

Järn- och stålframställning

Bearbetning av platta produkter

Jernkontorets utbildningspaket – del 9



Förord

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

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

Läromedlet är författat av experter inom nordisk stålindustri.

Delar av paketet har reviderats.

Utbildningspaketet omfattar följande områden:

Del	Titel	Senaste utgåva
1	Historia, grundläggande metallurgi	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, Bearbetning av platta produkter, del 9

1	INLEDNING	3
2	ÄMNESFRAMSTÄLLNING	5
2.1	Götgjutning	5
2.2	Stränggjutning	5
2.3	Krav på ämnen	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	Glöds-kalsbildning	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 av principer	18
6.2	Valsverkstyper	19
6.3	Valsverkets deformation	20
6.4	Planhet och profil vid plattvalsning	20
6.5	Profil- och planhetsstyrning	22
6.6	Valsningsterminologi	24
6.7	Valsar	25
6.8	Valsslitage	26
7	PLÅTVALSNING	27
7.1	Principer vid plåtvalsning	27
7.2	Begränsningar och form	28
8	VARBANDVALSNING	30
8.1	Varmbandverk	30
8.2	Temperaturstyrning	32
8.3	Valsningskampanj	33
9	KALLBANDVALSNING	34
9.1	Kallvalsning av band	34
9.2	Kallvalsverk	34
9.3	Tjockleksreglering	35
9.4	Smörjning vid kallvalsning	35
9.5	Betning	37
9.6	Trimvalsning – Glättvalsning	38
10	EFTERBEHANDLING AV PLATTA PRODUKTER	39
10.1	Riktning	39
10.2	Värmebehandling	41
10.3	Glödning	42
11	PRODUKTEGENSKAPER	42
12	PRODUKTIONSEKONOMI	44
12.1	Nyckeltal	44
12.2	Utbyte	45
13	PROCESSIMULERING	46
14	PROCESSTYRNING	47

Bearbetning av platta produkter, del 9

1 Inledning

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

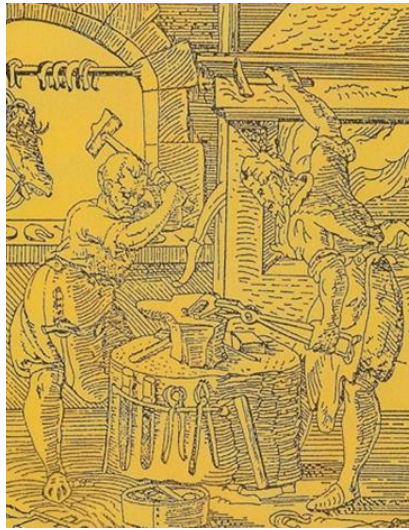


Bild 9-1

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

- plastisk bearbetning
- skärande (spånskärande) 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

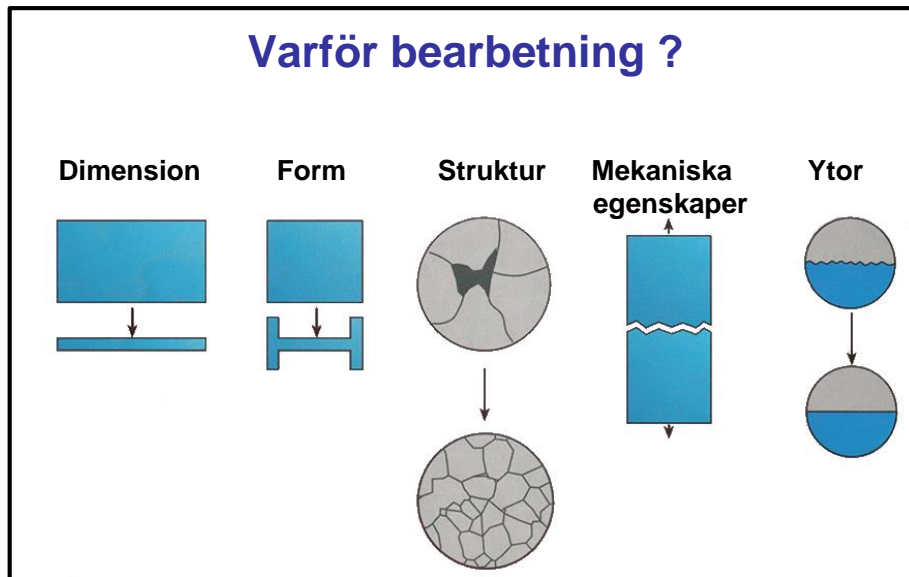


Bild 9-2

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 götgjutning eller som **slabs, blooms** eller **billets** via stränggjutning.

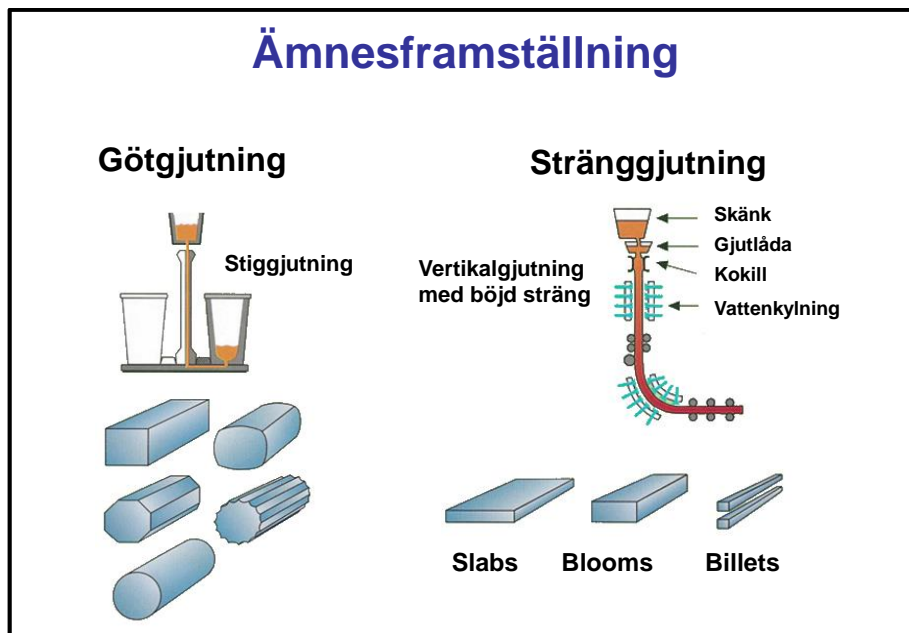


Bild 9-3

Stränggjutningen 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 strängjutningen är att gjuta tunna slabs. En annan intressant utveckling är gjutning av tunna band, speciellt för rostfritt material.

2.1 Götgjutning

Götgjutning var tidigare den vanligaste metoden för framställning av ämnen. Sedan 1960-talet tillämpas endast s.k. 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.

Götgjutning 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 Krav på ämnen

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

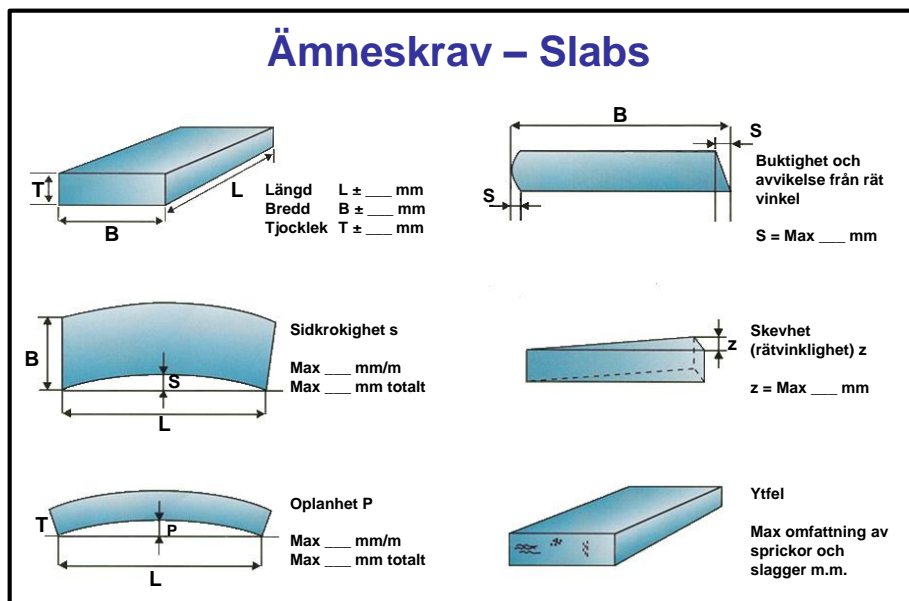


Bild 9-4

För att stickserier och kalibreringar skall fungera måste ämnena hålla vissa toleranser. Ämnesdimensionen påverkar givetvis hetlängden och bredden 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 oplanhet 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 slipas bort. Även slipningen måste utföras med hänsyn till kvalitetskraven på den färdiga produkten. Ämnenas inre egenskaper kan kontrolleras med avseende på sprickor, t ex hornsprickor, 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.

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.

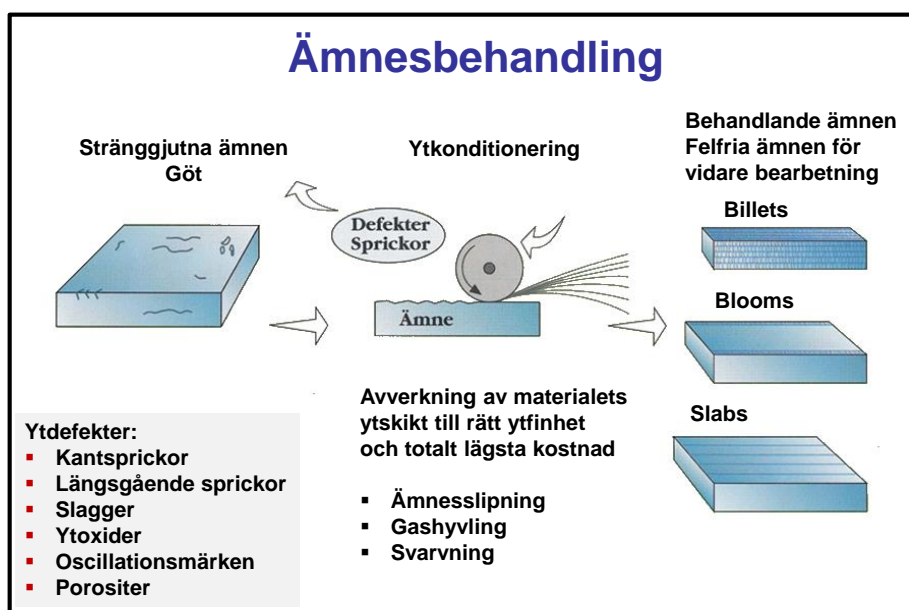


Bild 9-5

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 ytdefekter återfinns bortslipas.

För vissa sprickkänsliga stålsorter sker slipning vid förhöjd temperatur för att undvika att den leder till sprickbildning. Varmslipning kan 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 av ytor. Gashyvlning används företrädesvis för låglegerade kolstål. I processen bränns ett ytskikt bort. Metoden används endast begränsat i Norden. Fräsning av ytor har fördelen att spånorna enkelt kan återanvändas vilket är betydelsefullt för höglegerade material.

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.

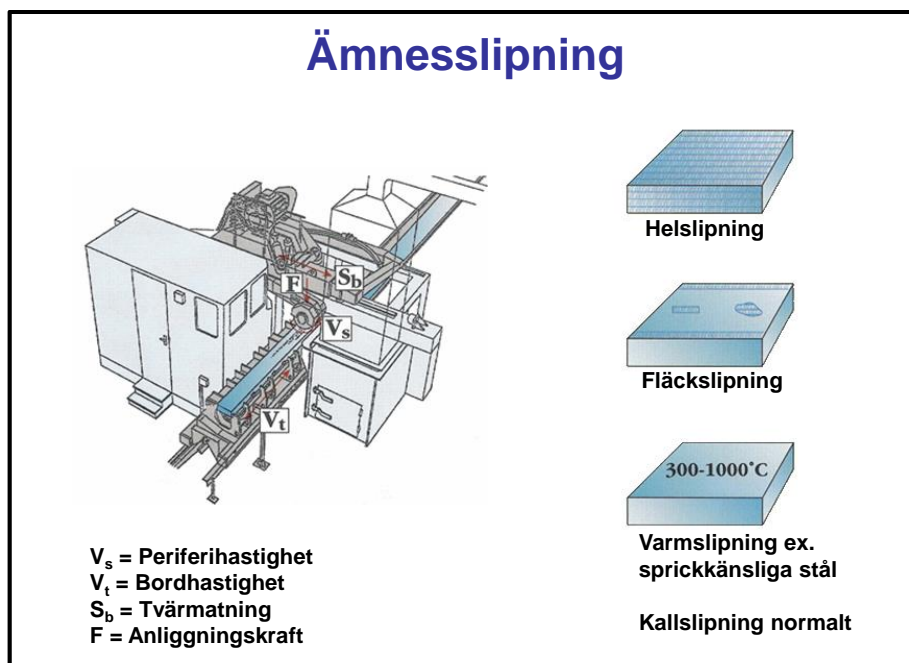


Bild 9-6

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 slippparametrar bör ske mot lägsta totala slipkostnad under beaktande av andra kriterier, som t ex 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 består 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

Före 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.

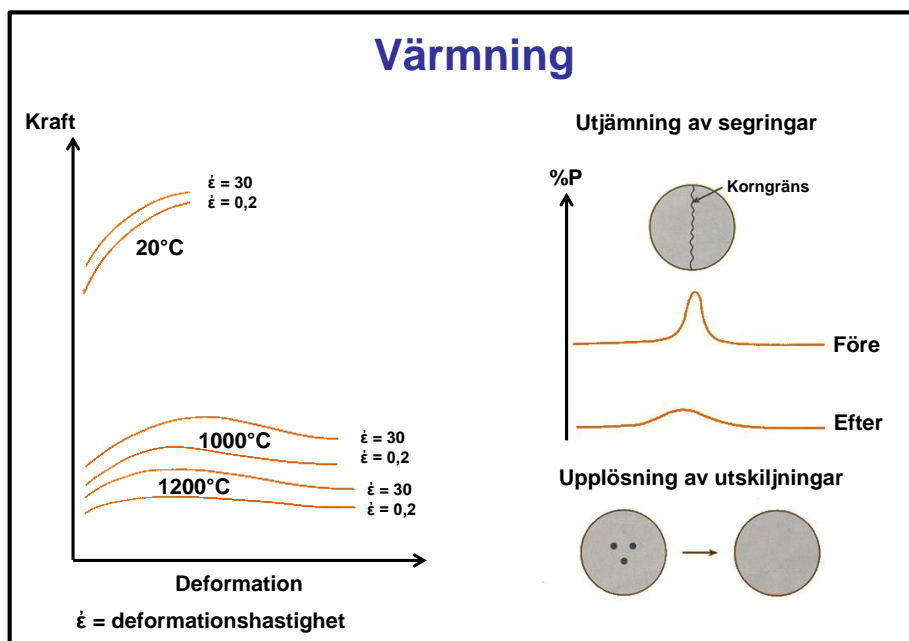


Bild 9-7

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.

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.

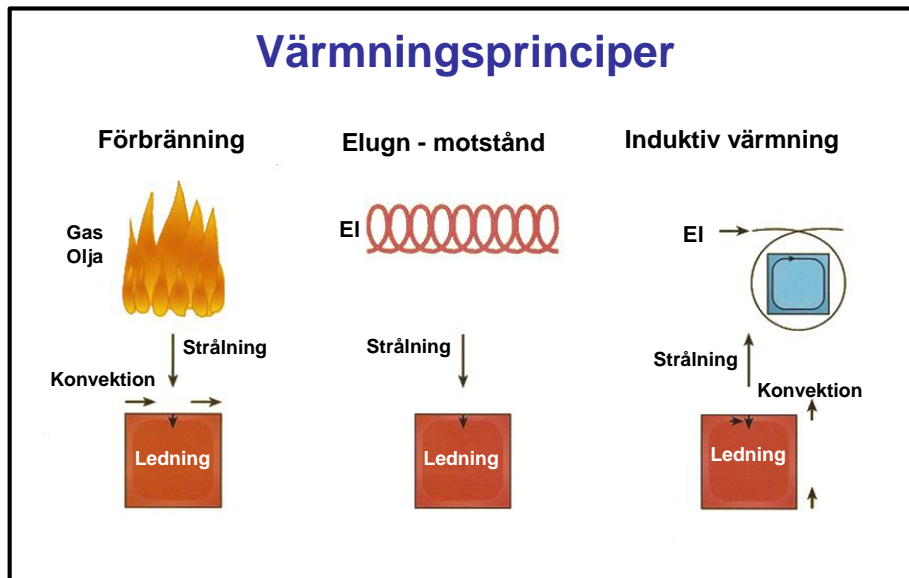


Bild 9-8

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. Oxyfuel tekniken innebär att syrgas ersätter tillförsel av luft för förbränningsprocessen.

Värmning med el kan utföras med elektriskt uppvärmda motståndstrådar i ugnen. Värmet förs över till ämnet genom strålning. I en elektrisk ugn är gashastigheten lägre än i en bränseleddad 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.

4.3 Glödskaalsbildning

Vid värmning till hög temperatur kommer järn att oxideras av syre som finns i ugnsatmosfären och bilda oxid, så kallat glödskaal. Mängden glödskaal 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 glödskaal. Det kan därför vara nödvändigt att glödskaalsrensa flera gånger.

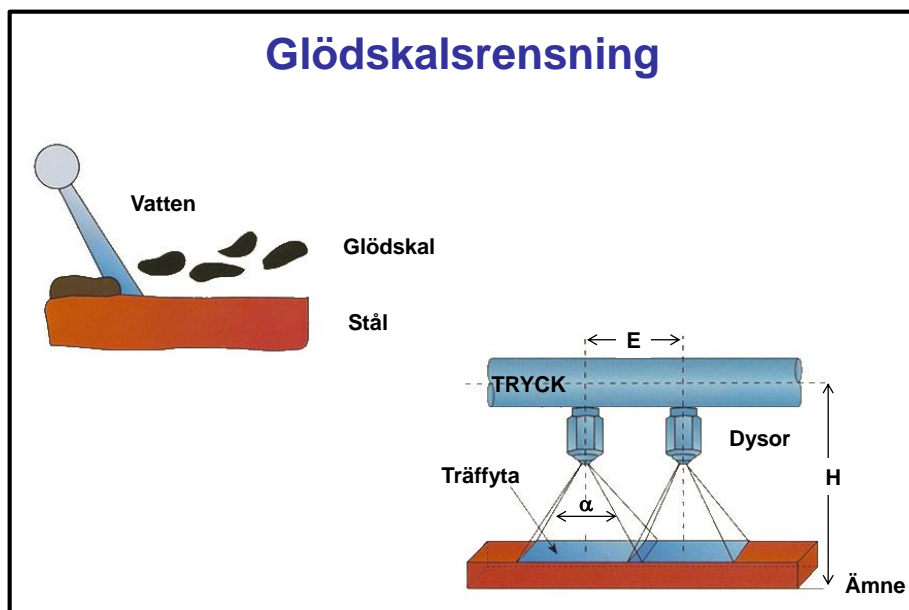


Bild 9-9

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.

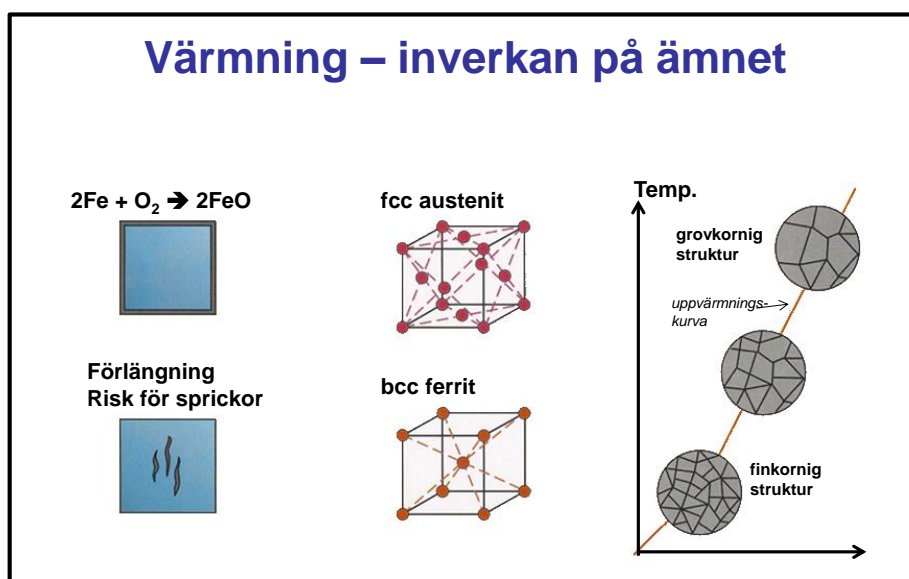


Bild 9-10

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 ytcentrerad. Kubiskt ytcentrerat järn kallas austenit. 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 korntillväxt. Detta innebär att små korn försvinner och stora korn växer. Korntillväxten 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, återfjädrar det då kraften avlägsnas. Om plattjärnet böjs vidare till B, deformeras det plastiskt, 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 valsgapet. 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.

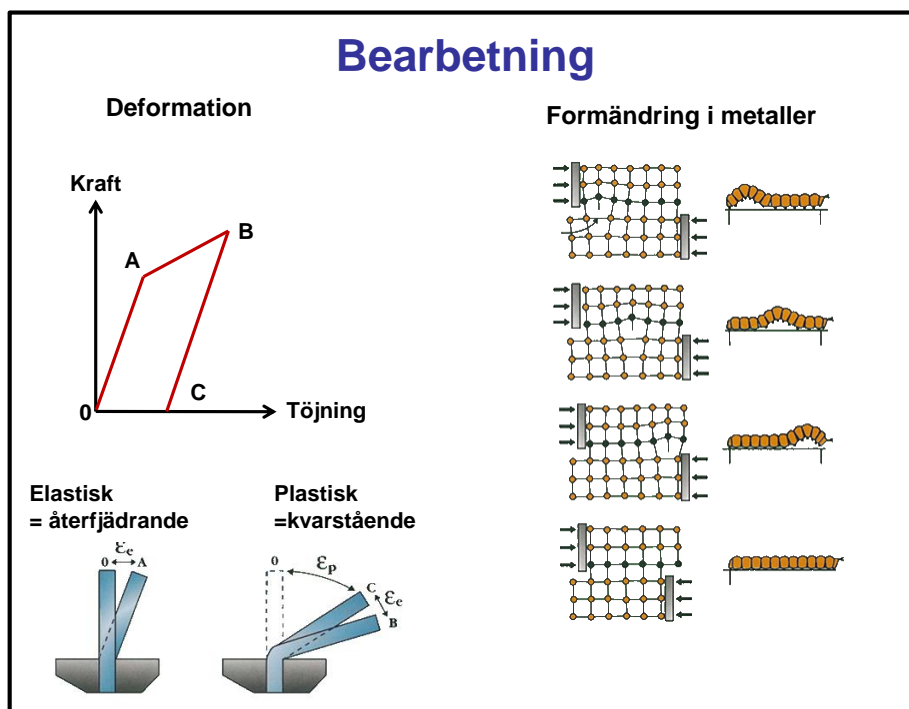


Bild 9-11

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 en stor mängd dislokationer kan vid hög temperatur bilda nya korn. Detta medför att korn med en stor mängd dislokationer ersätts av nya korn med en 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.

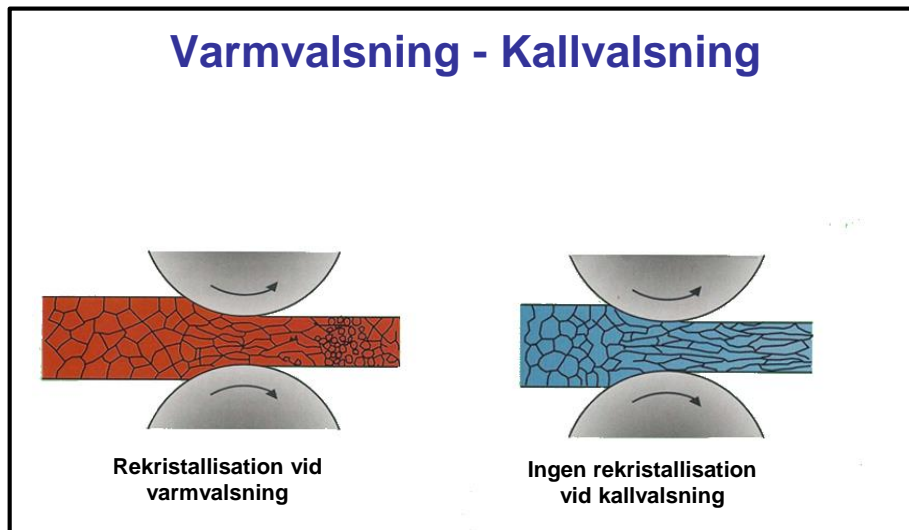


Bild 9-12

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. 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.

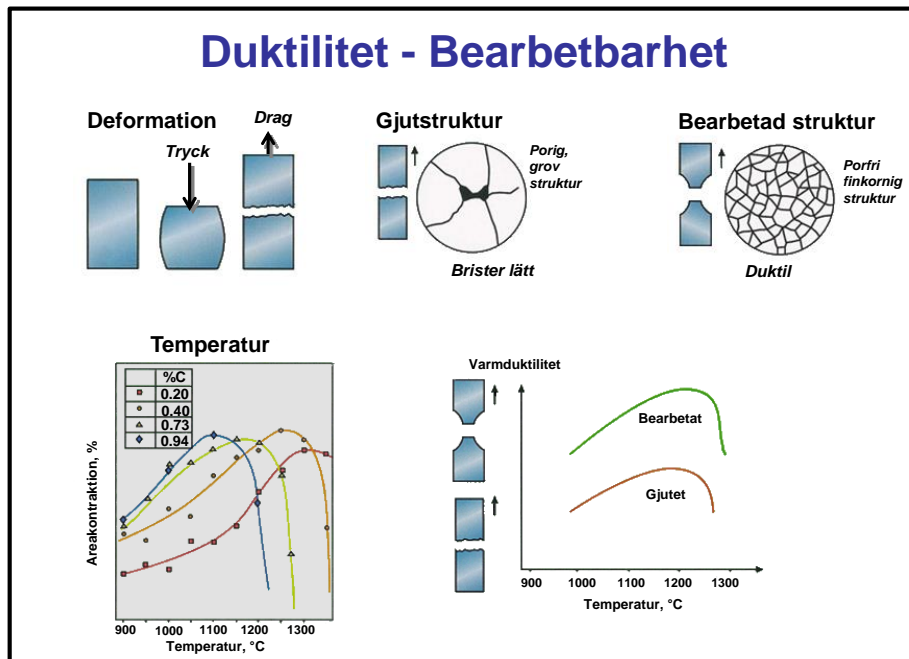


Bild 9-13

Vid bearbetning som valsning och smide utsätts materialet i huvudsak för tryck. Kanter som breddar fritt 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 dock duktiliteten kraftigt. Orsaken är att områden med högre halter av föroreningar har lägre smältpunkt, och när dessa små områden med smälta deformeras, brister materialet. Ett stål med högre kolhalt har lägre smältpunkt än ett lågkolhaltigt stål. 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 av principer

Valsning är den vanligaste metoden vid plastisk bearbetning av stålprodukter. Bearbetningen sker då ämnet passerar mellan två roterande cylindrar, valsar. Man kan indela de valsade produkterna i platta och långa produkter, beroende på deras form.

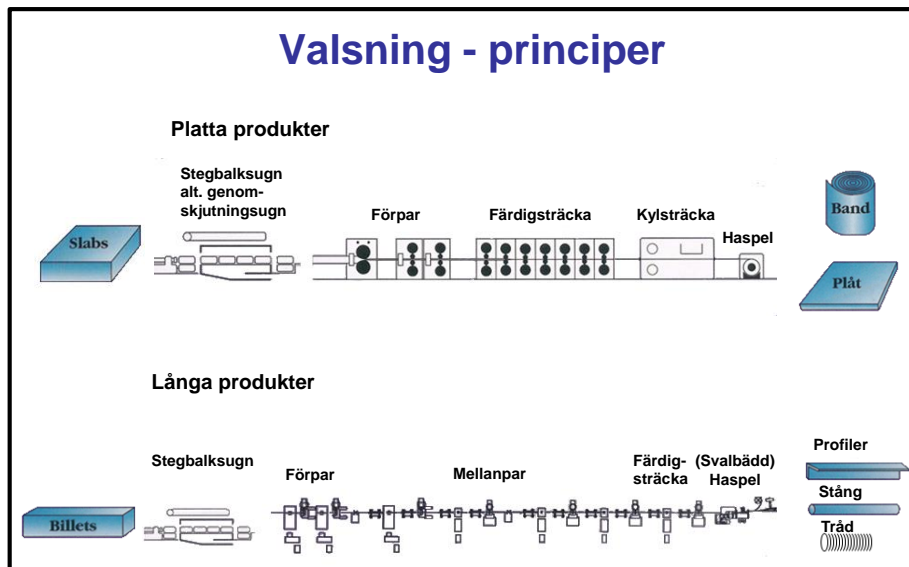


Bild 9-14

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. Reversibel valsning används i plåtverk, steckelverk och mångvalsverk. 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 valsningsprocessen, i t ex färdigsträcken i bandverket. Plåt- och steckelverk har enbart reversibel valsning.

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

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.

Valsverk indelas efter storlek, produkttyp samt valsarnas antal och placering.

Bandvalsverk brukar indelas i smalband- och bredbandverk, där gränsen går vid 600 mm bandbredd. Tillverkningen av tunn formatplåt sker genom uppklippning av hasplade band.

Ämnen i ett modernt bredbandverk eller plåtverk utgörs av stränggjutna slabs. Ämnen, vars tjocklek varierar från 150 till 300 mm, kommer in från ämnesbehandlingen eller ämneslager och transporteras på en rullbana till ugnen (genomskjutningsugn eller stegbalksugn). Efter dragning ur ugnen sker glödska尔斯rensning och nedvalsningen börjar i förparet. I bildexemplet består förparet av ett reversibelt duopar och två kvartopar i tandem. För breddreduktion förekommer oftast reversibla kantduopar i förparssträckan.

I förparssträckan valsas ämnet ned till tjocklekar mellan 30 och 50 mm. Innan det förvalsade ämnet går in i färdigsträckan klipps första änden i en snopsax. I färdigsträckan, som i exemplet består av sju kvartopar, sker den slutgiltiga reduktionen ned till 2–10 mm tjocklek, varefter bandet passerar kylsträckan och hasplas via ett matarverk.

6.2 Valsverkstyper

Plattvalsning genomförs i många typer av valsverk för varm- och kallvalsning beroende på typ av valsning och geometri.

Den enklaste valsverkstypen är DUO-verket med endast en övre och en undre vals. DUO-verket har nackdelen av en ogynnsam valsningsgeometri, då plåten börjar bli tunn. Därför används oftast KVARTO-verk med fyra valsar. De slanka arbetsvalsarna ger en gynnsam valsningsgeometri, och de grövre stödvalsarna motverkar utböjningen av arbetsvalsarna.

SEX-valsverket med två axiellt förskjutbara mellanvalsar ger bättre styrmöjligheter för reglering av planhet och tjockleksprofil. Duo-, kvarto- och sexvalsverk används vid såväl varm- som kallvalsning.

Vid kallvalsning där bandet är mycket tunt och hårt, måste man ha mycket smala arbetsvalsar för att få någon reduktion. Ett helt paket av valsar måste då användas för att stödja upp arbetsvalsarna. Valsverken som går under benämningen MÅNG-valsverk kan beroende på konstruktion ha olika många valsar. Vanligast är 20 st.

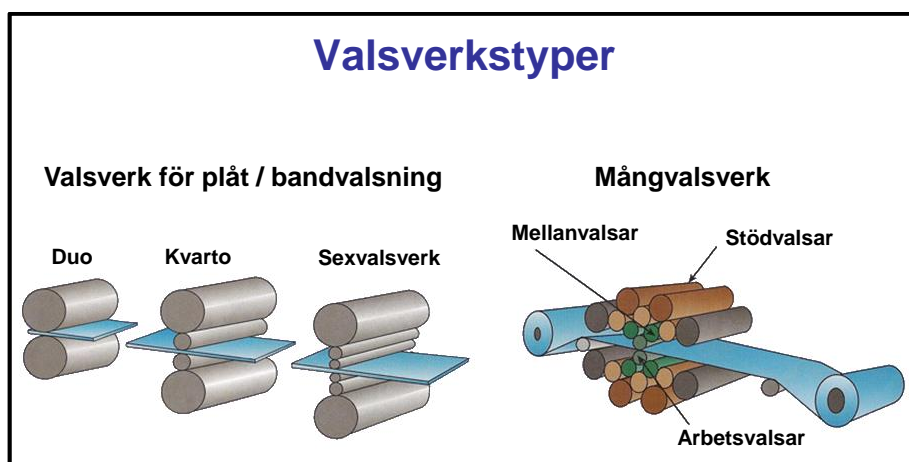


Bild 9-15

6.3 Valsverkets deformation

Vid både varm- och kallvalsning av plåt och band kommer valsarna att utsättas för ett kraftigt böjande moment kring valsarnas lagercentrum, varvid valsarna böjer ut. För minskning av utböjningen används kraftiga stödvalsar i kombination med mindre arbetsvalsar, vilket medför utmärkta reduktionsmöjligheter, t ex kvartovalsverk.

Trots kraftiga stödvalsar blir oftast plåten eller bandet tjockare på mitten än i kanten. För att undvika detta bomberas valsarna i varmvalsverk svagt konvext, så att inverkan av det böjande momentet och bomberingen tillsammans ger den önskade låga bandprofilen (kronan).

Genom att installera extra valsböjningsutrustning för motböjning, kan en viss del av bomberingen motverkas. Vid varmvalsning och i viss mån även vid kallvalsning får man också ett extra bomberingstillskott på valsem genom temperaturfördelningen i valsem – termisk bombering. Valsarna blir varmare i centrum av valsembanan och kyls genom valstapparna, vilket orsakar denna extra bombering. Under valsningen sker dock valsslitage (nötning) som är större i centrum och därför reducerar bomberingen något.

Ytterligare en effekt att beakta är valsavplattningen. P.g.a. det höga tryck som råder i valsspalten blir valsarna utsatta för en elastisk kompression, som kan jämföras med att valsem får en större radie. Ju högre elasticitetsmodul (E-modul) valsarna har, desto mindre blir valsavplattningen. Därför är det en fördel att använda hårdmetallvalsar, vilket t ex används vid kallvalsning i mångvalsverk.

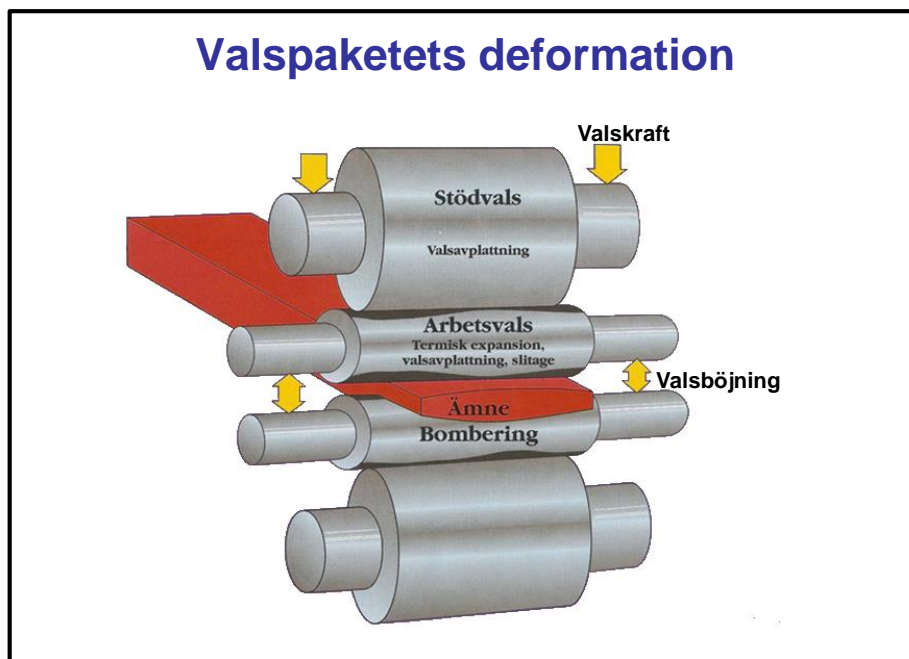


Bild 9-16

6.4 Planhet och profil vid plattvalsning

Vid både varm- och kallvalsning av plåt och band utsätts valsarna för ett kraftigt böjande moment kring valstapparnas lagercentrum och valsarna får en väsentlig utböjning. För att undvika detta slipas valsarna till en svagt konvex profil (bombering), så att inverkan av det böjande momentet och bomberingen tillsammans ger ett rektangulärt tvärsnitt på produkten.

I praktiken sker valsningen så att plåten eller bandet blir obetydligt tjockare på mitten. Detta för att erhålla bättre styrning i valsverket. Felaktig bombering eller utböjning medför oftast problem under valsningen.

För liten utböjning eller för stor bombering av valsarna medför att bandkanterna förlängs mindre med ett mittlångt band som följd. Tryckspänningar uppstår i bandets mitt, medan bandets kanter utsätts för dragspänningar, vilket kan orsaka kantsprickor i materialet.

Om bomberingen varit för liten eller utböjningen för stor, erhålls "lösa" kanter eller ett kantlångt band. Genom att avsiktligt valsa något kantlångt i de första sticken, valsas kanterna under tryckspänning och risken för kantsprickor minskar. En olycklig utböjning i kombination med bombering kan även orsaka kvartsbucklor på materialet.

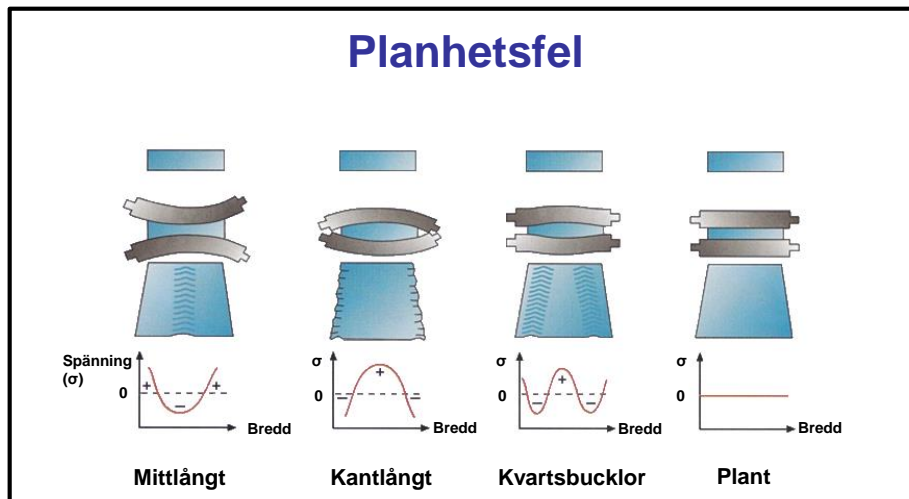


Bild 9-17

Med ämnesprofil (absolut krona) på bandet menas mittjockleken minus kantjockleken 50–75 mm från bandkanten. Den relativa kronan erhålls genom att dividera absoluta kronan med mittjockleken. Kantraset på varmband är oftast definierat som absolut krona 25 mm från kanten minus absolut krona 50–75 mm från bandkanten.

Valsning med konstant relativ krona ger plant material. Planheten definieras som skillnad i förlängning mellan bandets kant och mitt. En relativ förlängning av 10^{-5} (dvs 0,01 mm på 1 m) kallas för 1 I-enhet. "Steepness" är ett annat mått på planhet och definieras som våghöjd dividerat med våglängd.

Planhetskraven har förändrats drastiskt de senaste åren. Detta beror på förändrade tillverkningsprocesser inom verkstadsindustrin. Till och med till synes helt plant material kan orsaka problem genom inre spänningar som utlöses vid klippning. Tjockleks- och planhetstoleranserna har förbättrats dels genom införande av automatiska reglersystem, dels genom jämnare värming i moderna ugnar och snabbare valsningsförfarande.

Varmvalsade band för kallvalsning måste ha så reproducerbar profil som möjligt för att inte orsaka kallvalsningsproblem. Särskilt viktigt är detta när banden slittas före kallvalsning, eftersom den varmvalsade relativa tvärprofilen bibehålls genom kallvalsningen. Genom en låg och jämn tvärprofil i varmvalsningen erhåller man bättre toleranser även på kallvalsade band. Eftersom band för kallvalsning oftast är den största produkten i varmvalsverket, är detta ett viktigt motiv för införande av styrmedel för profil och planhet. Kraven på tvärprofil för ett varmband mätt 25 mm från bandkanten är 100 μm .

Ett annat problem, som är relaterat till tvärprofilen, är snedprofil, som medför styrproblem av bandet under kallvalsningen och som dessutom ger planhetsproblem. Kraven på tvärprofil varierar med typen av kallvalsverk. Alla verk önskar jämn och reproducerbar profil utan snedhet. Kvarvalsverk kräver en rund tvärprofil som skall passa verkets utböjningar.

I moderna mångvalsverk är inte ingående bandprofil lika kritisk, eftersom man där har möjligheter att kompensera för olika bandprofiler. Kraven på planhet varierar beroende på hur den kan justeras vid kallvalsningen. I en del betsträckor förekommer skalbrytning genom sträckning av bandet före betning, vilket innebär en sträckriktningsoperation med åtföljande planhetsförbättring.

6.5 Profil- och planhetsstyrning

I kallvalsverk har det länge funnits metoder att styra planhet. Bland metoderna kan nämnas selektiv kylning tvärs valsbanan (zonkylning), förskjutning av mellanvalsar i mångvalsverk och sexvalsverk samt extra valsböjning.

P.g.a. att tvärflytningen hos materialet är liten vid kallvalsning, kan enbart planheten och ej tvärprofilen påverkas. Därför är det av vikt att styra tvärprofil och planhet vid varmvalsningen. Grunden för god planhet och snäva tjocklekstoleranser skapas vid varmvalsningen och blir en förutsättning för framställning av kallvalsade precisionsprodukter.

Stora investeringar i olika styrmedel för att förbättra tjocklekstoleranserna och planheten på varm- och kallvalsade produkter har gjorts i världen. I det följande ges en översikt över de styrmetoder och styrmedel som vanligen används. Inverkan på bandets längdförändring visas även i figuren.

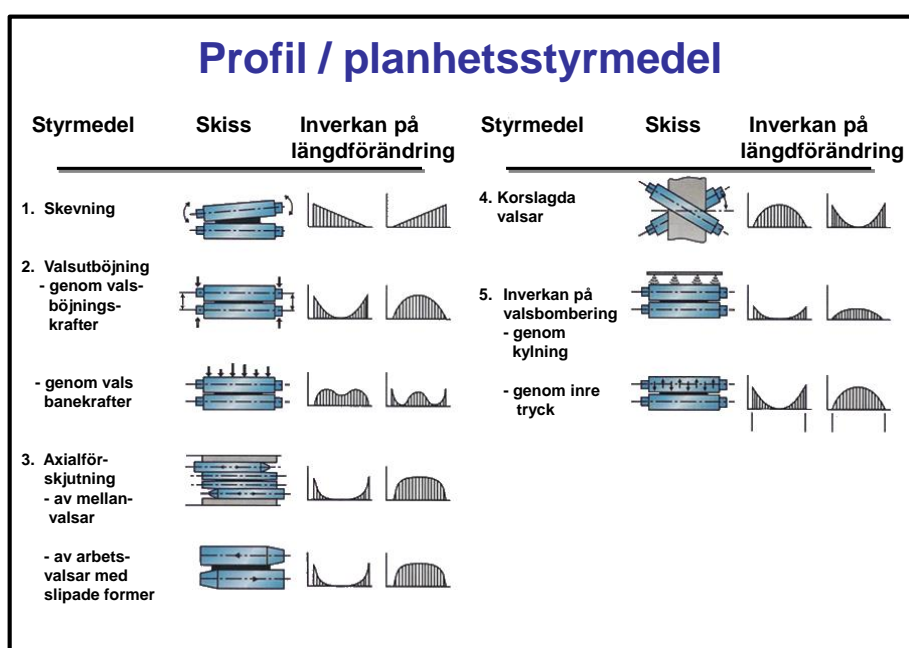


Bild 9-18

Slipad bombering

Genom att slipa valsarna tjockare på mitten kan bandets tvärprofil minskas vid varmvalsning. Normalt slipas valsarna till en parabolisk form som kompenserar valsarnas utböjning. Ett problem med detta är att band med olika dimensioner och hårdhet måste valsas med samma bombering för att minimera antalet valsbyten. Detta medför att bandets tvärprofil (krona) kommer att variera inom vissa gränser. I dessa fall prioriteras god planhet.

Belastningsfördelning, stickserier

Genom att variera belastningsfördelningen mellan de olika valsparen (stickschemat) kan planhet och krona påverkas. För att nå god planhet för en bestämd stickserie bör små förändringar i belastningsfördelningen göras. Även i detta fall prioriteras planheten framför tvärprofilen.

Skevning

Om bandet går snett ut ur verket (snokbildning, bananform) är skevning en styrmetod för att centrera bandet på rullbanan och eliminera snoken.

Valsutböjning

Extra kraftiga utbalanseringscylindrar byggs oftast in i arbetsvalslagren, vilket ger möjlighet till extra stor böjning av arbetsvalsarna. Valsböjningen har hygglig effekt på centralkronan, men ganska liten effekt på kantraset. Valsböjningen används oftast till att justera planheten, om valskraften ändras längs bandet och är därför ett utmärkt styrmedel för planhet.

Metoden fungerar mycket bra i kallvalsverk och trimverk, vars huvuduppgift är att justera planheten. Om tvärprofilen (kronan) skall kunna styras med valsböjning, måste den göras mycket kraftig, vilket innebär att flera cylindrar och dubbla arbetsvalslager måste användas. Detta kan ge problem med utmattningshållfastheten i valsarna.

Axialförskjutning av valsar

Sexvalsverk med förskjutbara mellan- och arbetsvalsar ger möjlighet att valsa längre kampanjer samtidigt som profilen effektivt kan styras. Genom mindre förskjutningar av arbetsvalsarna axiellt mellan banden, kan valsslitage minska. Mellanvalsen flyttas hela tiden med bandkanten på det valsade ämnet. Härigenom påverkas arbetsvalsens utböjning och påverkar krona och kantras. Sexvalsverk kompletteras alltid med valsböjning för planhetsstyrning.

Arbetsvalsförskjutning (WRS = Work Roll Shift) förekom redan på 1950-talet som axiell förskjutning av mellanvalsar i mångvalsverk med avsikt att styra planheten. Mot slutet av 1970-talet togs idén upp i Japan och började användas i konventionella kvartoverk eller i sexvalsverk.

Metoden användes från början till att jämna ut valsslitage och termisk expansion av arbetsvalsarna, men har på senare tid börjat användas som ett profilstyrmedel. Genom att slipa valsarna på olika sätt med eller utan fasning kan olika effekter nås, när valsarna förskjuts eller den valsade bredden förändras.

Ett annat område, där förskjutbara arbetsvalsar är effektivt, är för den planeringsfria valsningen (Schedule Free Rolling). Man tillämpar då ej de vanliga s.k. likkisteprogrammen (förklaring längre fram), där valsningen planeras med fallande bredd, utan bredderna kan komma i blandad ordning, vilket medför att valsarna måste kunna förskjutas så mycket att man täcker in hela det valsade breddområdet.

Vid profilstyrning i varmbandverk installerar man vanligen WRS i tre till fyra par. WRS kombineras alltid med valsböjning för att kunna styra tvärprofilen och samtidigt finreglera valsspaltens form för att uppnå bästa planhet längs bandet. WRS är den vanligaste metoden för profilstyrning.

Korslagda valsar

Metoden med korslagda valsar (PC = Pair Cross) går ut på att ha bomberade valsar som sedan snedställs så att de korsas. Styrmedlet är bra för centrala kronan, men påverkar ej kantraset

nämnvärt. I kvartoverk korsas både arbets- och stödvalsarna tillsammans för att undvika stort slitage mellan valsarna. Metoden är komplicerad och dyr i underhåll. Vinkeln mellan de korsade valsarna är i storleksordningen 1° , vilket motsvarar 30–40 mm horisontell förskjutning av lagerhusen.

Selektiv vals kylning

Emulsionsdysorna i kallvalsverkens kyllådor förses ofta med ventiler, med vars hjälp valsens termiska expansion (bombning) kan styras. Vid kallvalsning räcker det att valsens form förändras i storleksordningen μm för att planheten skall förändras.

För att styra planheten vid varmvalsning i bredbandverk fordras att valsens form förändras i storleksordningen $10 \mu\text{m}$, vilket gör att selektiv vals kylning blir ett alltför långsamt verkande styrmedel.

VC-valsar

VC-valsar (Variable Crown) är ett slags uppblåsbara valsar och har god inverkan på centralkronan, men ingen inverkan på kantraset. Största nackdelen är begränsningen i tillåten valskraft. Orsaken till detta är att VC-valsens har en lös påkrympt mantel som ej klarar av stora krafter och moment. VC-valsar förekommer främst i kallvalsverk och i trimverk som arbetsvalsar.

6.6 Valsningsterminologi

Med hänvisning till figuren presenteras nedan de termer som används för att beskriva vad som händer i valspalten under valsning.

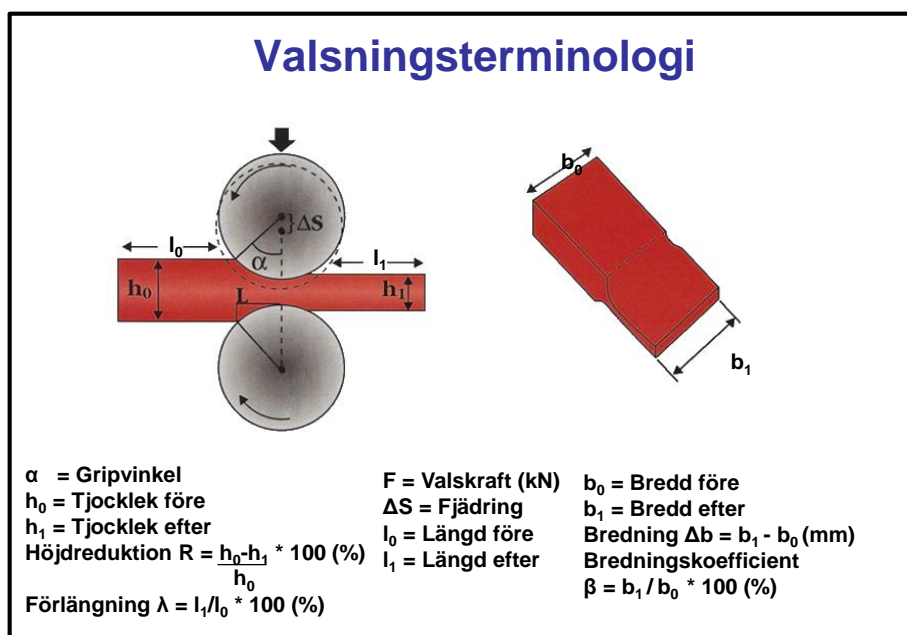


Bild 9-19

Stick, sticktid

Vid valsning av materialet görs ett visst antal passager i samma eller skilda valspar. Varje passage kallas *stick* och tiden för passagen kallas *sticktid*.

Stickserie

Den serie valsningar som krävs för nedvalsning av materialet till önskad dimension kallas för *stickserie*.

Press är ämnets tjockleksminskning under ett stick.

Höjdreduktion är den procentuella minskningen av ämnets höjd.

Förlängning är förhållandet mellan ämnets längd efter och före sticket.

Bredning är differensen mellan bredd efter och före sticket. Bredningen beror av press, valsdiameter, ämnets temperatur, valshastighet, material samt friktion mellan ämne och vals.

Bredningskoefficient definieras som förhållandet mellan bredd efter och före sticket.

Gripvinkel

För att valsning skall vara möjlig krävs att ämnet dras in i valsspalten. Detta kallas gripning och beskrivs genom *gripvinkeln*. Gripningen påverkas av friktionen mellan material och vals samt förhållandet mellan press och valsdiameter. Om inga yttre åtgärder vidtas för att förbättra gripningen ligger det maximala värdet för gripvinkeln på ca 26°.

Valskraft är den kraft som åtgår för att deformera materialet. Hänsyn till denna kraft måste tas vid stickserieuppläggning och vid val av valsbomberingar. Oftast uppgår valskraften till flera MN (MegaNewton). Storleken på valskraften är beroende av kontaktytan mellan material och vals, materialets deformationsmotstånd, friktionsförhållandena i valsspalten samt valsningsgeometrin.

Moment är det vridmoment som valskraften utövar på arbetsvalsens axel. I början av stickserierna kan detta moment begränsa reduktionerna under valsningen.

Fjädring är ett mått på hur mycket valsverket fjädrar p.g.a. elastisk deformation. Lagerglappet brukar oftast ingå i fjädringskurvan.

6.7 Valsar

De flesta valsar hålls på plats av lager. Utanför valsbanan finns därför s.k. valstappar med mindre diameter än valsbanan. Om valsens är driven, så överförs rotationsrörelsen till den förlängda valstappen. Ofta är valstappen den mest påkända delen av valsens.

Valsar kan framställas genom gjutning eller smide. Det förekommer även hårdmetallvalsar, som är framställda pulvermetallurgiskt. Valsar av hårdmetall framställs bara i kläna dimensioner, t ex som arbetsvalsar för mångvalsars kallvalsverk. Smidda valsar används som arbetsvalsar och mellanvalsar i mångvalsverk och dessutom som arbetsvalsar i kvartoverk för kallvalsning. Övriga valsar framställs genom gjutning.

Av tapparna och centrum på valsens krävs stor hållfasthet och seghet. Kraven på ytan är stor hårdhet och vid varmvalsning förmåga att klara temperaturväxlingar. För att få dessa egenskaper används ofta compoundgjutning (dubbelgjutning). Man gjuter först med ett material som bildar ett skal, och därefter med ett annat material som bildar centrum och tappar. Den första gjutningen kan för mindre valsar ske som centrifugalgjutning. För större valsar håller man i centrummaterial och låter ytmaterialen rinna ut, när ett skal har bildats.

Vid gjutning av varmvalsar används i centrum och valstappar grått gjutjärn, eller segjärn. Skillnaden är att grafiten i segjärnet finns som runda kulor och i grått gjutjärn som flak. Till valsens yta kan man använda gjutjärn (> 2,5 % C) eller gjutstål (< 2,5 % C). Gjutjärn kan vara grått med grafit eller vitt med karbider utan grafit.

Vid varmvalsning av platta produkter används i huvudsak två typer av arbetsvalsar. Den ena är IC-valsens, som innehåller en viss mängd grafit. Grafiten fungerar som ett smörjmedel och minskar friktionen mellan vals och heta. IC-valsar används därför i slutet av varmbandsträckor, där inverkan av friktion är som störst.

I övriga delar av bandverket, liksom i plåtverk, används en typ av gjutjärn med hög kromhalt (14–22 % Cr). Denna typ av valsmaterial innehåller karbider men ingen grafit. Valsen kallas ofta "högekromvals" eller "kromvals" och betecknas H-Cr. Stödvalsar tillverkas av segjärn.

Vid kallvalsning varierar hårdheten hos det valsade bandet mycket mellan olika stålsorter. Valsmaterial väljs efter hårdheten hos den valsade produkten. Smidda valsar kan vara av låglegerat stål (< 4 % Cr), "medellegerat stål" (ca 5 % Cr) eller höglegerat stål (ca 12 % Cr). Dessutom förekommer snabbstålsvalsar legerade med wolfram, molybden och kobolt. Mycket hårda valsar i små dimensioner kan också tillverkas av hårdmetall.

6.8 Valsslitage

Vid varmvalsning kommer valsens vid kontakt med hetan att värmas. Ytan värms mycket snabbt till en temperatur som beror på glödskalets tjocklek och hetans temperatur. Normalt når valsytan 200–400°C. Därefter sprider sig temperaturen in i valsens genom värmeledning. Det är därför viktigt att kyla valsens, så att valsens temperatur hålls konstant. För att undvika att värmen sprids inåt i valsens, bör kylningen påbörjas så snabbt som möjligt efter det att valsens släppt kontakten med hetan.

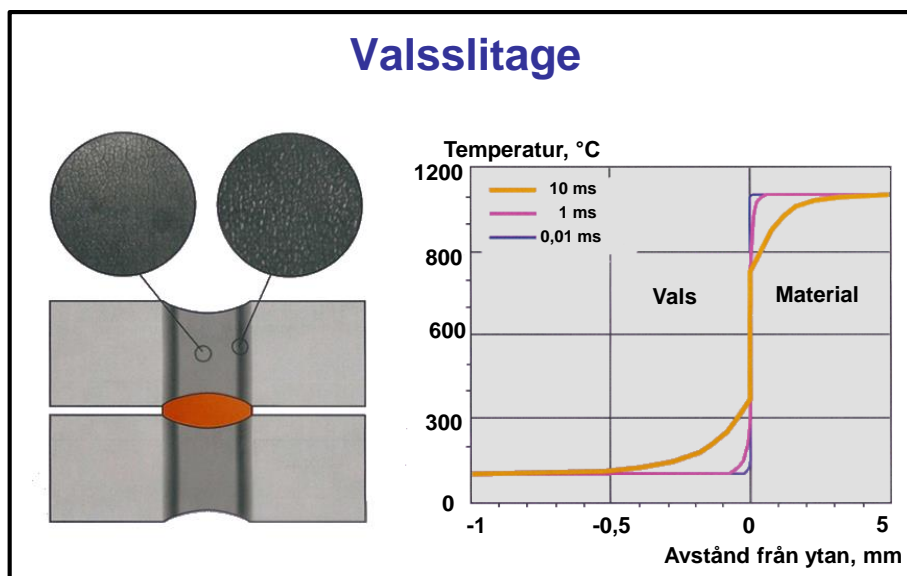


Bild 9-20

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. I ett varmbandverk är reduktionerna störst och hastigheten lägst i början av sträckan. Därför krävs mer kylning i de första paren jämfört med de sista.

Vid uppvärmningen kommer valsmaterialet att utvidgas och vid avkylning att dras samman. Upprepade sådana sammandragningar leder till att valsmaterialet får mikrosprickor. Dessa syns ej 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 valse och hetan är lång växer sprickorna snabbt. Vid bandvalsning i kontiverk kommer slinglyftarna att ge en längre kontakt mellan band och heta på övervalse jämfört med undervalse. Detta ger olika förhållanden på över- och undervals. Ett annat fenomen vid bandvalsning är att ett oxidlager byggs upp på valsarna. Detta lager skyddar valse, men det kan släppa tillsammans med ett lager av valsens yta.

Valse 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 valse, s.k. eftersläpning. På utgångssidan rör sig hetan snabbare än valse, s.k. 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 valse. Vid bandvalsning är bandkanterna kallare och hårdare än det övriga bandet. Detta medför att nötningen på valse blir större vid bandkanterna.

Stödvalsar utsätts för höga tryck i kontakten med arbetsvalse. Detta medför att ytan deformationshårdnar, vilket leder till sprickbildning. Valsarna måste därför slipas om med jämna intervaller.

7 Plåtvalsning

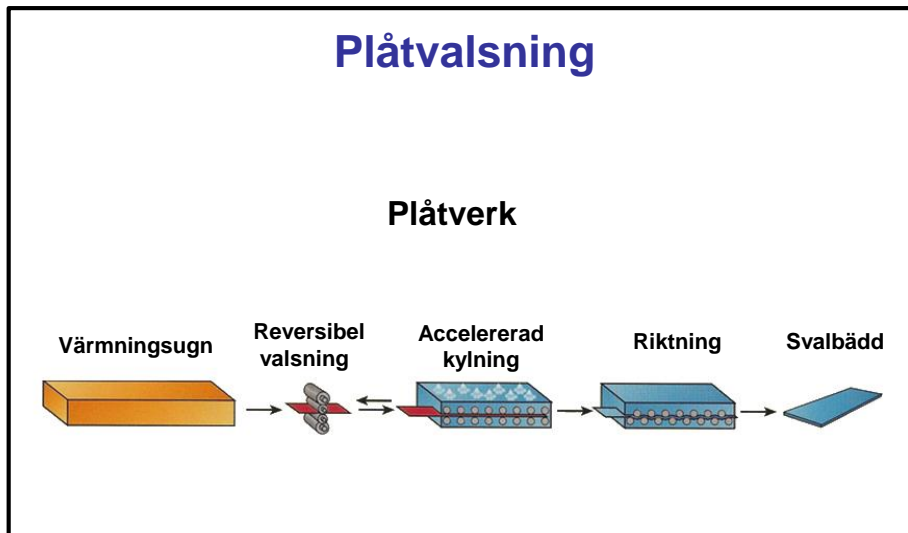
7.1 Principer vid plåtvalsning

Utgångsämnen för plåtvalsning utgörs idag av stränggjutna slabs. Slabsvikter upp emot 30 ton kan förekomma. Beroende på de aktuella stålsorterna kan slabsen bli föremål för syning och märkning av ytfel, som tas bort genom ytkonditionering, i de flesta fall genom slipning eller gashyvlning.

Utvecklingsarbete pågår för att kunna syna och indikera ytfel på varma slabs. Målsättningen med ett varmt ämnesflöde är att stränggjutna ämnen efter eventuell ytkonditionering påvärms lätt och valsas vid rätt valsningstemperatur. En stor del av värmningskostnaden skulle då kunna sparas in.

För enkla stålsorter, som produceras i stora tonnage, tillämpas redan olika former av "direktvalsning". En förutsättning för detta är att strängen och varmvalsverket är placerade intill varandra på ett lämpligt sätt. Flera andra faktorer, som balans mellan stränggjutningens och valsningens kapacitet, påverkar möjligheten till "direktvalsning".

Värmningen av slabsen sker oftast i stegbalksugnar eller genomskjutningsugnar. Från ugnen transporteras slabsen på rullbana till valsverket. Före valsning avlägsnas glödskaal genom högtrycksspolning med vatten.



Då grova dimensioner tillverkas och då valskrafterna är höga, måste plåtvalsverken ha en stabil konstruktion. Valsverken är därför uteslutande av reversibel kvartotyp med extra valsböjningsutrustning för justering av plåtens profil under valsning. Stödvalsdiametrar på 1600 mm, arbetsvalsdiametrar på 900 mm och valsbanelängder på 3500 mm kan förekomma. Även kantvalsning för bearbetning av plåtarnas kanter och breddstyrning samt kantvärmare kan idag förekomma i moderna plåtverk.

Vissa stålsorter kyls i en kylsträcka (ACC = Accelerated Cooling) för att uppnå rätt materialegenskaper. Kylningen går till så att plåten besprutas med vatten genom munstycken från både över- och undersidan. Vattnet måste fördelas över plåten med ett stort antal munstycken för att jämn kylning skall erhållas. Vattenförbrukningen i denna typ av kylsträckor uppgår oftast till ca 20000 m³ per timme. Vattenförbrukningen ligger på 3-5 m³/s.

Då plåten fortfarande är varm efter valsning och eventuell kylning, riktas den i ett varmriktverk och får sedan svalna på svalbädden före syningen. Plåten gasskärns eller klipps sedan till önskad bredd och längd. I samband med detta tas även prov för kontroll av struktur och mekaniska egenskaper. Därefter levereras plåten till kunden. Vissa stålsorter, t ex rostfritt stål, glödgas och betas före syningen.

7.2 Begränsningar och form

Under plåtvalsningen, som sker reversibelt i ett kvartoverk i många stick, finns restriktioner på hur stora reduktioner som kan tas i varje stick. I början av stickserien begränsar gripvinkeln reduktionen. Om man sedan valsar mot minskande tjocklek, är maximalt tillåtet vridmoment och maximalt tillåten valskraft begränsande. Under längsvalsningen blir planheten begränsande för reduktionsgraden i varje stick. Genom att tillåta små oplanheter mellan sticken kan antalet stick minimeras.

Vid plåtvalsning vrids ämnet en eller två gånger under valsningen för att erhålla det önskade formatet (önskad bredd och tjocklek). Man pratar om sizing-, bredd- och längsvalsning.

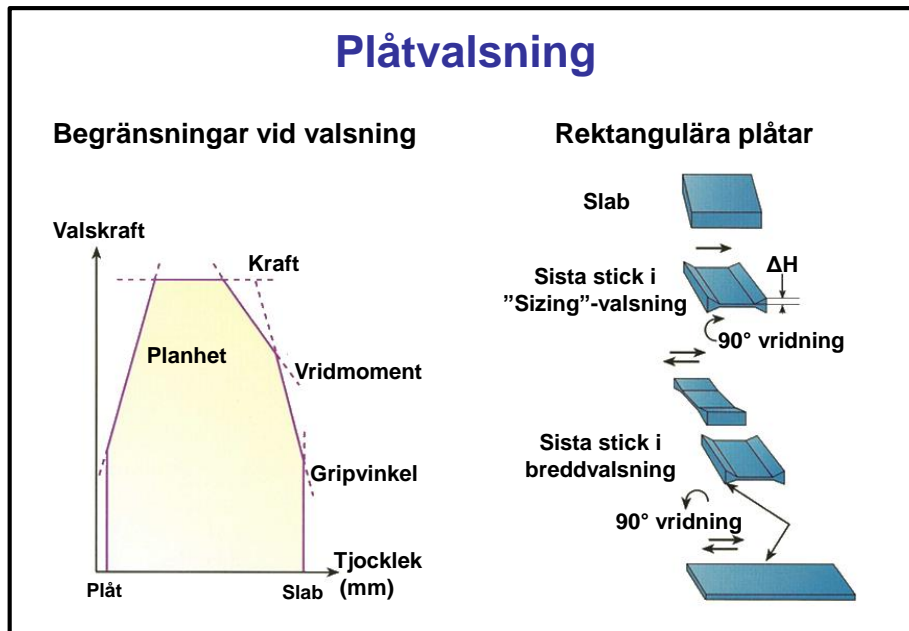


Bild 9-22

Efter sista vridningen har plåten sin korrekta bredd, och under längsvalsningen valsas den ut till önskad tjocklek. Detta leder till att plåten får kanter, som är tunn- eller timglasformade och ändar, som är tung- eller fiskstjärtsformade.

I början på 1980-talet utvecklade Kawasaki i Japan den så kallade MAS-valsningen (Mizushima Automatic Plan View Pattern Control System). Tekniken syftar till att ge den färdiga plåten ett så rektangulärt format som möjligt. Bilden visar principen för MAS-valsningen. Oftast placeras MAS-sticket direkt före vridningen. Förutsättningen för tekniken är att valsverket är utrustat med hydraulisk AGC (Automatic Gauge Control).

I dag tillämpar många plåtverk någon variant av MAS-valsning, köpt på licens eller egenutvecklad. I dag förekommer också vertikalarpar med hydraulisk AWC (Automatic Width Control) i plåtverk, vilket möjliggör att även plåtens kanter kan styras till önskad form under MAS-valsningen (MAS på bredden). Med denna utrustning borde också bättre breddutfall på plåtarna uppnås.

Vid plåtvalsning är det viktigt att plåten efter valsningen uppfyller de måttspecifikationer kunden kräver. För att registrera och reglera detta används olika typer av mätsystem i valsverket.

Plåtens bredd och form mäts oftast med optisk metoder eller med laserteknik. Kameror placeras ovanför rullbanan där plåtarna passerar och mäter bredden genom att registrera kontrasten mellan plåten och dess bakgrund. Ibland anordnas belysning under plåten, så att kameran registrerar skuggan från plåten. Med flera kameror längs rullbanan kan plåtens form (krokighet) registreras.

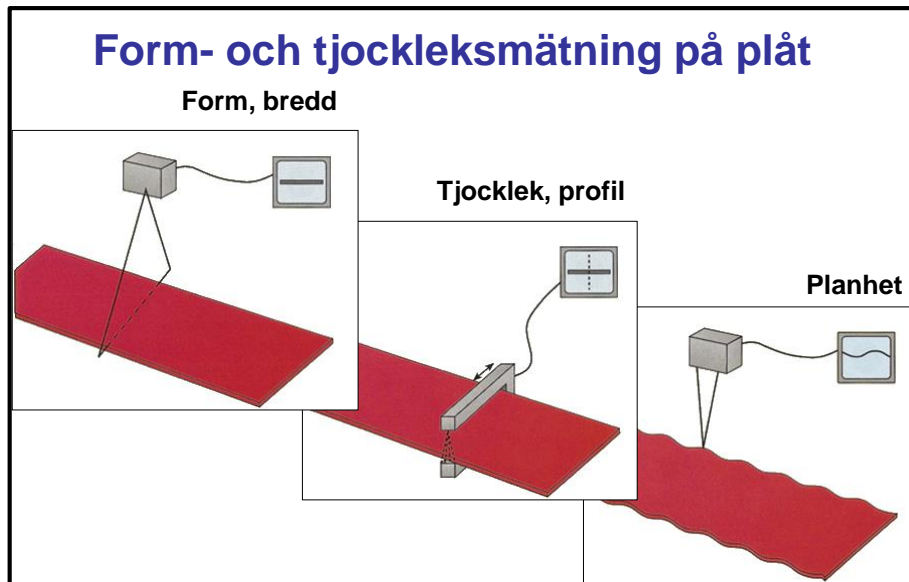


Bild 9-23

Plåtens tjocklek mäts oftast med joniserande strålning, d.v.s. radioaktivitet eller röntgenstrålning. Strålningen skickas genom plåten, och en mottagare på andra sidan registrerar hur stor andel av strålningen som går fram. Andelen som absorberats är ett mått på tjockleken. Genom att röra mätaren i sidled eller ha flera mätare kan plåtens profil registreras.

Plåtens planhet mäts ofta med optiska givare som mäter avstånden ned till plåten från sin placering ovanför plåten.

8 Varmbandvalsning

8.1 Varmbandverk

Det finns olika principer för varmbandverk, 1/2-kontinuerliga, 3/4-kontinuerliga och helkontinuerliga. Skillnaden ligger i försträckans uppbyggnad. Den del av valssträckan där ämnen valsas ned till tjocklekar mellan 30 och 50 mm kallas försträcka.

Med ett 1/2-kontinuerligt verk menas att i försträckan finns ett reversibelt valspar där ämnet förvalsas före färdigvalsning. Ett 3/4-kontinuerligt varmbandverk har i försträckan ett reversibelt valspar och minst ett icke reversibelt valspar. Det helkontinuerliga verket har en försträcka bestående av fem till sex icke reversibla valspar.

Antalet valspar i färdigsträckan varierar från fem till sju. Samtliga valspar är ofta identiska och av kvartotyp. På grund av stora ämnesvikter används ibland valsar med större diameter i de första valsparen än i de övriga.

I färdigsträckan är valsparen oftast utrustade med olika styrmedel för profil och planhet (axiellt förskjutbara valsar, valsböjning m.m.). Tjockleksvariationer längs bandet regleras automatiskt bort genom hydrauliska AGC-system (AGC=Automatic Gauge Control).

Mellan varje par finns slinglyftare som kontrollerar banddraget. Valsparen är även försedda med in- och utledare för bandets centring i valsspalten. Under valsning kyls valsarna med vatten. Krav på hög produktivitet har medfört att automatik för snabba valsbyten har utvecklats, vilket i dag möjliggör arbetsvalsbyten i en hel färdigsträcka på mindre än 30 minuter.

Kylsträckan kyler bandet till lämplig hasplingstemperatur och önskad struktur. I haspeln hasplas band i tjocklekar mellan 1,5 och 25 mm och i bandbredder upp till 2500 mm. Ringvikter upp till 60 ton kan förekomma. Före haspeln sitter inledare på båda sidor om rullbanan. Bandet lindas upp på haspeldornen med hjälp av matar- och styrrullar. Efter ett antal varv expanderar dornen och börjar dra. När bandet är färdighasplat krymps dornen. De flesta bandverk har mer än en haspel.

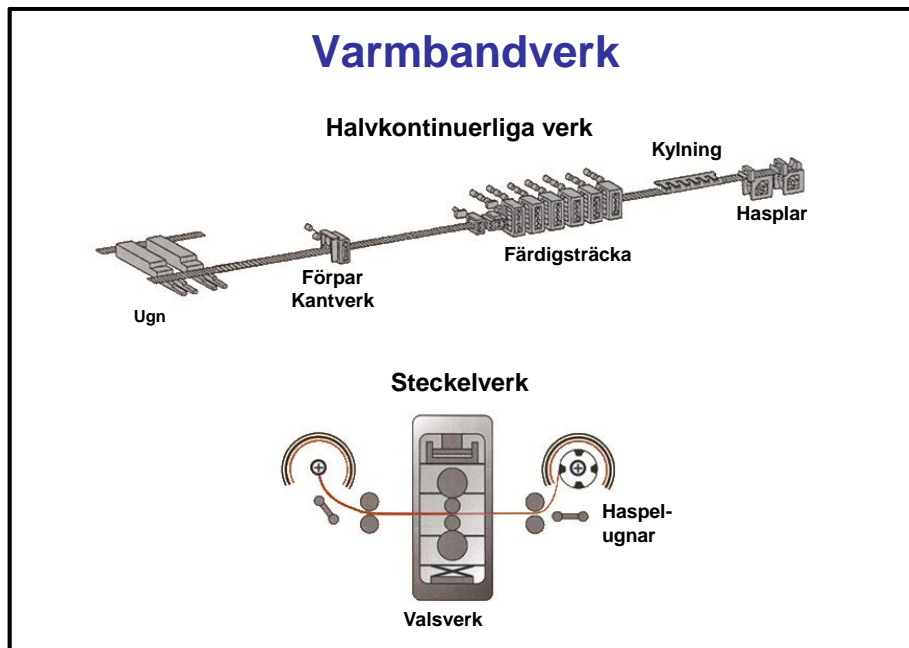


Bild 9-24

Steckelvalsverket består av ett reversibelt kvarto- eller sexvalsverk med hasplar och haspelugnar på båda sidor om valsparet. Tack vare haspelugnarna kan valsningstemperaturen noggrant styras.

En nackdel med denna typ av valsverk är att glödskaal byggs upp på banden i ugnarna, vilket kan medföra oxidinvalsningar i bandytan samt ökat valsslitage. P.g.a. att bandtemperaturen hålls uppe med hjälp av haspelugnarna tillåter steckelvalsverket stora reduktioner under gynnsamma valsningsförhållanden. Detta gör att svårvalsade och rostfria stålsorter valsas med gott resultat.

Risken för kantsprickor är mindre i ett steckelvalsverk än i varmbandverk av annan typ eftersom temperaturen vid bandkanterna ej hinner sjunka lika mycket under steckelvalsning som vid konventionell valsning.

8.2 Temperaturstyrning

Vid valsning skall deformations- och temperaturförloppet styras så att materialet får vissa önskade egenskaper.

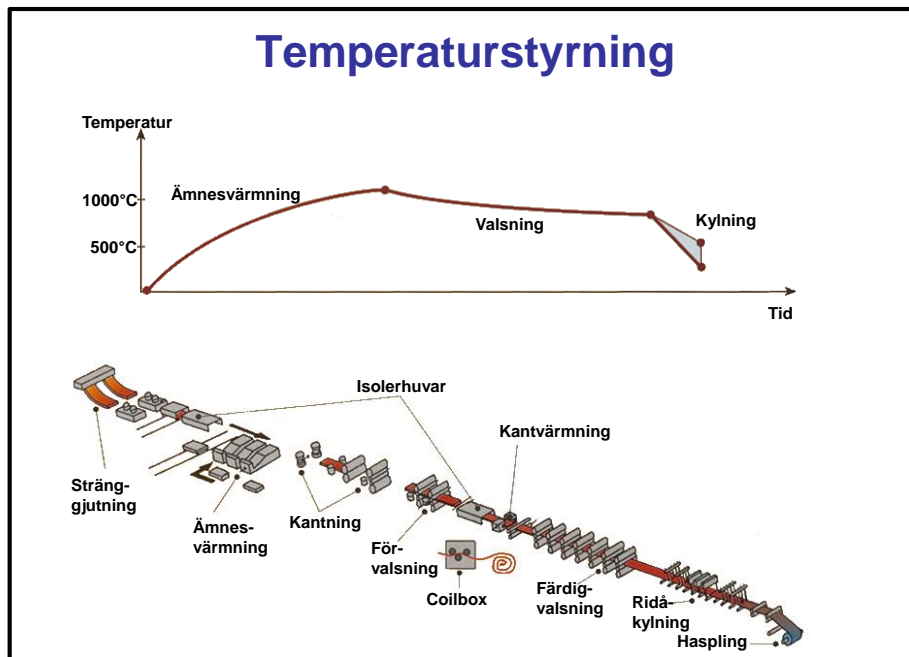


Bild 9-25

Vid värmningen väljs temperaturen så att ett antal olika krav skall uppfyllas. Materialet skall vara tillräckligt mjukt för att de valskrafter, moment och effekter som finns tillgängliga i valsverket ej skall överskridas. Temperaturen, t ex 1200°C, skall inte vara så hög att materialet får för stor kornstorlek, eller skadas genom bränning. Om stålet är mikrolegerat skall en viss mängd utskilda karbider och nitrider lösas upp genom värmning till en bestämd temperatur, t ex 1150°C.

Under valsningen rekristalliserar stålet efter varje stick. Efter rekristallisation sker korn tillväxt. Den kornstorlek som erhålls avgörs av temperatur och tid. Högre slutvalsningstemperatur ökar kornstorleken.

Slutvalsningstemperaturen, t.ex. 900°C, väljs så att den ger en önskad kornstorlek. Vid för låg slutvalsningstemperatur kan ferrit bildas under valsningen. Detta medför att valskraften sjunker och att dimensionstoleranserna ej klaras. Dessutom kan ferritbildning i kanterna under valsningen ge stora skillnader i materialegenskaper.

Då övergångshetan går in i färdigsträckan kommer bakänden att ligga längre tid på rullbanan än framänden och därför svalna mer. För att temperaturen i fram- och bakände av bandet skall bli densamma vid sista stick, används så kallad zoomning, vilket innebär att valsverkets hastighet ökas under sticket.

Detta medför att avkyllningen från valsar och temperaturförlusten genom strålning minskar för bakänden som får högre hastighet. Dessutom ger högre valsningshastighet större deformationsmotstånd, vilket medför att deformationen värmer hetan mer i bakänden. Vid användning av så kallad coilbox rullas hetan upp före färdigsträckan. Då hindras änden från att svalna och hela hetan får samma temperatur. Vid användning av coilbox behövs därför ingen zoomning.

Efter valsningen kyls bandet snabbt i en kylsträcka. Kylförloppet avpassas så att fasomvandlingen sker vid rätt temperatur och önskad struktur erhålls. Efter haspling svalnar bandet långsamt.

Hasplingstemperaturen väljs beroende på stålsort. Mikrolegerade stål kan få ökad hållfasthet genom att mikrolegeringsämnen utskiljs som karbider och nitrider efter hasplingen.

8.3 Valsningskampanj

Under varmvalsning ändrar arbetsvalsarna sin diameterprofil. Genom nötning mot banden slits valsens yta gradvis bort. Slitaget är störst närmast bandkanterna och därför bildas s.k. slitagediken där. Genom värmeöverföring från banden värms valsarna upp och utvidgas. Uppvärmningen är störst där valsarna är i kontakt med banden. Tillsammans ger detta en hackig diameterprofilkurva på valsarna.

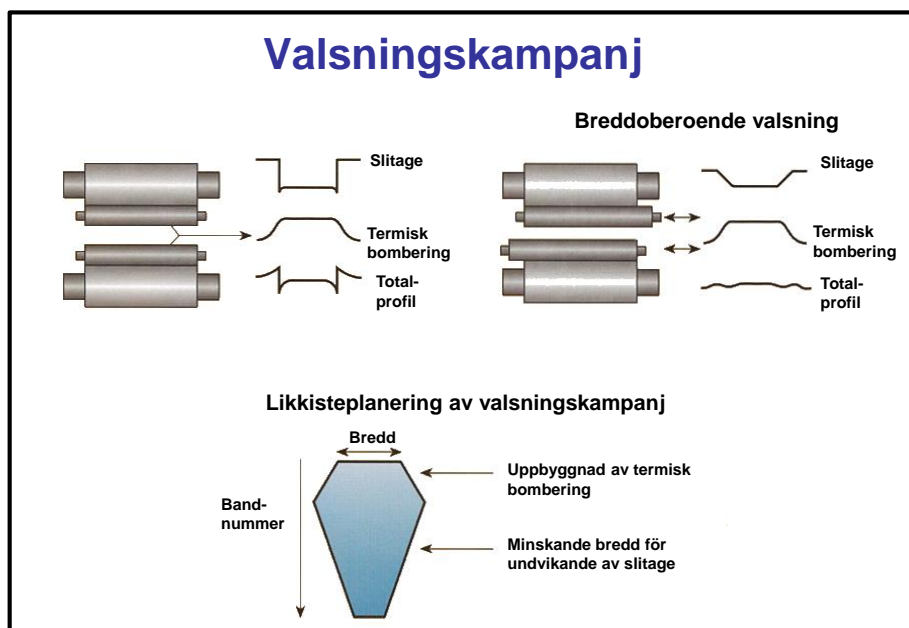


Bild 9-26

Om man valsar ett band som är så brett att det når ut över de hackiga partierna på valsarna kommer dess tjockleksprofil att påverkas av detta, och bandet kan bli mycket svårt att kallvalsa med bibehållen planhet. Det traditionella sättet att undvika detta är att planera sina valsningskampanjer enligt "likkiste-metoden". En valsningskampanj är tiden mellan två arbetsvalsbyten.

"Likkiste-metoden" innebär att man i början av kampanjen, när slitaget är litet, valsar några band med gradvis ökande bredd för att bygga upp den termiska expansionen av valsarna på ett gynnsamt sätt. När sedan slitaget börjar bli märkbart, minskar man gradvis bandens bredd, så att man undviker att valsa i slitagedikena. Nackdelen med detta är att produktionen blir uppstyrd efter bandbredderna.

I modernare konstruktioner av valsverk är det möjligt att förskjuta arbetsvalsarna axiellt. Genom att på ett klokt sätt förskjuta dessa fram och tillbaka, kan man sprida ut slitaget och den termiska bomberingen, så att man undviker att oönskade valsprofiler uppstår. På detta vis kan man få större frihet när det gäller kampanjplaneringen, samtidigt som arbetsvalsarnas livslängd kan förlängas.

9 Kallbandvalsning

9.1 Kallvalsning av band

Kallvalsning av band måste tillgripas för att få tunnare band än vad som är möjligt med varmvalsning. Såväl kolstål, rostfritt som icke-järnmetaller kallvalsas.

Kallvalsning görs nästan uteslutande på hasplade band, vilket gör det möjligt att valsas med pålagd dragspänning på bandet både på ingångs- och utgångssidan av valsverket.

Kallvalsverk finns för bandbredder upp till 2000 mm. Bandtjocklekarna från varmvalsverket varierar från 1,5 till 8 mm beroende på stålsort och vilken uttjocklek som önskas. Slutliga uttjocklekar kan vara från någon eller några millimeter ned till folie som är endast några hundradels millimeter tjock.

Ofta måste banden glödgas efter en viss kallvalsningsreduktion innan de kan valsas vidare, eftersom deformationshårdnandet gör det omöjligt att valsas vidare.

Förutom absoluttjockleken och tjockleksvariationerna kan även materialegenskaper, planhet och ytfinitet påverkas och styras genom kallvalsning.

9.2 Kallvalsverk

Kallvalsning av band sker i både reversibla och kontinuerliga valsverk. Kontinuerliga valsverk är vanligast vid valsning av stålqualiteter som valsas i stora kvantiteter, där produktionskapaciteten är viktig. Exempel på detta är de stora handelsstålföretagen, som valsar band för tillverkning av bilar eller vitvaror.

Rostfritt stål och höghållfasta stål valsas ofta inte i så stora kvantiteter att ett kontinuerligt verk blir lönsamt. Då väljer man istället reversibla valsverk.

Valet av valsverkstyp beror på vilka dimensioner och materialtyper man avser att valsas. För enklare typer av valsning kan KVARTO-valsverk vara tillräckliga. Ställs högre krav på planhetsstyrningen kan ett SEX-valsverk vara nödvändigt. Hårdare eller tunnare material kräver små arbetsvalsdiametrar, vilket gör att man behöver valsas i mångvalsverk, t.ex. Sendzimirverk

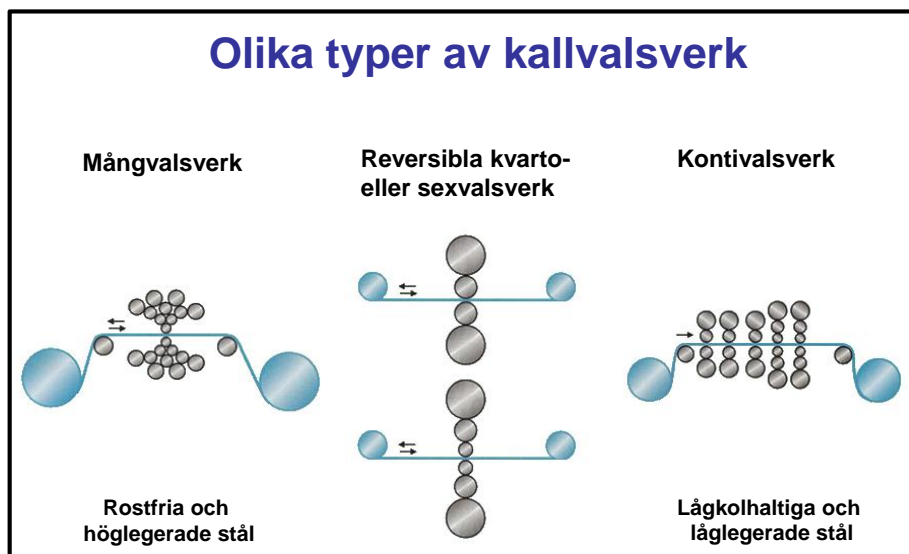


Bild 9-27

Till hjälp vid styrningen av kallvalsverken har man ofta tjockleksmätare och planhetsmätare. Eftersom bandet är uppspönt under valsning kan oplanheter vara utdragna och ligga latent lagrade som spänningar i bandet. Genom att mäta anliggningsstrycket mot en brytrulle i olika avsnitt tvärs bandet får man en uppfattning om spänningsfördelningen i bandet och därmed oplanheten.

9.3 Tjockleksreglering

Automatisk tjockleksreglering (AGC) under valsning sker med reglerprinciperna feed forward, feed back eller feed back via massflöde.

Vid feed forward mäts inkommande tjocklek och bandhastighet för att via en dator styra den positionsstyrda valsspalten till korrektion när tjockleksavvikelsen når valsspalten.

Baserat på sambandet att massflödet genom valsverket är konstant, kan de uppmätta värdena på inkommande tjocklek och bandhastighet samt hastigheten på valsverkets utgångssida ge möjlighet att beräkna utgående tjocklek. Eftersom bandhastigheten mäts när bandet lämnar valsarna, kommer den beräknade tjockleken inte att fördröjas.

På valsverkets utgångssida finns en tjockleksmätare, som mäter den aktuella tjockleken som återförs till datorn för jämförelse med den beräknade. Om det är nödvändigt kommer datorn att korrigera den beräknade tjockleken. I jämförelse med konventionell feed back via uppmätt tjocklek ger massflödesmetoden en bättre tjocklektolerans.

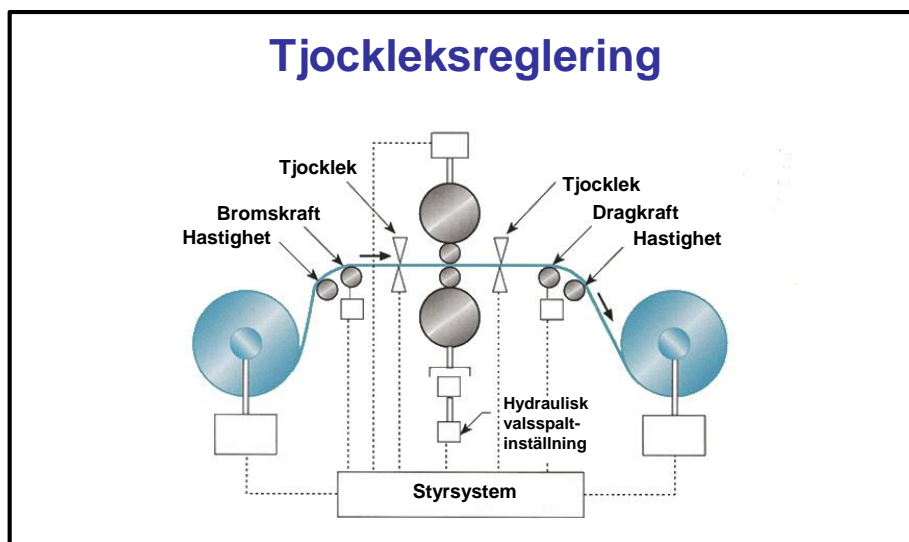


Bild 9-28

9.4 Smörjning vid kallvalsning

Om en kontaktyta mellan två metaller ej smörjs erhålls torr friktion. Toppar på ytorna svetsas samman och brister. Vid gränsskiktssmörjning kommer topparna fortfarande i kontakt med varandra. På grund av att ett gränsskikt med smörjmedel bundits till ytorna kommer dessa inte att svetsas samman. Vid hydrodynamisk smörjning skiljs ytorna helt. Vattenplaning vid bilkörning är ett exempel på hydrodynamisk smörjning.

Vid kallvalsning smörjs kontaktytan mellan valsar och band. Smörjningen sker med olja eller emulsion. Oljan består av rena mineraloljor. Emulsion innebär att en olja finns fördelad som droppar i vatten. Oljemängden utgör 0,5–5 % i en emulsion.

Oljans och emulsionens uppgift är att smörja, kyla och rengöra valsar och bandyta, samt att förhindra metallisk kontakt mellan band och valsar. Metallisk kontakt ger nämligen dåliga ytor och hög friktion. Hög friktion ger stora valskrafter och stort valsslitage.

Friktionen mellan valsar och band skall alltså vara låg, men ej för låg. Orsaken är att om friktionen blir för låg, kan valsen slira på bandet och ge problem vid valsningen. Om hydrodynamisk smörjning sker kommer ytorna att separeras helt. Detta leder till att bandets yta blir dålig. Gränsskiktssmörjning med kontakt mellan toppar ger en förbättring av bandytan.



Bild 9-29

Sammanfattningsvis, om smörjningen är optimal

- minskar valskraften
- minskar valsslitage
- kan valsningshastigheten ökas
- förbättras tjocklekstoleranserna
- förbättras planheten
- minskar värmestegringen i valsar och band
- minskar energianvändningen
- blir banden renare
- förbättras ytan.

I princip fungerar emulsionssystemet så att emulsionen cirkuleras via en stor tank. I tankens smutsdel finns olika typer av avskiljare för att få bort föroreningar. Ofta används magneter för att avskilja metall. Dessutom brukar man skumma av emulsionen.

Emulsionen går sedan över till tankens rendel, varifrån den pumpas till valsverket. Emulsionen sprutas mot valsbettet, d.v.s. kontakten mellan vals och band, på ingångssidan för att smörja. För att kyla valsarna sprutas emulsion dessutom mot arbetsvalsen på utgångssidan.

Ny olja tillsätts kontinuerligt till emulsionen. Oljan kan tillföras både på bandet och injiceras i emulsionen. Det är viktigt att emulsionen inte lämnar rester på bandet som blir kvar till glödning eller metallbeläggning. Om rester av emulsion finns kvar på bandytan kan resultatet bli ytfel.

9.5 Betning

Innan ett band kallvalsas måste det oxidskikt som bildats vid varmbearbetningen avlägsnas. Detta görs vanligen genom betning. Rostfria stål måste betas för att ett tunt ytskikt, som har låg kromhalt, skall avlägsnas. Skiktet med låg kromhalt har sämre korrosionsegenskaper.

Det förekommer också att band, som inte skall kallvalsas, betas. Orsaken kan för kolstål vara att man får en bättre arbetsmiljö, om inget glödskalet kommer in i verkstaden. Rostfria stål betas även i anslutning till glödning efter kallvalsning.

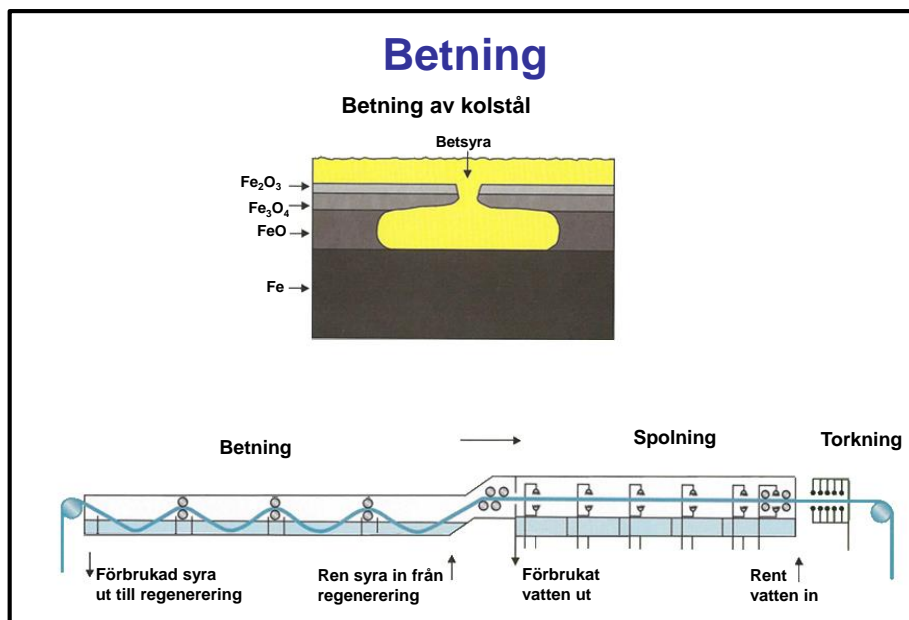


Bild 9-30

Betning innebär att bandet doppas i en syra som löser upp oxiden. Ett glödskalet består av tre skikt med olika järnoxider. Det innersta skiktet FeO eller wüstit löses lättast upp av syran. Det är därför vanligt att man försöker spräcka upp oxiden före betningen. Detta kan ske med t ex böjning, sträckning eller blästring.

För band fås en viss böjning vid avhasplingen. Ibland riktas bandet före betning vilket ger kraftiga böjningar. Syran tränger in i glödskalets sprickor och reagerar med FeO och stålytan. Gas som bildas spränger bort glödskalet.

Vid betning av kolstål används saltsyra eller svavelsyra. Vid betning av rostfritt används en blandning av salpetersyra och fluorvätesyra. För rostfritt används även elektrolytiska betningsmetoder, ofta i kombination med syrabetning.

Reaktionshastigheten vid betning beror av syrakoncentrationen och temperaturen. Betbadets temperatur har större inverkan på reaktionen än syrakoncentrationen. Efter betningen måste

syrarester spolat bort från bandet med vatten. Därefter torkas bandet och anoljas för att inte korrodera. Anoljning kan ske med olja avsedd för smörjning vid kallvalsningen.

Av miljöskäl vill man cirkulera betsyror i ett slutet kretslopp. Vid betning med saltsyra kommer järnklorid att bildas medan syrakoncentrationen minskar. Saltsyra kan regenereras genom att järnkloriden i den förbrukade syran spaltas i en gasoleldad ugn (reaktor) till saltsyra och järnoxid. Som biprodukt erhålls järnoxidpulver, som bland annat används inom elektronikindustrin och till färgpigment.

9.6 Trimvalsning – Glättvalsning

Kallvalsade kolstålsband som lagrats en tid får ett okontrollerat beteende när det sträcks på grund av att deformationsmotståndskurvan inte är monotont stigande. När plåten då sträcks, t ex genom pressning till en detalj, kan deformationen variera lokalt och plåten får en ojämn yta.

Detta kan åtgärdas genom att valsa bandet med en liten deformation (ca 1%), vilket sker direkt efter glödgning. Denna typ av valsning kallas trimvalsning eller tempervalsning.

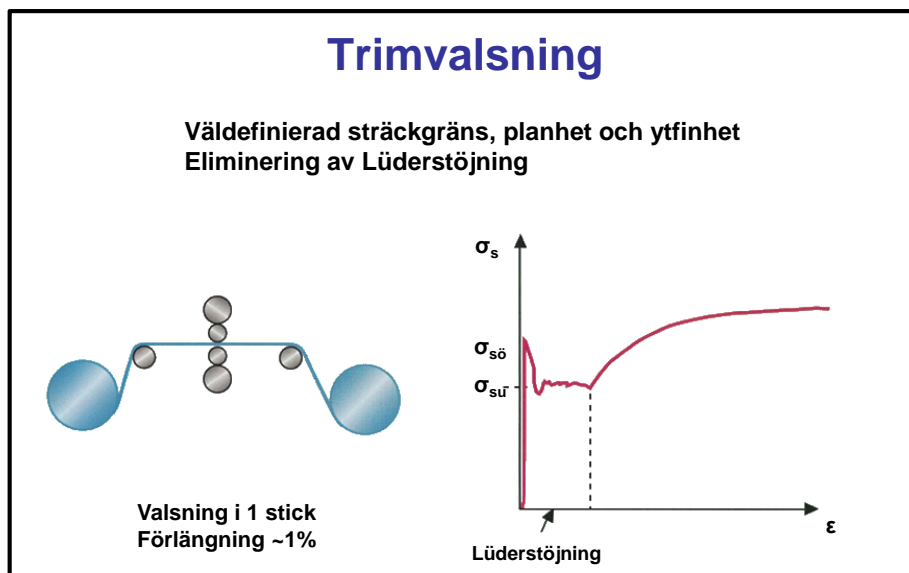


Bild 9-31

Till skillnad från konventionell kallvalsning styr man vid trimvalsningen mot en bestämd förlängning istället för mot en absolut tjocklek. Detta görs med massflödesreglering så att man styr mot en bestämd kvot mellan hastigheterna på in- respektive utgångssidan. Trimvalsningen är även viktig för att erhålla rätt ytutseende.

Förutom för att påverka sträckgränsbeteendet trimvalsa man för att åstadkomma god planhet hos levererade band. Trimvalsningen är en kundnära process, vilket gör det viktigt att styrningen av processen är bra. Trimvalsning görs oftast i ett stick i ett DUO- eller KVARTO-valsverk.

För rostfritt material används glättvalsning för att förbättra ytfinitet, glans och planhet. Reduktionen är även här mycket låg.

10 Efterbehandling av platta produkter

10.1 Riktning

Plåt och band har ofta planhetsfel efter valsning. Produkten kan vara kantlång eller mittlång. Det förekommer även att området mellan kant och mitt är långt, vilket ger kvartsbucklor. Dessutom kan olika typer av krumningar förekomma. Fel som kantlånghet och mittlånghet är vanliga på tunn plåt och tunna band. På grov plåt är kantlånghet och mittlånghet ovanliga, men olika typer av krumning kan förekomma. Riktning används för att minska eller eliminera planhetsfel.

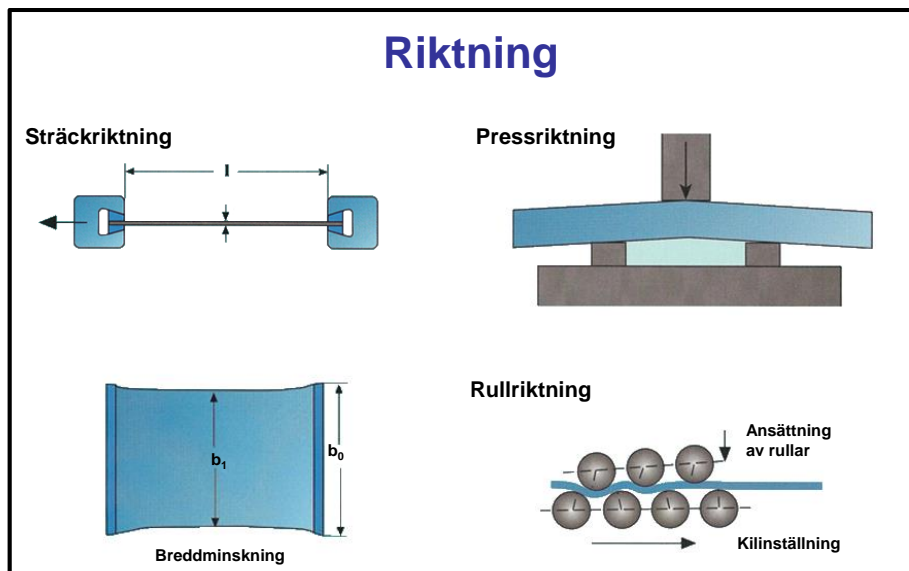


Bild 9-32

En metod för att rikta är helt enkelt att dra ut plåten något för att få den plan. Detta sker i kallt tillstånd. Vid en sådan sträckriktning minskar plåtens bredd. Sträckriktning har låg produktivitet.

Vid grov plåt sker riktning i press, eftersom kraften blir för stor för sträckriktning och rullriktning. Operatören lär sig erfarenhetsmässigt hur stora pressar som krävs. Ett kort avstånd mellan uppläggen kräver en liten press åt andra hållet. Å andra sidan ökar den kraft som krävs avsevärt, om avståndet mellan uppläggen blir alltför kort. En grov plåt kräver större avstånd mellan uppläggen jämfört med en tunnare plåt. Pressriktning är ett hantverk med låg produktivitet.

Vid riktning i ett rullriktverk sker böjning fram och åter genom att plåten passerar mellan riktverkets rullar. Produktiviteten är hög jämfört med sträckriktning och pressriktning.

Vid böjning kommer ena ytan av plåten att förlängas och den andra ytan att tryckas ihop. Förlängning och hoptryckning sker först med elastisk deformation. Vid ökad böjning kommer området närmast ytan först att deformeras plastiskt. Om böjningen fortsätter sprider sig den plastiska deformationen inåt mot plåtens mitt.

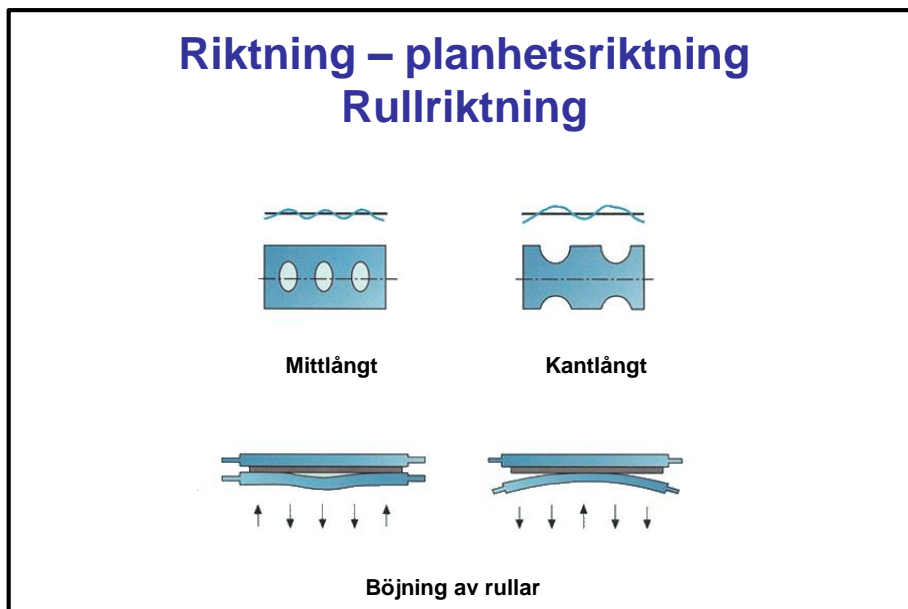


Bild 9-33

En plåt med hög hållfasthet måste böjas mer än en plåt med lägre hållfasthet för att få lika stor plastisk deformation. Den första böjningen skall vara stor. Ofta anges att 80 % av tvärsnittet bör deformeras plastiskt.

Böjningarna minskar sedan för varje rulle som plåten passerar. Den sista böjningen skall vara så stor så att plåten efter återfjädring blir plan. Ofta används en inställning av riktverket som liknar en kil. Avståndet mellan de tre sista rullarna kan ändras genom att sista rullen ställs separat. Detta görs så att avståndet mellan dem (pressningen) motsvarar plåtens tjocklek, eller så att böjningen ger plan plåt efter återfjädring. De tre sista rullarnas inbördes läge är avgörande för planheten, och finjusteras ofta av operatören.

Plåten är ofta kantlång eller mittlång. Avsikten med de kraftiga böjningarna i början av riktningen är att plåtens korta partier skall sträckas ut, så att alla delar av plåten blir lika långa. När en stor del av tvärsnittet är plasticerat, är kraften som krävs för att förlänga den korta delen av plåten liten.

För att öka förlängningen av de korta delarna av en plåt är moderna rullriktverk försedda med böjning av rullarna. En plåt som är kantlång skall förlängas i mitten. För att åstadkomma detta böjs rullarna så att plåtens väg i mitten blir längre. Vid mittlånghet böjs rullarna så att kanterna förlängs.

Vid rullriktning kan inte bandet krökas till en mindre radie än rullens radie. Förlängningen blir därför mindre vid mindre bandtjocklek och samma rulldiameter. Detta innebär att en viss rulldiameter svarar mot en minsta tjocklek på bandet. Om den minsta tjockleken underskrids kommer bandet inte att plasticeras vid böjningen.

Tunna band är därför svåra att rikta enbart genom böjning, eftersom det är svårt att bygga riktverk med rullar med tillräckligt liten diameter. En tumregel är att bandets tjocklek måste vara större än 0,02 gånger rullens radie. Detta motsvarar 1 % förlängning i bandets yta. För tunnare band används en kombination av sträckning och böjning för att få tillräckligt stor deformation. Detta kallas sträckrullriktning (ibland sträckriktning). Bandet får passera rullar som ger en sträckning. Mellan dessa sitter små rullar som ger en böjning.

10.2 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.

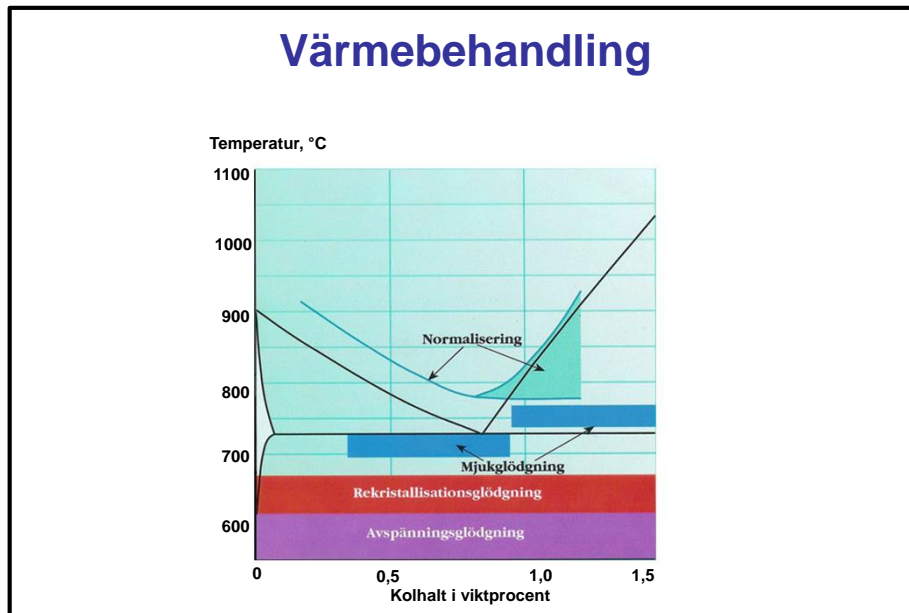


Bild 9-34

Ett välkänt fenomen är att ett stål kan härddas 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 kohalt, så kallad martensit.

Om stålet legeras 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 kohalt 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 kohalt ner till den normala, men en mycket finkornig ferrit erhålles. Denna struktur av finkornig ferrit har mycket goda mekaniska egenskaper.

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.

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. Man återställde normal kornstorlek genom normalisering.

10.3 Glödning

Vid kallvalsning kommer materialet att deformationshårdna. Det kan då bli nödvändigt att glöda bandet för att kunna valsa vidare (mellanglödning) eller för att få lämplig hårdhet för leverans. En sådan glödning sker för att materialet skall rekristallisera. Nya korn bildas, som har mindre mängd dislokationer, och materialet får tillbaka sin ursprungliga hårdhet.

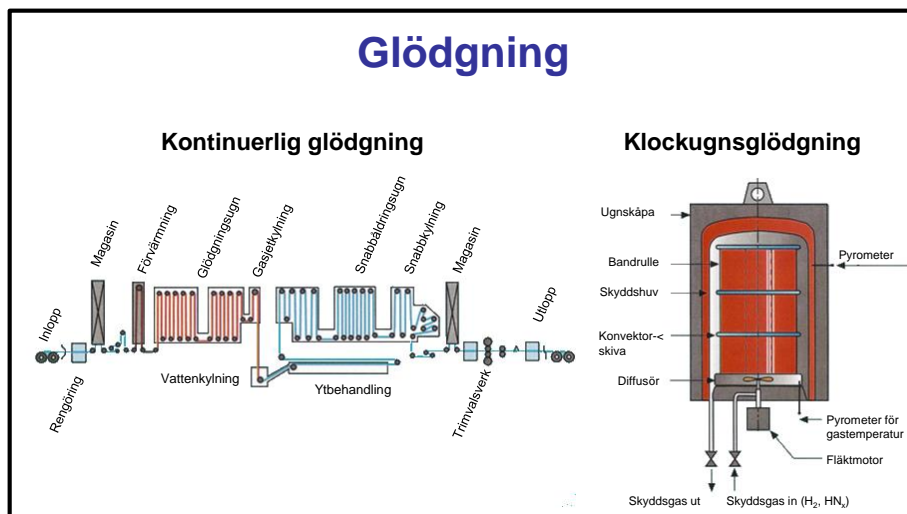


Bild 9-35

Efter kallvalsning glödgas banden före leverans. Detta kan ske i klockugn eller kontinuerlig ugn. Vid klockugnsglödning är tiden för uppvärmning, glödning och svalning upp till tre dygn. Orsaken till att tiden blir så lång är att det krävs mycket lång tid för att värma och svalna stora bandrullar. Vid klockugnsglödning sker rekristallisation.

Vid kontinuerlig glödning passerar bandet löpande genom ugnen. Processen är snabb, endast ca 10 min. Den ger därför möjlighet att styra temperaturförloppet optimalt. Efter den första värmningen, där rekristallisation sker, snabbkyls bandet. Bandet värms sedan på nytt (snabbåldring) och ny snabbkylning sker. (Kol- och kväveatomer har en viss rörlighet även vid rumstemperatur. Därför kan egenskaperna ändras vid lagring av vissa stål. Snabbåldring påskyndar detta så att egenskaperna ej ändras vid lagring.)

Vid tillverkning av 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 rostfria stål bilda kromkarbider i korngränserna om kylningen efter glödning inte är tillräckligt snabb. Detta kan medföra att kromhalten i korngränserna blir för låg, så att stålet får sämre korrosionsegenskaper. För att undvika kromkarbider och andra oönskade utskiljningar utförs en glödning med påskyndad kylning i luft eller 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.

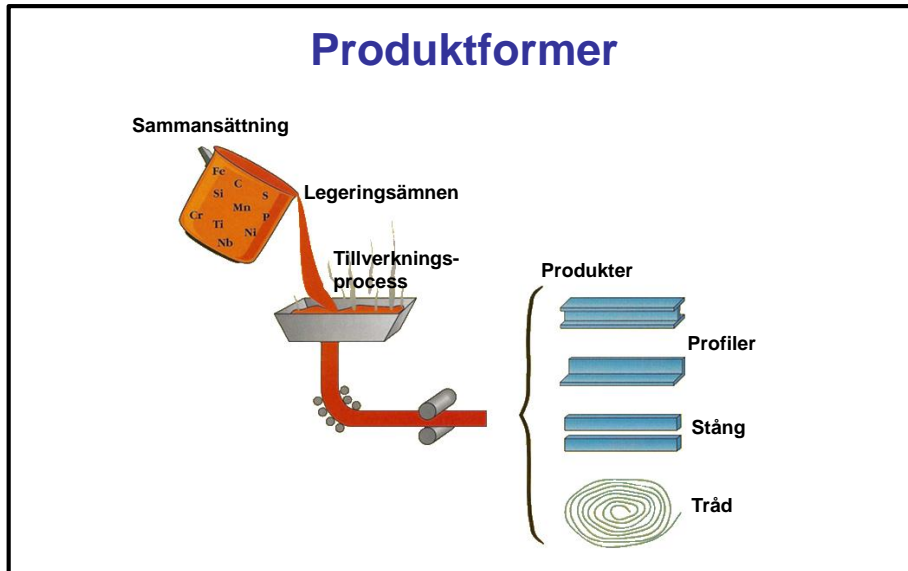


Bild 9-36

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

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.

Produktegenskaper

- Dimension
- Form
- Hållfasthet
- Svetsbarhet
- Ytor
- Kallformbarhet
- Pressbarhet
- Korrosionsmotstånd

The block contains three images illustrating product properties. The top image shows a green submarine, representing high strength and corrosion resistance. The bottom-left image shows a red car, representing form and surface finish. The bottom-right image shows a white high-speed train, representing dimension and form.

Bild 9-37

12 Produktionsekonomi

12.1 Nyckeltal

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

Exempel på sådana nyckeltal är:

- mantimmar/ton
- kWh/ton
- utbytestal
- tillgänglighet.

Nyckeltalen kan användas för att jämföra olika verk, men kräver då att hänsyn tas till produktmix, produktionsvolymerna m m. Vid jämförelse 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.

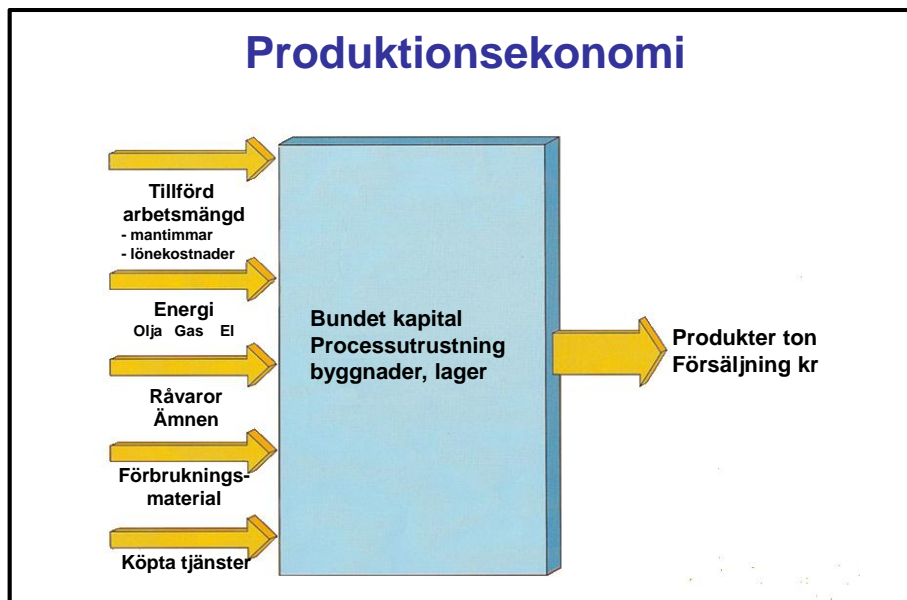


Bild 9-38

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.

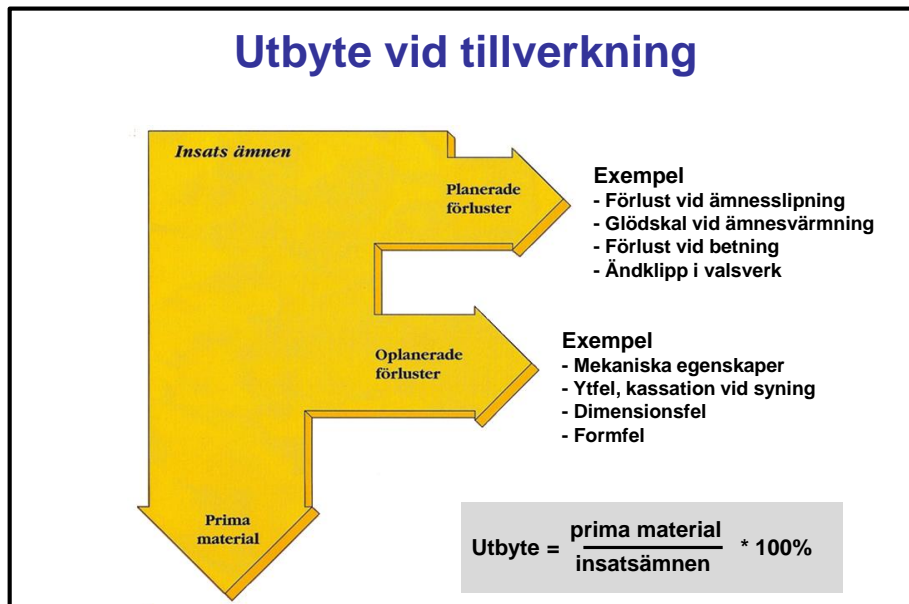


Bild 9-39

Förluster vid tillverkning kan vara planerade eller oplanerade. Exempel på förluster är:

- skillnad mellan teoretisk och verklig vikt vid mottagning av ämnen
- förluster vid ämnesbehandling
- glödskaiförlust vid värmning
- betförluster i samband med kallvalsning
- änd- och kantklipp
- skrot vid valsning
- dimensionsfel
- planhetsfel
- kassationer vid syning och efterbehandling
- transport- och hanteringskador
- reklamationer från kund.

13 Processimulering

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

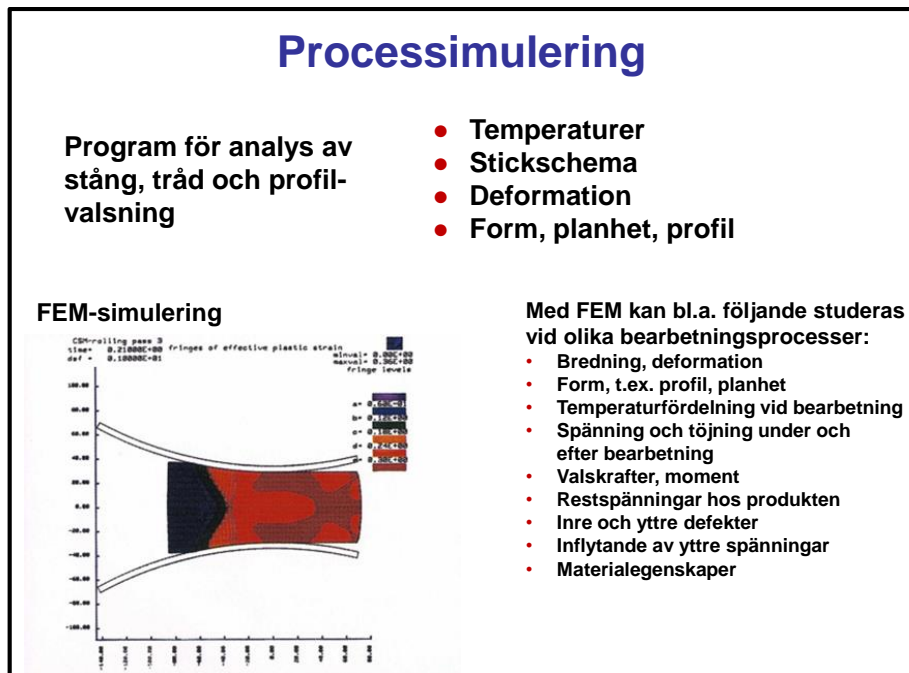


Bild 9-40

Temperaturförlopp kan simuleras från ämnesvärmning, över valsning, till svalbädd eller hasplade band. Valsning av plåt och band kan simuleras, speciellt avseende stickschema, profil och planhet.

Program för simulering är empiriska eller fysikaliska. En relativt ny metod för avancerad simulering av plastiska formningsprocesser är FEM (finita elementmetoden). Metoden kräver kraftfulla datorer, men ger mycket goda möjligheter till analys och optimering av olika bearbetningsprocesser.

14 Processtyrning

Alla plåt- och bandvalsverk har i dag avancerad processtyrning. Det gäller både varmvalsverk och kallvalsverk. En fullständig styrning av valsverkets produktion innefattar datorsystem med flera olika nivåer. Stålindustrin är i dag högt datoriserad jämfört med andra branscher. Det gäller speciellt valsning av plåt och band.

Kvalitetskraven på färdigvalsat material har stigit så mycket, att en operatör idag sällan kan ställa in ett valsverk från sin egen erfarenhet och samtidigt uppnå en acceptabel produkt. Numera används datorer till processtyrning av valsverk, och deras funktioner omfattar huvudsakligen beräkning av börvärden för inställning, loggning av produktionsdata samt rapportering. En typisk arbetsgång för processtyrning i ett valsverk kan vara:

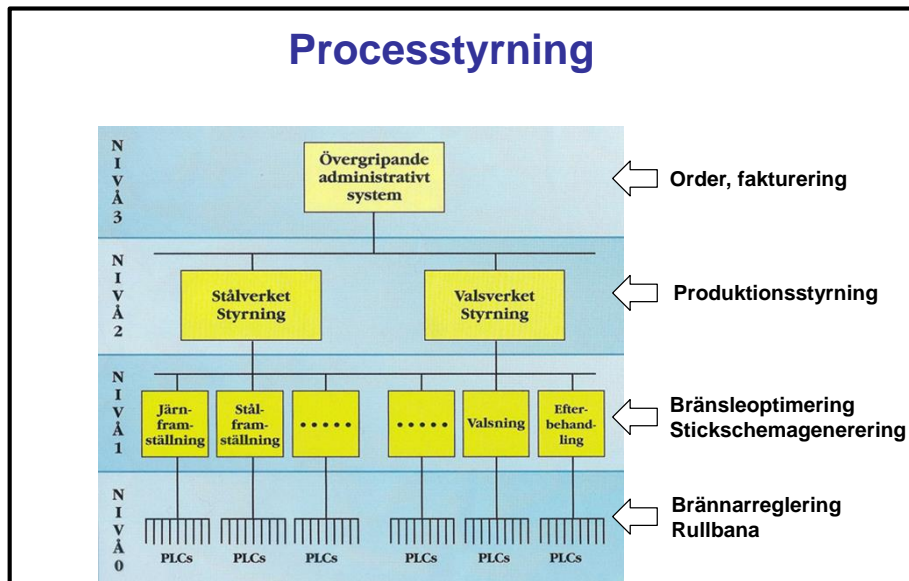


Bild 9-41

En produktionsplan tas emot från en överordnad dator för produktionsplanering (nivå 3). Produktionsplanen innehåller en lista över produkter som skall valsas under en given tid framåt, t.ex. ett arbetsskift.

Strax innan en produkt skall valsas, beräknas börvärden för inställningen av valsverket. Här används empiriska och fysikaliska matematiska modeller. Beroende på uppgift från produktionsplanen, hämtas ingångsdata till modellerna från lagrade filer som innehåller materialegenskaper, valsverkets fysikaliska konstanter samt adaptationsdata. Den här beräkningen görs av en processdator (nivå 2).

Under valsningen regleras materialets tjocklek, planhet osv av ett antal styrsystem, som finns på nivå 1.

Informationen från valsningsprocessen samlas under valsningen, oftast av ett nivå 1-system, och bearbetas sedan av processdatorn för senare användning för produktionsuppföljning och adaptering av stickschema.

När materialet är färdigvalsat, producerar processdatorn en rapport som sammanfattar produktionsresultatet. En del av denna information skickas till den överordnade produktionsplaneringen.

Adaptionsdata som samlas under valsningen används för att förbättra noggrannheten på senare inställningsberäkningar. Oftast har man korttidsadaptation, där man anpassar beräkningen av inställningar till nästa band eller plåt, och långtidsadaptation, som ändrar beräkningskoefficienterna över en längre tid.

Processtyrssystemet kan även producera rapporter som sammanställer produktionen över olika tidsperioder, t.ex. skift-, vecko- eller månadsrapport.

Processtyrning av valsverk har inneburit att man numera snabbt kan göra omställningar mellan olika produkter med mindre produktionsspill. Valsverket har blivit mer flexibelt och kan hantera större antal valsningsposter av skilda färdigdimensioner. Genom att i varmvalsverk göra noggranna beräkningar av produktionskapaciteten, kan man göra taktgivningen mer noggrann, vilket innebär ökad produktionskapacitet och minskad energiåtgång.

Källor

Del	Titel	Författat av	Revidering av
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	Skänkmetallurgi 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 · www.jernkontoret.se

