 mm
- Runda ämnen            Ø 175–325 mm

## 2.3 Ämneskrav på blooms och billets

Tillverkning av blooms och billets sker enligt tillverkningsföreskrifter för att i möjligaste mån uppfylla de kvalitetskrav som gäller. Ämnens kvalitetskrav grundas på krav på den valsade slutprodukten men även på krav från valsverken. Exempel på sådana specificerade krav kan vara dimensions- och formtoleranser.



*Bild 8-4*

För att stickserier och kalibreringar skall fungera måste ämnena hålla vissa toleranser. Ämnesdimensionen påverkar givetvis hetlängden vid valsning och kan inverka på utbytestalet. Undermått hos ämnet kan medföra att man inte får ut hela antalet prima längder från en heta.

Felaktigheter i formen, t ex krokighet hos ämnet, kan medföra hanteringsproblem på rullbanor i ugn och valsverk. Skevhet och andra formfel kan leda till problem vid valsningen och formfel hos slutprodukten. Ytfel och sprickor på ämnena måste normalt avlägsnas med hjälp av slipning. Även slipningen måste utföras med hänsyn till kvalitetskraven på den färdiga produkten.

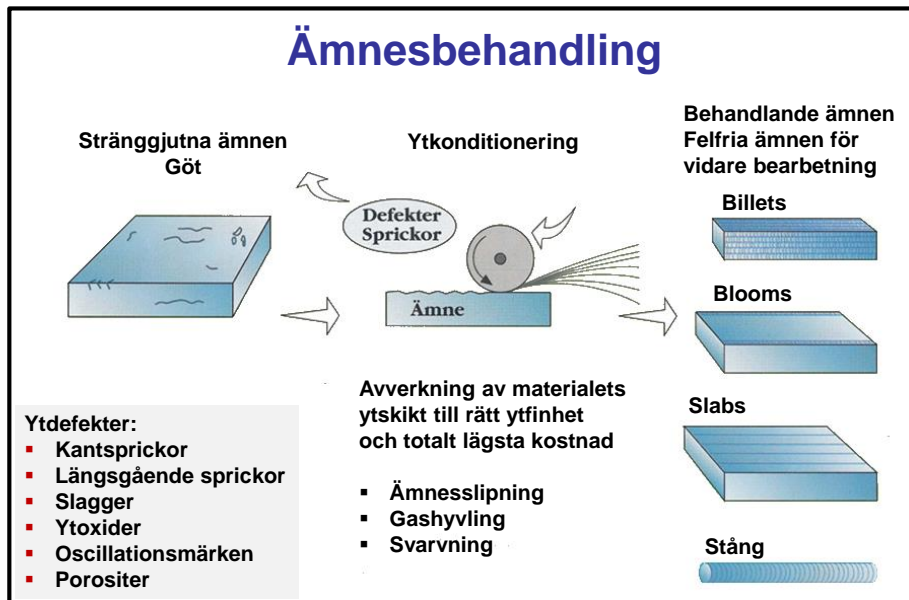
Ämnens inre egenskaper kan kontrolleras med avseende på sprickor, t ex hörnsprickor, kylspänningsprickor eller tvärsprickor. Andra inre egenskaper som man ställer krav på är omfattningen av slaggar och segringar.



## 3 Ämnesbehandling

### 3.1 Ytkonditionering

Stränggjutna ämnen eller göt har ibland (det gäller speciellt mer höglegerade stålsorter) olika typer av ytdefekter, som måste avlägsnas före värmning och fortsatt valsning. Om så inte sker, finns risk för sprickbildning under varmvalsning eller att defekter kvarstår hos slutprodukten, så att denna måste kasseras. Detta kan gälla t.ex. ytoxider, slagger och flagor. De ytdefekter som förekommer är olika typer av sprickor (längsgående och tvärgående på yta eller hörn), ytslagger, oxider, för stora oscillationsmärken, kallflytningar m.m.



*Bild 8-5*

Syftet med all ytkonditionering är att få felfria ämnen för fortsatt bearbetning, så att slutprodukter med hög kvalitet erhålls. Vid ytkonditionering avverkas materialets ytskikt så djupt att ytdefekter säkert avlägsnas.

Stålsorter för vilka risk för ytdefekter finns, synas och defekterna märks ut för efterföljande borttagning. Vissa stålsorter ytkonditioneras utan föregående syning. Alla slags ämnen, billets, blooms, slabs och runda ämnen kan ytbehandlas. I Sverige används huvudsakligen ämnesslipning för att avlägsna ytdefekter.

## 3.2 Ämnesslipning

I stort sett alla slags stålsorter ämnesslipas: rostfritt, högkolhaltiga stål, verktygsstål, mikrolegerade stål m fl. Ämnesslipning kan ske som helslipning där hela ytan slipas eller som fläckslipning, där endast de delar där yteffekter återfinns bortslipas.

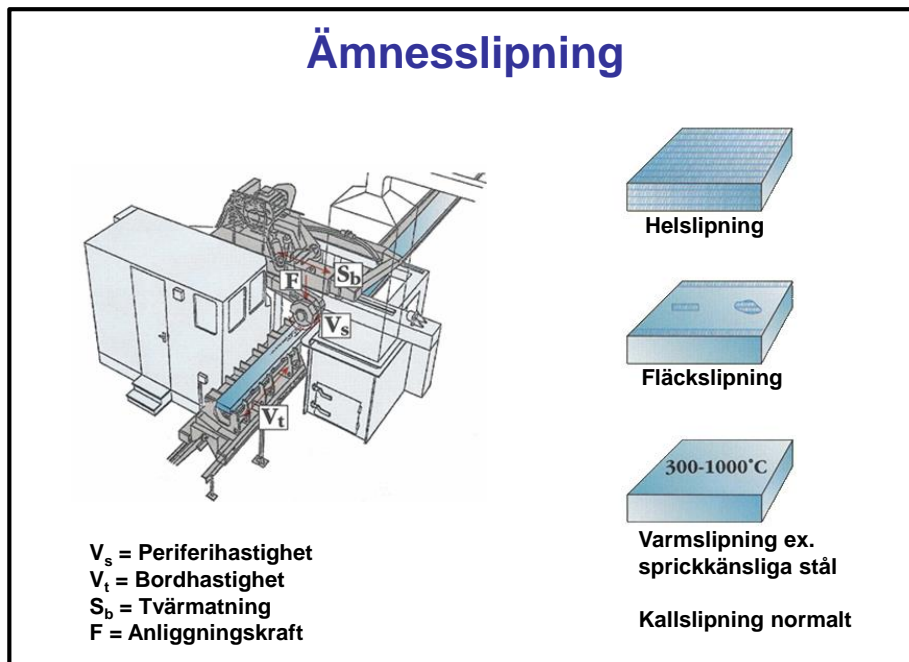


Bild 8-6

För vissa sprickkänsliga stålsorter sker slipning vid förhöjd temperatur för att undvika att den leder till sprickbildning. Varmslipning skulle också kunna användas i ett varmt ämnesflöde för att spara energi genom att varmchargering utnyttjas. Problemet är att detektera ytfel på varma ämnen.

Andra ytkonditioneringsmetoder är gashyvlning samt fräsning eller svarvning av ytor. Gashyvlning används företrädesvis för låglegerade kolstål. I processen bränns ett ytskikt bort. Metoden används endast begränsat i Norden. Fräsning eller svarvning av ytor används för olika stålsorter och en stor fördel är att spånorna enkelt kan återanvändas, vilket är betydelsefullt för höglegerade material. Tekniken används t.ex. för snabbstål.

Vid ämnesslipning läggs ämnet som skall slipas på ett bord, som rör sig fram och tillbaka under en roterande slipskiva. Vid helslipning förflyttas slipskivan stegvis över ämnet tills hela ämnet är slipat, medan vid fläckslipning endast defekter och området närmast defekten slipas bort. Under slipningen pressas slipskivan mot ämnet med ett visst tryck.

Väsentliga slippparametrar vid ämnesslipning och normalvärden är följande.

- periferihastighet för slipskivor 60–80 m/s
- bordets hastighet 35–60 m/min
- skivans tvärmatning 10–35 mm
- slipeffekt 25–350 kW

Ju större slipeffekt desto större blir materialavverkningshastigheten. Denna ökar också med slipmedlets hårdhet och kornstorleken i slipskivan. Hårda skivor ger stor avverkningskapacitet och

lång skivlivslängd men grov yta, medan mjuka skivor ger låg avverkningskapacitet och kort skivlivslängd men fin yta.

Val av slipskiva och slipp parametrar bör ske mot lägsta totala slipkostnad under beaktande av andra kriterier, exempelvis att viss ytfinhet måste uppnås. För höglegerade stålsorter, som t.ex. rostfritt stål, anges ytfinheter som skall uppnås vid ämnesslipningen. Om dessa överskrids finns risk för kvarvarande slipmärken hos den kallvalsade slutprodukten. Ytfinhetsvärden som krävs brukar ligga i intervallet 50–100 µm.

Den totala slipkostnaden sammansätts av tre huvuddelar:

- maskinkostnad
- skivkostnad
- materialkostnad

Med materialkostnad avses kostnaden för det material som bortslipas. Den bortslipade materialmängden ökar vid helslipning jämfört med fläckslipning och ökar också procentuellt för helslipning av billets jämfört med slabs. Materialkostnaden utgör en relativt begränsad del av totala slipkostnaden för låglegerade stål, medan den för höglegerade stål kan uppgå till 75 % av totala kostnaden. Observeras bör att den totala slipkostnaden är mycket högre för höglegerade stål jämfört med låglegerade stål.

Vid optimering av slipkostnaden är det således viktigt att alla ingående delar noga beaktas, såväl maskinkostnad som skivkostnad och kostnaden för bortslipat material. Detta är speciellt viktigt för mera höglegerade stålsorter, där även ytfinheten efter slipning måste beaktas.

## 4 Värmning

### 4.1 Allmänt

Vid varmbearbetning värms ämnen i en värmugn. Det finns flera skäl till att man vill värma och bearbeta vid hög temperatur:

- Under värmningen utjämnas skillnader i sammansättning (segringar) genom att atomerna kan röra sig vid hög temperatur (diffusion).
- Varmbearbetning bryter ner gjutstrukturen och förbättrar egenskaperna.
- Kraften för att deformera är lägre vid hög temperatur jämfört med rumstemperatur.
- Stålet kan deformeras mer vid hög temperatur utan att det spricker.
- Vid värmningen löses karbider och nitrider upp. Detta påverkar produktens egenskaper.

Utjämnning av segringar kräver hög temperatur och lång tid. Olika slags atomer i stålet rör sig med olika hastighet. Kol rör sig förhållandevis snabbt. Fosfor rör sig med avsevärt lägre hastighet. Atomer av andra metaller är mycket långsamma. Detta innebär att kolsegringar och i viss utsträckning fosforsegringar utjämnas vid värmning. Segringar av legeringsämnen som Cr och Ni kräver lång tid vid hög temperatur för att utjämnas.

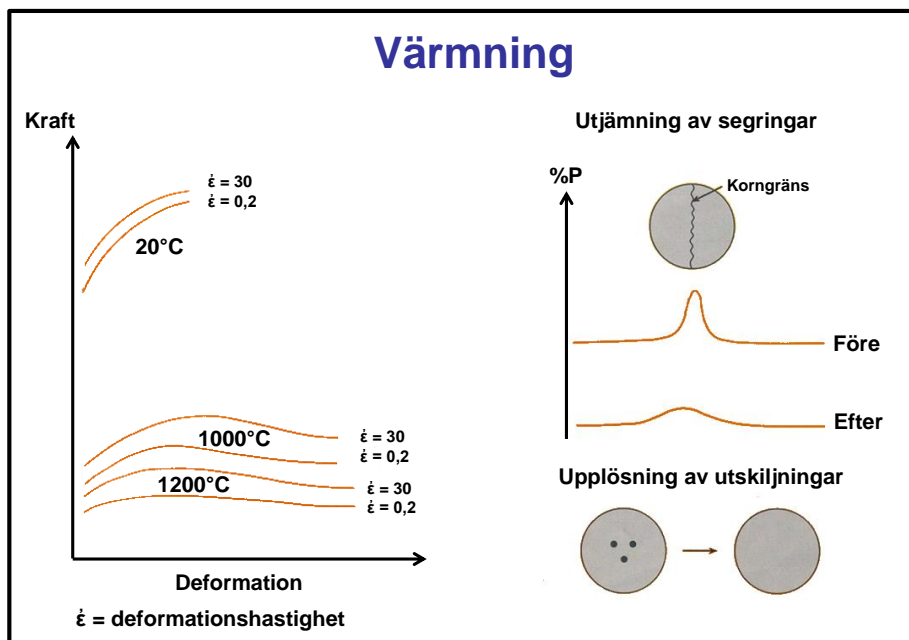


Bild 8-7

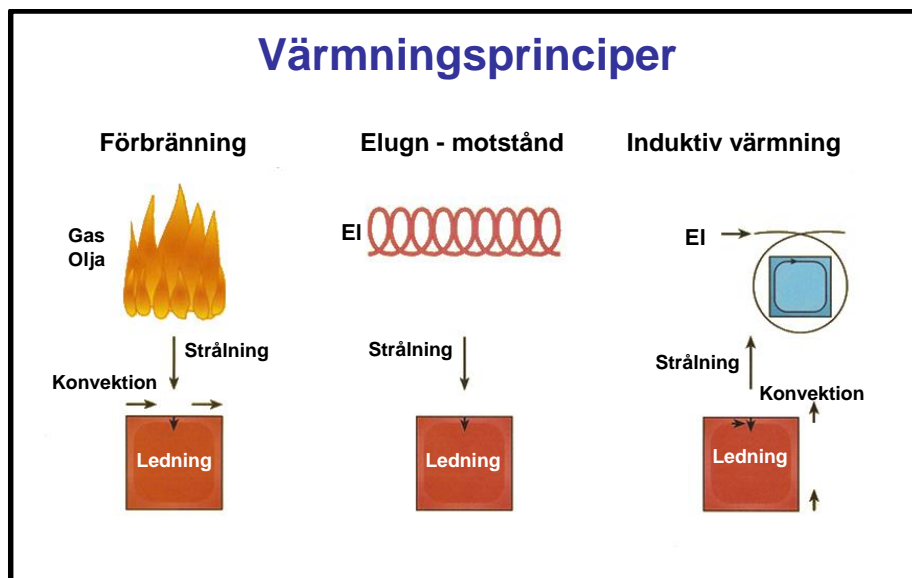
## 4.2 Ugnstyper

Värmning sker i satsvisa ugnar eller i kontinuerliga ugnar. Satsvisa ugnar är t ex gropugnar eller vagnugnar. Det som utmärker en kontinuerlig ugn är att ämnet transporteras genom ugnen under värmningsförloppet. Kontinuerliga ugnar är t.ex. genomskjutningsugnar, stegbalksugnar och ringugnar.

Värmet i ugnen alstras antingen genom förbränning av olja eller gas eller genom elektricitet. Vid förbränning bildas en varm flamma, som genom strålning värmer ämnet. En mindre del av värmet kan också föras över till ämnet genom att het gas strömmar över ämnets yta. Detta kallas värmetransport genom konvektion. Värmet måste sedan transporteras från ämnets yta in mot centrum. Detta sker genom värmeledning.

Vid värmning med el kan elektriska motståndstrådar i ugnen värmas upp. Värmet förs över till ämnet genom strålning. I en elektrisk ugn är gashastigheten lägre än i en bränsleeldad ugn. Värmeöverföring genom konvektion är därför mindre. Värmet transporteras in från ytan mot ämnets centrum genom värmeledning.

En annan metod att värma med el är genom så kallad induktiv värmning. Vid induktiv värmning använder man en vattenkyld spole, som får alstra en ström inne i ämnet. Principen liknar en transformator. Strömmen i ämnet ger då en uppvärmning, som koncentreras till ämnets ytskikt. Värmet leds sedan in mot ämnets centrum. Vid induktiv värmning kommer ämnet att vara varmare än den omgivande spolen. Detta medför att värme transporteras bort från ämnet genom strålning och konvektion.



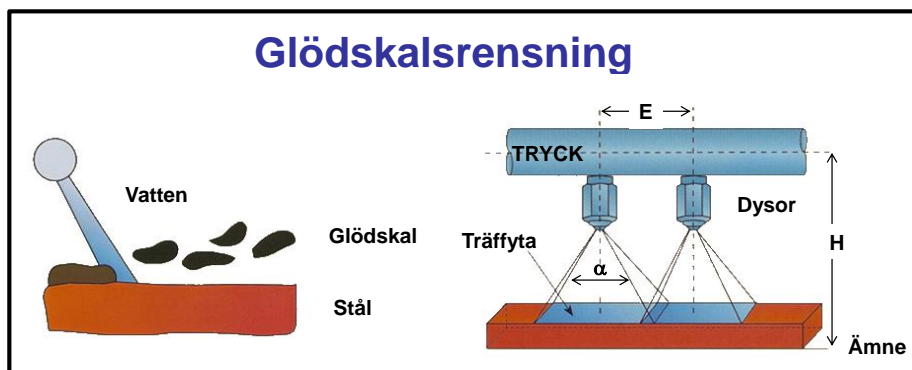
*Bild 8-8*

### 4.3 Glödskaalsbildning

Vid värmning till hög temperatur kommer järn att oxideras av syre, som finns i ugnsatmosfären och bilda oxid, så kallat glödskal. Mängden glödskal ökar med tiden. Glödskaalsbildningen sker snabbare ju högre temperaturen är. Glödskalet medför en materialförlust. Det är därför viktigt att ämnen inte hålls vid hög temperatur under lång tid.

Glödskalet från ugnen kan valsas in i produkten och ge ytfel. Vid produkter som har krav på ytorna, särskilt plåt och band, måste glödskalet avlägsnas före valsningen.

Detta sker vanligen genom vattenspolning med högt tryck. Vattnet som spolas mot glödskalet ger en uppspräckning av glödskalet genom att det kyls av. Detta gör det lättare för vattnet att rycka bort glödskalet. Vid varmvalsning nybildas glödskal. Det kan därför vara nödvändigt att glödskaalsrensa flera gånger.



*Bild 8-9*

## 4.4 Inverkan på ämnet

Vid mycket hög temperatur kan delar av glödskalet smälta och tränga in i stålets korngränser. Detta medför att korngränserna brister vid bearbetningen. Områden i stålet som har hög halt föroreningar smälter vid lägre temperatur än normalt. Eftersom korngränserna har högre halt av föroreningar har de lägre smältpunkt. Om temperaturen blir så hög att korngränserna smälter och oxideras blir stålet bränt. Det innebär att det är omöjligt att valsa. Om stålet överhettats och bränts hjälper det inte att sänka temperaturen. Materialet är förstört.

Ett annat fenomen vid värmning är att ytan först blir varmare än centrum. Eftersom stål utvidgas vid uppvärmning kommer den varma ytan att vilja "dra isär" ett område under ytan. Vid stora ämnesdimensioner, sprickkänsliga stål och snabb uppvärmning kan dragspänningarna orsaka sprickor i ämnet. Dessa sprickor kan orsaka att ämnen spricker i ugnen. Det kan också inträffa att sprickorna inte kommer fram förrän under valsningen.

Järn och stål byggs upp av kristaller. Dessa kristaller kallas också korn. En kristall kännetecknas av att atomerna är ordnade. Mellan olika kristaller finns tunna skikt med oordning, så kallade korngränser.

I järn och stål kan atomerna ordnas på två olika sätt vid olika temperaturer. Vid rumstemperatur är järnatomerna i stål ordnade i en kubiskt rymdcentrerad struktur. Kubiskt rymdcentrerat järn benämns ferrit. Vid värmning över 910 °C kommer ordningen i rent järn att ändras till kubiskt ytcentrerat. Kubiskt ytcentrerat järn kallas austenit.

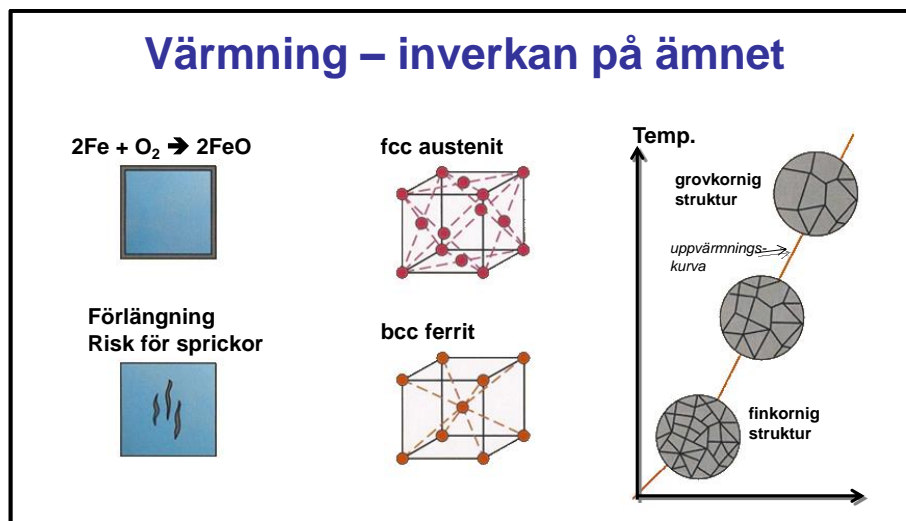


Bild 8-10

Kristaller med atomerna ordnade på samma sätt sägs tillhöra samma fas. Kristaller med atomerna ordnade på olika sätt tillhör olika faser. Stål innehåller kol. Kol och järn kan förenas till en järnkarbid som kallas cementit. Denna fas är mycket hård. Vid svalning av stål kan cementit och ferrit bildas samtidigt. De två faserna kan tillsammans forma perlit eller vid lägre temperatur bainit.

Vid värmning till hög temperatur blir korngränserna rörliga. Då temperaturen höjs kommer kornstorleken att öka genom korn tillväxt. Detta innebär att små korn försvinner och stora korn växer. Korn tillväxten går snabbare vid högre temperatur. Hög temperatur under lång tid ger stor kornstorlek. Större korn innebär större risk för sprickor under bearbetningen.

## 5 Bearbetning – översikt

### 5.1 Elastisk och plastisk deformation

De flesta fasta material kan deformeras något utan att brista. Deformation kan vara elastisk eller plastisk. Elastisk deformation innebär att formförändringen går tillbaka då kraften avlägsnas. Om ett plattjärn böjs måttligt, t ex från 0 till A i bilden, återfjädrar det då kraften avlägsnats. Om plattjärnet böjs vidare till B, deformeras det plastiskt och återfjädringen sker endast till C. Plastisk deformation finns kvar sedan kraften avlägsnats.

Att metaller deformeras elastiskt vid belastning innebär att t ex valsstolar och valsar fjädrar då en heta går in i valsspalten. Även ämnet som bearbetas deformeras elastiskt och återfjädrar. Denna elastiska återfjädring är i de flesta plastiska bearbetningsoperationer försumbar. Om den plastiska deformationen är liten, som t ex vid riktning, är dock den elastiska återfjädringen betydelsefull.

Plastisk deformation av metaller sker genom att fel i kristallstrukturen, så kallade dislokationer flyttar sig vid belastning. Dislokationerna rör sig i vissa atomplan, så kallade glidplan. Rörelsen hos en dislokation kan liknas vid rörelsen hos en larv, som flyttar sig genom att en del av kroppen böjs upp. Den uppböjda delen vandrar genom kroppen och hela larven får på det sättet en rörelse framåt. Denna rörelse kräver mindre kraft, än om hela larven skulle släpas utefter marken. På samma sätt kräver dislokationsrörelsen mindre kraft för att deformera en metall, än om hela atomplan skulle släpas mot varandra.

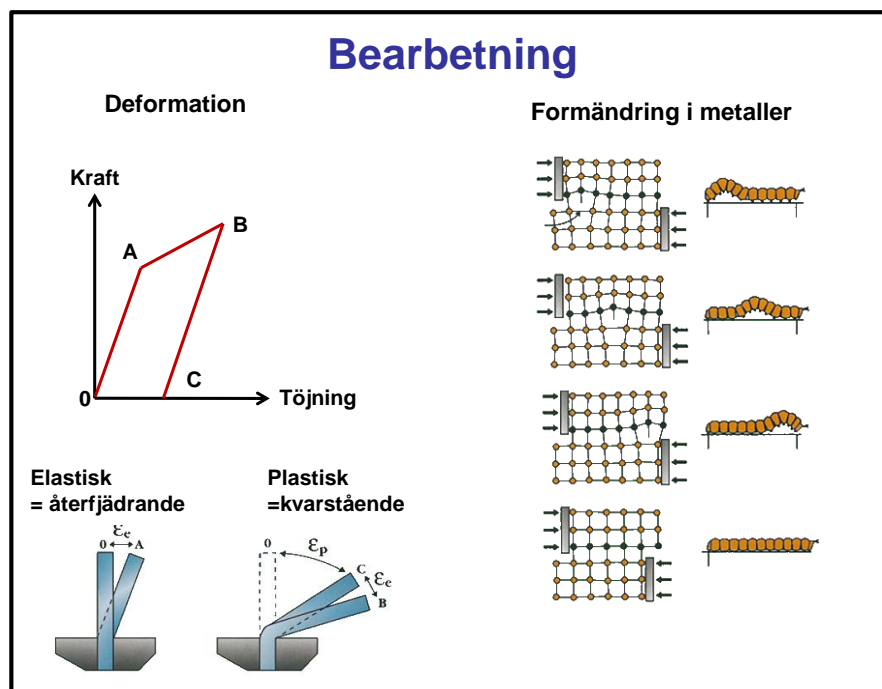


Bild 8-11

Vid plastisk deformation ökar också mängden dislokationer i kornen. När mängden dislokationer ökar kommer den kraft som behövs för vidare deformation att öka. Detta fenomen kallas deformationshärdnande. Då mängden dislokationer blir för stor kommer materialet att brista.

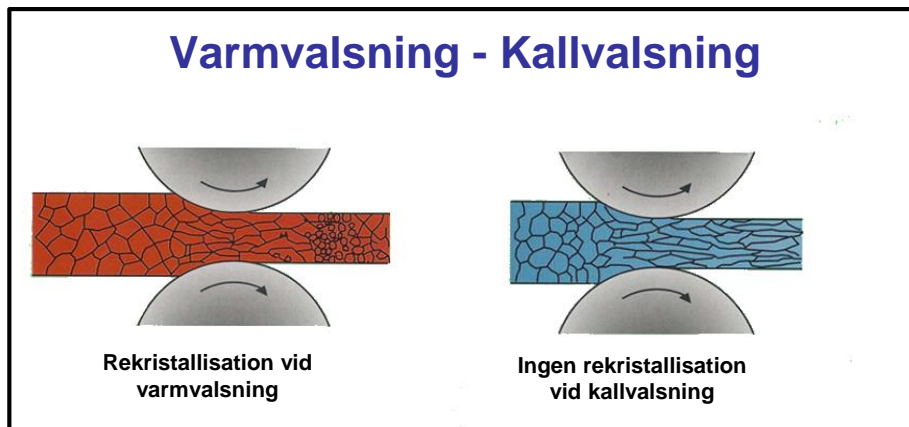
Normalt kan metaller deformeras plastiskt innan de brister. Vissa metaller kan emellertid brista utan plastisk deformation vid låg temperatur. Detta kallas sprött brott. Ett brott som föregås av plastisk deformation kallas segt. Den temperatur vid vilken brottet ändras från segt till sprött kallas omslagstemperatur.



## 5.2 Varm- och kallbearbetning

Ett stål som på grund av plastisk deformation innehåller stor mängd dislokationer kan vid hög temperatur bilda nya korn. Detta medför att korn med stor mängd dislokationer ersätts av nya korn med mindre mängd dislokationer. Denna process kallas rekristallisation.

**Varmbearbetning** innebär att temperaturen är så hög att rekristallisation sker under bearbetningen. **Kallbearbetning** innebär att rekristallisation ej sker vid den aktuella temperaturen. Ett kallbearbetat stål kan värmas upp för att rekristallisera. Detta innebär att stålet får tillbaka de egenskaper det hade före bearbetning.



*Bild 8-12*

Vid kallbearbetning kommer deformationsmotståndet att öka från stick till stick på grund av att mängden dislokationer ökar. Materialet deformationshårdnar.

Vid varmbearbetning kommer rekristallisation mellan sticken att hålla mängden dislokationer konstant. Däremot sjunker temperaturen, vilket medför att deformationsmotståndet ökar av den orsaken. En annan skillnad mellan kallbearbetning och varmbearbetning är att deformationsmotståndet vid varmbearbetning är mer beroende av deformationshastigheten, é.

Så kallad termomekanisk valsning (TM valsning, på engelska Thermomechanical treatment, TMT) kan delas in i fyra delsteg. Det första är värmningen. Det andra är en normal varmvalsning med rekristallisation. Därefter gör man en paus i valsningen och låter temperaturen gå ner så långt att rekristallisationen upphör. Valsningen sker i tredje steget utan rekristallisation.

Detta kallas ofta "kontrollerad valsning". Den kontrollerade valsningen är egentligen en kallvalsning vid hög temperatur. På grund av att rekristallisation ej sker ökar valskrafterna kraftigt. Avsikten med den kontrollerade valsningen är att få utdragna austenitkorn. Vid fasomvandlingen vid svalningen bildas sedan ferrit i austenitens korngränser och en finkornig struktur erhålles.

Genom att lägga in forcerad kylning (kallas också direktkylning, engelska accelerated cooling) som ett fjärde steg, kan strukturen bli ännu mer finkornig. Orsaken till att en finkornig struktur eftersträvas är att finare korn ger bättre materialegenskaper (både högre sträckgräns och lägre omslagstemperatur).

### 5.3 Duktilitet och bearbetbarhet

Ett material kan spricka vid deformation. Hur mycket ett material kan deformeras bestäms både av materialet och bearbetningsprocessen. Duktilitet avser möjligheten att deformera ett material i en viss provningsmetod. Bearbetbarhet avser möjligheten att deformera ett material i en bearbetningsprocess.

Om duktiliteten är låg kan man vänta sig att bearbetbarheten också är låg, och materialet har en tendens att spricka vid bearbetningen. Ett material tål betydligt större deformation utan att spricka om det utsätts för tryck jämfört med om det utsätts för drag.

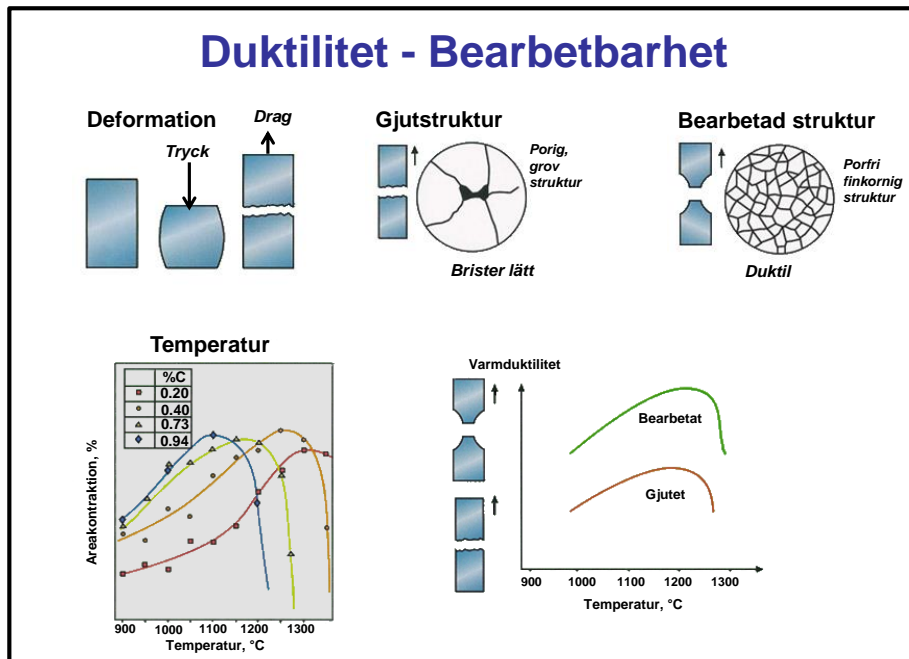


Bild 8-13

Vid bearbetning som valsning och smide utsätts materialet i huvudsak för tryck. Kanter som breddar fritt (ej omslutande spår) utsätts emellertid för drag och brister därför lätt. Stora sprickor i kanterna kallas brakor.

Duktiliteten påverkas av materialets temperatur. Normalt förbättras duktiliteten när temperaturen höjs. När temperaturen närmar sig smältpunkten försämras duktiliteten kraftigt. Orsaken är att områden med högre halter av föroreningar har lägre smältpunkt. När ett stål som innehåller små områden med smälta deformeras, brister det. Ett stål med högre kolhalt har lägre smältpunkt. Detta medför att duktiliteten hos ett högkolhaltigt stål försämras vid lägre temperatur än hos ett lågkolhaltigt.

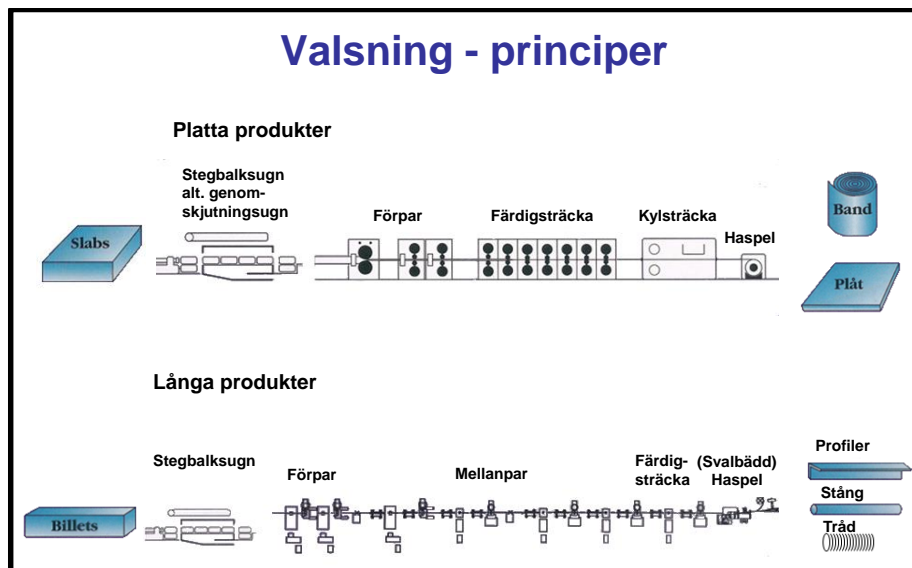
En tredje faktor som påverkar duktiliteten är om materialet är i gjuttillstånd eller i bearbetat tillstånd. Den rekristalliserade, porfria strukturen efter varmbearbetning har avsevärt bättre duktilitet än den poriga grovkorniga strukturen efter gjutning. Det förekommer också att ämnen har sprickor efter gjutningen. Sprickor som når ut till ytan kommer att oxideras vid svalning efter gjutning och under värmning. Om dessa sprickor inte avlägsnas före bearbetningen, kan de fortsätta att växa vid bearbetningen.

Vid kallbearbetning ökar mängden dislokationer i materialet. Detta medför att hårdheten ökar, och att möjligheten till vidare deformation minskar.

## 6 Valsning

### 6.1 Översikt principer

Valsning är den vanligaste metoden vid plastisk bearbetning av stålprodukter. Bearbetningen sker då ämnet passerar mellan två roterande cylindrar, valsar.



*Bild 8-14*

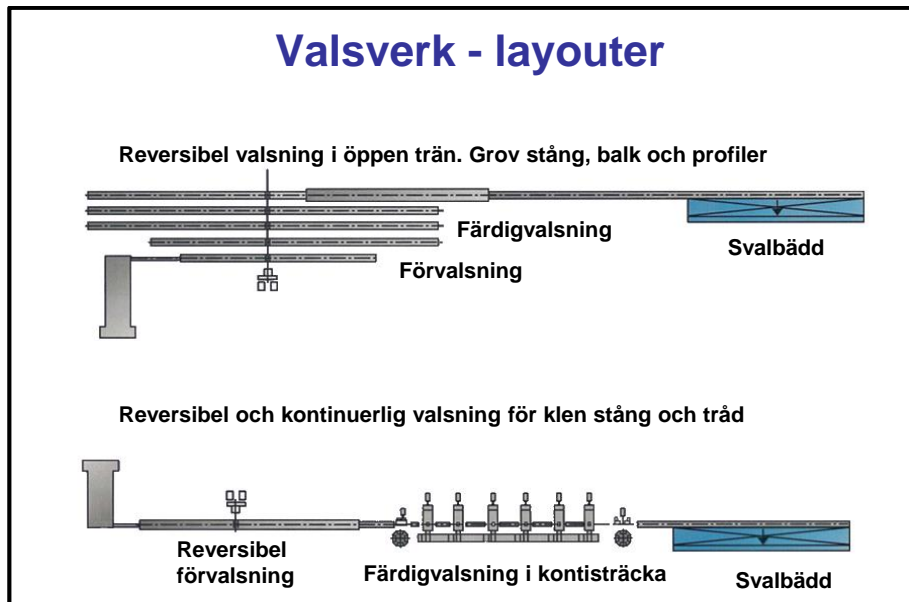
Valsningen kan ske kontinuerligt, d.v.s. i en riktning eller reversibelt, vilket innebär att hetan passerar fram och tillbaka mellan valsarna flera gånger.

Kontinuerlig valsning används då stor produktion krävs vid såväl valsning av band som stång, profiler och tråd. Investeringskostnaden för ett kontinuerligt verk är högre än för valsverk med reversibel valsning.

De flesta valsverk i Norden har en blandning av reversibel valsning och kontinuerlig valsning, där reversibel valsning används i början av valsningsprocessen, där ämnesdimensionerna är stora och valsningshastigheterna låga, medan kontinuerlig valsning används i slutet av valsverket, t ex i mellan- och slutsträckan vid stång- eller trådvalsning.

Valsning av stål sker i varmt tillstånd, d.v.s. vid ca 800-1300°C.

## Valsverk - layouter



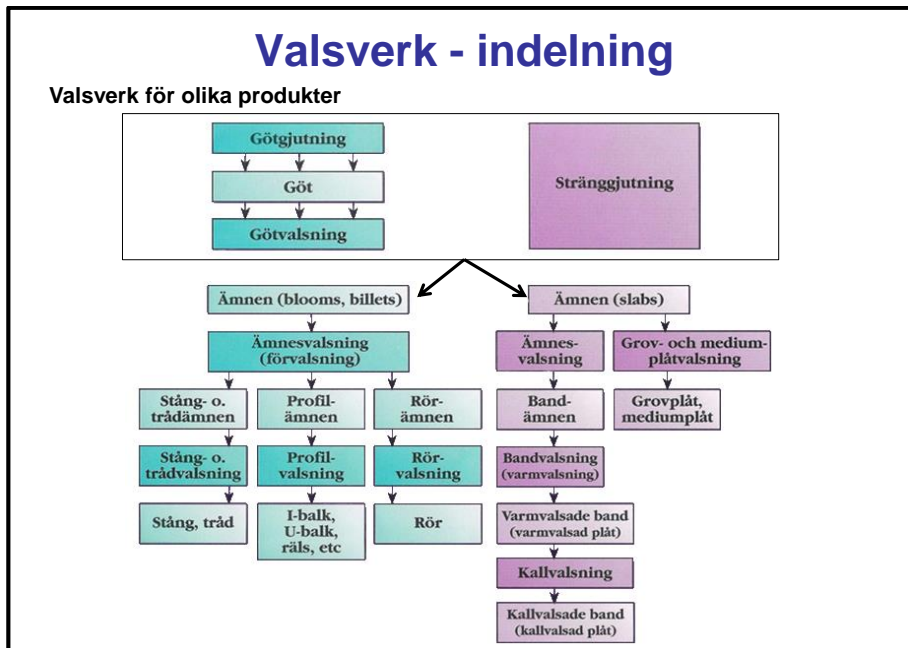
*Bild 8-15*

Valsningens ändamål är att förändra

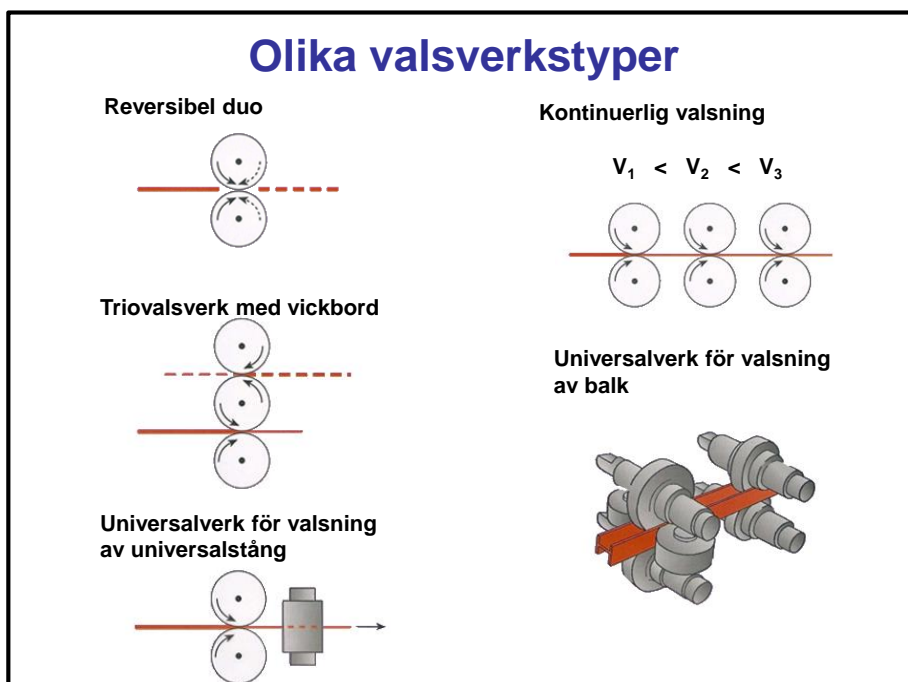
- dimension
- form
- inre egenskaper
- hållfasthet
- ytbeskaffenhet.

Platta produkter som plåt och band valsas normalt mellan släta valsar, medan långa produkter som stång, profiler eller tråd valsas i spårade valsar.

Kännetecknande vid valsning av långa produkter är att man använder speciella spårserier för varje produkttyp. Spårserien har kalibrerats så att hetans tvärsnittsarea minskar för varje stick, samtidigt som formen alltmer närmar sig den slutgiltiga. Valsverk indelas efter storlek, produkttyp samt valsarnas antal och placering.



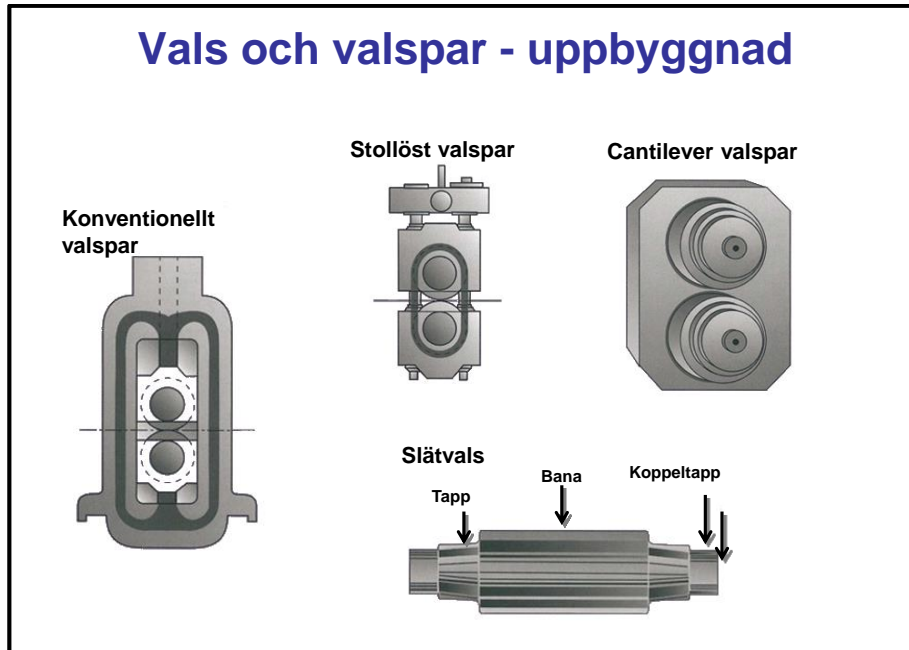
*Bild 8-16*



*Bild 8-17*

## 6.2 Valsverksutrustning

Konventionella valspar är uppbyggda av två stycken valsstolar ofta gjutna i ett stycke. Valsarna sitter lagrade i lagerhus, som är placerade i öppningar i valsstolarna. Öppningarna kallas fönster och pelarna på sidorna av fönstret kallas stolpelare.



*Bild 8-18*

Avståndet mellan valsarna regleras med ett elektriskt eller hydrauliskt maskineri som påverkar övervalsens lagerhus.

Där kraven på dimensionstoleranser är större, används en modernare variant, det s.k. **stollösa valsparet**. Valskraften i dessa konstruktioner upptas som ett band över de två valslagren, vilket ger låg elastisk deformation.

För att få en bra produkt måste ämnet dels styras in mellan valsarna på ett riktigt sätt, dels hållas på plats under sticket och slutligen styras så rakt som möjligt ut ur valsparet. För detta behövs in- och utledare. Utformningen av ledarutrustningen bestäms av hetgeometri och spårform.

Vid valsning av osymmetriska profiler kan stora sido- och vridkrafter uppkomma. Detta ställer krav på kraftigt dimensionerad ledarutrustning.

Efter färdigvalsning sker svalning på svalbädd för stångstål och profiler. Materialets temperatur sjunker från ca 900°C till rumstemperatur. Svalbäddar finns av flera olika typer, t.ex. excenter, hack och släpbädd.

## Valsverk - utrustning

Rulledare



Garrethaspel



Svalbädd för stång



Svalbana för tråd



*Bild 8-19*

Tråd hasplas i Garrethaspel eller läggs ut på svalbana för svalning med luftkylning eller forcerad luftkylning. I slutet av svalbanan samlas tråden upp i en bunt, s.k. coil.

### 6.3 Valsningsmetoder och spårserier

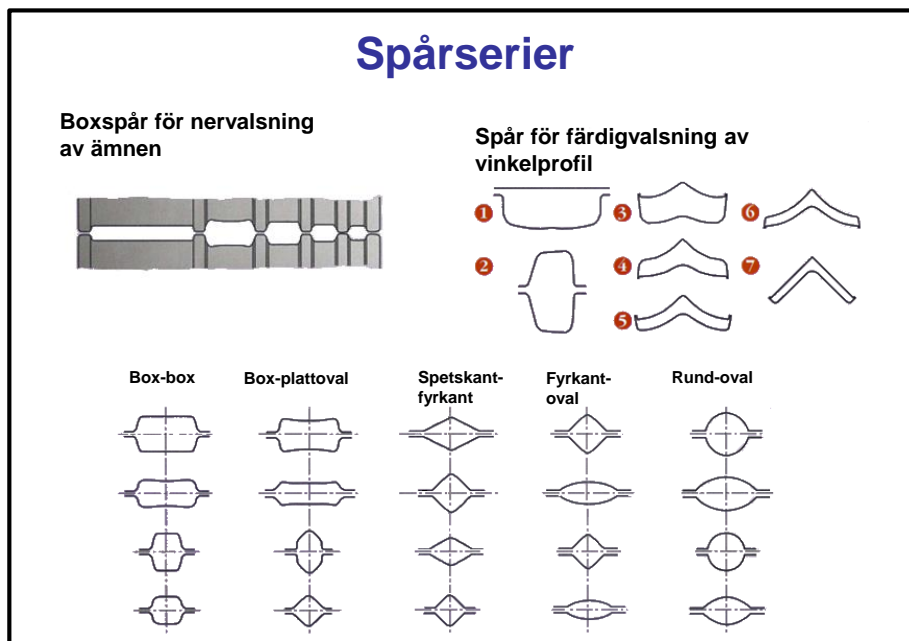
Utgångsämnet för tillverkning av stång och tråd är billets i dimension 120–160 mm. Normalt stränggjuts dessa, men valsning från göt förekommer. Med tråd avses normalt en produkt, som levereras i hasplat utförande (ca Ø 5,5–30 mm), medan stång levereras i uppklippta längder (ca Ø 25–230 mm).

Symmetriska profiler valsas i öppna spår där ämnet vrids mellan sticken, medan slutna spår används för färdigvalsning av osymmetriska profiler. Spårserien utformas främst för att uppnå höga reduktioner och god genombearbetning.

Det öppna boxspåret används främst vid ämnesvalsning från göt, slabs och blooms. Reduktionen i sticket kan lätt varieras och flera stick kan tas i samma spår. Boxspårets omslutande form gör att alla sidor på det gjutna ämnet blir bearbetade och därmed minskas risken för sprickor.

Användning av plattoval medför att reduktionen i sticken kan ökas på bekostnad av en ojämnare reduktionsfördelning och högre gripvinkel.

Kombinationer av spetskant-fyrkantspår ger måttliga reduktioner, men serien är flexibel och klarar ett stort dimensionsintervall.



*Bild 8-20*

I mellan- och slutdel av verket används spårserier med höga reduktioner. De vanligaste är kvadrat-oval och rund-oval. Med kvadrat-oval-serien kan reduktioner på 35–40 % tas, men reduktionsfördelningen blir ojämn och risken för ytfel ökar.

Rund-oval-serien ger lägre reduktioner, men reduktionsfördelningen över tvärsnittet är jämnare. De sista sticken vid trådvalsning görs vanligen i trådblock, där sluthastigheten kan vara upp till 120 m/s.

Armeringsstål valsas genom att det sista sticket görs i valsar, som spårats tvärs valsningsriktningen. Vid "tempcore"-processen kyles ämnet direkt efter valsningen, varefter man låter ytan anlöpas av



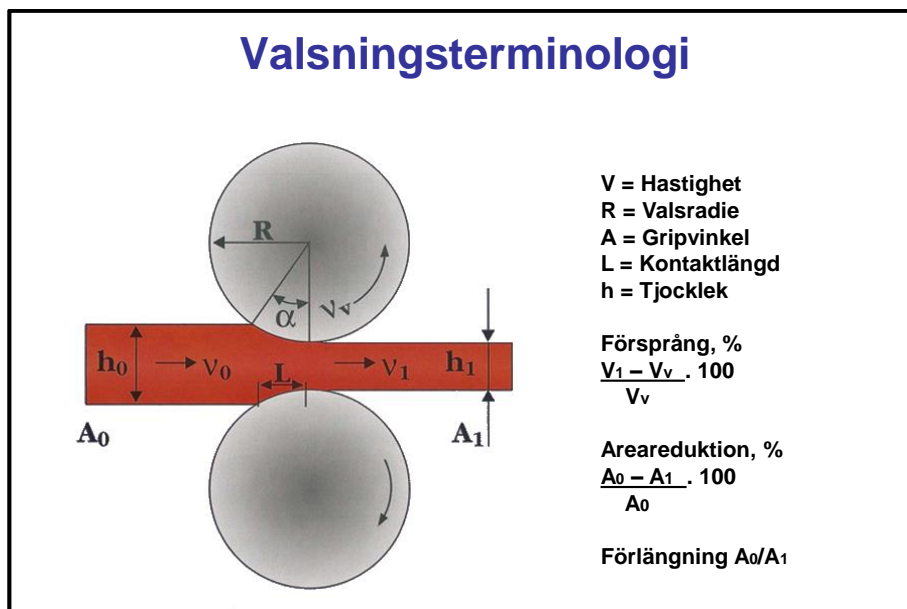
sin egenvärme. På detta sätt fås en kombination av goda bockningsegenskaper och hög draghållfasthet. Processen används ofta för tillverkning av armeringsjärn.

Plattstång, plattstål och universalers valsas i kombinationer av platt- och kantstick. Definitionen är flytande, men breddintervallerna är ca 25–150 mm för plattstång, 140–400 mm för plattstål och 160–1000 mm för universalers.

För att valsa den önskade profilen konstrueras (kalibreras) en spårserie, där spårerna utformas så att ämnet successivt närmar sig den önskade. För balkar förekommer även att ämnet förformas redan vid stränggjutningen.

Spårkalibreringen beror av det valsade materialet, temperatur, valsdiameter, valsmaterial, valsverk etc. I dag finns avancerade programvaror tillgängliga för kalibrering, bl.a. med finita elementmetoden (FEM).

## 6.4 Valsningsterminologi



*Bild 8-21*

### *Gripvinkel*

Gripning fås då materialet dras in i valsspalten. Gripvinkeln bestäms av höjdreduktion och valsdiameter.

### *Reduktion*

Vid valsning i spår beräknas reduktionen som den procentuella areaskillnaden före och efter stick.

### *Bredning*

Vid valsning ökar materialets bredd. Skillnaden mellan bredden före och efter sticket kallas bredning. Bredningen påverkas av flera faktorer: reduktion, valsdiameter, temperatur, friktion etc.

- Vid spårvalsning är kombinationen av ämnesgeometri och spårform av helt avgörande betydelse för bredningens storlek.
- Ökad reduktion ger ökad bredning.
- Friktionens inverkan på bredningen bestäms av kontaktytans form. Vid spårvalsning är kontaktytan utsträckt i längsled och bredningen ökar med ökande friktion. (Vid plattvalsning är kontaktytans utsträckning i längsled liten, varför bredningen minskar med ökande friktion.)
- Bredningen ökar med ökande valsdiameter.
- Materialets analys påverkar bredningen indirekt via sitt glödskal. Mer glödskal minskar friktionen, vilket minskar bredningen.
- Ämnestemperaturens påverkan på bredningen är liten. Generellt gäller att bredningen ökar då temperaturen ökar. I praktiken blir ämnestemperaturens indirekta inverkan på valsstolens utfjädring en viktigare faktor vid analys av bredningens temperaturberoende.

### *Kontaktyta*

Den del av ämnet som är i kontakt med valsen under sticket. Vid plattvalsning kan dessa termer definieras entydigt. För överslagsmässig beräkning av valsning i spår kan höjder och kontaktytor beräknas med ekvivalenta mått (~ medelvärden). Moderna beräkningsmetoder (FEM-teknik) gör det emellertid möjligt att beräkna även mycket komplicerade geometrier med hög precision utan användning av ekvivalenta mått etc.

### *Försprång*

Skillnaden mellan hetans utgångshastighet och valsens periferihastighet. Anges i procent. Försprånget har stor betydelse vid beräkning av hethastighet i kontinuerliga uppställningar, för att undvika slingbildning respektive uppkomst av höga dragspänningar mellan paren.

### *Valskraft*

Den kraft som behövs för att deformera materialet. Valskraften beror av kontaktyta, deformationsmotstånd, friktion och valsningsgeometri.

### *Moment*

Vridande moment för valsen ges av valskraften multiplicerad med momentarmens längd.

### *Spårserie*

En kombination av spårformer som används för att valsa en viss produkt.

### *Stickserie*

Spårserie med de spelinställningar som krävs för att uppnå önskad dimension.

## 6.5 Spårfillnad

För väl fungerande valsningsprocess och bra slutprodukt fordras att spåren under nedvalsningen fylls på ett riktigt sätt, så att över- respektive underfyllnad undviks, eftersom dessa ger upphov till defekter av olika slag.

### Överfyllnad

Överfyllning uppkommer då materialet breddar utanför spåret. Ett oriktigt fyllt spår kan ge upphov till invalsningar, formfel och hög valsförslitning i efterföljande stick.

### Underfyllnad

Uppkommer då materialet inte kan fylla ut spåret och kan ge upphov till formfel, invalsningar.

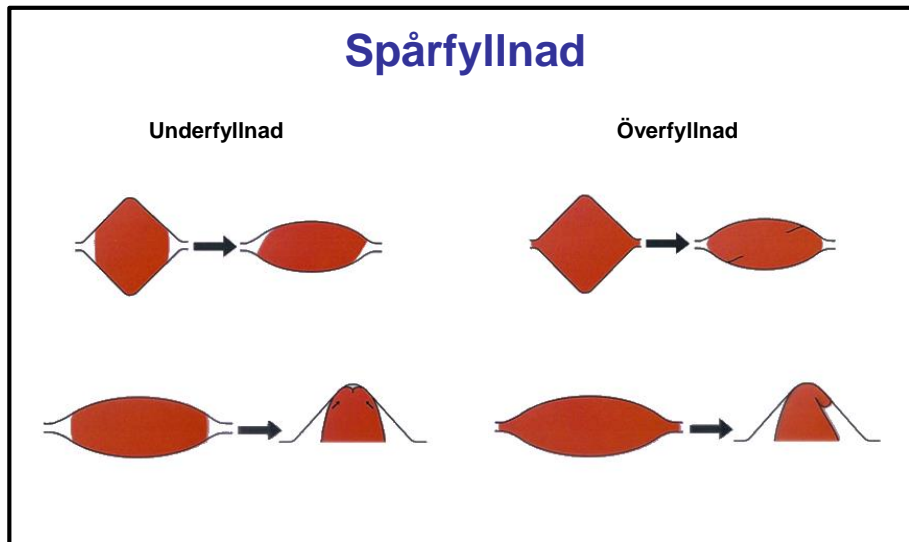


Bild 8-22

## 6.6 Dimensionsmätning

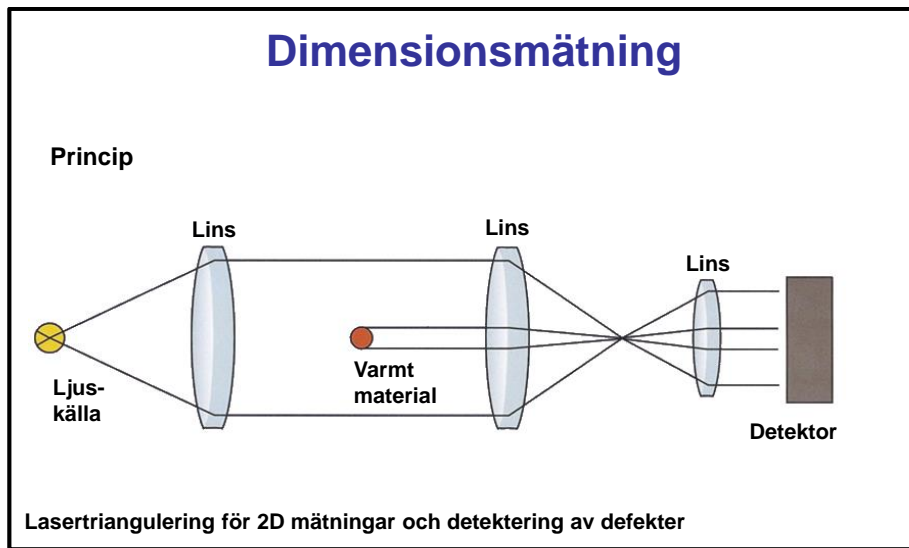
Vid varje valsning uppträder större eller mindre dimensionsavvikelser längs hetan. Orsakerna kan sammanställas i nedanstående grupper:

- Utgångsmaterialet kan ha geometriska och metallurgiska fel.
- Temperaturavvikelser från värmning och svalning (kallränder från rullbanan) påverkar materialflytning, kraftbehov, friktion osv.
- Valsstolens fjädring, glapp i lager och valsavplattning påverkar hetformen.
- Valsförslitning ger en gradvis försämring av den valsade hetans form.

Kraven på små dimensionsavvikelser ökar kontinuerligt. För att klara uppställda toleranskrav måste ofta dimensionsmätning on-line användas.

Principiellt kan mätningen beskrivas som en ljuskälla som sänder ett parallellt ljusknippe mot en lens med vilken mätområdet projiceras på integrerad krets med ett antal ljuskänsliga element. Om en heta förs in i mätområdet skuggas ett antal av dessa. Antalet skuggade element blir ett mått på hetans diameter. Moderna dimensionsmätare använder triangulering mellan ett antal olika laserpunkter och kan även detektera små ytdefekter.

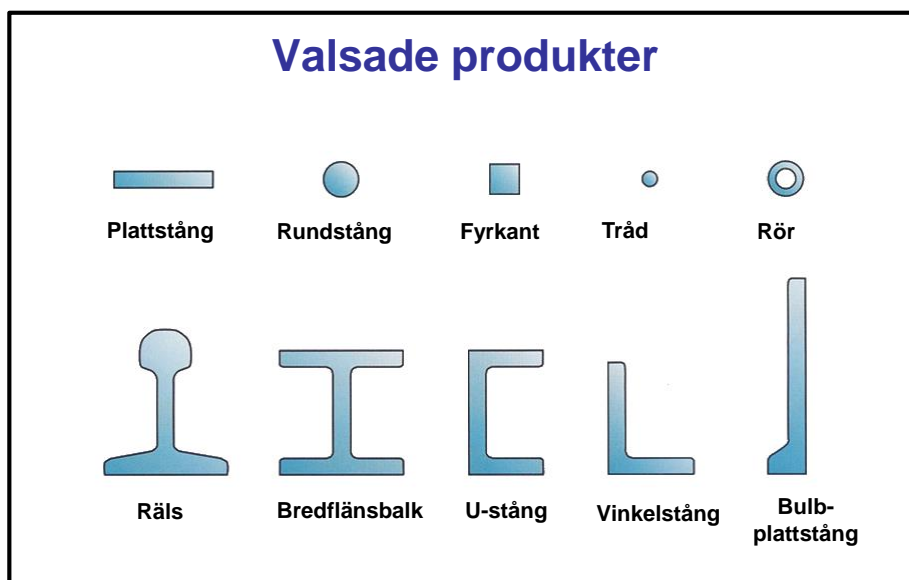
Dimensionsmätning kan kompletteras med reglerutrustning för automatisk spelinställning i de sista paren. Om toleranskraven är mycket höga kan två dimensionsmätare behövas. Den ena ställs då t.ex. före de två sista paren och den andra efter slutparet, vilket ger möjligheter till säkrare inställning av valsspalten.



*Bild 8-23*

## 6.7 Valsade produkter

Valsade profiler används som konstruktionselement i byggnader, broar, fartyg, fordon etc. Profilens form optimeras med hänsyn till applikationen. Ett otal varianter av profiler tillverkas. De vanligaste är balkar, vinkelstång, bulb och räls.



*Bild 8-24*

## 6.8 Valsar

Valsar hålls på plats av lager. Utanför valsbanan finns därför s.k. valstappar med mindre diameter än valsbanan. Rotationsrörelsen överförs till valsen via ena valstappen. Ofta är valstappen den mest

påkända delen av valsens. När djupa spår svarvas kan valsens bli mest påkänd i spårbottnen. Av tapparna och centrum på valsens krävs stor hållfasthet och seghet. Kraven på ytan är stor hårdhet och förmåga att klara temperaturväxlingar.

Valsar kan framställas genom gjutning eller smide. Vid valsning av långa produkter används valsar framställda genom gjutning. Valsmaterial kan vara stål (< 2,5 % kol) eller gjutjärn (> 2,5 % kol). Om gjutjärnet innehåller grafit kallas det grått. Om kolet binds som karbider kallas gjutjärnet vitt. Det förekommer även hårdmetallvalsar, som är framställda pulvermetallurgiskt. Valsar av hårdmetall används t ex i trådblock och för slutspår vid valsning av armeringsjärn. Det vanligaste valsmaterialet vid valsning av långa produkter är segjärn, det vill säga ett grått gjutjärn som innehåller grafit i form av runda kulor. I förpar och början av valssträckan har man relativt sett mjuka segjärn. Längre ner i valssträckan används segjärn med högre hårdheter.

Gjutstål används för grova profiler, räls och i universalverk. En skillnad mellan segjärn och gjutstål är att hårdheten minskar i segjärnet, när man kommer längre in i valsens. När man svarvar djupa spår i valsens, kan man inte utnyttja den hårdare ytan i segjärnet. Dessutom kan gjutstålet ta upp större krafter i valstappar och i spårbottnar än segjärnet.

Vid varmvalsning kommer valsens i kontakt med hetan, vilket medför att valsens värms upp. Ytan på valsens värms i kontakt med hetan mycket snabbt till en temperatur, som beror på glödskalets tjocklek och hetans temperatur. Normalt når valsytan 200–400 °C. Därefter sprider sig värmets in i valsens genom värmeledning.

Tiden för hur länge valsens är i kontakt med hetan avgör hur långt värmets tränger in i valsens. Kontakttiden beror dels av hastigheten, dels av kontaktlängden, som avgörs av reduktionen. Valsar som är i kontakt med hetan länge på grund av stora reduktioner och långsam valsningshastighet tar upp mer värme. De behöver därför kylas mer än valsar med kort kontakttid.

För att undvika att värmets sprids inåt i valsens bör kylningen påbörjas så snabbt som möjligt efter det att valsens släppt kontakten med hetan. Detta är särskilt viktigt vid hårdmetallvalsar. Vid uppvärmningen kommer valsmaterialet att utvidgas och vid avkylning att dras samman.

Upprepade sådana sammandragningar leder till att valsmaterialet får mikrosprickor. Dessa syns inte för ögat, men sprickorna kan göra att små partiklar faller ur valsens yta. Sprickornas storlek ökar med antalet temperaturväxlingar, och med tiden blir de synliga. Om kontakttiden mellan valsens och hetan är lång växer sprickorna snabbt.

Valsens utsätts dessutom för mekanisk nötning. På hetan finns alltid oxider. Den hårdaste av dessa är hematit. I valsspalten förlängs hetan. Detta medför att hetan på ingångssidan rör sig långsammare än valsens, eftersläpning. På utgångssidan rör sig hetan snabbare än valsens, försprång. (Det område där heta och vals rör sig lika fort kallas neutralplan.)

Rörelsen mellan heta och vals gör att oxiderna slipar av material från valsens. När man valsar med spårade valsar, kommer spårbottnen att röra sig långsammare än de delar av valsens som ligger längre från centrum. Detta ger ytterligare rörelse mellan hetan och valsens.

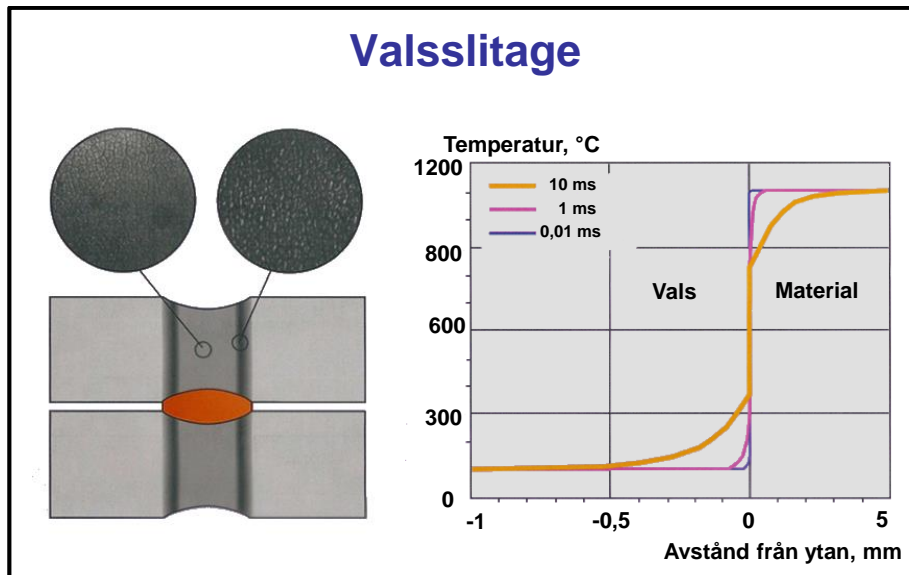


Bild 8-25

## 7 Smide

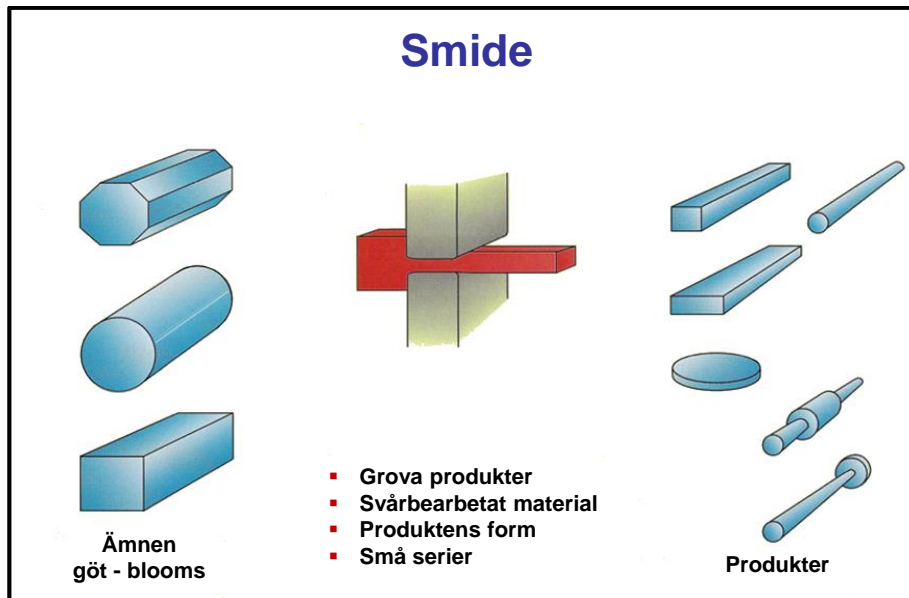
### 7.1 Allmänt

Med smide menas att man åstadkommer en plastisk förändring hos arbetsstycket genom att bearbeta det med plana eller graverade verktyg. De två förekommande huvudprinciperna är sänksmide och friformssmide.

Vid sänksmide sker formningen av ämnet mellan slutna verktyg, s.k. sänken, till mer eller mindre färdiga konstruktionsdetaljer.

Vid friformssmide bearbetas ämnet vanligen mellan plana verktyg. Metoden tillåter större arbetsstycken än vid sänksmide. Friformssmide används för att framställa grova produkter av svårbearbetade material, som inte kan valsas på gjutstruktur, där speciell produktform önskas eller där seriestorleken är låg. Vid friformssmide tillverkas många typer av stångprodukter med cirkulära, rektangulära eller månghörniga tvärsnitt. Även stora plattor och skivor för flänsar tillverkas med friformssmide.

Genom s.k. formsmide kan mer komplicerade produkter framställas, t.ex. valsar med tappor eller långa axlar med flänsar.



*Bild 8-26*

## 7.2 Utrustning

De två huvudsakliga principer som förekommer vid smide är hammare och pressar.

Hammare åstadkommer formförändring genom slag mot arbetsstycket. Slaghastigheten är normalt 5–7 m/s vilket ger höga deformationshastigheter. Hammare används för arbetsstycken upp till ca 2 ton.

Pressar arbetar hydrauliskt eller mekaniskt och med lägre hastigheter, 0,5–1 m/s. Deformationshastigheten blir 0,01–10 m/s. Pressar lämpar sig bäst för större arbetsstycken, ca 1 ton och uppåt. Stora smidespressar kan ha presskrafter på flera tusen MN och götvikter över 100 ton förekommer.

## 7.3 Verktyg och metoder

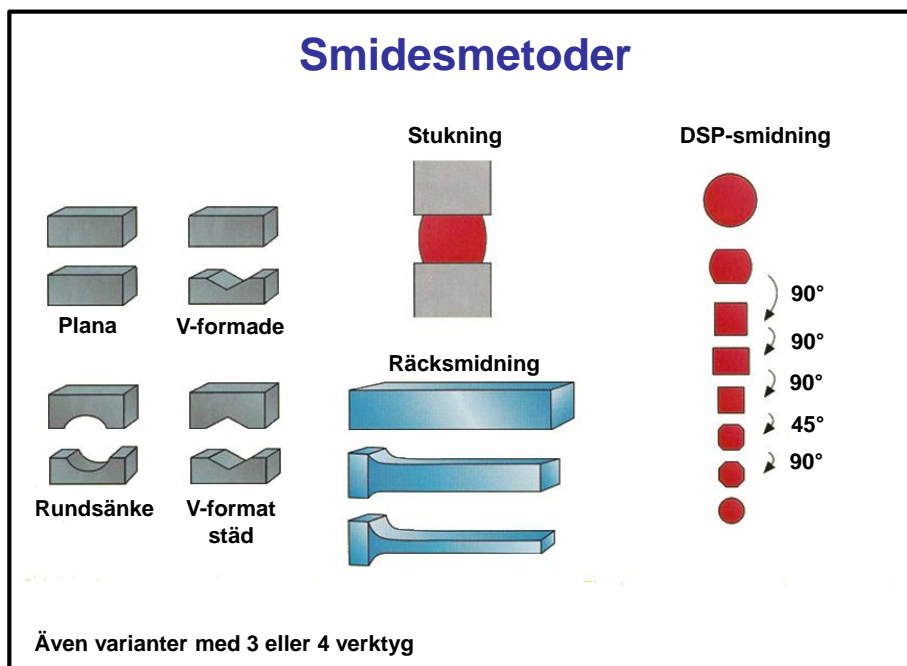
Vid friformssmide sker bearbetningen oftast mellan plana verktyg. Andra verktygsformer som förekommer är V-formade verktyg med olika öppningsvinkel, koniska verktyg samt rundsänken. Rundsänken används vid färdigsmide av rundstång.

Vid arbetsoperationen stukning, pressar man ihop ämnet i längsriktningen, varvid tvärsnittsarean ökar. Operationen används vid tillverkning av stora plattor eller när slutprodukten diameter är stor i förhållande till ämnet. Stukningen ger möjlighet till ökad bearbetningsgrad av ämnet utan att tvärsnittsarean minskar.

Räcksmide innebär att ämnet bearbetas så att en förlängning och en viss bredning erhålls. Genom att välja lämpliga smidesparametrar i stickschemat, kan den färdiga produkten räcksmidas så snabbt som möjligt, med hänsyn till kvalitetskrav, tillgänglig presskraft, materialegenskaper och slutprodukten form.

En vanlig metod vid räcksmide är DSP-metoden. Den innebär att man smider ner ämnet så att tvärsnittet vartannat stick blir en rektangel och vartannat stick en kvadrat.

Vid räcksmide av rundstång kan tvärsnittsformerna vara fyrkant-åttkant-runt.



*Bild 8-27*

## 7.4 Smidesparametrar

Avsikten med smidesoperationen är dels att ändra arbetsstyckets form, dels att förbättra materialegenskaperna. Vid deformationen sker en nedbrytning av den grova och inhomogena gjutstrukturen, varvid hållfasthet och slagseghet förbättras. Porer och håligheter försluts och segringar, d.v.s. ojämnheter i sammansättningen, jämnas ut.

För att erhålla önskvärd förbättring av materialegenskaperna med optimal produktivitet måste lämpliga smidesparametrar och rätt verktygsgeometri användas.

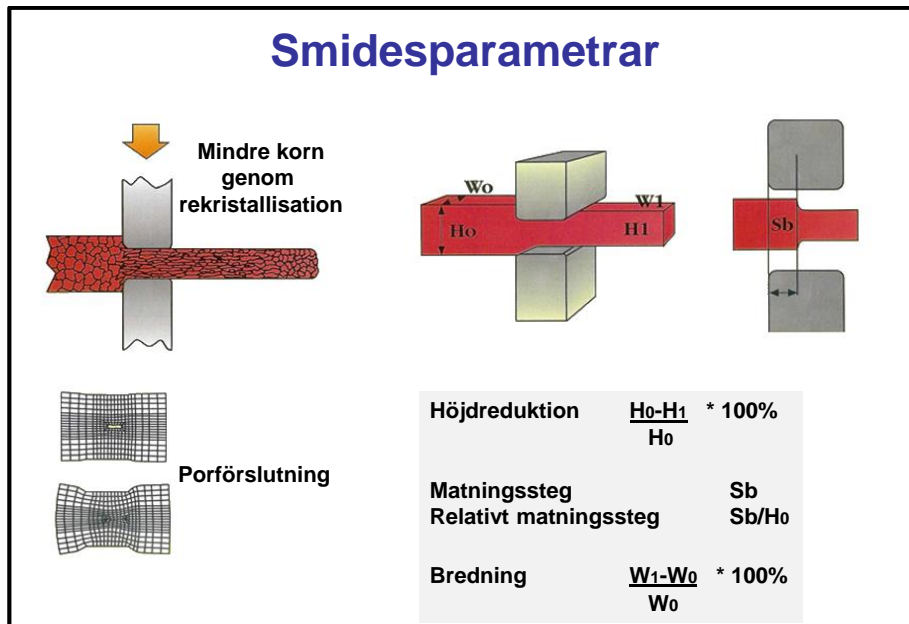
Höjdreduktionen  $\Delta H/H_0$  och matningssteget, egentligen det relativa matningssteget,  $S_b/H_0$  inverkar på deformation och deformationsfördelningen i ämnet.

För att få bra genomsmidning måste höjdreduktionen i varje stick vara tillräcklig, samtidigt som ett lämpligt matningssteg väljs.

För stora reduktionsgrader kan ge risk för söndersmidning, framförallt under de första sticken, när smidbarheten är låg på grund av gjutstrukturen.

Stora matningssteg ( $> 1,0$ ) ger högre presskraft, större bredning och därmed risk för defekter på grund av tvärbristningar. Den lokala bearbetningen av centrumzonen minskar.





**Bild 8-28**

Korta matningssteg (< 0,3) ger låga presskrafter och liten bredning. Materialet sträcker bra, vilket kan ge risk för brott i tvärriktningen. Korta matningssteg ger låg lokal deformation i centrumzonen, vilket är ogynnsamt för porförlutningen.

## 7.5 Efterbehandling

Efter smidningen sker vanligen någon form av värmebehandling.

Beroende på stålsort och färdigdimension genomförs t.ex. väteglödning, etappglödning, eller släckglödning.

Andra moment i efterbehandlingen kan vara riktning, maskinbearbetning, svarvning, fräsning, ytkontroll och ultraljudsprovning.

## 8 Rörtillverkning

Det finns två huvudtyper av rör, sömlösa rör och svetsade rör.

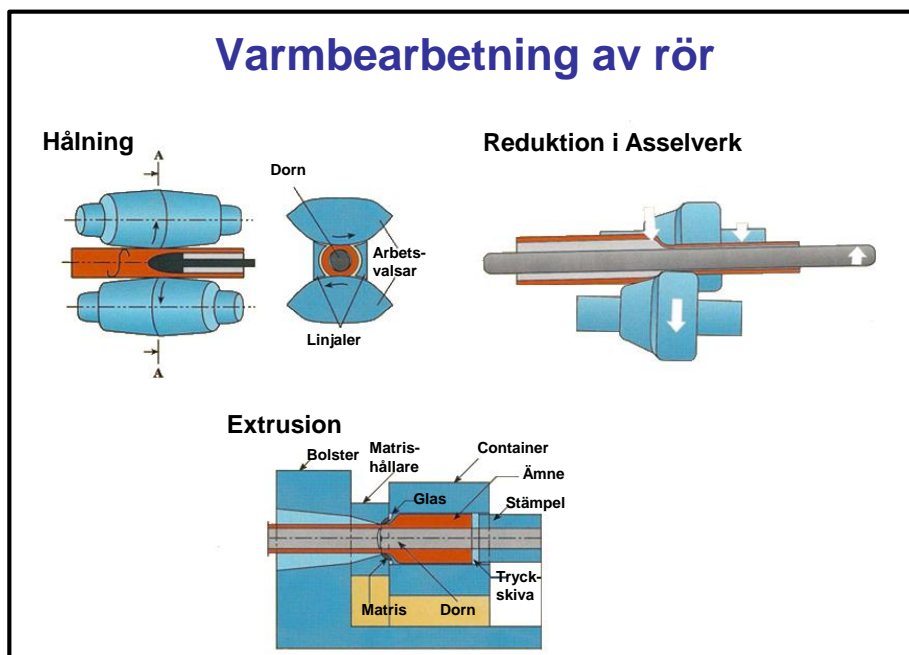
Sömlösa rör tillverkas genom valsning eller genom extrusion. Både valsade rör och extruderade rör kallbearbetas ofta.

### 8.1 Valsade rör

Vid valsning av rör utgår man från en grov rundstång. Processen börjar med hålning genom presshålning eller en speciell valsning. Valsning sker så att ämnet får rotera mellan valsar, konor eller skivor. Dessutom finns en plugg som tränger in i ämnet. Ämnet styrs i sidled av fasta linjaler eller roterande diskar. Genom att ämnet bearbetas till en oval form är det lätt för pluggen att forma ett hål i ämnets centrum.

Detta rörämne måste sedan förlängas och få tunnare vägg. En vanlig metod är att förse ämnet med en dornstång och valsa i ett Asselverk. Ett Asselverk har tre valsar som omsluter rörämnet. Rörämnet förlängs och får tunnare väggar. Efter Asselverket tas dornen bort.

Röret brukar sedan reduceras ytterligare i ett kalibreringsverk. Detta är ett kontinuerligt valsverk med omväxlande horisontalpar och vertikalpar.



*Bild 8-29*

### 8.2 Extrusion av rör

Extrusion eller strängpressning av rör kräver ett ämne som är hålat. Detta ämne framställs genom kapning och borrarning av grov stång. Eller presshålning. En alternativ metod är att använda ett ämne av pulver som innesluts i en kapsel. Ämnet värms och pressas därefter ut genom ett munstycke (matris). Smörjning sker med glas som smörjmedel. Under extrusionen används ett dorn i ämnets hål.

### 8.3 Kallbearbetning av rör

För att framställa rör av klenare dimensioner kallbearbetas röret. Detta kan ske genom dragning eller stegvalsning.

Dragning kan ske över plugg, med dornstång eller utan vare sig plugg eller dorn. Om plugg eller dorn används, minskar både yttre diameter och vägg tjocklek. Lösdragning utan dorn eller plugg reducerar endast diametern, medan vägg tjockleken blir oförändrad.

Stegvalsning av rör sker i ett stegvalsverk med koniska spår. Endast halva omkretsen av valsarna har spår som bearbetar röret. Inne i röret finns en konisk dorn. Hela valsstolen ges en fram- och återgående rörelse.

Röret förs in mellan valsarna i den största spåröppningen. Valsarna följer sedan röret och pressar det mot konan på dornen. I denna del av valsningen är röret stilla och valsstolen följer med valsarna som rullar över röret. När den tomma delen på valsen kommer mot röret, går valsstolen tillbaka och röret vrids och matas fram ett nytt steg.

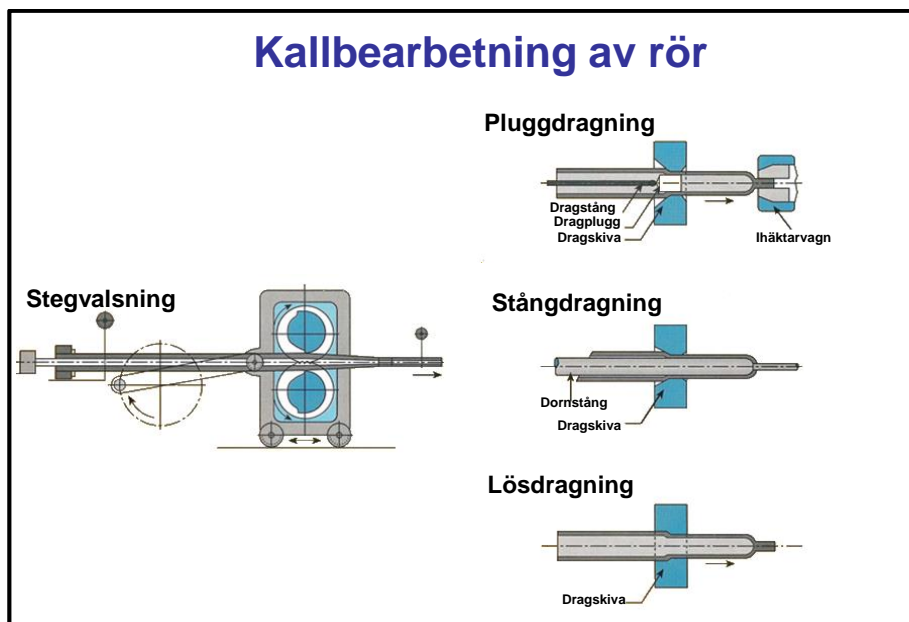


Bild 8-30

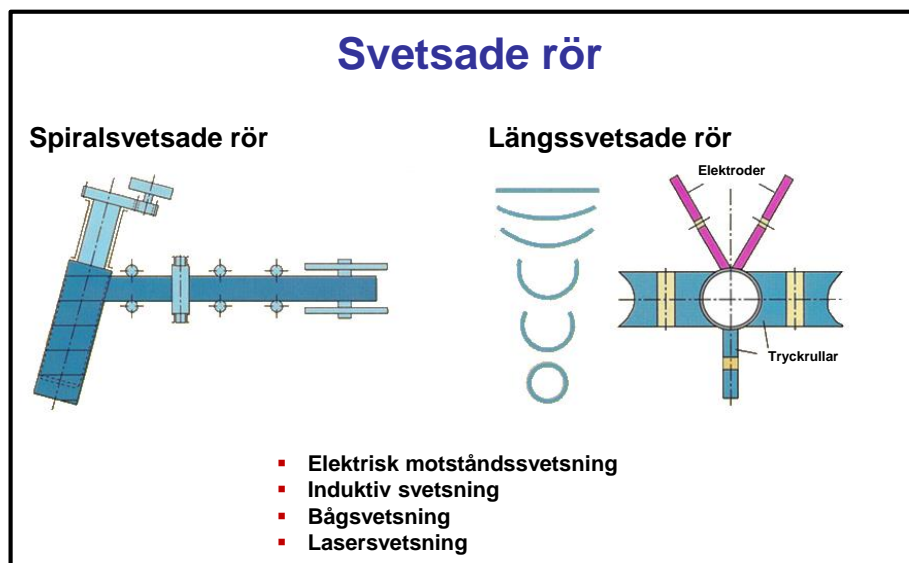
## 8.4 Svetsade rör

Svetsning av rör kan ske genom att ett band kupas till ett rör. Kanterna svetsas sedan samman genom bågsvetsning eller motståndssvetsning. Ett annat alternativ är att värma hela rörämnet och pressa ihop kanterna, så kallad vällning.

Rör kan också spiralsvetsas. Ett band viras då till ett rör. Vid spiralsvetsning kommer svetsen att ligga runt om röret. Detta ger ett rakare rör än när svetsen endast kommer på "en sida".

Ofta hyvlas svetsens råge bort mekaniskt. Även svetsade rör kan kallbearbetas.

Mycket grova rör kan framställas genom böckning och svetsning av grovplåt.



*Bild 8-31*

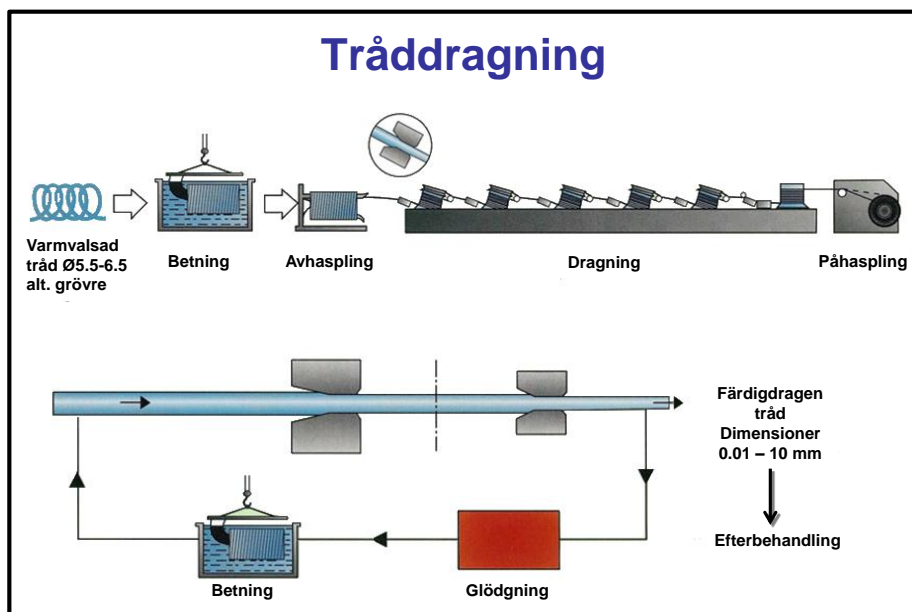
## 9 Tråddragning

### 9.1 Allmänt

Tråddragning används för många olika stålsorter, från kolstål till snabbstål och kanthalmaterial. Syftet med tråddragning är att erhålla klenare dimensioner än vad varmvalsning ger ( $\varnothing$  5,5 mm), och/eller bättre ytor och mekaniska egenskaper, oftast förhöjd hållfasthet.

Trådprodukter kan t ex vara:

- fjädertråd
- kullagertråd
- svetstråd
- värmetråd
- tråd för borrar m m.



*Bild 8-32*

### 9.2 Teknik

Varmvalsad tråd betas först i syrabad för att avlägsna oxider. Olika bad används beroende på om det är kolstål eller rostfritt material. Vid behov kan även en glödning ske före betning för att ge materialet rätt struktur för dragning. Efter betning sker tråddragning i dragbänk. Olika typer av dragning finns, alltifrån dragning i en dragskiva till dragning i tio skivor efter varandra.

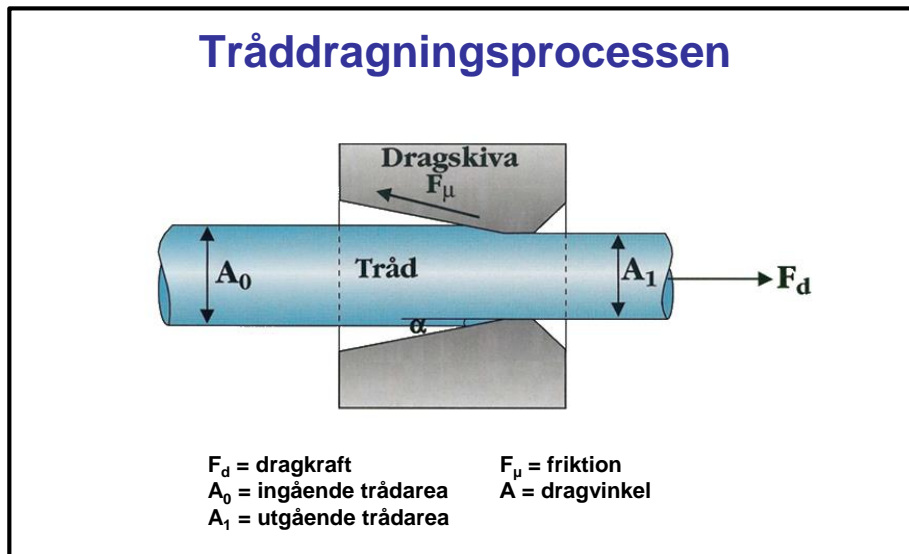
Efter dragning sker påhaspling. Under dragning deformationshårdnar tråden och materialets flytspänning ökar, vilket innebär att största möjliga totaldeformation är 85–90 %. Maximal totaldeformation är beroende på stålsort.

Om ytterligare dragning fordras måste tråden på nytt glödgas och betas, och därefter sker förnyad dragning tills rätt slutdimension erhållits. Trådens färdigdimension ligger normalt mellan 0,01 och 10 mm.

Processtegen vid tråddragning beror av stålsort, ingångsdimension, slutdimension och önskade materialegenskaper hos den dragna tråden.

Snabbstålstråd dras med ett stick i taget och tråden förvärms 600 °C före varje dragning. Totalt dras fyra stick, men sedan krävs mjukglödning före fortsatt dragning. För andra stålsorter, t ex rostfritt stål, dras betydligt fler drag efter varandra, 8–10 st, och totala reduktionen blir större, 85–90 %, innan glödning sker. För vissa stålsorter sker en begränsad dragning efter slutglödning för att ge tråden en väldefinierad hållfasthetsnivå.

Själva dragningen sker i en dragskiva, oftast av hårdmetall. Vid dragning används smörjmedel av olika slag. För bra dragresultat måste smörjmedlet fästa bra på trådytan.



**Bild 8-33**

Areareduktionen för tråden  $(A_0 - A_1)/A_0$  är 10–20 % per drag, där  $A_0$  är ingående area och  $A_1$  är area efter draget. Dragkraften vid draget bestäms av areareduktionen i draget, friktionen i dragskivan ( $M$ ), dragskivans dragvinkel ( $A$ ), som normalt ligger mellan 5 och 15°, samt trådmaterialets flytspänning.

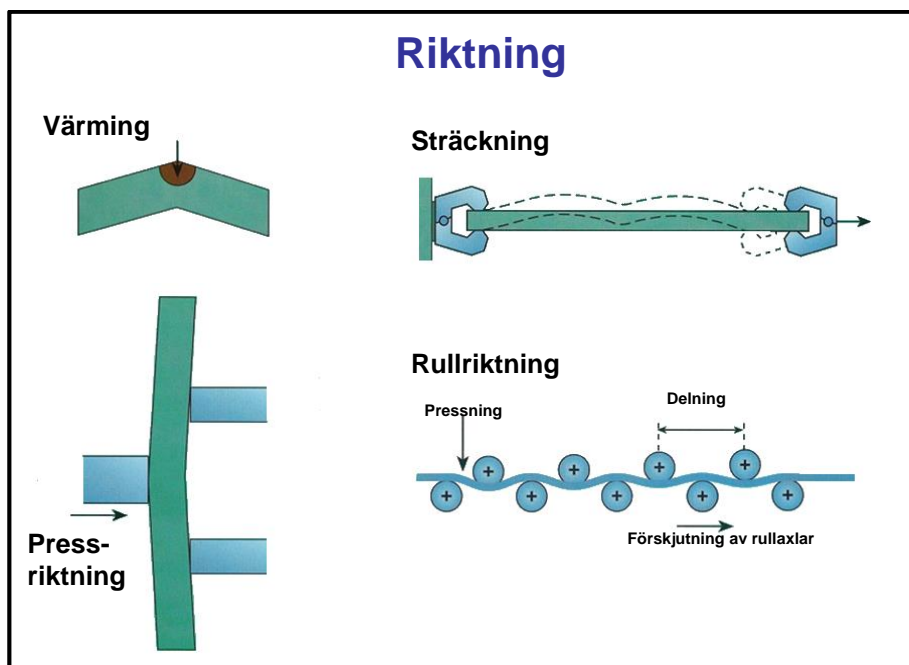
## 10 Efterbehandling av långa produkter

### 10.1 Riktning

En valsad produkt är ofta krokig. Särskilt gäller detta profiler med asymmetriskt tvärsnitt. För att få en krokig produkt rak, kan man värma delar av tvärsnittet. Den värmda delen utvidgas och deformerar plastiskt. Vid efterföljande svalning kommer den värmda delen att krympa. En annan metod att rikta är att dra stången något för att få den rak. Detta kan ske antingen i varmt eller kallt tillstånd.

En vanlig metod för att få en stång eller profil rak är att böja den mot kröken. I detta fall kan vi inte bortse från elastiska deformationer. För att en produkt skall bli rak efter återfjädring krävs att den böjs längre än till rak form. Vid böjning kommer ena sidan av stången att förlängas och den andra sidan att tryckas ihop.

Förlängning och hoptryckning sker först med elastisk deformation. Vid ökad böjning kommer områden närmast ytan först att deformeras plastiskt. Om böjningen fortsätter sprider sig den plastiska deformationen inåt mot stångens mitt. En stång med hög hållfasthet måste böjas mer än en stång med lägre hållfasthet för att få lika stor plastisk deformation.



*Bild 8-34*

Vid pressriktning sker böjningen med en press, som är horisontell för att operatören skall få god överblick. Operatören lär sig erfarenhetsmässigt hur stor böjning som krävs. Ett kort avstånd mellan uppläggen kräver en liten böjning åt andra hållet. Å andra sidan ökar den kraft som krävs kraftigt om avståndet mellan uppläggen blir alltför kort. En grov stång kräver större avstånd mellan uppläggen jämfört med en klenare stång.

## 10.2 Rullriktning

Vid riktning i ett rullriktverk sker böjning fram och åter genom att stången passerar mellan riktverkets rullar. Den första böjningen skall vara stor. Ofta anges att 80 % av tvärsnittet bör deformeras plastiskt. Böjningarna minskar sedan för varje rulle som stången passerar. Den sista böjningen skall vara så stor att stången efter återfjädring blir rak.

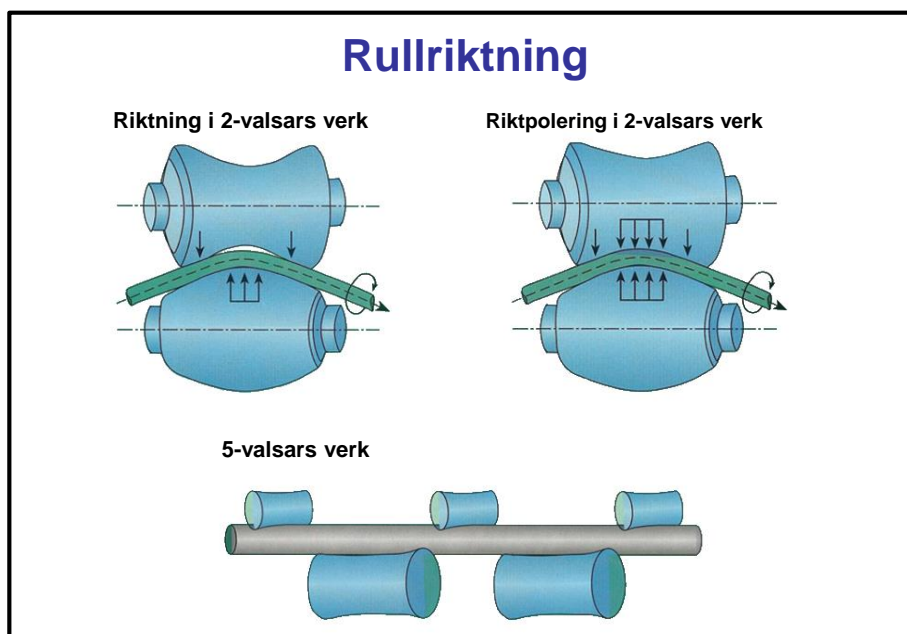
Ofta används en inställning av riktverket som liknar en kil. De tre sista rullarna kan ställas in så att avståndet mellan dem (pressningen) motsvarar stångens tjocklek, eller så att böjningen ger rak stång efter återfjädring. Inställningen av de tre sista rullarnas inbördes läge är avgörande för rakheten och finjusteras ofta av operatören. Vid rullriktning kommer stångens ände inte att riktas, eftersom någon böjning inte erhålls, så snart som änden inte når över tre rullar.

Krafterna vid rullriktning är stora. Detta medför att de elastiska deformationerna i rullriktverken påverkar inställningen kraftigt. Kraften som krävs för riktning ökar om rullarnas avstånd minskar. Det finns rullriktverk, där avståndet mellan rullarna (delningen) kan justeras, så att det kan avpassas för olika stängdimensioner. Vid rullriktning av profiler krävs att profilen böjs i två plan. Därför har rullriktverk ofta tre justeringsmöjligheter:

- Delning (avstånd mellan rullar)
- Pressning (vertikalförskjutning)
- Axialförskjutning.

## 10.3 Rullriktning med konkava-konvexa valsar

Rundstång och rör kan också riktas genom rullriktning med konkava och konvexa valsar. Detta innebär att stången får rotera under böjning och att stången böjs i alla riktningar.



*Bild 8-35*

En vanlig typ av rullriktverk har två valsar, den ena timglasformad, den andra tunnformad eller cylindrisk. Valsarna är vinklade mot varandra. Stången hålls på plats med så kallade linjaler. Denna typ av riktverk kan rikta mycket nära ändarna. Det kan också användas för skalsvarvad stång för

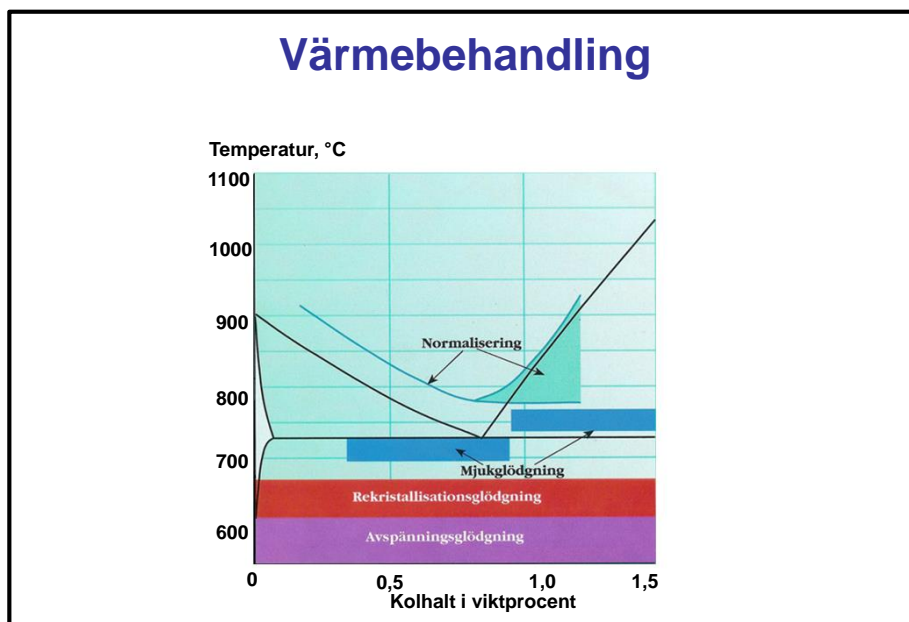


att förbättra ytan, så kallad riktpolering (pressning, putsning). Detta sker genom att valsarna får både böja stången och pressa på ytan. Vid riktpolering smörjs valsarna med emulsion.

En annan typ av rullriktverk har flera valsar och stången kröks mellan valsarna. Alla valsar är konkava och inga linjaler behövs för att styra stången. Dessa verk har högre produktivitet än tvåvalsars rullriktverk, men en längre del av stångens ände blir oriktad.

## 10.4 Värmebehandling

Värmebehandling sker ofta för att få önskade egenskaper hos stålet. Värmebehandling är i sig ett omfattande område. Avsikten med detta kapitel är endast att ge någon orientering om värmebehandling i direkt anslutning till bearbetning.



*Bild 8-36*

Ett välkänt fenomen är att ett stål kan härdas genom snabb kylning. Härdning kan mycket enkelt beskrivas med att den normala omvandlingen från austenit till ferrit inte hinner ske. I stället inträffar en annan typ av omvandling till en ferrit med onormalt hög kolhalt, så kallad martensit. Denna omvandling är diffusionslös och därför ej tidsberoende. Den sker vid lägre temperatur än den normala fasomvandlingen.

Om stålet legeras, så att den normala omvandlingen till ferrit sker långsamt, kan härdning ske vid långsammare kylning, till och med vid luftsvälning. Ofta är martensiten för hård och spröd efter härdning. För att minska hårdheten och sprödheten anlöps martensiten. Anlöpning innebär en uppvärmning till 100–450 °C. Om anlöpningen sker över 450 °C kallas processen för seghärdning.

Vid anlöpningen minskar martensitens kolhalt genom att cementit bildas. Detta innebär att kolatomer måste röra sig genom diffusion. Resultatet av anlöpningen beror därför av temperatur och tid. Vid seghärdning går ferritens kolhalt ner till den normala, men en mycket finkornig ferrit erhålles. Denna struktur av finkornig ferrit har mycket goda mekaniska egenskaper.

Vid normalisering värms stålet upp i austenitområdet och får därefter svalna. Stålet kommer då att gå igenom fasomvandling två gånger. Varje gång bildas nya korn. Detta medför att kornstorleken

minskar, vilket förbättrar slagsegheten. Processen användes ursprungligen för stål som fått för stor eller ojämn kornstorlek. Normal kornstorlek återställdes genom normalisering.

Etappglödning innebär att ett stål hålls vid en temperatur, så att den normala fasomvandlingen hinner ske. På detta sätt undviks att stålet tar härdning efter bearbetning. Etappglödningen kan också användas för att få en struktur som är lämplig för svarvning.

Vid grova dimensioner finns risk för att väte finns kvar i stålet efter varmbearbetning. Detta medför en risk för att stålet skall spricka. För att undvika detta använder man sig av en väteglödning. Stålet hålls en längre tid vid en temperatur i området 600–650 °C för att väte skall hinna diffundera ut. Detta måste ske innan stålet svalnar ner. I smedjor är det därför vanligt att produkter efter smidning först etappglödgas och sedan väteglödgas.

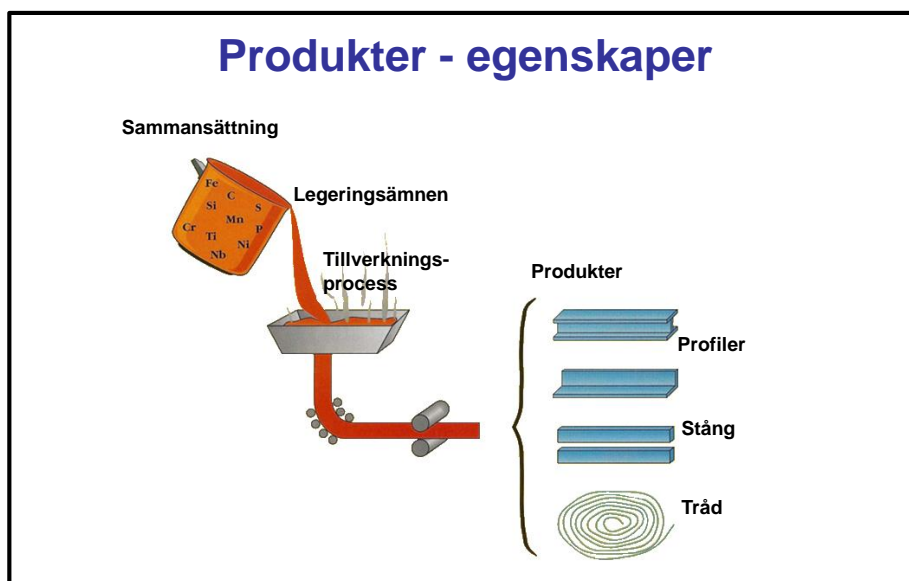
Vid kallbearbetning, t ex tråddragning, kommer materialet att deformationshårdna. Det kan då bli nödvändigt att rekristallisationsglödga för att kunna bearbeta vidare (mellanglödning) eller för att få lämplig hårdhet för leverans. Vid rekristallisationsglödning bildas nya korn som har mindre mängd dislokationer. Materialet får tillbaka sin ursprungliga hårdhet.

Vid produktion av austenitiska rostfria stål förekommer så kallad släckglödning. Det austenitiska rostfria stålet är legerat så att det är austenitiskt också vid rumstemperatur. Det kan därför inte härdas. Däremot kan krom i stålet vid långsam svalning bilda kromkarbider i korngränserna. Detta kan medföra att kromhalten i korngränserna kan bli för låg, så att stålet där inte längre blir rostfritt. För att undvika dessa kromkarbider görs en glödning följt av en snabbkylning i vatten. Denna process kallas släckglödning.

## 11 Produktegenskaper

Det moderna kvalitetstänkandet inom stålindustrin innebär att man till lägsta möjliga kostnad skall leverera produkter, som uppfyller kundernas uttalade krav och förväntningar.

Genom att välja sammansättning och processväg kan produktegenskaperna, inom givna ramar, anta många olika värden. Det kan gälla allt från dimension, form, ytor och utseende, till styrka, hållfasthet och formbarhet.



**Bild 8-37**

Många stål framställs med allt mer specifika krav på t.ex. skärbarhet, hårdbarhet, slitagebeständighet och ytbehandlingsbarhet. Rostfria material skall uppfylla höga krav på korrosionsegenskaper i svåra korrosiva miljöer och vid höga temperaturer. Andra viktiga egenskaper är produktens form och toleranser.

Om produkten skall bearbetas vidare, t.ex. svarvas eller fräsas, är det viktigt att skärbarheten är jämn och god. Skärbarheten påverkar hur snabbt ett verktyg slits ner, och detta har stor inverkan på en komplicerad produkts totala tillverkningskostnad.

För att öka hållfastheten eller hårdheten, är det vanligt att man härdar stålet. Då krävs att hårdbarheten är god. Detta styrs genom att analysen hålls inom snäva toleranser. För konstruktionsstål är egenskaper som hållfasthet och svetsbarhet viktiga. För att erhålla önskvärda egenskaper fordras noggrann kontroll av analys, föroreningshalter, samt tillverkningsparametrar som värmnings- och valsningstemperatur.



**Bild 8-38**

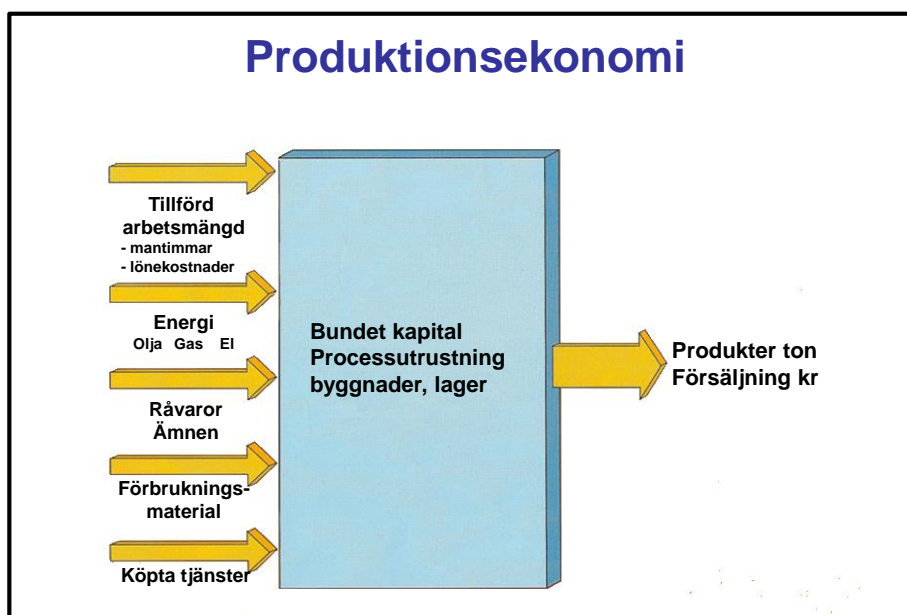
## 12 Produktionsekonomi

### 12.1 Nyckeltal

Genom att mäta olika storheter inom produktionen, t.ex. energibehov, råvaruförbrukning och producerade ton, kan man skapa måttetal som används för att beskriva produktionsekonomi. Dessa tal brukar kallas nyckeltal.

Exempel på sådana nyckeltal är:

- Mantimmar per ton
- kWh per ton
- utbytetal
- tillgänglighet.



*Bild 8-39*

Nyckeltalen kan användas för att jämföra olika verk, men kräver då att hänsyn tas till produktmix, produktionsvolym m.m. Vid jämförelser bör generella nyckeltal användas. En vanligare användning är att följa den egna verksamheten för att kunna se förändringar. Man använder då mer specifika nyckeltal. Det kan gälla förändringar i samband med investeringar eller andra ändringar i processen.

För att kunna ta fram nyckeltal för den egna verksamheten måste man använda sig av ett antal grundstorheter. Dessa kan vara:

- antal anställda
- lönekostnader
- råvarukostnader
- kostnader för förbrukningsmaterial
- energikostnader
- bundet kapital
- produktionsvolym
- intäkter

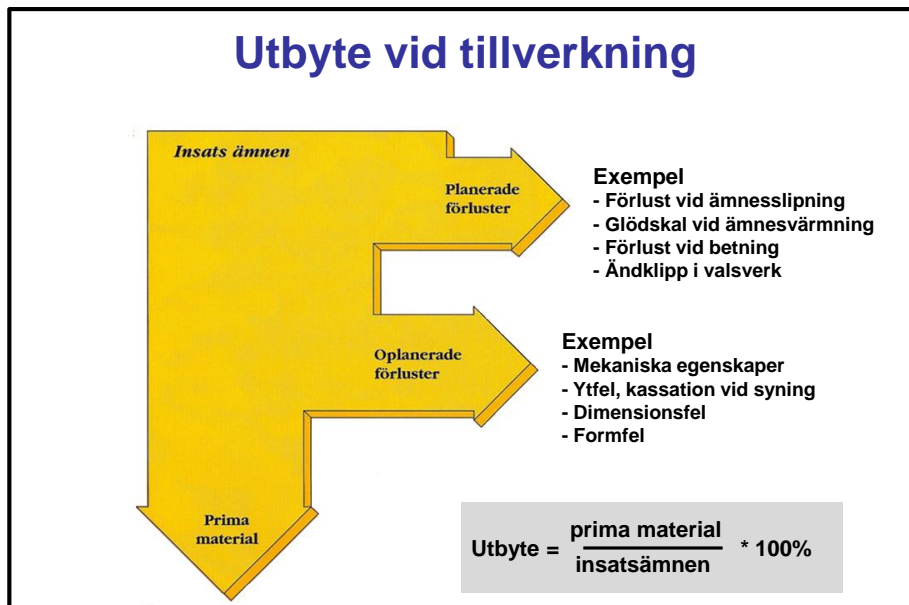
Grundstorheterna kan sedan brytas ned för att gälla en viss produkt, produktgrupp eller någon avdelning i organisationen.

## 12.2 Utbyte

Beräkning av utbytestalet sker genom grundformeln

$$(\text{prima material}) / (\text{insats ämnen}) \times 100\%$$

Vid beräkning är det viktigt att man definierar alla storheter, så att nyckeltalet beräknas rätt. Det kan t ex gälla hur man mäter insatsen av ämnen och hur många processteg som räknas med.



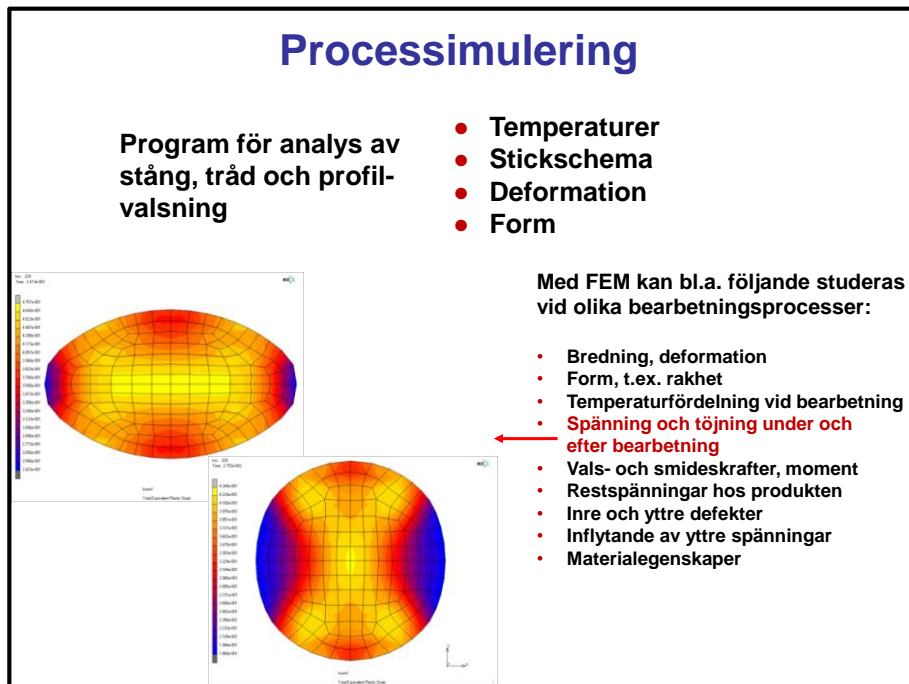
*Bild 8-40*

Förluster i processen kan vara:

- skillnad mellan teoretisk och verklig vikt vid mottagning av ämnen
- förluster vid ämnesbehandling
- glödskalsförlust vid värmning
- betförluster i samband med tråddragning
- ändklipp
- skrot vid valsning
- dimensionsfel
- kassationer vid syning och efterbehandling
- transport och hanteringskador
- reklamationer från kund
- överfyllnad av order.

## 13 Processimulering

För produktutveckling och processutveckling vid valsning av långa produkter finns olika programvaror för simulering av delar av processkedjor eller hela processer.



*Bild 8-41*

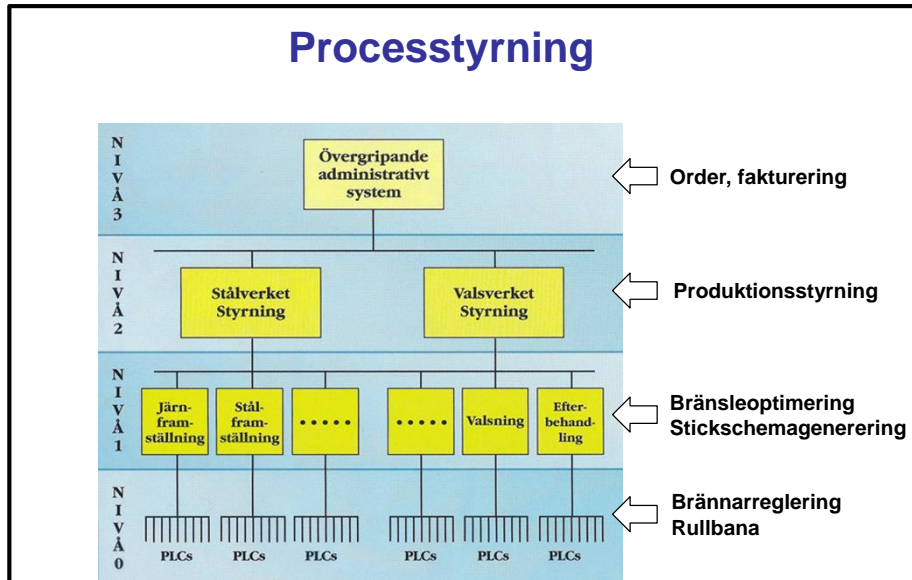
Temperaturförlopp kan simuleras från ämnesvärmning, över valsning, till svalbädd. Valsning av profiler kan simuleras. Program för spårkalibrering finns.

Program för simulering är empiriska eller fysikaliska. Idag är användning av finita elementmetoden omfattande för analys och optimering av olika bearbetningsprocesser, men metoden kräver kraftfulla datorer och innebär ofta långa beräkningstider.

## 14 Processtyrning

Alla moderna valsverk har i dag avancerad processtyrning. Detta gäller även friformssmide. En fullständig styrning av valsverkets produktion innefattar flera olika nivåer i organisationen.

Stålindustrin är i dag högt datoriserad jämfört med andra branscher.



*Bild 8-42*

## Källor

<b>Del</b>	<b>Titel</b>	<b>Författat av</b>	<b>Revidering av</b>
1	Historia, grundläggande metallurgi...	Jan Ugglå	Sven Ekerot (2000) Robert Vikman, Jernkontorets TO 21, 23 och 24 (2016)
2	Malmbaserad processmetallurgi.....	Jan Ugglå	Sven Ekerot
3	Skrotbaserad processmetallurgi .....	Jan Ugglå	Henrik Widmark
4	Skänkmållurgi och gjutning .....	Jan Ugglå	Sven Ekerot
5	Underhåll och driftsekonomi .....	Hans Gillberg och Niklas Brodd, ABB	
6	Analytisk kemi .....	Carl Bavrell	
7	Energi och ugnsteknik.....	Jan Fors och Martti Köhli	
8	Bearbetning av långa produkter .....	Magnus Jarl, Håkan Lundbäck, Jan-Olov Perå och Åke Sjöström	Rachel Pettersson, Jernkontorets TO 32
9	Bearbetning av platta produkter .....	Nils-Göran Jonsson, Jan Levén Åke Sjöström och Olof Wiklund	Rachel Pettersson, Jernkontorets TO 31
10	Oförstörande provning .....	Jan-Erik Bohman, Bernt Hedlund, Bengt Moberg, Bert Pettersson och Björn Zetterberg	Författarna
11	Olegerade och låglegerade stål.....	Bengt Lilljekvist	
12	Rostfritt stål.....	Staffan Hertzman och Hans Nordberg	Rachel Pettersson, Jernkontorets TO 43

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

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

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

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



## **DEN SVENSKA STÅLINDUSTRINS BRANSCHORGANISATION**

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

# **JERNKONTORET**

Box 1721, 111 87 Stockholm · Kungsträdgårdsgatan 10  
Telefon 08-679 17 00 · Fax 08-611 20 89  
E-post [office@jernkontoret.se](mailto:office@jernkontoret.se) · [www.jernkontoret.se](http://www.jernkontoret.se)

