

Valsningsteknik för extremt höghållfasta tunna stål

ERIK NORDMARK

CIVILINGENJÖRSPROGRAMMET

Luleå tekniska universitet
Institutionen för Tillämpad fysik • Maskin- och materialteknik
Avdelningen för Produktionsutveckling



Abstract

New high strength steels require improved cold rolling techniques. The aim of this degree project was to develop a new and money saving cold rolling technique to manufacture steel strip for saw blades. The work is based on earlier rolling experiments made with a high carbon steel grade at LuCoil Steel AB. The work also focused on the mill requirements to cold roll high strength steels. The results show that LuCoil's existing cold rolling mill was actually designed for rolling low carbon steel. To roll high strength steels the mill must be upgraded with a pair of shapemeters, more coiler torque and force enough to shift the 1st intermediate rolls during rolling. During the rolling experiments a right rolling technique to produce strip with the right properties and without strip breakage wasn't found. The reason for this is probably small micro cracks in the strip caused by excessive reduction. More rolling experiments and material investigations are necessary.

Sammanfattning

Syftet med detta examensarbete var att utveckla ny valsningsteknik, anpassad för nya höghållfasta ståls egenskaper samt dimensioner. Undersökningen har koncentrerat sig på att hitta en ny och kostnadsbesparande metod att kallvalsa fram höghållfasta band avsedda för sågblad. Arbetet bygger på tidigare försök utförda på LuCoil Steel AB i samarbete med en tillverkare av sågar. Förutom att hitta en lämplig valsningsteknik har undersökningen även sett över brister i LuCoils ålderstigna valsverk. Resultatet av undersökningen visar att LuCoils valsverk egentligen inte är anpassat för valsning i höghållfasta material och skulle vara i behov av uppgraderingar. Dock gick ej lämplig valsningsteknik att bestämma under de valsningsförsök som gjordes, vilket kräver fortsatta undersökningar. Vid försöken fick det valsade bandet ej heller den spänst som sågbladen kräver, trots mer än tillräckligt höga hållfasthetsegenskaper. Dessutom gick inte valsningen att utföra produktivt på grund av flertalet bandbrott i slutfasen av valsningen. Dessa resultat indikerar på att valsningen skapat försvagande mikrosprickor i bandet, vilket bör utredas genom ytterligare materialtekniska undersökningar. Vidare skulle uppgraderingar av valsverket både förenkla samt förbättra valsningen av höghållfasta material.

1 Inledning.....	6
2 Översikt av LuCoils verksamhet	6
2.1 Valsverket.....	6
2.2 Glödgningsugnarerna	7
2.3 Trimvalsverket	7
2.4 Slittlinjen	8
2.5 Laboratoriet	8
2.6 Valsslipning.....	8
2.7 Produktprogram.....	8
3 Syfte	9
4 Avgränsningar	9
5 Teori	9
5.1 Arbetsvalsar.....	10
5.2 Första raden mellanvalsar.....	10
5.3 Andra raden mellanvalsar.....	11
5.4 Stödvalsar	11
5.5 Hasplar	12
5.6 Smörjmedel	13
5.7 Flytvillkor.....	13
5.7.1 Valsspalt	15
5.7.2 Grafisk presentation av Friction Hill.....	15
5.7.3 Beräkningsmetoder.....	16
5.7.4 Kontaktlängd	17
5.7.5 Enkel modell för beräkning valskraft.....	18
5.7.6 Enkel modell för beräkning valsmoment	18
5.7.7 Enkel modell för beräkning valseffekt	18
5.7.8 Friction hill modell för beräkning valskraft	19
5.7.9 Beräkning av bandspänning	19
5.7.10 Stickschemat.....	19
6 Bakgrund	20
6.1 Dagens bandtillverkning	21
6.1.1 Utgångsmaterial	21
6.1.2 Glödning.....	21
6.1.3 Valsning	21
6.1.4 Härdning.....	21
6.1.5 Kanthyvling	21
6.2 Sågtillverkningen	21
6.3 Tidigare försök	22
6.3.1 Försök 1 – Allmän påvalsning av CK 75	22
6.3.2 Försök 2 – normal tillverkningsmetod med CK 75.....	23
6.3.3 Försök 3 – DP 1400 som ersättningsmaterial.....	23
6.3.4 Försök 4 – Ej ingångsglödgat CK 75	25
6.3.5 Försök 5 – Ingångsglödgat CK 75.....	25
6.3.6 Deformationshårdnandekurvor för samtliga CK 75 försök.....	26
6.3.7 Inför fortsatt arbete.....	27
7 Metod för undersökningen	28
8 Valsningsteknisk del - Valsverket.....	28
8.1 Tidigare forskning av LuCoil	28
8.1.1 Ökning av befintlig dragkraft.....	28
8.1.2 Kringgående av bristen på dragkraft	28

8.2 Kontakt med Sendzimir Inc.....	29
8.2.1 Svar från John Turley angående förslag på åtgärder	29
8.2.2 Valsverket.....	29
8.2.3 Hasplarna.....	30
8.2.4 Ökning av haspelkraft	30
8.2.5 Förbättringsförslag och uppgraderingar	31
8.2.6 Modernare hasplar.....	31
8.2.7 Shapemeter	31
8.2.8 Axiell mellanvalsjustering.....	32
8.2.9 Bomberingsjustering	32
8.2.10 Mill Management System - MMS.....	33
8.2.11 Ombyggnation av området kring brytvalsarna.....	33
8.2.12 Stödvalsager	33
8.2.13 Sviktande hasplar	33
8.2.14 FSBA och SIR.....	34
8.2.15 Alternativt ersättningsmaterial till CK 75	34
9 Valsningsteknisk del – Valsförsök 1 med CK 75	34
9.1 MMS Stickschema till valsningsförsök 1.....	35
9.2 Råbandet.....	35
9.3 Valsningsförsök 1.....	36
9.4 Slutliga mekaniska egenskaper	38
10 Materialteknisk del.....	39
10.1 Undersökning av CK 75 bandets egenskaper.....	39
10.2 Experiment	39
10.2.1 Beräkning av sågbladets minsta sträckgräns	40
10.2.2 Återhämtningsglödning	41
10.2.3 Försök med återhämtningsglödning	42
10.2.4 Glödningen	42
10.2.5 Tillverkning av provkutsar	43
10.2.6 Mätning av hårdhet.....	43
10.2.7 Dragprover	43
10.2.8 Mikrostrukturer	43
10.2.9 Provresultat.....	43
10.2.10 Kurvdiagram.....	44
10.2.11 Dragprover	45
10.2.12 Kompletterande försök.....	49
10.2.13 Dragproverna från SSAB Borlänge.....	49
10.2.14 Mikrostrukturer	52
10.2.15 Delresultat	53
11 Valsningsteknisk del – Försöksvalsning 2 med CK 75.....	53
11.1 Försöksvalsning 2 - Innan återhämtningsglödning	53
11.2 Återhämtningsglödningen	55
11.2.1 Mekaniska egenskaper	56
11.3 Försöksvalsning 2 - Efter återhämtningsglödning	56
11.3.1 Slutvalsning band 1 - Efter glödning.....	56
11.3.2 Slutvalsning band 2 - Efter glödning.....	58
11.3.3 Bandens slutliga mekaniska egenskaper	58
12 Resultat - Valsverket	60
12.1 Diskussion och analys - Valsverket	61

13 Resultat – Försöksvalsning 1.....	61
13.1 Diskussion och analys – Försöksvalsning 1.....	62
14 Resultat – Materialteknisk undersökning.....	63
14.1 Diskussion och analys – Materialteknisk undersökning.....	64
15 Resultat – Försöksvalsning 2.....	64
15.1 Diskussion och analys – Försöksvalsning 2.....	65
16 Slutsatser.....	66
Referenser.....	68
Bilagor:	
Bilaga 1 – Fråga 1 till Sendzimir Inc.....	68
Bilaga 2 – Svar 1 från Sendzimir Inc.....	69
Bilaga 3 – Fråga 2 till Sendzimir Inc.....	71
Bilaga 4 – Svar 2 från Sendzimir Inc.....	73
Bilaga 5 – Användarlista till MMS från Sendzimir Inc.....	76
Bilaga 6 – Svar 3 från Sendzimir Inc.....	78
Bilaga 7 – Svar 4 från Sendzimir Inc.....	80
Bilaga 8 – Fråga 3 till Sendzimir Inc.....	82
Bilaga 9 – Svar 5 från Sendzimir Inc.....	85
Bilaga 10 – Fråga 4 till Sendzimir Inc.....	88
Bilaga 11 – Fråga 5 till Sendzimir Inc.....	90
Bilaga 12 – Svar 6 från Sendzimir Inc.....	93
Bilaga 13 – Materialspecifikation CK 75.....	94
Bilaga 14 – Materialspecifikation Hiloc 1600 SH.....	95
Bilaga 15 – Mikrostrukturer CK 75.....	96

Valsningsteknik för extremt höghållfasta tunna stål

1 Inledning

LuCoil Steel AB är ett dotterbolag till SSAB Tunnbrå AB och har 25 stycken anställda. Företaget bildades i april 2002 utifrån den tidigare enheten Specialstål inom SSAB Tunnbrå. LuCoils affärsidé är att via kallvalsning tillverka tunna stålband av mycket hög kvalitet samt med snäva toleranser

Idag kallvalsar LuCoil en mängd olika stålqualiteter. Dock försöker LuCoil allt mer specialisera sig på extra höghållfast stål, som har en ständigt växande marknad. Orsaken är de produktionsfördelar ett lätt, tunt och starkt stål kan ge inom den tillverkande industrin.

Jämfört med konventionella stål ger kallvalsat höghållfast stål generellt lättare produkter med bibehållen styrka utav mindre materialåtgång och till ett relativt lågt pris. I ett vidare perspektiv leder dessa tunna höghållfasta stål även till bättre resurshushållning, mindre energiåtgång samt lättare återvinning.

Den ökade satsningen på nya marknader för höghållfasta stål kräver därför en kontinuerlig utveckling av ny och noga anpassad valsningsteknik till respektive materials egenskaper och dimensioner.

2 Översikt av LuCoils verksamhet

LuCoil Steel AB köper in och kallvalsar varm- eller kallvalsade band från SSAB tunnbrå i Borlänge. Förutom valsverket som är kärnan i verksamheten, har LuCoil även tillhörande kringutrustning som glödgningsugnar, trimvalsverk, laboratorium, valsslipning samt en slittlinje där banden kan kapas till önskade mått.

2.1 Valsverket

All kallvalsning sker i ett reversibelt så kallat Sendzimirvalsverk av typen ZR 22B – 42. Reversibelt innebär att bandet valsas fram och tillbaka genom verket tills önskad tjocklek uppnåtts, enligt bild 1. Varje passage genom valsarna kallas för stick och ger förutom en reduktion av bandets tjocklek även ett deformationshårdnande.

Valsverket klarar av att valsa band mellan 5,00 till 0,10 mm tjocklek. Hos LuCoil valsas normalt tjocklekar mellan 3,45 mm och 0,15 mm.

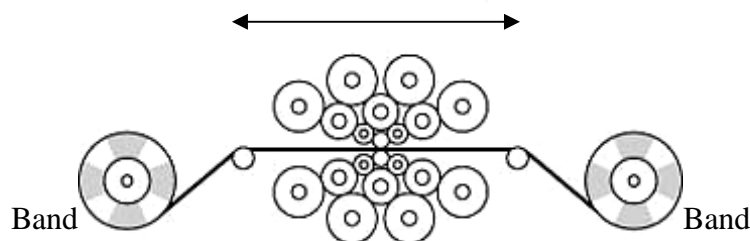


Bild 1: Principskiss av ett reverserande Sendzimir 20-valsverk.

Valsverket är byggt 1961 och beteckningen ZR 22B – 42 anger bland annat att verket har något överdimensionerade arbetsvalsar samt klarar av att valsa band upp till 42 tumms bredd eller 1080 mm, enligt förklaringarna i bild 2.

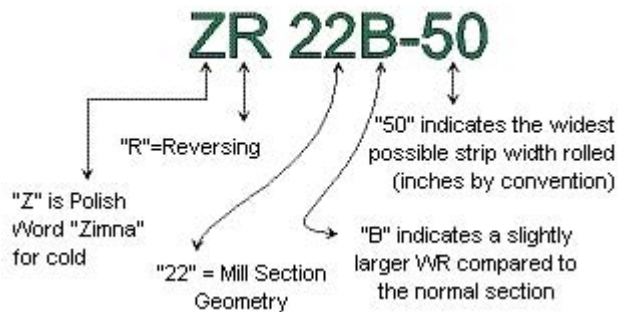


Bild 2: Förklaring till valsverkets modellbeteckning [1]

Det unika med Sendzimirverk är dess konstruktion med arbetsvalsar i en liten diameter, som stöds upp av ett pyramidliknande arrangemang av bakomvarande mellan- och stödvalsar.

Fördelarna med små arbetsvalsar är att kontaktytan mellan vals och material blir liten, vilket gör att av valsen behöver mindre kraft för att tränga in i bandet jämfört konventionella valsverk. Den relativt låga valskraften leder vidare till liten valstillplattning, snäva toleranser samt hög ytfinish på bandet. Därför anses Sendzimirverk speciellt lämpade till kallvalsning av tunna och hårda material.

2.2 Glödgningsugnarna

LuCoil har även att antal klockugnar där glödning av band sker i en sluten miljö av kvävgas samt vätgas. För att band på rulle ska kunna glödgas med ett jämnt och bra resultat, lindas en tvinnad tråd in som spalt mellan bandvarven, vilket kallas open-coil principen.

Förutom att spalten ger ett jämnare glödgningsresultat, medger den även att omgivande gas lättare kommer åt hela bandet. Därigenom kan man via gasens sammansättning dessutom påverka bandets ytskikt. På så sätt ges möjlighet till att ytavkola, helt avkola eller att svartoxidera bandet.

Utöver detta förekommer mjukgörande glödning av band innan valsning, eller som ett mellansteg under pågående valsning.

2.3 Trimvalsverket

Ibland önskar man tillföra speciella egenskaper som grov ytjämnhet på ett redan färdigt Sendzimirvalsat band, alternativt korrigerar mindre planhetsproblem med ett så kallat trimstick. Detta kan utföras via en trimvalsning, gjord med liten reduktion och vanligtvis utan smörjmedel i trimvalsverket.

Skillnaden mellan vanlig valsning och trimvalsning är att vid vanlig valsning hålls valsspalten konstant vilket ger en konstant bandtjocklek, jämfört med trimvalsning där valskraften istället hålls konstant vilket ger en konstant reduktion oavsett eventuella variationer i bandtjocklek.

2.4 Slittlinjen

För att ge band rätt dimensioner innan antingen valsning eller leverans till kund, skärs och kapas banden till i den så kallade slitten enligt bild 3. I slitten kan band från maximalt 1250 mm bredd kapas ned i remsor till lägst 8 mm bredd. Dessutom kan slitten användas till att skära bort defekter på bandet, som till exempel sprickor eller dålig bandform på kanterna.

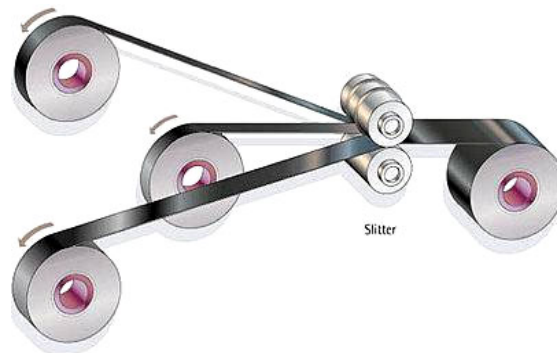


Bild 3: Slittning av band [1]

2.5 Laboratoriet

LuCoil har även ett eget laboratorium där bland annat prover på draghållfasthet, hårdhet, ytjämnhet samt mikrostrukturer kan tas. Detta för att undersöka egenskaperna på inkommande band innan valsningen, samt för att säkerställa att tillverkningen gått plan enligt och kunden får utlovad kvalitet innan leverans.

2.6 Valsslipning

Trots att valsningen sker med kontinuerlig tillförsel av smörjmedel, uppstår förslitning eller skador av speciellt arbetsvalsarna men även mellanvalsarna. För att återge valsarna dess form, toleranser samt ytjämnhet byts de ut och slipas om med jämna mellanrum.

För att säkerställa tillgången till utbytesvalsar har LuCoil därför en egen slipavdelning där valsslipning sker.

2.7 Produktprogram

LuCoils produktprogram innefattar följande stålqualiteter, av vilka samtliga är framtagna med kundanpassade egenskaper. Följande tabell med stålets klassindelning, produktnamn samt brottsgränser ger en översikt av LuCoils produktsortiment.

- | | | |
|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| • Ultrahöghållfasta stål: | Hiloc Super (SH). | Rm: 1300 – 1700 N/mm ² |
| | Hiloc Extra (EH). | Rm: 900 – 1100 N/mm ² |
| | Hiloc Stabil (Profilerad) | Rm: 900 – 1600 N/mm ² |
| • Höghållfasta stål: | Hiloc Hi 22/36 | Rm: 330 – 450 N/mm ² |
| | Hiloc Hi 40/50/60/70 | Rm: 490 – 750 N/mm ² |
| • Härdbara stål: | Boloc Bo 02/03/04/05 (G) | Rm: 480 – 510 N/mm ² |
| | Boloc Bo 02/03/04/05 (H) | Rm: 1370 – 1675 N/mm ² |
| | Triflex (G) | Rm: 480 – 650 N/mm ² |

	Triflex (<i>H</i>)	Rm: 1370 – 1675 N/mm ²
	Högkolhaltiga stål (<i>G</i>)	Rm: 450 – 720 N/mm ²
• Extra formbara stål:	Deloc (<i>G</i>)	Rm: 290 N/mm ²
• Belagda stål:	Zink	<i>Saknas data</i>
	Aluzink	<i>Saknas data</i>
• Normerade stål:	DC01	Rm: 270 – 740 N/mm ²
	DC04	Rm: 270 – 950 N/mm ²
• Ytbehandlade stål:	Hiloc Svartoxid	se specifikation för DC01

Notering: (*G*) = Glödgat
(*H*) = Härdat

3 Syfte

Att utveckla ny och noggrant anpassad valsningsteknik till nya höghållfasta stålqualiteter, med avseende på stålens egenskaper och dimensioner.

4 Avgränsningar

Utveckling av ny valsningsteknik till nya material sker successivt genom försöksvalsningar. På grund av examensarbetets begränsade tidsperiod kommer denna undersökning att koncentrera sig på endast en stålqualitet. Materialet som avses är ett högkolhaltigt stål med benämningen CK 75.

Undersökningen bygger på tidigare försök utförda av LuCoil och är indelad i två frågeställningar, en valsningsteknisk och en materialteknisk.

5 Teori

LuCoils valsverk är ett tjugovalsverk av typen Sendzimir. Dess uppbyggnad är unik med små och i valspaketet löst liggande arbetsvalsar, som stöds upp i hela sin längd av bakomvarande valsarrangement. Valskrafterna fördelas från arbetsvalsarna genom hela det pyramidformade valspaketet och till sist via stödvalsarna ut i det kraftiga valshuset [1].

Valspaketets sammansättning består i tur och ordning av arbetsvalsar, första raden mellanvalsar, andra raden mellanvalsar där de drivande valsarna ligger, samt ytterst stödvalsarna enligt bild 4.

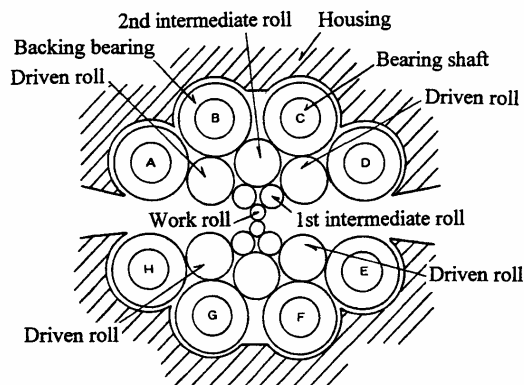


Bild 4: 20-valsverk av typen Sendzimir [5]

5.1 Arbetsvalsar

Arbetsvalsarnas diameter ligger nominellt vid 63,5 mm och de kan vara antingen helt cylindriska eller bomberade, vilket innebär svagt tunnformade [3,5]. Bomberade valsar används vid valsning med höga valskrafter, eftersom den valsutböjningen som då sker påverkar valsspalten och bandformen. Med bomberade valsar kompenseras valsutböjningen så att valsspalten hålls rak och därigenom bandet plant enligt bild 5.

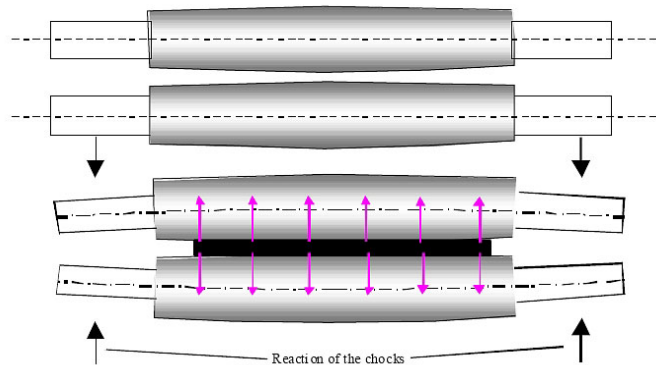


Bild 5: Bomberade valsar som vid valsning med höga valskrafter leder till rak valsspalt [4]

LuCoils arbetsvalsar förekommer dessutom två kvaliteter:

- vanligt stål med E-modul på 209 000 N/mm²
- snabbstål med E-modul på 224 000 N/mm²

Hårdare valsar leder till mindre valstillplattning. Mellan varje valsning byts dessutom arbetsvalsarna ut så att bandet ska få en fin ytfinish.

5.2 Första raden mellanvalsar

De två övre och två nedre valsarna närmast arbetsvalsarna kallas mellanvals-1 och har koniskt taperade ändar, enligt bild 6. Orsaken till taperingen är att trycket på bandkanterna kan ökas eller minskas genom sidledes förflyttning av valsarna. Förflyttning ut ökar kanttrycket och vice versa. I nyare valsverk kan dessa valsar förflyttas under drift, men däremot inte i äldre verk typ LuCoils [4].

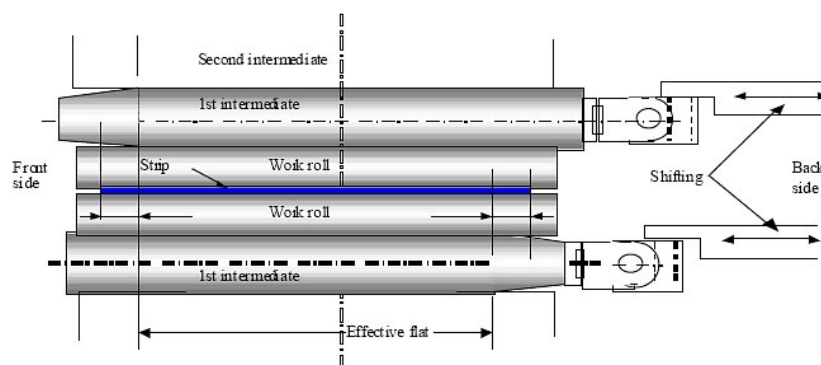


Bild 6: De taperade första mellanvalsarna som både stödjer upp arbetsvalsarna samt kan sidoförflyttas för påverkan av bandets kanttryck [4]

Taperingens storlek och längd bestäms via experiment och beror av både bandens bredd samt de valskrafter som uppstår. Höga valskrafter behöver stor taperingsvinkel, samt breda band behöver kort taperingslängd [4]. Taperingen kan beräknas via:

$$\frac{d_2 - d_1}{L}$$

där d_2, d_1 = konans diameter i μm mätt på två ställen
 L = längden i mm mellan diametermåten

För Sendzimirverk av typ 22 med 60 mm arbetsvalsar finns följande tumregler gällande taperingsvinkel [4]:

- 2,0 $\mu\text{m}/\text{mm}$ för breda band och höga valskrafter
- 1,8 $\mu\text{m}/\text{mm}$ för breda band och medium valskrafter
- 1,6 $\mu\text{m}/\text{mm}$ för smala band och höga valskrafter
- 1,3 $\mu\text{m}/\text{mm}$ för smala band och medium valskrafter

LuCoil använder normalt två olika typer mellanvalsar:

- 300 mm konlängd och 0,7 $\mu\text{m}/\text{mm}$ tapering
- 450 mm konlängd och 1,2 $\mu\text{m}/\text{mm}$ tapering.

5.3 Andra raden mellanvalsar

De tre övre och tre nedre valsarna som stödjer upp första raden mellanvalsar kallas mellanvals-2, där de två yttersta valsarna på varje rad driver själva valsningen, enligt bild 7.

5.4 Stödvalsar

Valspaketets åtta yttersta valsar kallas för stödvalsar och består egentligen av ett antal excentriska lager monterade på axlar. De två yttersta stödvalsarna på varje rad håller ihop valspaketet och via de två mittersta stödvalsarna på varje rad kan valspaketet öppnas och stängas vid bandladdning och valsbyten, enligt bild 7.

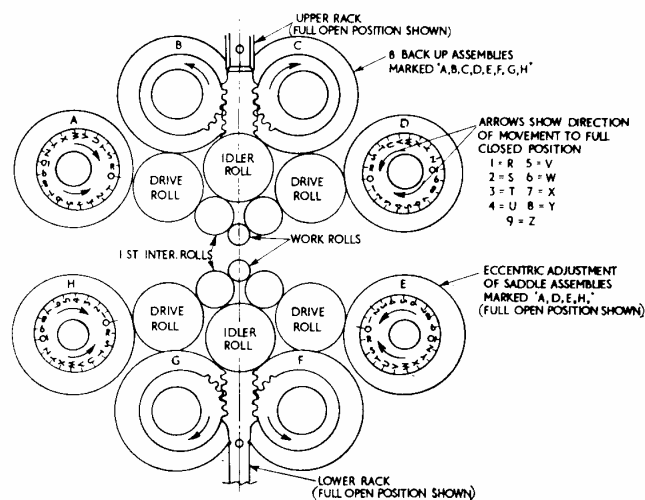


Bild 7: Valsarrangemang i ett Sendzimir 20-valsverk [3]

Dessutom kan de excentriska lagren som sitter på de två översta stödvalsarna B och C enligt bild 7 vridas individuellt, vilket gör att valstrycket kan ökas eller minskas på utvalda ställen av bandet. Detta kallas bomberingsjustering och används för att styra bandets planhet.

Hela valspaketet syns i bild 8, där stödvalsarna bestående av sex excentriska lager monterade på varje axel ligger an mot valshuset både överst och nederst i bilden.

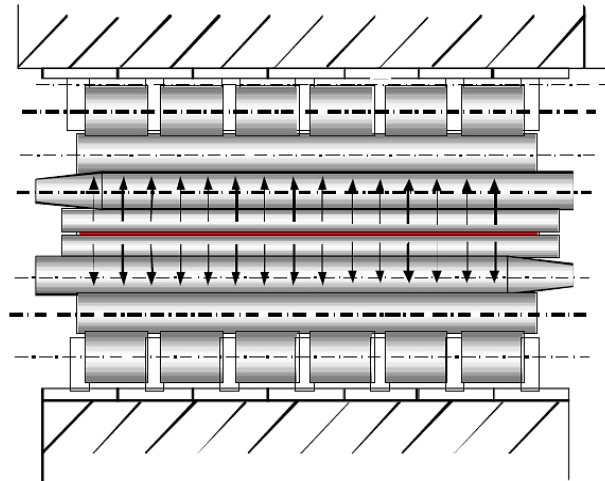


Bild 8: Valsarrangemang i ett Sendzimir 20-valsverk sett från sidan [4]

5.5 Hasplar

Tjugovalsverk av typen Sendzimir med små arbetsvalsar behöver hög bandspänning för ett bra valsresultat. Syftet med den höga bandspänningen från hasplarna är att:

- underlätta reduktionen
- förbättra bandets planhet
- hålla bandet centrerat.

I LuCoils valsverk ger de ordinarie hasplarna en dragkraft på 19 300 kg och avhaspeln som används vid laddning av band en dragkraft på 3 800 kg.

Hög bandspänning är dessutom extra nödvändigt vid valsning av tunna och hårda band, eftersom valstillplattningen annars begränsar möjlig reduktionsgrad.

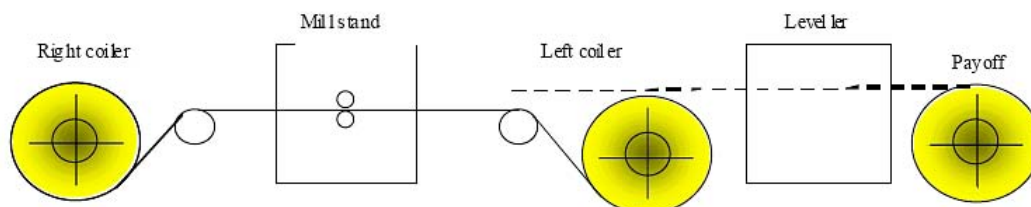


Bild 9: Principskiss av valsverkets hasplar samt den yttre avhaspeln för bandladdning, vilka ger broms- och dragspänning till bandet [4]

5.6 Smörjmedel

Vid kallvalsning är friktion nödvändig för att överföra deformationsenergi från valsar till band. Dock önskas friktionen hållas på en låg nivå, vilket underlättar bandets plastiska flytning och minskar behovet av valskrafter för att deformera bandet. Blir däremot friktionen för låg kommer valsarna att slira på bandet. [6]

Smörjmedlet består av antingen olja eller en oljeemulsion, vilket innebär olja blandat i vatten. Hos LuCoil används en oljeemulsion som håller en temperatur på ca 60 C och har 3 – 5 % oljeblandning. Generellt brukar koncentrationen ligga mellan 5 – 8 %, men beror även av oljetillverkarens rekommendationer [3,4].

Fördelarna med emulsion jämfört olja är ingen brandrisk, bra kylning samt lätt att filtrera. Nackdelarna är risk för bakterietillväxt i emulsionen, vilket motverkas genom att låta emulsionen hålla en temperatur på minst 50 C, samt att bandets ytfinish får minde glans än jämfört med olja som smörjmedel [4].

Friktionskoefficienten vid valsning i Sendzimir 20-valsverk uppskattas vara [4]:

- $\mu = 0,06$ vid stick 1
- $\mu = 0,05$ vid stick 2
- $\mu = 0,03$ vid resterande stick

Generellt används inte emulsion i tjugovalsverk förutom vid valsning av mjuka stål i stora reduktioner, vilket kräver bra kylning [4].

5.7 Flytvillkor

Vid kallvalsning utsätts bandet för en plastisk bearbetning. De roterande valsarna drar via friktion in bandet mellan valsarna, där en reduktion sker av bandets tjocklek, enligt bild 10. Genom denna reduktion erhålls ett deformationshårdnande av bandet. I Sendzimirvalsverk utsätts bandet dessutom för dragspänningar i syfte att underlätta reduktionen.

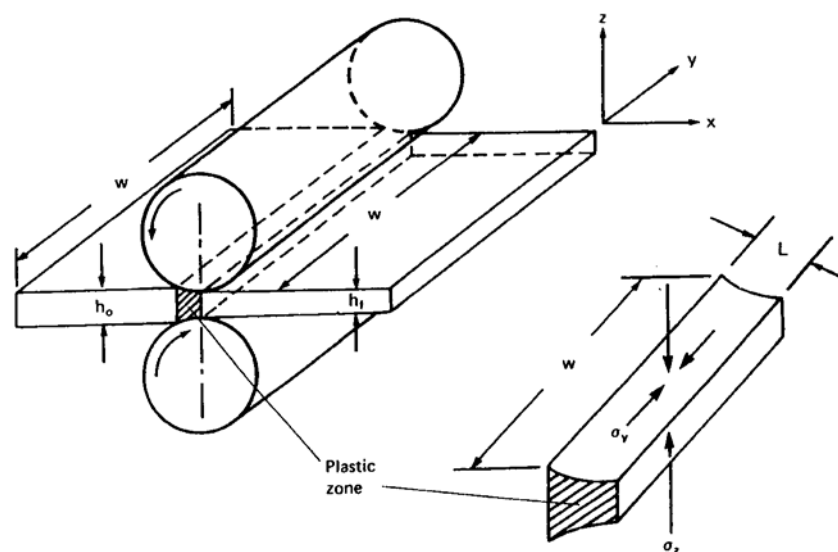


Bild 10: Deformationszon vid valsning [2]

För att plastiskt deformera bandet under ett stick måste dess sträckgräns överskridas, samtidigt som brottsgränsen ej får överskridas för undvikande av bandbrott. Allt eftersom bandet påvalsas stiger dess sträck- och brottsgräns i takt med deformationshårdnandet.

Med hjälp av så kallade flytvillkor kan beräkning göras av vilka spänningar som krävs för att plastiskt deformera bandet. De två vanligaste förekommande flytvillkoren är Trescas samt von Mises. Dessa två flytvillkor gäller under följande antaganden [2,10]:

- Materialets flytspänning är lika stor oavsett om lasten är en tryck- eller dragspänning
- Materialet är isotropiskt, vilket innebär lika egenskaper oavsett riktning
- Volymkonstans råder under plastisk deformation

Det i praktiken mest använda flytvillkoret är von Mises, som uttryckt i huvudspänningar blir:

$$(\sigma_1 - \sigma_2) + (\sigma_2 - \sigma_3) + (\sigma_3 - \sigma_1) = 2\sigma_s^2 \quad (1)$$

Vid valsning förekommer dessutom plant töjningstillstånd, eftersom bandets töjning i breddriktningen förhindras av friktion mellan valsar och band, odeformerat material utanför den plastiska zonen samt förhållandet bredd \gg tjocklek [2].

Med hänsyn till ovanstående följer nedan en härledning av det spänningstillstånd som leder till flytning i materialet med hjälp av von Mises flytkriterium:

$$\text{Hookes lag ger de elastiska töjningarna: } \varepsilon_1 = \frac{\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)}{E} \quad (2)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_2 - \nu(\sigma_1 + \sigma_3)}{E} \quad (3)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{\sigma_3 - \nu(\sigma_2 + \sigma_1)}{E} \quad (4)$$

$$\text{Vid flytning råder volymkonstans: } \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0 \Rightarrow \nu = \frac{1}{2} \quad (5)$$

$$\text{Plan töjning vid valsning ger: } \varepsilon_2 = 0 \quad (6)$$

$$\text{Ekvation (5) och (6) i (3) ger: } \sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) \quad (7)$$

Ekvation (7) insatt i (1) ger flytvillkoret vid plan töjning motsvarande valsning:

$$\sigma_1 = \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_s - \sigma_3 \Rightarrow \sigma_1 = 1,155\sigma_s - \sigma_3 \Rightarrow \sigma_1 = \sigma_c - \sigma_3 \quad (8)$$

där σ_1 = valsarnas tryckspänning
 σ_s = bandets sträckgräns beroende på tidigare reduktionsgrad
 σ_c = bandets flytgräns vid plant töjningstillstånd, motsvarande $1,155\sigma_s$
 σ_3 = bandspänning, där medelvärdet av drag- och bromsspänning ofta används, alternativt sätts till noll vid valsning utan bandspänningar.

Ekvation (8) säger att med ökad bandspänning σ_3 krävs mindre valstryck σ_1 för att deformera bandet.

5.7.1 Valsspalt

Bild 11 nedan visar översiktsbild av valsarnas ingrepp i bandet. I bilden kommer bandet in med tjocklek t , passerar valsspalten och valsas ned till $t(1-r)$. Vid passering genom valsspalten får bandet en hastighetsökning motsvarande reduktionens procentuella storlek.

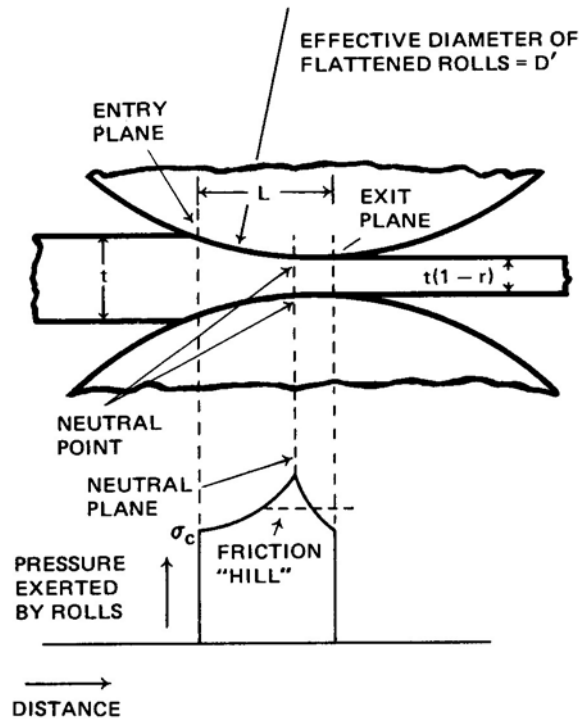


Bild 11: Valsspalten med tryckfördelning, neutralpunkt samt kontaktlängd [6]

Eftersom valsarna roterar med konstant hastighet, uppstår det en punkt någonstans längs kontaktytan L där band och valsar möts i samma hastighet. Denna punkt kallas för neutralpunkten och där uppstår max kontaktryck. I förenklade beräkningar brukar denna punkt antas ligga mitt på L , fast den i verkligheten ligger närmare utgångsplanet [6].

Valsarnas tryckfördelning på bandet beskrivs vanligtvis med en så kallad Friction Hill bestående av två exponentiella kurvor [3]. Förutom valsarnas tryck utsätts bandet dessutom för spänning från båda hållen, så kallad drag- och bromsspänning

5.7.2 Grafisk presentation av Friction Hill

De krafter som uppstår vid valsning beror förutom av materialet även på friktion, reduktionens storlek, bandspänning samt valsarnas diameter. Dessa parametrar leder till olika stora valstryck eller Friction Hill enligt bild 12, där x-axeln visar kontaktlängden L mellan valsar och band och y-axeln tryckfördelningen längs kontaktlängden [5].

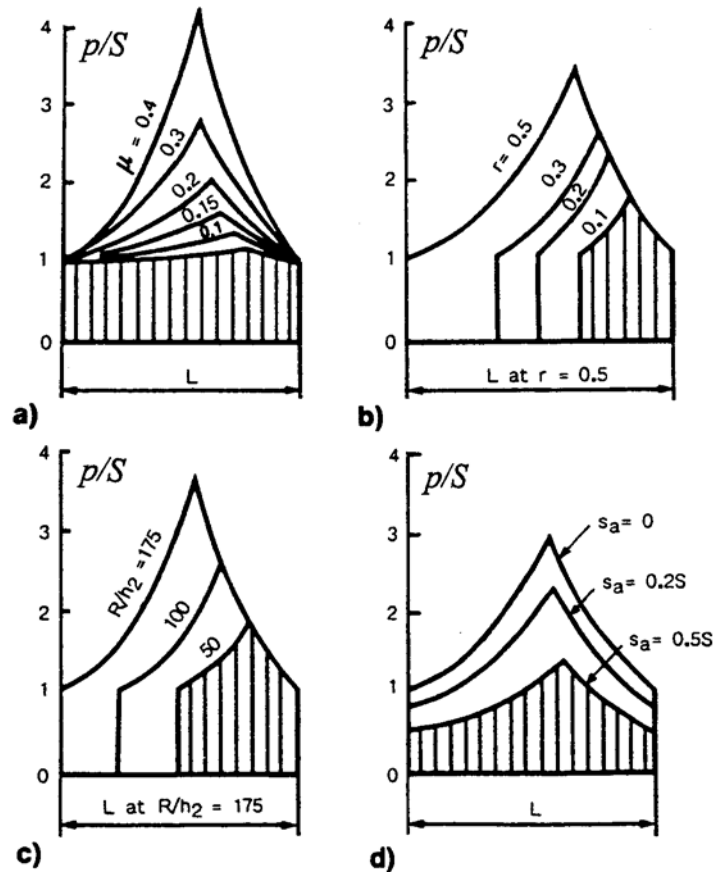


Bild 12: Tryckfördelningen längs kontaktytan L som funktion av [5]:

- Friktionskoefficient μ
- Reduktionens storlek r
- Valsradie R i förhållande till utgångstjocklek h_2
- Medelbandspänning s_a

Bild 12 a-d visar i tur och ordning hur vals krafterna sjunker genom:

- lägre friktion
- mindre reduktionsgrad, vilket leder till mindre kontaktlängd
- mindre valsdiameter, vilket leder till mindre kontaktlängd
- större bandspänning

5.7.3 Beräkningsmetoder

För att beräkna de krafter och spänningar som utövas på bandet under valsningens stick samt det effektbehov som krävs för att driva valsarna, finns ett antal mer eller mindre komplicerade matematiska modeller. Dessa varierar i överensstämmelse beroende på vid vilken typ av valsverk de utvecklats vid och ligger till grund för utveckling av stickscheman.

Beräkningarna utgår normalt från det specifika materialets sträckgräns beroende på reduktionsgrad ur vilken sedan σ_c räknas fram, alternativt experimentellt framtagna flytgränskurvor vid plan kompression likt de BISRA (British Iron And Steel Research) utvecklade för ett antal vanliga stålqualiteter enligt bild 13 samt bilaga 9.

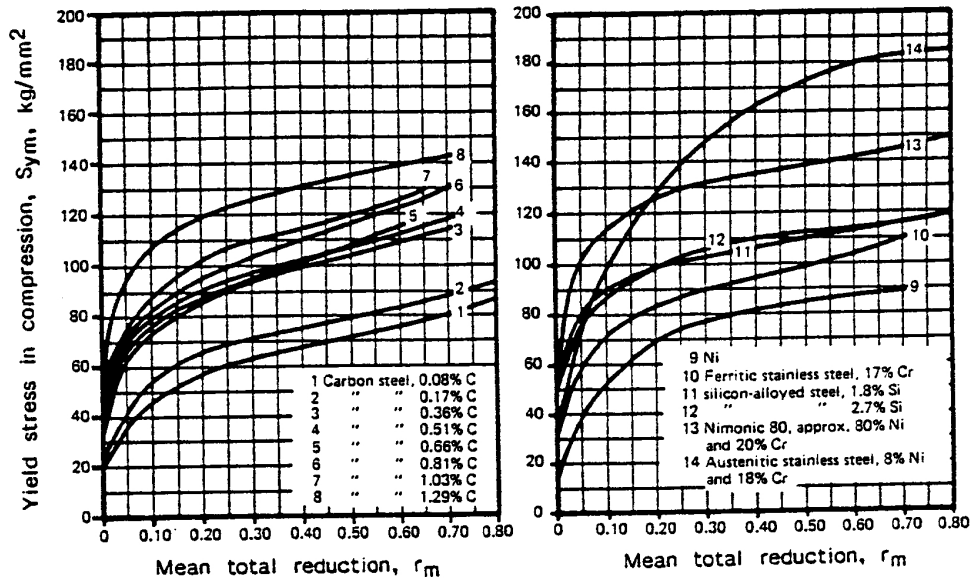


Bild 13: Flytgränskurvor vid plan kompression utvecklade av BISRA [5]

De enklaste modellerna för total valskraft består bara av valsarnas tryckspänning multiplicerat med kontaktytans area. De mer komplicerade modellerna tar hänsyn till friktion, valstillplattning samt bandspänning. Vid mycket stora valshastigheter måste även deformationshastigheten $\dot{\epsilon}$ tas med vid beräkning av bandets deformationsmotstånd.

5.7.4 Kontaktlängd

Beroende på valskrafternas storlek utsätts valsarna för mer eller mindre elastisk tillplattning vid kontakten med bandet. Större tillplattning ger större kontaktlängd L , vilket kräver mer kraft för deformation av bandet.

Kontaktsträckan L kan för stumma valsar utan tillplattning bestämmas enligt bild 14, vilket ger [2]:

$$L = \sqrt{R \cdot \Delta h} \quad (9)$$

där R = valsradie
 Δh = bandets reduktion i mm

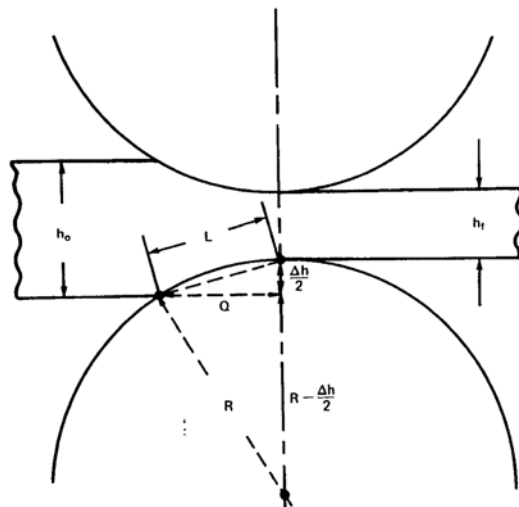


Bild 14: Kontaktlängd L mellan valsar och band vid valsarnas ingrepp i bandet [2]

Vid hänsyn till valstillplattning beräknas först specifika valskraften F_s ut för stumma valsar. Därefter beräknas tillplattad valsradie R' ut samt kontaktlängd L' med hjälp av F_s , valsarnas E-modul samt Poissons konstant ν enligt Hitchcooks uttryck [2]:

$$R' = R \left(1 + \frac{16 \cdot F_s}{\pi \cdot E' \cdot \Delta h} \right) \quad (10)$$

där
$$E' = \frac{E}{1 - \nu^2} \quad (11)$$

Därefter görs ny beräkning av valskrafterna, nu med kontaktsträckan L' .

5.7.5 Enkel modell för beräkning valskraft

I de enklaste modellerna för valskrafter tas ingen hänsyn till vare sig bandspänning eller friktion. Denna modell består endast av bandets medelflytspänning vid plant töjningstillstånd σ_c för det specifika sticket, multiplicerat med kontaktsträckan L alternativt L' mellan vals och band. Specifik valskraft per enhetsbredd ges av [3, 4, 10]:

$$F_s = \sigma_c \cdot L \quad (12)$$

där medelflytspänningen vid plant töjningstillstånd ges av och

$$\sigma_c = 1,155 \cdot \sigma_s \quad (13)$$

σ_s = bandets medelflytspänning för det specifika sticket beroende på tidigare reduktionsgrad

Total valskraft (RSF) erhålls från:
$$F_{tot} = F_s \cdot b \quad (14)$$

där b = bandets bredd

Total valskraft kallas även Roll Separating Force och beror enligt ekvation (14) av bandets bredd.

5.7.6 Enkel modell för beräkning valsmoment

Valskraften ger upphov till ett valsmoment för att driva valsarna. Momentarmen a antas i enklare modeller ligga på halva kontaktlängden L . Eftersom två valsar utför valsarbetet blir totala valsmomentet [7]:

$$M_v = 2F_{tot}a \Rightarrow M_v = \sigma_c R(h_{in} - h_{ut})b \quad (15)$$

5.7.7 Enkel modell för beräkning valseffekt

Erforderlig valseffekt P_{eff} kan beräknas med hjälp av valsmomentet enligt följande uttryck [7]:

$$P_{eff} = M_v \omega \Rightarrow P_{eff} = \sigma_c (h_{in} - h_{ut})b \cdot v_v \quad (16)$$

där h_{in} = ingående bandtjocklek

h_{ut} = utgående bandtjocklek
 v_v = valsarnas periferihastighet i m/s

5.7.8 Friction Hill modell för beräkning valskraft

En mer noggrann Friction Hill-modell för beräkning av valskrafter har utvecklats av Stone. I modellen tas hänsyn till både friktion samt bandspänningar. Dock görs antagandet att neutralpunkten ligger på halva kontaktsträckans längd L . Valsarnas tryckspänning σ_p kan beräknas från [2, 3, 7]:

$$\sigma_p = \frac{h}{\mu L} \left(\exp\left(\frac{\mu L}{h}\right) - 1 \right) (\sigma_c - \sigma_t) \quad (17)$$

där σ_c = materialets medelflytspänning för det specifika sticket vid plant
 töjningstillstånd, beroende på tidigare reduktion
 σ_t = medelspänningen mellan bandets broms- och dragspänning
 h = medeltjocklek mellan ingående och utgående bandtjocklek

5.7.9 Beräkning av bandspänning

För beräkning av lämplig banddragkraft använder operatörerna en metod där bandets area vid sista stick multipliceras med en faktor K , liggandes mellan 12 och 35 beroende på bandets hårdhetsgrad, enligt:

$$F(kg) = b \cdot t \cdot K \quad (18)$$

En alternativ metod anpassad för Sendzimirverk, är att utgå från bandets sträckgränskurva under deformationshårdnandet [4]. Generellt anses en banddragspänning motsvarande 20 % av sträckgränsen vid aktuell reduktionsgrad vara lämpligt för en mängd valssituationer. Vid behov kan även 30 % av sträckgränsen användas.

I extremfall med tunna och hårda material där reduktion är svår att uppnå, kan 50 % av bandets sträckgräns användas till dragspänning på båda sidor av bandet. Trots extremfallets höga bandspänning på totalt 100 % av sträckgränsen fås inte okontrollerad flytning, eftersom valsarnas låsning av bandet i valsspalten gör att de två spänningarna ej går att addera.

Bandets bromsspänning vid första sticket begränsas normalt av avhaspelns bristande bromseffekt. För efterföljande stick sätts normalt bromsspänningen till samma spänning som dragspänningen var i föregående stick. Det innebär att sticken generellt valsas med aningen högre bromsspänning än dragspänning [4].

5.7.10 Stickschemat

Stickscheman utvecklas successivt från försöksvalsningar. Inledningsvis skapas de utifrån operatörernas erfarenhet och tidigare valsningar av liknande material, alternativt stickschemagenererande program. Några beräkningar görs inte vid manuellt skapande av stickscheman, förutom lämplig bandspänning.

Beroende på valsningens krafter kommer valshuset att töjas och valsarna att böjas, vilket påverkar valsspalten. Ett välkonstruerat stickschema bör skapa jämn och fin bandform från stick till stick via endast små justeringar av valsspalten.

Här följer några tumregler för ett välkonstruerat stickschema [4]:

- Valskraften (RSF) bör hållas relativt konstant under de inledande passen, för att sedan successivt avta. Det innebär att reduktionen blir som störst i början och avtar sedan allteftersom bandet deformationshårdnar.

För tunna material bör valskraften och reduktionen avta direkt efter första sticket

- Valskraften bör inte pendla upp eller ner mellan sticken, eftersom det påverkar valsspaltens utformning och därigenom bandformen.
- Valsmotoreffekten bör också avta successivt mellan sticken, förutsatt lika valshastighet. Eftersom effekten beror av både reduktion och valshastighet fås max valsmotoreffekt i första eller andra stick, beroende på om första stick sker med sänkt valshastighet.

6 Bakgrund

Dagens tillverkningsindustri söker ständigt nya kostnadseffektiva lösningar. När en av LuCoils kunder som är verktygstillverkare och ej vill bli namngiven i denna rapport kände av en ökande konkurrens från billiga Asientillverkade sågar, uppstod krav på effektivisering av egen motsvarande sågtillverkning. Detta genom att försöka hitta en billigare materialleverantör.

I dagsläget köper kunden in band till sågbladen från England och Tyskland. Banden är både kallvalsade och härdade för att uppnå rätt mekaniska egenskaper.

Eftersom kunden gärna gynnar den svenska marknaden, uppstod frågeställningen hur LuCoil istället skulle kunna klara av att leverera band med rätt mekaniska egenskaper och till rätt pris åt kunden.

LuCoil som är marknadsledande på kallvalsade höghållfasta band, har därför i samarbete med kunden undersökt olika alternativ på tillverkning av band till sågblad. Målet har varit att lyckas kallvalsa fram råmaterial till sågblad med rätt mekaniska egenskaper utan den efterföljande härdningsprocess som sker vid dagens tillverkning.

Skulle denna rationalisering vara genomförbar finns stora besparingar att göra i tillverkningskostnader. Dock har hittills gjorda försök inte varit helt tillfredsställande med tanke på bandets hållfasthetsegenskaper.

Eftersom det skulle vara av stor betydelse för LuCoil att få leverera valsade band till kundens sågtillverkning, har mitt examensarbete gått ut på att försöka hitta en lösning till detta specifika problem

6.1 Dagens bandtillverkning

Innan kunden köper in råmaterialet till sågbladen från utlandet har det genomgått en rad processer för att erhålla rätt mekaniska egenskaper. Nedan följer en kort beskrivning på hur tillverkningsprocessen går till idag.

6.1.1 Utgångsmaterial

Speciellt viktigt är att det färdiga sågbladet tål kraftig böjning utan plasticering, samt har slitstarka tänder. Som utgångsmaterial används därför ett varmvalsat högkolhaltigt band med egenskaper liknande SSAB Borlänges band kallat CK 75. Detta band har en kolhalt på ca 0,7 – 0,8 % och ger egenskaper som hög hårdhet, hållfasthet, slitstyrka samt bra återfjädring i slutprodukten.

6.1.2 Glödning

Inledningsvis glödgas bandet innan kallvalsningen för att göra det hårda högkolhaltiga stålet mjukare och lättare att bearbeta. Dock medför glödningen samtidigt att stålet tappar mycket av sin ursprungliga hållfasthet.

6.1.3 Valsning

Därefter sker en kallvalsning från 2 mm ned till 0,83 mm tjocklek. Reduktionen vid valsningen måste vara minst 40 % för att ge bandet rätt struktur innan härdningen. Innan den efterföljande härdningen sker även en slittning av bandet till 360 mm breda bandremсор.

6.1.4 Härdning

För att ge materialet rätt mikrostruktur samt återställa dess hållfasthet efter tidigare glödning sker en bandhärdning. Det är denna process som idag önskas rationaliseras bort i syfte att sänka tillverkningskostnaderna. Hade valsning kunnat ske utan ingångsglödning skulle denna härdningsprocess ha undvikits.

Efter härdningen slittas bandet ytterligare på mitten till sin slutliga bredd, vilket motsvarar 2 stycken sågblad lagda omlott längs med bandriktningen.

6.1.5 Kanthyvling

Till sist kanthyvlas det slittade bandet. Detta sker för att avlägsna grader samt frigöra eventuella spänningar som kan ha uppkommit i bandet vid slittningen. Därefter förpackas banden och levereras till kunden som rullar.

6.2 Sågtillverkningen

Kunden köper sedan upp det enligt ovan prefabricerade bandet till sin sågtillverkning. För att säkerställa rätt materialegenskaper för sågbladen, har kunden en viss kravspecifikation som banden måste uppfylla. De parametrar som LuCoil främst beaktat i sina försök är brottgränsen ca 1 500 N/mm² samt bra återfjädring vid böjning av bladet.

Bandet genomgår därefter en rad processer hos kunden innan det blir till färdiga fogsvansar. Eftersom kunden inte vill offentliggöra sin produktion följer bara en kort beskrivning av tillvägagångssättet.

Från bandet som anländer stansas sågbladen ut längs med valsriktningen. Sedan slipas sågbladets tänder ut och genomgår därefter en härdningprocess. Till sist monteras övriga detaljer för att sågen ska bli komplett.

6.3 Tidigare försök

LuCoils forskning för att kallvalsa fram material till sågblad utan efterföljande härdning har sin bakomliggande orsak i ett för många år sedan lyckat valsningsförsök med CK 75. Vid försöket gick ett CK 75 band att påvalsa till en brottsgräns något över kundens kravspecifikation, som vid denna tidsperiod låg kring 1 450 N/mm².

Efter detta inledande försök har LuCoil provat olika lösningar med varierande resultat, samtliga direkt riktade mot kundens sågtillverkning.

Nedan följer en sammanställning över de försök som gjorts. Dock saknar vissa av de försöken fullständig dokumentation över materialens mekaniska egenskaper. Vid sådana tillfällen har uppskattningar gjorts.

Datablad innehållande mekaniska egenskaper samt kemiska sammansättningar till försökens två olika stålqualiteter CK 75 samt Hiloc SH, finns i bilagorna 13 och 14.

6.3.1 Försök 1 – Allmän påvalsning av CK 75

Detta försök genomfördes på ett restband av stålqualiteten CK 75 och var ej direkt riktat mot kundens sågtillverkning. Bandet som valsades hade måtten 1030 mm x 2,50 mm. Syftet var att se hur mycket materialet gick att påvalsa, innan bandbrott uppstod eller att bandet blev för hårt för fortsatt deformation.

Enligt försökets tillverkningsinstruktion gick materialet att påvalsa tills en brottsgräns motsvarande kundens kravspecifikation. Bandet valsades utan ingångsglödning som annars är vanlig för denna typ av material.

Dock finns inte det så kallade stickschemat kvar med valsningsinstruktionerna. Därför vet man inte riktigt hur valsningen gick till för detta lyckade försök. Troligtvis har den tunna bandtjockleken haft positiv effekt på resultatet som medför att bandspänningen relativt ökar, eftersom hasplarnas dragkraft verkar på en mindre area.

Beräkning i efterhand av lämplig banddragkraft till detta försök ger enligt operatörernas metod behovet 18,7 ton, vilket innebär att hasplarnas maximala kraft på 19,3 ton räckt till.

De brottsgränser CK 75 bandet fick vid denna försöksvalsning beroende på reduktion finns nedan i tabell 1.

Tabell 1: Dragprovsvärden för inledande valsningsförsök 1 med stålqualiteten CK 75

Tjocklek (mm)	Reduktion (%)	Brottsgräns (N/mm ²)
2,50	0	?
1,52	39	1244
1,02	59	1366
0,52	79	1555

Tyvärr finns inga dragprovsvärden på råmaterialet innan valsningen. För att få en uppskattning om råbandets ingående brottsgräns, har en linjärisering gjorts av bandets deformationsutveckling utifrån tabell 1. Resultatet finns nedan i diagram 1.

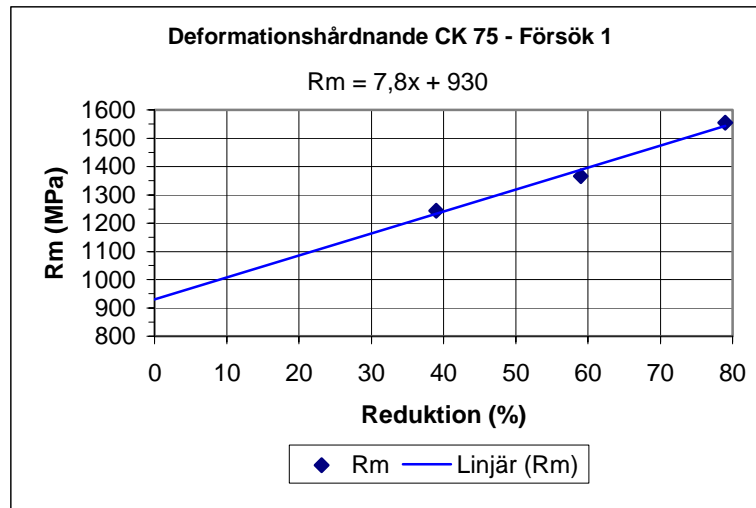


Diagram 1: Kurva för CK 75 bandets deformationshårdnande vid valsningsförsök 1

Deformationshårdnandekurvan för detta specifika CK 75 band visar att ingående brottsgräns bör ha varit ca 930 N/mm², vilket kan anses vara normalt.

6.3.2 Försök 2 – normal tillverkningsmetod med CK 75

Detta var LuCoils första försök direkt riktat mot kundens sågblad. Tillverkningen skedde enligt kundens normala praxis med ingångsglödning av bandet, kallvalsning med minst 40 % reduktion och till sist bandhårdning. Dock utfördes bandhårdningen av Sandvik, eftersom LuCoil saknar möjlighet till denna process.

Slutresultaten blev över förväntan med avseende på bandets kvalitet, som nästan ansågs vara för hög. Detta ledde även till att bandets tillverkningskostnad blev för hög. Därför togs ett beslut mellan LuCoil och kunden att försöka hitta en alternativ tillverkningsmetod med band i aningen lägre kvalitet till ett lägre pris.

Detta är utgångspunkten till fortsatta valsningsförsök utan efterföljande bandhårdning.

6.3.3 Försök 3 – DP 1400 som ersättningsmaterial

Här gjordes ett försök med ett ersättningsmaterial till CK 75. Stålet som denna gång valdes kallas DP 1400 och är kallvalsat av SSAB i Borlänge före leverans till LuCoil.

DP 1400 bandet är ett ultrahöghållfast stål med en ingående brottsgräns på 1 400 N/mm², jämfört med ordinarie varmvalsade CK 75 band som i oglödगत utförande ligger på ca 940 N/mm².

Det är även en markant skillnad mellan materialens kolhalt. Jämförelsevis har DP 1400 stålet en kolhalt på bara 0,17 %, jämfört med CK 75 som har en kolhalt på ca 0,7 – 0,8 %.

I försöket kallvalsade LuCoil DP 1400 bandet från tjocklek 0,95 mm ned till 0,83 mm. Denna påvalsning höjde stålets brottsgräns till 1 600 N/mm² och stålqualiteten får därefter produktnamnet Hiloc 1600 SH.

För att utvärdera detta ersättningsmaterial tillverkades ett antal provsågar. Sågarna utsattes för både böjprov av bladet och test av tändernas slitstyrka. Böjproven visade en fullt godtagbar återfjädring som motsvarande ordinarie kundsågar. Dock visade det sig att tändernas slitstyrka inte var fullt tillräcklig vid sågning i hårdare träslag.

Undersökningen av tändernas slitstyrka utfördes av kunden själv och baserades på sågningar i block av både björk och laminat. Vid testen jämfördes kapningstiderna från en provsåg tillverkad av Hiloc SH med en ordinär kundsåg.

Testen gick till så att först kapades 5 st. provbitar i björk, därefter 5 st. i laminat och till sist återigen 5 st. i björk. För varje kapning mättes kapningstiden. Bra tandskärpa gav liten kapningstid. Resultatet av testen visas i diagram 2.

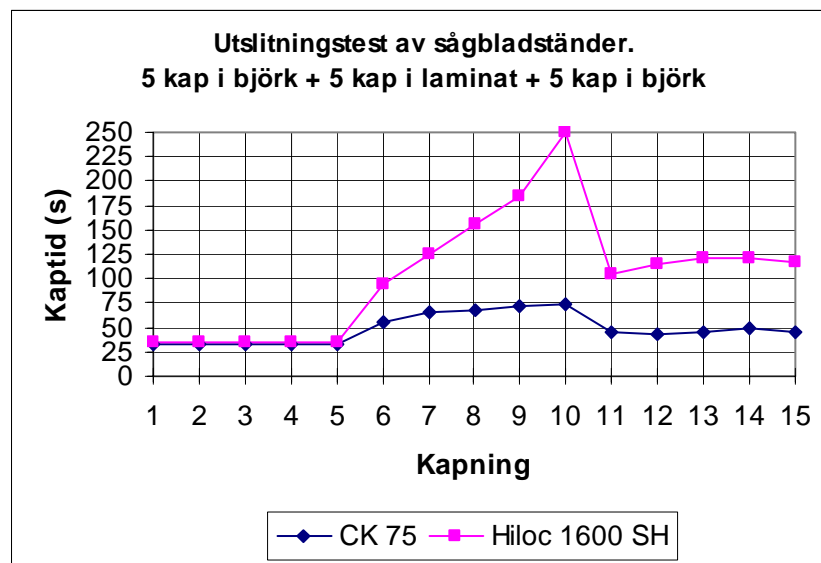


Diagram 2: Kapningstider vid utslitningstest av sågtänder för sågblad av CK 75 och Hiloc 1600 SH

Diagrammet visar ingen skillnad i kapningstid mellan de två olika sågarna vid den inledande kapningen i mjukare material som björk. Dock försämrades skärpan i Hiloc SH bladet avsevärt snabbare än ordinarie CK 75 blad vid kapning i det hårdare laminatet.

Slutsatsen blir att sågblad tillverkade i Hiloc SH har fullt tillräcklig spänst, men inte tillräckligt hållbar tandskärpa. Tandskärpans bristande slitstyrka beror troligtvis på den låga kolhalt som stålqualiteten Hiloc SH har. Detta medför att Hiloc 1600 SH ej anses vara ett fullt tillräckligt bra material till kundens sågblad. Dock kanske materialet är tillräckligt bra för tillverkning av sågblad i en lägre kvalitet.

6.3.4 Försök 4 – Ej ingångsglödgt CK 75

Med anledning av det första lyckade valsningförsöket med ej glödgt CK 75 band, gjordes här åter en försöksvalsning utan ingångsglödning av bandet.

För att bestämma den bandtjocklek som leder till brottsgränsen 1 450 N/mm² vid påvalsning ner till 0,83 mm sluttjocklek, användes kurvan för deformationshårdnande av CK 75 i diagram 2. Kurvan kan uttryckas enligt ekvation (18), där x står för procentuell reduktion:

$$R_m = 7,8x + 930 \quad (18)$$

Beräkning visar att en ca 70 % reduktion ger brottsgränsen $R_m = 1\,450$ N/mm², vilket motsvarar påvalsning från ca 2,8 mm bandtjocklek till 0,83 mm. Som lämplig bandbredd valdes 900 mm. Kontroll av levererat råband innan valsningen visar en ingående tjocklek på 2,86 mm samt en brottsgräns på normala 940 N/mm².

Valsningen utfördes enligt samma stickschema som i tabell 2 i nedanstående avsnitt 6.3.5. Tyvärr misslyckades detta valsningförsök totalt. Bandet fick direkt vid de inledande sticken mycket dålig bandform. Efter upprepade bandbrott vid fjärde stick avbryts valsningen.

Totalt sett lyckades man bara att valsa detta ej glödgade band från 2,86 mm till 1,70 mm, vilket motsvarar en reduktion på ca 41 %. Detta gav bandet en brottsgräns på 1 121 N/mm². Målet att påvalsa bandet ca 70 % ned till 0,83 mm tjocklek och en brottsgräns på 1 450 N/mm², var långt ifrån uppfyllt.

Kurva över bandets deformationshårdnande ses i diagram 3 sist i detta avsnitt.

6.3.5 Försök 5 – Ingångsglödgt CK 75

För att göra bandet lättare att bearbeta glödgrades det inför denna valsning. Glödningen genomfördes i två etapper med först 350 C i två timmar och sedan 660 – 710 C i fem timmar. Detta sänkte bandets ingående brottsgräns från 940 N/mm² till 764 N/mm².

Glödning gör att valsningen från 2,86 mm till 0,83 mm lyckas. Bandbredden var 900 mm. Stickschemat kan ses nedan i tabell 2.

Tabell 2: Stickschema till valsningförsök X177 med både glödgt samt ej glödgt CK 75

Stick	Tjocklek (mm)	Red (%)	Total red (%)	Tryck (kN)	Amp (kA)	Broms (kN)	Drag (kN)	A-vals	Koninst (mm)	RSF* (ton)
0	2,80	0	-	Spolning	0	30	193	-	-	-
1	2,41	13,9	13,9	140	1,20	185	193	Cylindrisk	550	285
2	2,15	10,8	23,5	125	0,90	185	193	Cylindrisk	”	254
3	1,90	11,6	32,1	130	0,80	185	193	Cylindrisk	530	265
4	1,70	10,5	39,3	120	0,70	185	193	Cylindrisk	”	245
5	1,52	10,6	45,7	125	0,70	185	193	0,07+ Cyl	”	254
6	1,35	11,2	51,8	120	0,70	185	193	0,07+ Cyl	”	245
7	1,17	13,3	58,2	125	0,80	185	193	0,07+ Cyl	”	254
8	1,01	13,7	63,9	120	0,70	185	193	0,07+ Cyl	”	245
9	0,91	9,9	67,5	115	0,50	185	193	0,07+ Cyl	”	234
10	0,83	8,8	70,4	100	0,40	185	193	Cylindrisk	600	204

Följande kompletterande noteringar finns till valsningen:

Mellanvals: 450 mm enkelkona, tapering 1,2 $\mu\text{m}/\text{mm}$

Stick 1: Valsning med negativ bombering

Stick 5 - 9: Valsning med en 0,07 mm bomberad samt en rak arbetsvals

Stick 10: Öka reduktion på sista sticket till nästa valsförsök

RSF*: Ungefärlig total valskraft i ton beräknad i efterhand utifrån stickschemats valstryck, genom multiplikation med 20 samt konvertering till ton, enligt bilaga 6

Tyvärr medför glödningen att kundens uppsatta krav på 1 450 N/mm² i brottsgräns långt ifrån uppnås. Brottsgränsen för det valsade bandet stannar på 1 241 N/mm². Bandet fick inte heller den spänst som krävs för sågbladet.

Kurva över bandets deformationshårdnande ses i diagram 3 sist i detta avsnitt.

6.3.6 Deformationshårdnandekurvor för samtliga CK 75 försök

Nedan i diagram 3 har dragprovsdata från de tre ovanstående försöksvalsningarna av CK 75 linjäriserats och plottats. Kurvorna visar hur banden deformationshårdnar i takt med reduktionen. Dock är mätpunkterna få och kan därför ge missvisande resultat. De två inledningsvis översta kurvorna gäller för ej glödgt band och den tredje nedersta för det glödgade bandet.

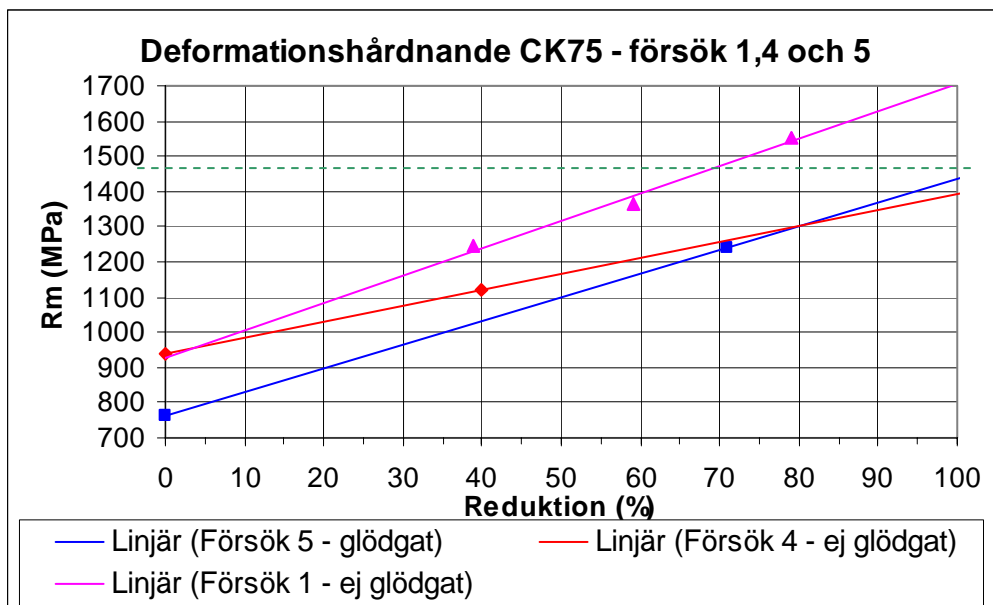


Diagram 3: Deformationshårdnandekurvor från ovanstående valsningsförsök med CK 75

Diagrammets två översta deformationshårdnandekurvor för ej glödgt CK 75 band antyder på missvisande resultat. Båda kurvorna startar från brottsgränsen 940 N/mm² och borde deformationshårdna likadant med samma lutning.

I diagrammet kan också utläsas hur mycket reduktion det skulle krävas för att uppnå sågbladets krav på ca 1 450 N/mm² i brottsgräns. Bland dessa försök är det bara det inledande försök 1 som via ca 70 % reduktionsgrad kan valsas till specificerad brottsgräns. Inget annat av banden kan påvalsas till brottsgränsen 1 450 N/mm².

6.3.7 Inför fortsatt arbete

Efter utvärdering av genomförda försök tog LuCoils ledning beslutet att söka ett utgångsmaterial med ingående mekaniska egenskaper liggandes närmare slutprodukten. Praktiskt innebar detta att kundens krav på brottsgräns skulle kunna nås med en mindre påvalsning än tidigare. Dock var man låst till materialet CK 75 för slitstyrkan på sågbladets tänder.

Kontakt togs med SSAB i Borlänge för att utreda möjligheten att tillverka CK 75 band med högre hållfasthetsegenskaper än normalt. SSAB bekräftade att de genom snabbkylning av det varmvalsade bandet troligtvis kunde höja bandets brottsgräns från 940 N/mm² till 1 100 N/mm². Dock skulle minsta tjocklek vara 2 mm. Bandets bredd skulle bli 1200 mm.

För uppskattning av vilken reduktionsgrad som leder till brottsgränsen 1 550 N/mm² som kunden nu ökade kraven till, antog LuCoil att snabbkylt CK 75 deformationshårdnar på samma sätt som Hiloc EH [8].

Därför interpolerades deformationshårdnandekurvan för Hiloc EH uppåt, tills den nådde det snabbkylta CK 75 råbandets brottsgräns 1 100 N/mm² enligt diagram 4.

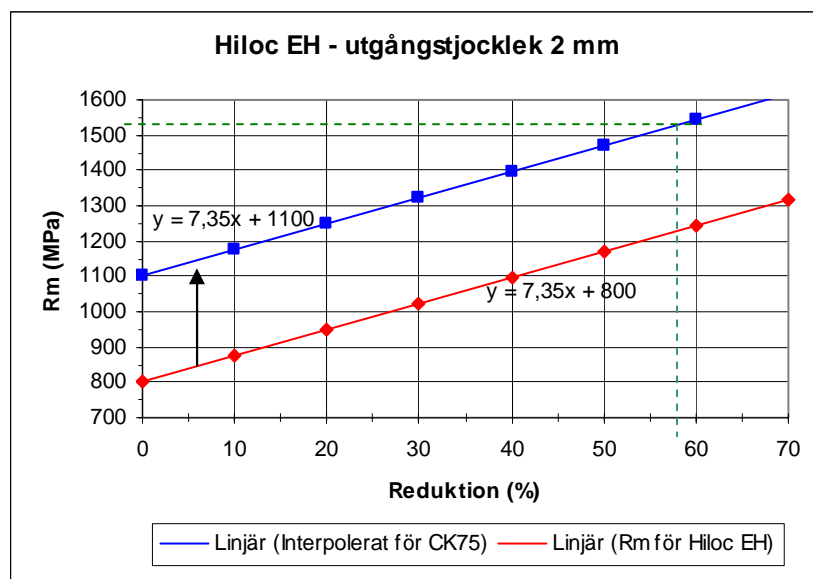


Diagram 4: Interpolering av Hiloc EH kurvan till ingående brottsgräns för snabbkylt CK 75

Enligt diagrammet leder ca 60 % reduktionsgrad till brottsgränsen 1 550 N/mm², vilket motsvarar en påvalsning från ca 2,0 mm bandtjocklek till 0,83 mm.

Här tar mitt examensarbete vid med fortsatta undersökningar av både valsningsteknik samt materialegenskaper för detta nya CK 75 band. Målet med undersökningen är att den ska leda till en metod att valsa bandet till rätt slutegenskaper för kundens sågblad. Dessutom ses det gamla valsverket och dess brister över i undersökningen och förslag på förbättrande åtgärder ges.

7 Metod för undersökningen

För att utreda lämpligt tillvägagångssätt för kommande valsning av detta nya snabbkylda och mycket hårda CK 75 band, har undersökningen delats in i en valsningsteknisk samt en materialteknisk del. Den valsningstekniska delen tar både upp vilka krav som ställs på valsverket vid speciellt valsning av höghållfasta stål, samt hur valsningen av just stålqualiteten CK 75 bör genomföras. Den materialtekniska delen tar upp CK 75 materialets egenskaper, samt hur man kan försöka påverka dessa för ett bra valsresultat.

8 Valsningsteknisk del - Valsverket

Vid dagens valsning av mjukare stålqualiteter förekommer generellt inga problem hos LuCoil. Det är vid valsning av hårda höghållfasta stål som problem kan uppstå. Orsakerna till valsproblemen ligger dels i brister hos det relativt gamla valsverket, samt dels i att materialen är svåra att bearbeta.

Sendzimirverk med små arbetsvalsar kräver generellt en hög bandspänning för ett bra valsresultat. Desto hårdare material som valsas, desto större bandspänning krävs. Eftersom LuCoils valsverk egentligen är konstruerat med avseende på valsning av mjuka material, uppstår det ibland problem beroende på otillräcklig bandspänning vid valsning av höghållfasta stål.

8.1 Tidigare forskning av LuCoil

Eftersom LuCoil är väl medveten om valsverkets bristande dragkraft, har det tidigare gjorts viss forskning om hur bandets dragkraft kan ökas eller hur bristen på dragkraft kan kringgås.

8.1.1 Ökning av befintlig dragkraft

Enligt ett gammalt och ej dokumenterat kostnadsförslag från ABB, ska kostnaden för ökning av dragkraft på bandet vara ca 1 miljon kronor per haspelmotor. Tyvärr går det inte att få fram om kostanden avser nya starkare motorer eller ändring av utväxlingar. Förfrågan hos tidigare chefer på LuCoil vad uppgraderingen avser har ej gett resultat. Här kan ny kontakt med ABB vara lämplig.

8.1.2 Kringgående av bristen på dragkraft

LuCoil har tillsammans med Mefos gjort en studie om det finns sätt att kringgå valsverkets bristande dragkraft [9]. I korthet kom man fram till att bristande bandspänning påverkar bandformen negativt och leder ofta till ”revbensmönster” på bandet.

Enligt studien kunde problemet till viss del kringgås genom dels valsning av smalare band som leder till en relativt ökad bandspänning, samt dels genom slipning av två taperingar på konerna till de i sidled justerbara mellanvalsarna.

Dock medförde dessa så kallat dubbelkonade mellanvalsar andra problem istället. De fungerade bara i inledande stick, vartefter de var tvungna att byts ut till ordinarie mellanvalsar igen inför fortsatt valsning. Annars skapades planhetsproblem med kvartsbucklor på bandet. Normalt sett byts annars inte mellanvalsarna ut under pågående valsning.

Eventuellt kan vidare forskning för lämplig slipning av mellanvalsarnas dubbelkoner leda till förbättrat resultat, men detta kräver ytterligare försök.

8.2 Kontakt med Sendzimir Inc.

För undersökning av möjliga uppgraderingar till LuCoils ålderstigna Sendzimir ZR 22B – 42 valsverk, togs kontakt med tillverkaren T. Sendzimir Inc. i USA. Problemen med valsning av höghållfasta stål beskrevs samt kompletterades senare med bilder av både valsverk och valsning.

Frågeställningen hänvisades vidare till John Turley, som är Vice President inom Engineering and Research. Under dialogen med John Turley framkom det att han tidigare besökt Luleå både 1963 samt kring 1990 och var bekant med LuCoils valsverk. Vidare har Turley även haft en dialog med Curt Andersson på LuCoil angående vissa valsverksproblem under åren 1991 – 1995.

8.2.1 Svar från John Turley angående förslag på åtgärder

Under korrespondensen beskrev Turley det drygt 40 åriga valsverkets egenskaper och prestanda, samt granskade den dokumentation han hade över åtgärder utförda i LuCoils valsverk. Han gav även tips på förbättringar av samt uppgraderingar till valsverket.

Eftersom valsning i höghållfast stål många gånger kan liknas vid valsning i rostfritt stål, har prestanda i LuCoils valsverk jämförts med prestanda i valsverk avsedda för rostfria stål.

Vid jämförelserna har Turley utgått från data gällande Sendzimirverk avsedda för 50 tums breda rostfria band. Därför har prestanda för LuCoils valsverk avsett 42 tums band interpolerats upp till motsvarande prestanda för 50 tums band för korrekt jämförelse.

Fullständiga svar av korrespondensen med John Turly från Sendzimir Inc. finns i bilagorna 1 – 12.

8.2.2 Valsverket

Turley uppger att LuCoils ZR 22B-42 Sendzimirvalsverk egentligen är konstruerat för valsning av mjuka kolstål med motorer designade därefter. Dock är valshuset av standardmodell och så pass solitt att det klarar valsning av höghållfasta material upp till 2 000 N/mm² i sträckgräns.

Verket har två valsmotorer på vardera 1 350 kW, vilket innebär totalt 2 700 kW eller 3 620 hk i valsmotoreffekt. Den högsta valshastighet som LuCoils verk klarar av med maximalt vridmoment är 315 m/min.

Omräknat fås en specifik valseffekt genom att dividera 2 700 kW med 315 m/min, vilket motsvarar effekten 8,57 kW per m/min. Interpolering av denna effekt beräknat utifrån LuCoils 42 tums bandbredd till motsvarande effekt för 50 tums band skulle bli 10,7 kW per m/min.

Jämförelsevis har äldre valsverk avsedda för 50 tums rostfria band en specifik effekt på 12,23 kW per m/min.

Slutsatsen av ovanstående beräkningar är att kraften i valsmotorerna med all sannolikhet inte är begränsande för LuCoils valsningar i höghållfasta stål. Detta eftersom de har en effekt nästan i nivå med valsmotorer i valsverk avsedda för hårda rostfria stål.

Dock har det ibland förekommit att de gamla befintliga valsverksmotorerna blivit defekta och tappat kraft, vilket kan behöva kontrolleras.

8.2.3 Hasplarna

Enligt Turley's dokumentation för LuCoils valsverk så levererar varje bandhaspel en maximal dragkraft på 19,3 ton. Återigen interpolering av dessa 19,3 ton vid 42 tums bandbredd till motsvarande dragkraft för 50 tums breda band skulle bli 24 ton.

Jämförelsevis har äldre valsverk avsedda för 50 tums rostfria band en dragkraft kring 40 ton och nyare valsverk för rostfria band har en dragkraft kring 45 ton.

Slutsatsen blir att för valsning i höghållfast stål levererar haspelmotorerna i LuCoils valsverk alldeles för liten banddragkraft med sina 19,3 ton. Egentligen borde motorerna leverera minst 30 – 35 tons dragkraft.

Turley säger att även de ålderstigna haspelmotorerna bör kontrolleras så att de inte är defekta och därigenom saknar kraft.

8.2.4 Ökning av haspelkraft

Eftersom befintliga haspelmotorer är alldeles för svaga vid valsning av höghållfasta material, ger Turley följande förslag på åtgärder:

1. Kontrollera med ABB som levererar haspelmotorer vad som kan göras för att öka befintlig dragkraft.
2. Eventuellt kan Sendzimir Inc. erbjuda haspelmotorer av äldre modell som är 20 – 30 % starkare än befintliga, vilket skulle innebära 23 – 25 tons dragkraft.

Innan montering av starkare motorer sker bör kontrollberäkningar göras för att undersöka om växellådorna håller för den ökade belastningen. Dessa beräkningar kan Sendzimir Inc stå till tjänst med.

3. Ändra utväxlingsförhållandet i verket. Detta skulle ge en ökad dragkraft på bekostnad av valshastigheten. Eftersom förhållandet är proportionellt innebär det att 20 % sänkt valshastighet ger en ökning av valsmotorkraften med 25 %.

Maximal hastighet i valsverket är 315 m/min vid full effekt. Dock valsas sällan hårda effektkrävande material vid högre hastigheter än 100 m/min hos LuCoil.

Vid sänkning av maximal valshastighet från 315 m/min till 250 m/min skulle befintlig dragkraft öka med 26 % till 24 ton.

Alternativt skulle en sänkning av hastigheten från 315 m/min till 200 m/min öka befintlig dragkraft med 57 % till 30 ton.

8.2.5 Förbättringsförslag och uppgraderingar

Eftersom LuCoils valsverk är gammalt kan vissa saker behöva ses över och eventuellt uppgraderas på grund av slitage eller dålig konstruktion. Dessutom har det utvecklats ny teknologi sedan verket byggdes 1961.

Turley's förslag på åtgärder är baserade utifrån dokumentation av LuCoils verk tillsammans med konstruktionsritningar samt foton av verket. Dock önskade jag mer detaljerad information samt priser gällande vissa uppgraderingar, men denna information uteblev.

8.2.6 Modernare hasplar

I LuCoils valsverk sitter det bandhasplar av Triple Solid Pyramid typen. För valsning av höghållfasta material med höga bandspänningar rekommenderar Turley starkt en uppgradering till modernare Reverse Pyramid hasplar. Detta eftersom Reverse Pyramid hasplarna bättre ska motstå extremt höga bandspänningar.

Någon information varför den nya haspeln är bättre erhöles inte, men antagligen kollapsar inte haspeln lika lätt av hårt lindade bandvarv, samt klarar dessutom av både högre bandspänning och högre bandvikt utan att svikta.

Namnet reverse pyramid beror av att axelns pyramidformade tapering vänd åt motsatt håll jämfört tidigare, enligt bild 16.

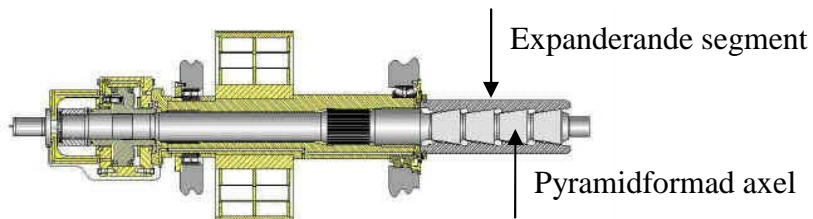


Bild 16: Den nyare haspeln av modell Reverse pyramid [1, 4]

8.2.7 Shapemeter

En shapemeter är en brytrulle indelad i segment som avläser spänningsfördelningen tvärs bandet när det passerar över rullen och därigenom talar om hur bandformen ser ut. Resultatet visas som staplar över eller under en horisontell neutrallinje i en dataskärm, enligt bild 17.



Bild 17: Exempel på en shapemeters avläsning av spänningsfördelningen i ett band [1, 4]

Exemplet i bild 17 visar ett band med bland annat långa kanter och en kort mittzon enligt de röda staplarna. Utifrån shapemeterns avläsning kan sedan dålig bandform korrigeras genom antingen bomberingsjustering eller koninställning [1, 4].

Utan shapemeter är normalt sett bandets verkliga form omöjlig att se under valsning på grund av den höga bandspänningen som sträcker ut bandet. För att i dagsläget kontrollera bandformen utan shapemeter använder operatörerna två metoder:

1. Visuell kontroll av bandets planhet efter att valsningen stoppats upp och bandspänningen släppts vid inledningen av ett stick
2. Genom att slå på bandets kanter med en träpinne under inledande valsning och lyssna på klangen. Denna metod anses inte vara tillförlitlig vid bandtjocklekar över 1,5 mm [4].

En shapemeter anses av både Turley och LuCoils operatörer vara en nödvändighet i valsverket, speciellt vid valsning med höga bandspänningar och svåra material.

Sendzimir Inc. ska nyligen ha utvecklat en kompakt, underhållsvänlig och enligt deras utsago relativt billig shapemeter som kan eftermonteras i Sendzimirvalsverk. För reversibla verk monteras vanligtvis en shapemeter på varje sida, strax innanför respektive brytvals enligt ritningsskiss i bilaga 7.

8.2.8 Axiell mellanvalsjustering

Dagens system för justering av mellanvalsarnas position via hydrauliska motorer samt kedjor borde ersättas med modernare direktverkande servostyrda hydrauliska cylindrar, enligt Turley

Det gamla systemet har för mycket inbyggt glapp samt anses inte tillförlitligt nog. Dessutom har det inte tillräcklig kraft för justering av mellanvalsarna under drift och kan inte kopplas till eventuell automatisering.

Istället skulle en hydraulisk cylinder styra de två övre mellanvalsarnas position, samt ytterligare en cylinder styra de två nedre via ett så kallat push-pull system. Detta skulle leda till tillräcklig kraft att justera mellanvalsarna under drift, bättre precision, mer tillförlitlighet, mindre underhåll samt möjlighet till att styra mellanvalsarna via automatik.

8.2.9 Bomberingsjustering

Dagens befintliga system med motorer som via skruvjustering styr stödvalsarnas bomberingsinställning, borde även här bytas ut mot styrning via direktverkande servostyrda hydrauliska cylindrar.

Via de hydrauliska cylindrarna skulle snabb och precis bomberingsjustering erhållas, jämfört med dagens domkraftsliknande mekaniska skruvjustering. Detta skulle leda till förbättrad kontroll av bandformen, oavsett om den sker manuellt av operatörerna eller via automatik

8.2.10 Mill Management System - MMS

Sendzimirs Mill Management System är programvara som genererar stickscheman. Kostnaden för basversionen är \$ 15 000 och i priset ingår ett års support. Större och dyrare versioner kan dessutom via automatik styra valsningen.

Programvaran genererar optimerade stickscheman med avseende på valsverkets prestanda och materialets egenskaper. Valskraften balanseras mellan sticken för jämn och bra bandform via endast små justeringar av valsspalten. Maximal reduktion och hastighet vid varje stick ger hög produktivitet.

Med hjälp av ett MMS – program skulle operatörerna dessutom slippa gissa sig fram vid utveckling av nya stickscheman. Även inläring av ny personal underlättas via automatiskt framtagna stickscheman innehållande alla valsparametrar som behövs för valsningen.

En mera utförlig beskrivning av MMS - programmet finns på Sendzimirs hemsida [1]. Ifall referenser till programvaran önskas finns en användarlista i bilaga 5.

8.2.11 Ombyggnation av området kring brytvalsarna

Turley förespråkar starkt för en ombyggnation av det trånga och begränsade området kring brytvalsarna för in- och utgående band i valsverket. Enligt Turley finns i dagsläget knappt plats för en tjockleksmätare mellan bandavstrykaren och brytvalsens.

Han föreslår därför en ombyggnation där brytvalsarna flyttas ut en bit från valsverket mot hasplarna för att ge bättre plats. Denna tillkomna plats skulle sedan kunna nyttjas till bland annat montering av en shapemeter, tillsammans med tjockleksmätare, bandavkapare samt bandavstrykare. Till ombyggnadsförslaget bifogar han en ritningsskiss som finns i bilaga 7.

8.2.12 Stödvalsager

Enligt Turley's dokumentation verkar det som att ett spraysystem installerats 1971 för smörjning av stödvalsarnas lager. Denna lösning anser Turley inte vara bra, såvida inte stödvalsarnas lager är av *shoulder type* utan *thrust washers*.

Orsaken är att ett spraysystem inte klarar av att smörja *thrust washers* tillräckligt bra. Detta bör eventuellt undersökas vid service av stödvalsarna.

8.2.13 Sviktande hasplar

Vid valsning med tunga bandrullar samt höga dragspänningar har LuCoil problem med att hasplarna sviktat så att hasplarnas kragbultar utmattas och till slut går av. Dessutom kan eventuellt bandets centrering påverkas om haspeln sviktat.

För att lösa detta rekommenderar Turley att horisontella stöd monteras mellan hasplarna och området kring brytvalsens. Någon närmare beskrivning på hur ger han inte.

8.2.14 FSBA och SIR

Ett uppgraderingsförslag som bara kort nämnts av Turley är FSBA och SIR. Detta står för Flexible Backing Assemblies samt Segmented Idler Roll och är utvecklat för att ge ökade justermöjligheter av valsspalten samt därigenom bättre kunna påverka bandprofil och speciellt kvartsbucklor [1]. Systemet är speciellt användbart vid automatisk styrning av bandformen via en shapemeter. Dock är denna uppgradering inget Turley i första hand rekommenderade, utan något som fanns som framtida uppgradering.

Med FSBA menas att de två översta stödvalsarnas axlar där de justerbara excentriska lagren sitter, är tillverkad i ett mer flexibelt material än tidigare. Detta gör att axeln lättare kan följa inställningarna från de excentriska lagrens förskjutningar och därigenom ge en mer anpassad tryckfördelning på underliggande mellanvals, utan att bilda skarpa kanter och spänningskoncentrationer enligt bild 19.

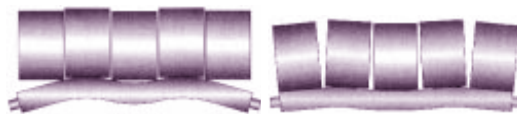


Bild 18: Tryckfördelning från de excentriska stödvalsagren på underliggande mellanvals via stum stödvalsaxel till vänster och flexibel axel stödvalsaxel till höger [1]

Med SIR menas att den mittersta mellanvalsens direkt under de flexibla stödvalsarna är tillverkad i segment för att också vara flexibel, enligt bild 19. Detta leder till att de ovanliggande flexibla stödvalsarnas kraft och inställningar mycket bättre överförs genom den segmenterade stödvalsens ner till arbetsvalsarna, vilket ger större kontroll av valsspalten och därigenom även bandformen.

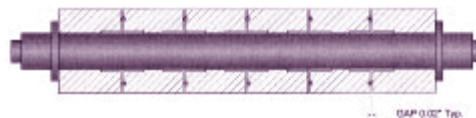


Bild 19: Segmenterad mellanvals som lättare överför ovanliggande stödvalsars tryckfördelning ned till arbetsvalsarna och bandet [1]

8.2.15 Alternativt ersättningsmaterial till CK 75

Turley nämner i samband med svårigheterna att valsa högkolhaltiga stål som CK 75 med mer än 50 % i reduktionsgrad, att det finns en ny typ av kolstål som har sfäroidisk mikrostruktur istället för perlitolameller och därför är mer duktilt och lättvalsat. Detta stål ska kunna påvalsas över 80 % efter glödning och användas bland annat av företaget Westig i Tyskland.

9 Valsningsteknisk del – Valsförsök 1 med CK 75

Vid kontakten med John Turley på Sendzimir Inc. önskade jag som demonstration av MMS – programmet ett stickschema till kommande CK 75 valsning. Eftersom det fanns intresse för inköp av MMS till LuCoil, var nyfikenheten stor att få se hur bra denna programvara fungerade.

9.1 MMS Stickschema till valsningförsök 1

Turley försågs därför med data över föregående försöksvalsning av CK 75, samt informationen att kommande valsning gäller ett hårdare kylt CK 75 band med följande egenskaper:

Uppskattad ingående brottsgräns:	1 100 N/mm ²
Bredd:	900 mm
Ingående tjocklek:	2,00 mm
Sluttjocklek:	0,83 mm
Uppskattad slutlig brottsgräns:	1 550 N/mm ²

Eftersom LuCoil saknade deformationshårdnandekurvor till det nya CK 75 bandet genererade Turley istället stickschemat utifrån BISRA:s deformationshårdnandekurva för stål med 0,81 % C, enligt kurva 6 i bild 13. Det MMS – genererade stickschemat ses nedan i tabell 3.

Tabell 3: Stickschemat genererat med Mill Management System för CK 75

Stick	Tjocklek (mm)	Reduktion (%)	Total reduktion (%)	Valshastighet (m/min)	Specifikt valstryck (kg/mm ²)	Bromskraft (kg)	Dragkraft (kg)	Dragspänning (kg/mm ²)	Specifik valskraft (kg/mm)	Forward slip (%)	Valseffekt (kW)	Total valskraft RSF* (ton)
1	1,72	14,0	14,0	110	75,6	3800	19300	12,5	243,6	3,83	382	219
2	1,50	13,0	25,2	455	94,6	19300	19300	14,3	255,3	0,58	1613	230
3	1,30	13,0	34,9	455	102,5	19300	19300	16,4	261,4	0,76	1538	235
4	1,16	10,7	41,8	455	108,7	19300	19300	18,4	238,4	0,93	1189	215
5	1,04	10,9	48,2	455	113,3	19300	19300	20,7	238,3	1,07	1144	214
6	0,92	11,3	54,0	455	117,4	19300	19300	23,3	236,4	1,23	1097	213
7	0,83	9,7	58,5	455	120,8	19300	19300	25,8	214,2	1,28	877	193

Granskning av det MMS – genererade stickschemat visar att det följer den valsteori som finns i The Sendzimir Manual med avseende på fallande reduktion, valskraft och valseffekt. Det fullständiga stickschemat innehöll ytterligare data som på grund av utrymmesskäl fick utlämnas här, men kan ses i bilaga 6.

För att kunna jämföra stickschemats valskrafter med valskrafterna i andra försöksvalsningar har sista kolumnen gällande total valskraft (RSF = Roll Separating Force) beräknats av mig i efterhand, enligt ekvation (19):

$$RSF = \frac{\text{Specifik Valskraft} \cdot \text{bredd}}{1000} \quad (19)$$

9.2 Råbandet

När det snabbkylda CK 75 bandet anlände till LuCoil från SSAB Borlänge höll det inte utlovade mekaniska egenskaper enligt medföljande provningsintyg. Orsaken var något otillräcklig kylning vid tillverkningen. Målvärdet vid kylningen låg på 570 C, medan den

verkliga temperaturen hade legat aningen högre vid 590 – 600 C. Råbandets bredd låg på 1 200 mm.

För att kunna följa upp hela valsningsförsöket gjordes en noggrann undersökning av råbandets mekaniska egenskaper. Undersökningen utfördes på halva rullen och resultatet visas nedan i tabell 4:

Tabell 4: Undersökning av CK 75 råbandets mekaniska egenskaper

Mätposition längs bandet	Re0,2 (N/mm2)	Rm (N/mm2)	A_80 (%)	HV
<i>Leveransdata SSAB</i>	<i>604</i>	<i>972</i>	<i>A_5D = 21</i>	-
0 meter	-	993	7	292
0 meter	-	996	7	-
10 meter	-	972	11	-
10 meter	-	985	11	-
20 meter	-	960	11	-
20 meter	-	963	11	-
30 meter	-	966	11	-
30 meter	-	968	11	-
258 meter	-	959	9	288
258 meter	-	961	9	-

Mätresultaten i tabell 4 bekräftar SSAB Borlänges uppmätta brottsgräns. Eftersom samtliga uppmätta brottsgränser ligger drygt 100 N/mm² under utlovade 1 100 N/mm², borde även bandets slutliga brottsgräns efter valsning påverkas.

9.3 Valsningsförsök 1

Vid försöket valsades bara halva råbandsrullen, vilket gav möjlighet till ytterligare ett kommande valsningsförsök. Inför valsningen slittades bandet ned till bredden 900 mm.

Dock så fungerade inte alls det Sendzimirgenererade stickschemat, som under valsningens gång successivt modifierades till stickschemat nedan i tabell 5.

Tabell 5: Stickschemat som skapades vid försöksvalsning 1 av CK 75

Stick	Tjocklek (mm)	Red (%)	Total red (%)	Tryck (kN)	Amp (kA)	Broms (kN)	Drag (kN)	A-vals	Koninst. (mm)	RSF* (ton)
1	1,80	10,0	10,0	165	0,80	100	193	0,07+ Cyl	600 / 500	336
2	1,60	11,1	20,0	160	0,80	185	193	0,07+ Cyl	600 / 500	326
3	1,40	12,5	30,0	170	1,00	185	193	0,07+ Cyl	570 / 530	347
4	1,20	14,3	40,0	165	0,90	185	193	0,07	570 / 530	336
5	1,06	11,7	47,0	140	0,75	193	193	0,07	650 / 500	285
6	0,94	11,3	53,0	160	0,65	193	193	0,07	650 / 500	326
7	0,84	10,6	58,0	155	0,60	193	193	0,07 Bläst	650 / 550	316
8	0,83	1,2	58,5	65	0,10	193	193	0,07 Bläst	740 / 700	132

Noteringar till stickschemat:

Mellanvals: 450 mm enkelkona, tapering 1,2 µm/mm

Stick 1 – 6: Vanliga arbetsvalsar

Stick 6 – 7: Hårda snabbstålvalsar som dessutom var blästrade för grövre ytjämnhet

Valsningen startade med två cylindriska arbetsvalsar och en bromskraft på 18,5 ton, istället för enligt Turley's schema angivna 3,8 ton. Eftersom verket inledningsvis slirade stoppades

valsningen direkt, enligt bild 20. För att undvika slirning sänktes bromsen till 10 ton samtidigt som reduktionen minskades. En av de cylindriska arbetsvalsarna ersattes med en 0,07 mm bomberad för att kompensera kantlångheten. På grund av dessa inledande problem frångicks Turley's schema helt inför fortsatt valsning.



Bild 20: Verket stoppat pga. slirning under stick 1



Bild 21: Bandform efter stick 1

Bandformen blev fortsatt mycket dålig med kantlånghet på speciellt verkets baksida, samt även mittlånghet, enligt bild 21 till 23. Under samtliga efterföljande stick försökte därför bandformen korrigeras successivt utifrån resultatet i föregående stick.



Bild 22: Bandform efter stick 3



Bild 23: Bandform efter stick 4

Vid 5:e stick och 47 % reduktion började problem med bandbrott. Detta stämmer bra med Turley's teorier att högkolhaltiga band är svåra att valsa med över 50 % reduktion. Fortsatt valsning ledde till än mer bandbrott enligt bild 24 och synliga kantsprickor på bandet enligt bild 25, vilket också bekräftar Turley's teorier.

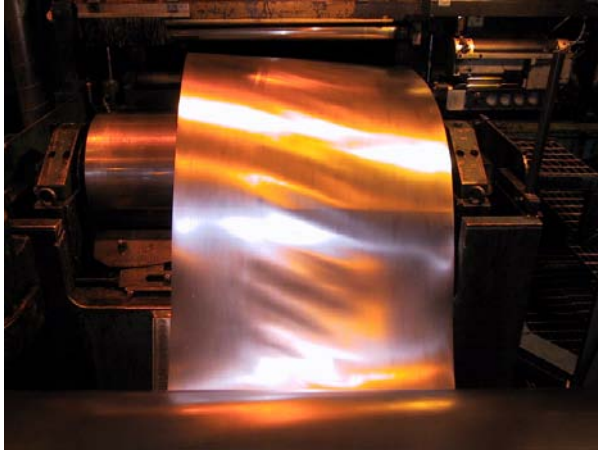


Bild 24: Bandform vid bandbrott under stick 6

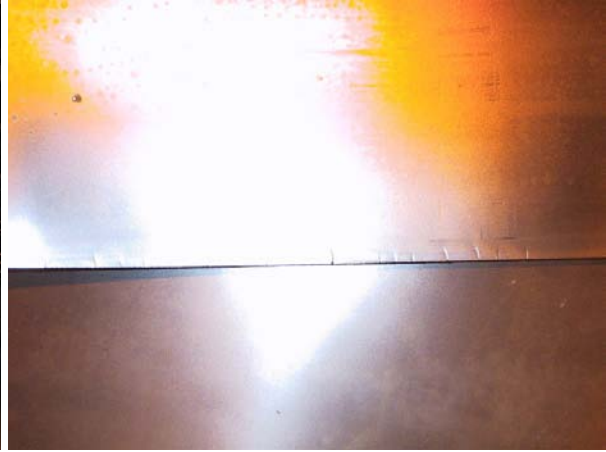


Bild 25: Kantsprickor vid bandbrott under stick 7

Från 6:e stick och framåt uppstod dessutom revbensmönster på bandet, som normalt beror av otillräcklig bandspänning. Detta kan ses i bild 24 och 26



Bild 26: Bandform efter stick 7



Bild 27: Band till provtagning efter sista stick 8

Avslutningsvis gjordes ett så kallat finstick med mycket liten reduktion. Finsticket har tidigare visat sig kunna göra underverk på dålig bandform. Dock uppstod ytterligare bandbrott under finsticket och operatörerna avbryter till slut försöksvalsningen.

Trots totalt 9 stycken bandbrott erhöles en liten sträcka färdigvalsat band, enligt bild 27. På detta band gjordes undersökning av både hållfasthet samt återfjädring av plåtar utklippta som sågblad. Dock uppvisar bandet tydliga kantsprickor.

9.4 Slutliga mekaniska egenskaper

Efter valsningen gjordes undersökning av bandets mekaniska egenskaper. Resultaten finns i tabell 6 och visar på höga brottgränser, trots att bandets ingående brottgräns låg strax under 1 000 N/mm², istället för vid utlovade 1 100 N/mm².

Tabell 6: CK 75 bandets mekaniska egenskaper efter 58,5 % reduktionsgrad

Mätning på bandet	Rm (N/mm ²)	A ₈₀ (%)	Ra (µm)	HV
Längs	1454	2	0,28	426
Längs	1461	2	0,40	-
Tvårs	1337	5,3	-	-
Tvårs	1347	5,3	-	-

Enligt tabellen uppnår bandet denna gång en brottsgräns motsvarande kundens tidigare kravspecifikation 1 450 N/mm², men däremot inte önskade 0,80 µm i ytjämnhet med blästrade arbetsvalsar.

Trots den höga brottsgränsen sker plasticering av plåtar utklippta till sågbladsform längs valsriktningen vid praktiska böjprov. Tvärs valsriktningen är återfjädringen däremot mycket bättre. Det innebär att det valsade bandet ej uppfyller kundens krav på mekaniska egenskaper. Därför krävs det fortsatta försök för att hitta rätt valsningsteknik, så att bandet kan valsas till både bra bandform och rätt mekaniska egenskaper utan att bandbrott sker.

10 Materialteknisk del

Med bakgrund i föregående misslyckade valsningsförsök med upprepade bandbrott och dålig bandform söktes nya lösningar. Dessutom höll ej provbitar utklippta i sågbladsform måttet rent praktiskt, trots att dragproverna visade på tillräckligt hög hållfasthet.

Detta otillfredsställande resultat ledde vidare till forskning hur CK 75 materialets egenskaper kunde påverkas i syfte att underlätta och förbättra valsningen. Kontakt togs med Esa Vuorinen på Luleå Tekniska Universitets Materialavdelning för tips på fortsatt arbete. Åtgärder som skulle föra valsningen framåt söktes inför kommande försök med kvarvarande CK 75 band.

10.1 Undersökning av CK 75 bandets egenskaper

Samtal med Esa och uppvisande av tidigare valsat material tillsammans med kundens kravspecifikation, resulterade i nedanstående förslag på fortsatt arbete.

1. Eftersom det är så pass viktigt att inte plasticering sker av sågbladet vid böjning bör hänsyn tas till bandets sträckgräns, istället för brottsgräns som sker vid tillverkningen idag.

När sträckgränsen överskrids vid böjprov inträffar bestående plasticering av bladet. Därför bör det göras en beräkning av minsta nödvändiga sträckgräns för sågbladet.

2. Troligtvis har den kraftiga påvalsningen av detta hårda och högkolhaltiga stål skapat försvagande mikrosprickor i materialet, som i sin tur orsakar bandbrott vid valsning samt plasticering av sågblad under böjprov.

Därför bör det undersökas hur införandet av en återhämtningsslödning som mellansteg i processen påverkar materialet. Syftet med slödningen skulle vara att öka materialets duktilitet och därigenom materialets förmåga att kallbearbetas.

Försöket bör ge svar på lämplig slödningstid samt temperatur så att bandets mekaniska egenskaper i det längsta bibehålls och inte rekristallisation sker i materialet.

10.2 Experiment

Följande undersökningar är utförda på Luleå Tekniska Universitet och bygger på de tips Esa Vuorinen gett inför fortsatt arbete.

10.2.1 Beräkning av sågbladets minsta sträckgräns

Vid samtliga vals försök har LuCoil försökt uppnå kundens specificerade brottsgräns på bandet. Dock säger inte brottsgränsen något om när plasticering sker. Istället är det sträckgränsen på sågbladets yta som överskrids när sågbladet inte återfjädrar helt efter böjning.

Det finns i dagsläget ingen specifikation på hur stor böjning sågbladet bör klara, men utifrån jämförelser med vanligt tillverkade kundsågar uppskattades att bladet bör klara en böjning i U-form med en maximal böjradie på 125 mm.

För beräkning av den dragspänning som uppstår på sågbladets yta när det böjs i U-form med en radie på 125 mm utgicks från modellen i bild 28 nedan. Sågbladets tjocklek är 0,83 mm.

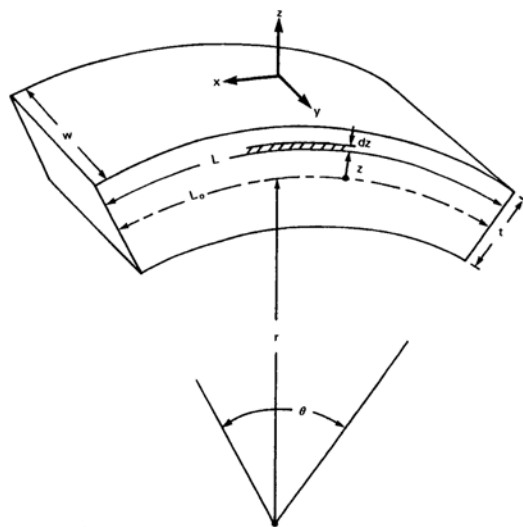


Bild 28: Beräkning av spänningar som uppstår vid böjning av plåt [2]

Spänningen i ett godtyckligt skikt på sågbladet med utgångspunkt från sågbladets neutrallager, kan approximeras med ekvation (20). Dock söktes dragspänningen i yttersiktet, där belastningen blir som störst vid böjprov.

Ekvation (20) som gäller under elastisk töjning kan härledas ur följande tre uttryck [2]:

$$\left. \begin{aligned} e_x &= \frac{L - L_0}{L_0} \\ L_0 &= r \cdot \theta \\ L &= (r + z)\theta \end{aligned} \right\} \sigma_x = E \cdot \varepsilon = E \cdot \frac{z}{r} \quad (20)$$

där ε_x = töjningen i ytterskiktets x – riktning
 σ_x = dragspänningen i ytterskiktets x – riktning
 L_0 = sträckan i bladets neutrallager med avseende på θ och r

L = sträckan i godtyckligt lager med avseende på θ och r
 r = radien mätt till neutrallagret
 z = höjd från neutrallagret till godtyckligt skikt på bladet
 θ = vinkel mellan radierna

Insättning av nedanstående värden ger den dragspänning som uppstår i bladets ytterskikt vid böjradien 125 mm. Så länge inte denna dragspänning överskrider bandets sträckgräns ska full återfjädring erhållas, förutsatt att materialet i övrigt är defektfritt.

$$\left. \begin{aligned} z &= \frac{t}{2} = 0,415 \text{ mm} \\ r &= 125 \text{ mm} \\ E &= 210\,000 \text{ N/mm}^2 \end{aligned} \right\} \sigma_x = 700 \text{ MPa} \quad (21)$$

Ett alternativt beräkningssätt är att anta plan deformation eftersom $w \ll t$, vilket ger [2]:

$$\sigma_x = \frac{z}{r} \left(\frac{E}{1-\nu^2} \right) \quad (22)$$

Insättning av tidigare värden ger: $\sigma_x = 766 \text{ MPa}$ (23)

Resultatet betyder att ett sågblad i felfritt material med sträckgräns på ca 700 – 766 N/mm² töjs inom det elastiska området och ska återfjädra fullt vid en böjradie ned till 125 mm.

10.2.2 Återhämtningsglödning

Nedan följer en kort förklaring av teorin till införandet av återhämtningsglödning.

Under kallvalsningen sker ett deformationshårdnande av bandet. Hårdheten samt hållfastheten ökar samtidigt som duktiliteten avtar. Bearbetningen leder till att materialet får en utvalsad struktur med mindre och plattare korn [5]. Detta kan ses i bild 29.

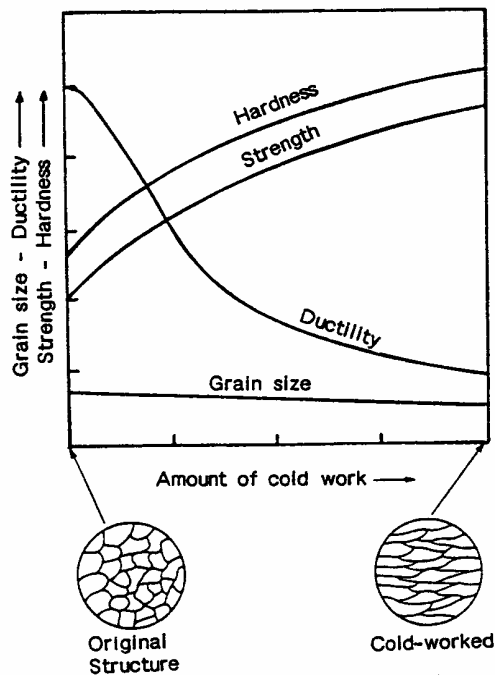


Bild 29: Hur kallvalsning påverkar materialet [5]

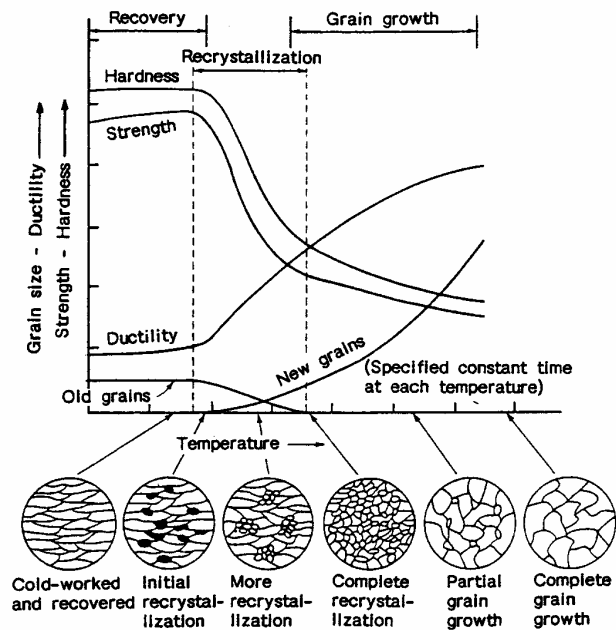


Bild 30: Hur glödning påverkar materialet [5]

Vid glödning av kallbearbetat material sker först återhämtning i materialet, sedan rekristallisation och till sist korntillväxt, enligt bild 30. Genom att hitta gränsen mellan återhämtning och rekristallisation skulle en ökad duktilitet kunna erhållas i bandet, utan att hållfasthetsegenskaperna påverkas i allt för stor utsträckning. Den ökade duktiliteten bör även leda till minskad risk för mikrosprickor i materialet.

Återhämtningens glödningen bör införas som mellansteg i valsningen innan problem med kantsprickor och bandbrott uppstår. Målet är att efterföljande slutvalsning ska gå att genomföra med bättre resultat, samt att sågbladet inte ska plasticeras vid böjprov.

Eftersom rekristallisationstemperatur beror både av materialets tidigare deformationsgrad samt kolhalt, bör därför lämplig glödningstid och temperatur utredas via laborieförsök [5].

10.2.3 Försök med återhämtningens glödning

Till undersökningen användes färdigvalsat CK 75 band från det senaste valsöversöket. Probstavar med måtten 250 x 20 x 0,83 mm klipptes ut längs valsriktningen och glödgades i olika intervaller. Därefter undersöktes mekaniska egenskaper samt mikrostrukturer och jämfördes med valsat men ej glödgat band.

10.2.4 Glödningen

Probstavarna glödgades parvis i temperaturerna 400 C, 450 C, 500 C samt 530 C, under tidsperioder på både 30 och 60 minuter. Dessutom gjordes i efterhand en kompletterande glödning i 600 C under tidsperioderna 30, 60 och 120 minuter. Efter glödning fick provstavarna svalna i rumstemperatur.

10.2.5 Tillverkning av provkutsar

Bitar från provstavarna för varje glödgningsintervall kapades bort. Bitarna göts sedan in i provkutsar så att ett tvärsnitt av bandet var synligt tvärs valsriktningen i kutsen, samt även en bit av bandets yta. Därefter slipades och polerades kutsarna inför mätning av hårdhet, samt etsades till sist med 2 % nitallösning inför undersökning av mikrostruktur.

Dessutom tillverkades en provkuts på LuCoil av ordinarie CK 75 råband i 2 mm tjocklek, som också deltog i undersökning av hårdhet och mikrostruktur.

10.2.6 Mätning av hårdhet

Bandets hårdhet i enheten Vickers (HV) uppmättes både i tvärsnittet av bandet samt på ytan. I tvärsnittet gjordes tre mätningar, vartefter medelvärde beräknades. På ytan gjordes bara en mätning. Hårdheten kontrollerades ej på alla glödgningsintervall, utan bara på vissa utvalda områden.

Vid mätningen användes en inträngande last på 500 gram. Hårdheten beräknades automatiskt av en Vickers mikrohårdhetsmätare utifrån intryckets storlek i proverna.

10.2.7 Dragprover

För att mäta hur återhämtningsglödningen påverkade bandets mekaniska egenskaper utfördes dragprover. Vid proverna mättes sträckgräns, brottgräns samt förlängning. Eftersom provstavarna glödgats parvis, kunde två dragprover utföras för varje glödgningsintervall för att därigenom säkerställa korrekta mätvärden.

Provstavarnas mätlängd var ca 138 mm. Dock användes varken extensiometer eller väl definierade provstavar med midja vid mätningen. Därför finns en viss osäkerhet i mätvärdena och då speciellt sträckgränserna. Dock ger resultaten en tydlig indikation hur de mekaniska egenskaperna påverkas i materialet vid återhämtningsglödning.

Samtliga mätvärden har beräknats automatiskt av dragprovstrustningen. Elasticitetsmodulen var satt till 206 000 N/mm².

10.2.8 Mikrostrukturer

Via optiskt mikroskop och förstoringarna 300, 600 samt 1 500 gånger, granskades bandets mikrostrukturer både innan och efter glödning. Syftet med denna undersökning var att bestämma vid vilken temperatur rekristallisation sker i materialet samt hitta eventuella invalsade defekter och urskilja förändringar i materialets struktur.

10.2.9 Provresultat

I tabell 7 nedan följer en sammanställning av undersökningens mätresultat från glödgningsförsöken av det 58,5 % påvalsade CK 75 bandet.

Eftersom inte tydlig rekristallisation framträtt i något av de glödgade proverna fram till 530 C, gjordes kompletterande glödgningsförsök vid 600 C i efterhand. På dessa senare försök har

dragprovning ej utförts. Mätvärden för råbandets ingående hållfasthet kommer från SSAB Borlänge och är medtagna för jämförelse. Dessa finns med kursiv stil i tabellens nedersta rad.

Tabell 7: Sammanställning av försöksresultaten efter återhämtningsslödning av valsat C75 band

Experiment	Rp0,1 (N/mm2)	Rp0,2 (N/mm2)	Rm (N/mm2)	Brotts- töjning (%)	HV (tvärsnitt)	HV (yta)
Påvalsat 58,5 %	995 971	1250 1233	1418 1410	3,77 3,16	412 -	389
400 C – 30 min	1036 1082	1229 1284	1362 1332	5,44 3,19	455	440
400 C – 60 min	1149 1151	1220 1221	1327 1335	5,15 5,11	- -	- -
450 C – 30 min	1102 1069	1176 1171	1265 1263	5,01 4,61	- -	- -
450 C – 60 min	1086 1084	1142 1143	1230 1241	5,56 5,14	430	428
500 C – 30 min	1030 1036	1060 1086	1133 1156	5,25 5,25	386	382
500 C – 60 min	997 1036	1058 1057	1124 1121	5,83 5,63	376	370
530 C – 30 min	1010 969	1042 1000	1079 1047	6,39 6,70	353	356
530 C – 60 min	946 948	971 967	1012 1008	6,70 6,84	358	357
600 C – 30 min	-	-	-	-	300	-
600 C – 60 min	-	-	-	-	291	-
600 C – 120 min	-	-	-	-	282	-
<i>Råband SSAB</i>	-	<i>604</i>	<i>972</i>	-	287	-

Ovanstående mätresultat visar att bandets hårdhet till en början stiger vid glödningen, för att sedan avta och till slut nå råbandets ursprungliga hårdhet efter glödning i 600 C. Detta tyder på att fullständig rekristallisation har skett i materialet.

Siffrorna för brottstöjningen visar att glödningen förbättrar bandets duktilitet, som var önskat. Samtidigt sjunker hållfastheten i takt med ökad glödning, för att till sist närma sig råbandets ursprungsvärden.

10.2.10 Kurvdiagram

För att tydliggöra mätresultaten plottades ett kurvdiagram som visar hur hårdhet samt brottstöjning påverkas av glödningstemperatur. För brottstöjningarna har medelvärdet av de två mätvärdena inom respektive glödningintervall använts.

Tabellvärdena har sedan sammanbundits via trendlinjer och kurvanpassats. Observeras bör att temperaturaxeln inte är linjär i diagrammet.

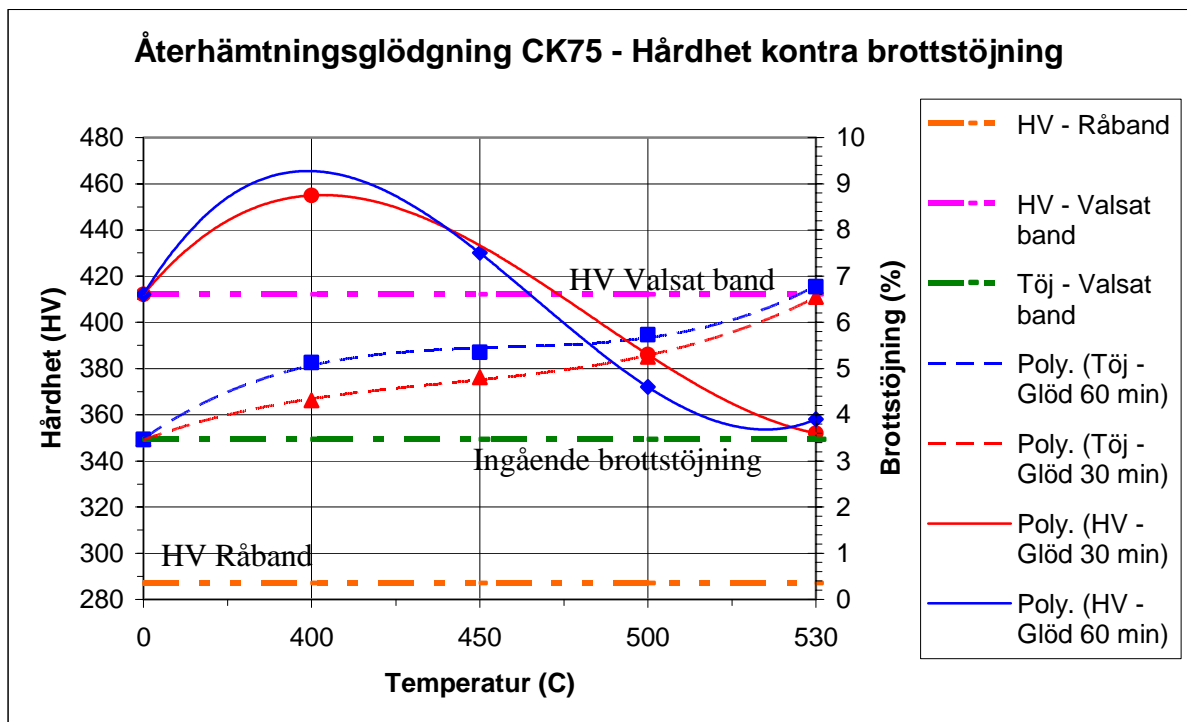


Diagram 5: Variation av hårdhet samt brottstojning beroende på glödningstid samt glödningstemperatur för CK 75 band med 58 % reduktionsgrad.

I diagrammet ses råbandets ingående hårdhet som understa heldragna linjen vid HV 287. Det färdigvalsade bandets hårdhet ses som översta heldragna linjen vid HV412. De två kurvorna med start i HV 412 visar hur bandet hårdhet förändras beroende på glödningstid och temperatur.

Diagrammet visar att bandets hårdhet inledningsvis stiger i början av glödningen, för att sedan successivt avta mot råbandets ursprungsvärden.

Brottstojningen för ej glödlat band ses som den mittersta heldragna linjen och den ökade duktiliteten beroende på glödningens storlek ses som de två stigande kurvorna från ingående brottstojning.

10.2.11 Dragprover

Nedan visas försökens dragprovscurvor, där två dragprover gjordes för varje glödningintervall. Mycket avvikande värden indikerar på att något gått fel under dragprovnigen. Samma skala har använts i alla diagram utom i sista diagram 9 och 10 med stora brottstojningar. Tjningarna är angivna i millimeter.

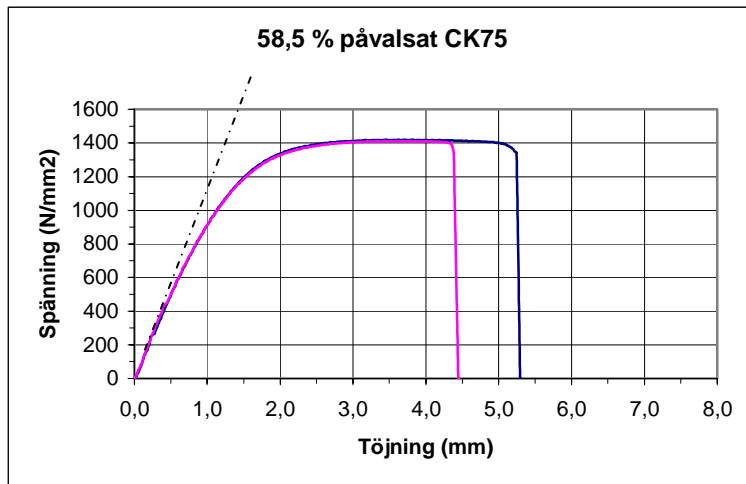


Diagram 6: Snabbkylt CK 75, reduktionsgrad 58,5 %. Observera dragprovskurvans tidiga krökning från en rät linje.

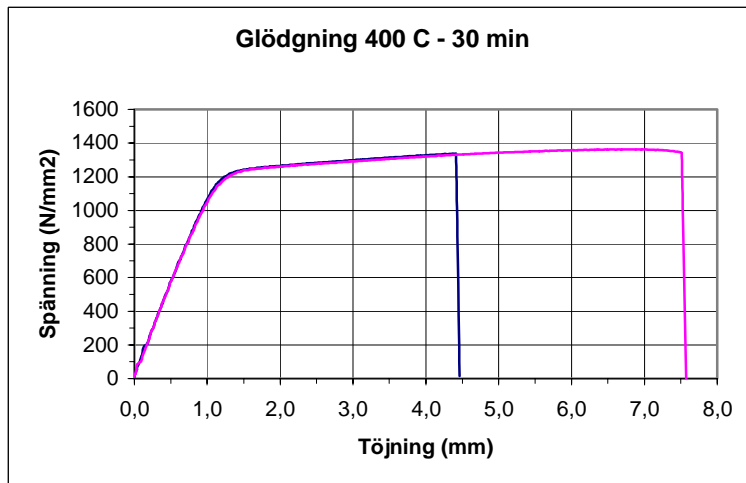


Diagram 7: Snabbkylt CK 75, reduktionsgrad 58,5 % samt glödning i 400 C under 30 minuter

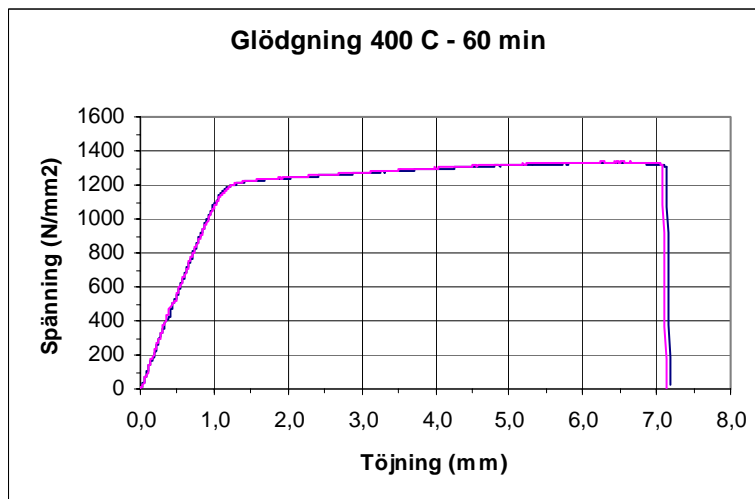


Diagram 8: Snabbkylt CK 75, reduktionsgrad 58,5 % samt glödning i 400 C under 60 minuter

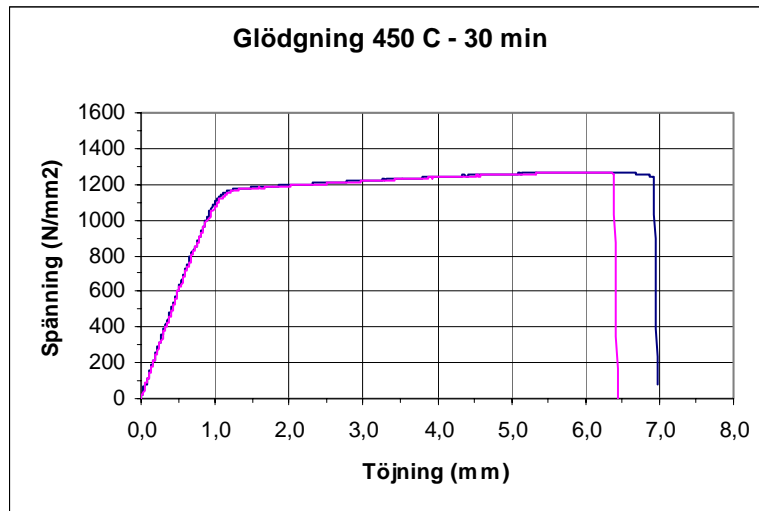


Diagram 9: Snabbkylt CK 75, reduktionsgrad 58,5 % samt glödning i 450 C under 30 minuter

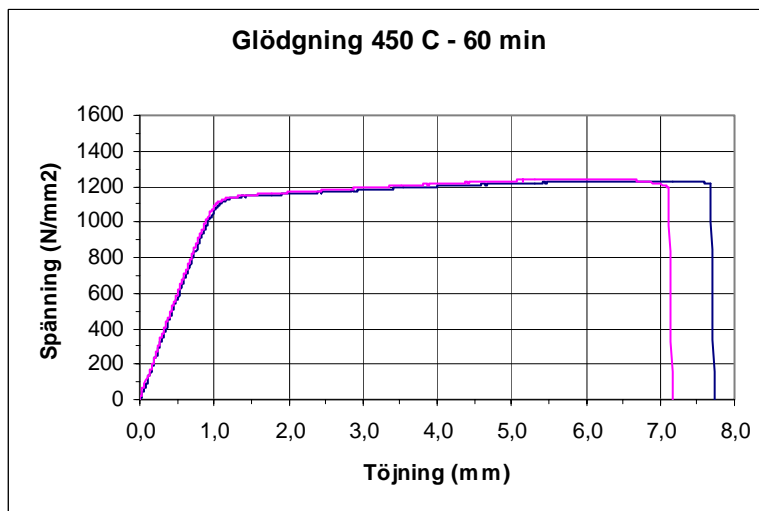


Diagram 10: Snabbkylt CK 75, reduktionsgrad 58,5 % samt glödning i 450 C under 60 minuter

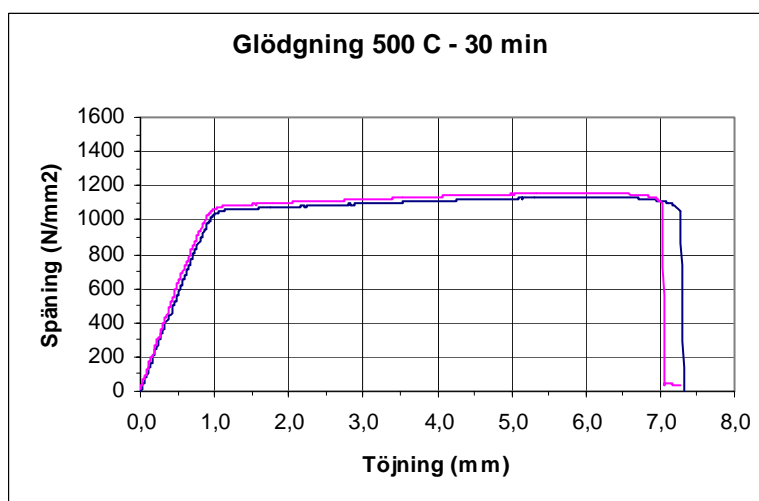


Diagram 11: Snabbkylt CK 75, reduktionsgrad 58,5 % samt glödning i 500 C under 30 minuter

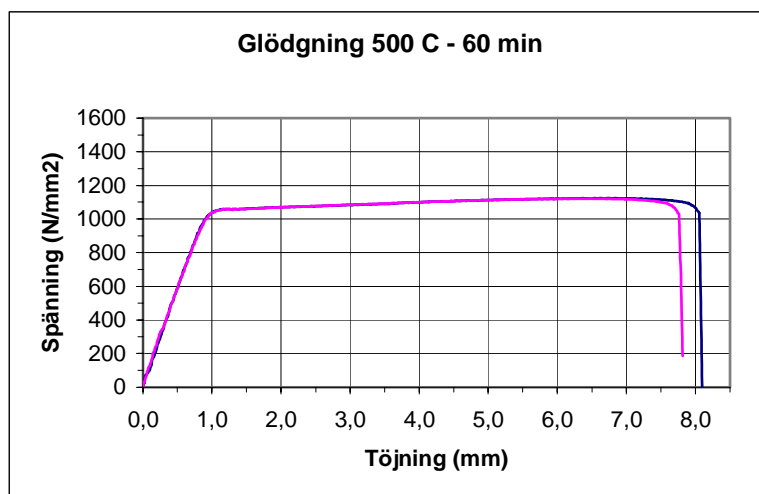


Diagram 12: Snabbkylt CK 75, reduktionsgrad 58,5 % samt glödning i 500 C under 60 minuter

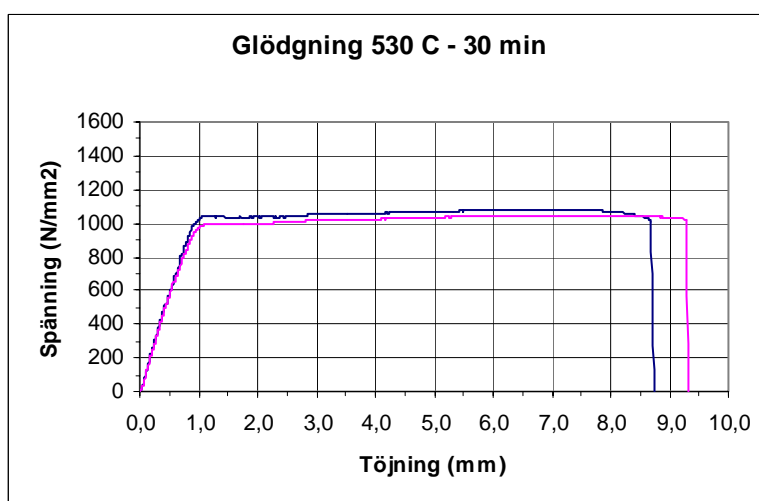


Diagram 13: Snabbkylt CK 75, reduktionsgrad 58,5 % samt glödning i 530 C under 30 minuter

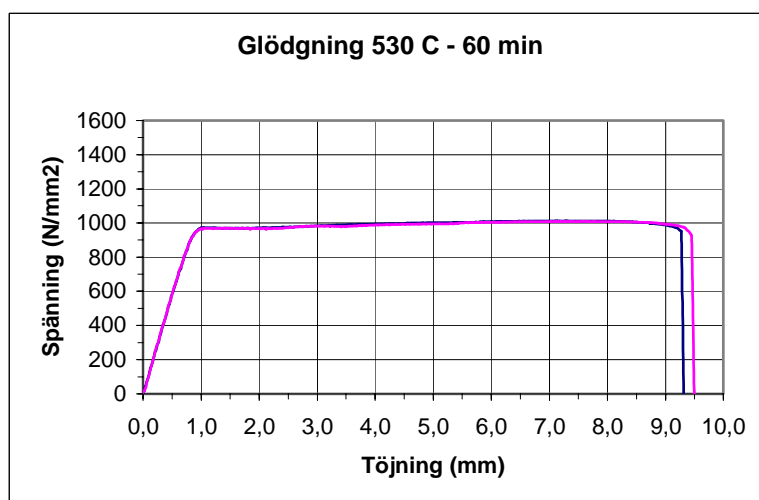


Diagram 14: Snabbkylt CK 75, reduktionsgrad 58,5 % samt glödning i 530 C under 60 minuter

Observera att dragprovskurvorna i diagram 6 för det påvalsade men ej glödgade CK 75 bandet kröker sig bort från en rät stigande linje relativt tidigt och därför skiljer sig från de övriga

förhållandevis linjärt stigande dragprovskurvorna för glödgade material. Varför detta sker och hur det påverkar sträckgränsen kan behöva utredas bättre.

10.2.12 Kompletterande försök

Trots att beräkningar visat att en sträckgräns på ca 700 N/mm² borde vara fullt tillräcklig för sågbladets återfjädring, plasticeras bladet med en sträckgräns omkring 1 250 N/mm² vid böjning.

Därför gjordes kompletterande mätningar, dels via dragprovning på LuCoil samt dels via noggrannare dragprovning utförd med riktiga provstavar och extensiometer av SSAB Tunnbrått i Borlänge. Samtliga prover är utförda på färdigvalsat CK 75 band. Nedan i tabell 8 följer en sammanställning av resultaten.

Tabell 8: Sammanställning av CK 75 bandets uppmätta mekaniska egenskaper

	Riktning	Rp0,2	Rm	A80
Enligt tidigare undersökning på Luth	Längs	1250	1418	-
Enligt tidigare undersökning på Luth	Längs	1233	1410	-
LuCoil (Rp0,2 framtagen manuellt från Rm-kurva)	Längs	1366	-	2
LuCoil (Rp0,2 framtagen manuellt från Rm-kurva)	Längs	1327	1430	2
SSAB Tunnbrått, Borlänge	Längs	1353	1453	4
SSAB Tunnbrått, Borlänge	Längs	1346	1458	3
SSAB Tunnbrått, Borlänge	Tvärs	1034	1334	3
SSAB Tunnbrått, Borlänge	Tvärs	1028	1350	4
SSAB Tunnbrått, Borlänge	Tvärs	1041	1350	4
SSAB Tunnbrått, Borlänge	Tvärs	1046	1348	6
SSAB Tunnbrått, Borlänge	Tvärs	964	1336	5

Den kompletterande undersökning bekräftar tidigare resultat och visar att bandets sträckgräns längs med valsriktningen ligger omkring 1 300 N/mm², vilket nästan är dubbelt mer än nödvändiga 700 N/mm² enligt beräkningar.

10.2.13 Dragproverna från SSAB Borlänge

Nedan följer dragprovskurvorna från SSAB Tunnbrått's kompletterande mätningar av mekaniska egenskaper för det valsade CK 75 bandet.

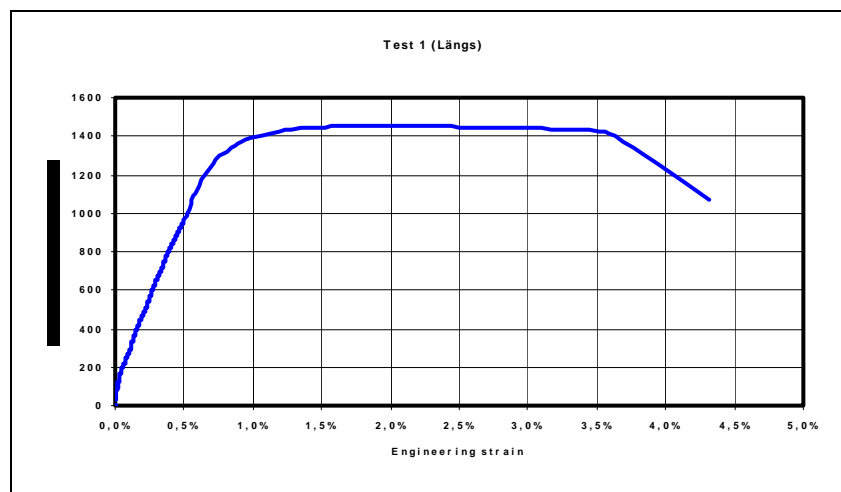


Diagram 15: Dragprov 1 längs valsriktningen av snabbkyllt CK 75 med 58,5 % reduktionsgrad

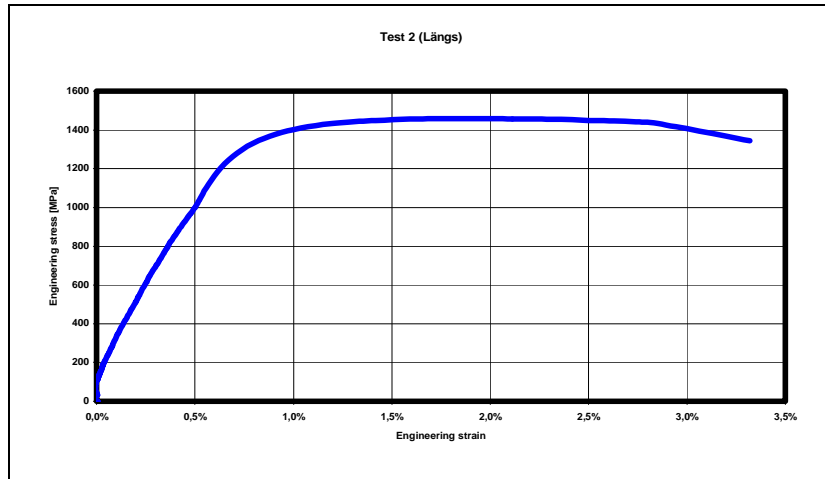


Diagram 16: Dragprov 2 längs valsriktningen av snabbkylt CK 75 med 58,5 % reduktionsgrad

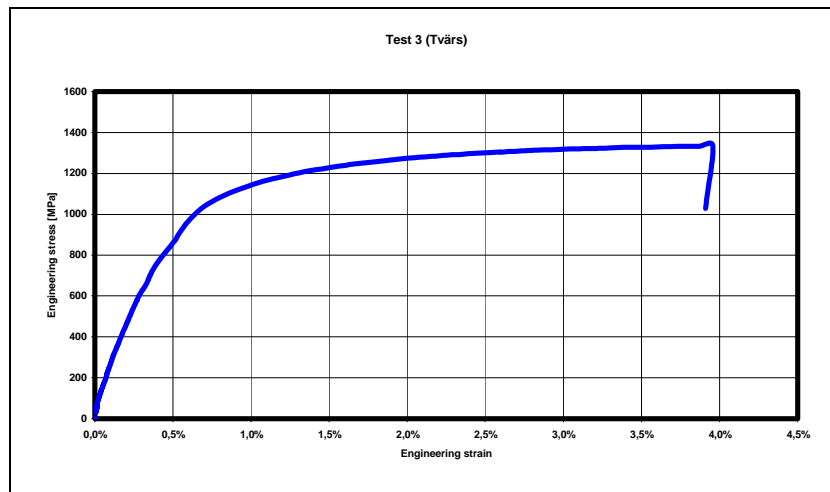


Diagram 17: Dragprov 3 tvärs valsriktningen av snabbkylt CK 75 med 58,5 % reduktionsgrad

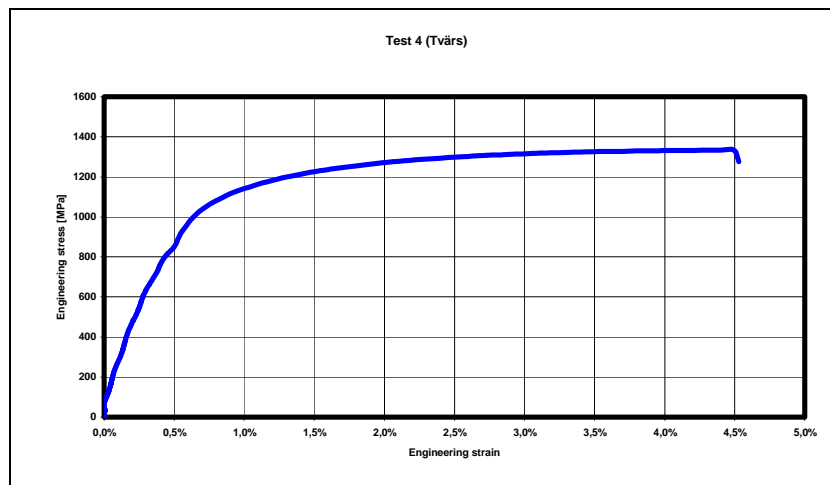


Diagram 18: Dragprov 4 tvärs valsriktningen av snabbkylt CK 75 med 58,5 % reduktionsgrad

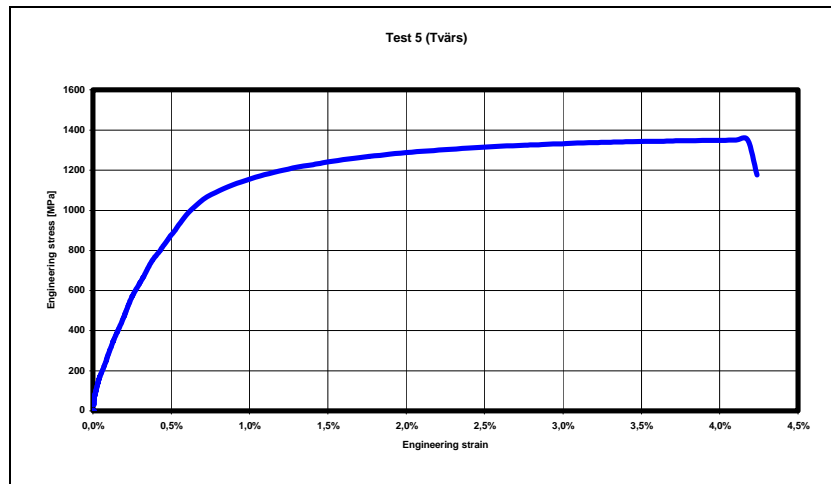


Diagram 19: Dragprov 5 tvärs valsriktningen av snabbkylt CK 75 med 58,5 % reduktionsgrad

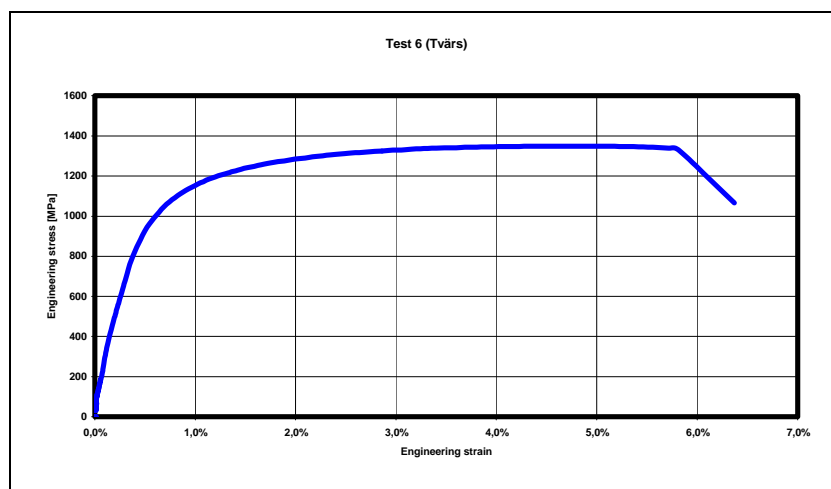


Diagram 20: Dragprov 6 tvärs valsriktningen av snabbkylt CK 75 med 58,5 % reduktionsgrad

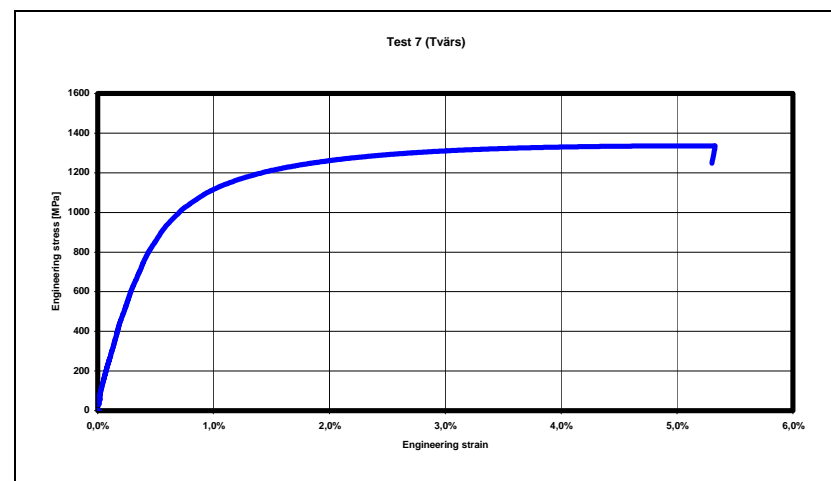


Diagram 21: Dragprov 7 tvärs valsriktningen av snabbkylt CK 75 med 58,5 % reduktionsgrad

Dragprovskurvorna längs valsriktningen är relativt rakt linjärt stigande, medan de tvärs valsriktningen kröker av sig i ett tidigt skede. Detta resultat är omvänt det som erhöles vid dragprovning på Luleå tekniska universitet.

Orsaken till 5 stycken dragprover tvärs valsriktningen berodde på att samtliga provbitars brottsgränser skedde utanför den inslipade midjebildning enligt bild 31, vilket kan anses som mycket ovanligt.

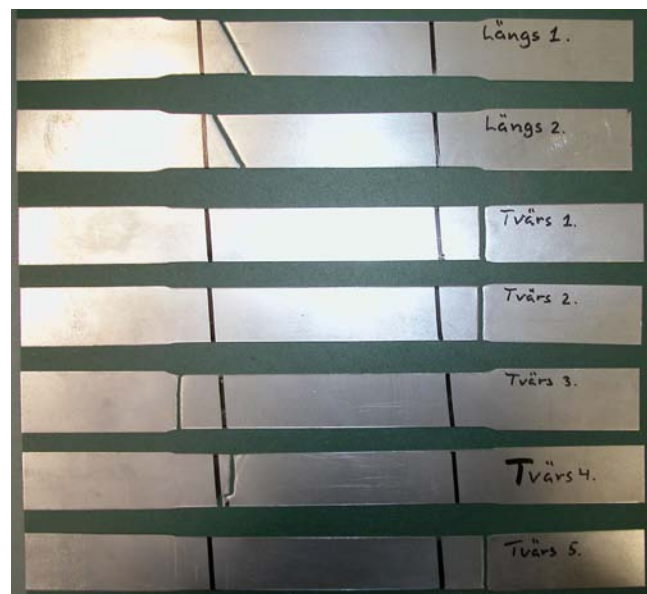


Bild 31: Brottsytorna vid SSAB:s dragprovning av CK 75 med 58,5 % reduktionsgrad

10.2.14 Mikrostrukturer

Grundstrukturen för det varmvalsade råbandet utgörs av en glödgad perlitstruktur bestående av viss avrundad cementit, enligt bild 32. Efterföljande kallvalsning leder till en deformerad och utvalsad struktur med tillplattade korn, enligt bild 33.

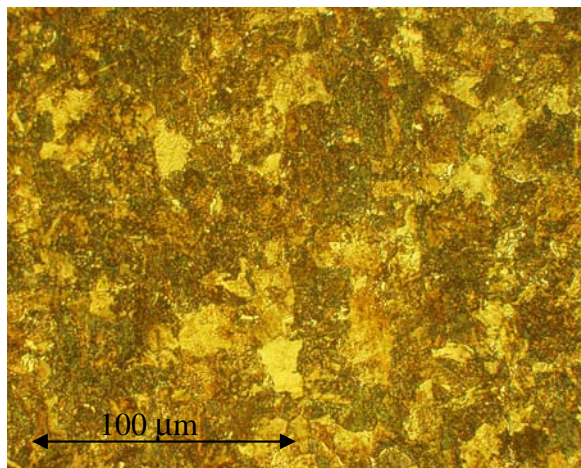


Bild 32: CK 75 råband, 0 % reduktion

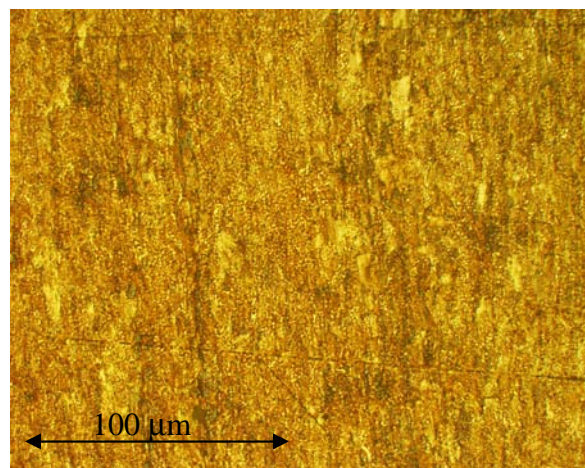


Bild 33: CK 75, reduktionsgrad 58 %

Mikrostrukturen efter återhämtningsglödning i 450 C under 60 minuter visas nedan i bild 34. Detta glödgningsintervall ligger ungefär mitt i försöksserien och ger både förhöjd töjning samt hårdhet på bekostnad av viss hållfasthet, jämfört ej glödgat band. Här syns ännu inga tecken på rekristallisation.

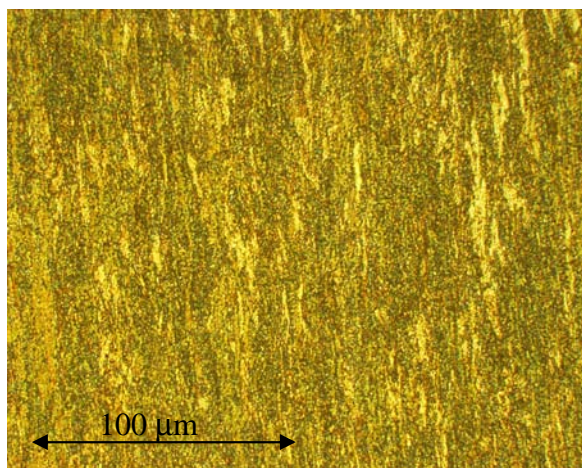


Bild 34: CK 75, reduktionsgrad 58 % samt glödning i 450 C och 60 minuter

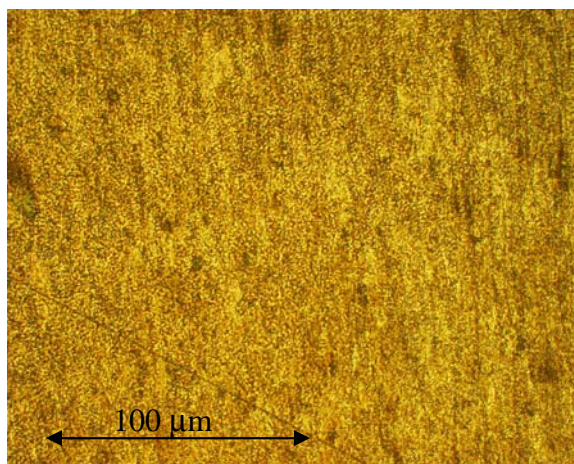


Bild 35: CK 75, reduktionsgrad 58 % samt glödning i 600 C och 120 minuter

Efter glödning i 530 C under 60 minuter syntes fortfarande inga tecken på rekristallisation. Därför kompletterades försöken i efterhand med ytterligare glödningar. Däremot har rekristallisation skett och ny mikrostruktur bildats efter glödning i 600 C under 120 minuter, enligt bild 35.

10.2.15 Delresultat

Med hänsyn till resultaten från både glödningförsöken samt beräkningen av nödvändig sträckgräns, beslutades att införa en återhämtningsglödning i 450 C under 60 minuter efter 40 % reduktionsgrad till nästa försöksvalsning.

Glödningens graden valdes utifrån att sträckgränsen bara sjunkit ca 100 N/mm², samtidigt som bandets brottstörning ökat från 2 % till 4 %. Detta indikerar att gränsen mellan återhämtning och rekristallisation ligger någonstans här. Reduktionsgraden valdes utifrån att bandbrotten vanligtvis uppstår vid 50 % reduktionsgrad.

11 Valsningsteknisk del – Försöksvalsning 2 med CK 75

Utifrån resultatet i den materialtekniska undersökningen inleddes valsningsförsök två. Metoden denna gång var att inte valsa bandet så långt att problem med bandbrott började uppstå, och därefter införa en återhämtningsglödning som mellansteg i processen.

11.1 Försöksvalsning 2 - Innan återhämtningsglödning

Försöksvalsningens stickschema skapades av operatörerna utifrån tidigare valsning och hade denna gång lika stora reduktioner mellan sticken. Avslutningen bestod av ett litet finstick som tidigare starkt förbättrat bandformen. Bandets bredd ökades denna gång till 1 000 mm. Stickschemat kan ses nedan i tabell 9:

Tabell 9: Stickschemat som skapades vid försöksvalsning 2 av CK 75

Stick	Tjocklek (mm)	Red (%)	Total red (%)	Tryck (kN)	Amp (kA)	Broms (kN)	Drag (kN)	A-vals	Koninst. (mm)	RSF* (ton)
0	2,00	-	-	Spolning	-	30	193	-	-	-
1	1,77	11,5	11,5	160	1,00	150	193	0,07+ Cyl	550	326
2	1,57	11,3	21,5	180	0,85	185	193	0,07+ Cyl	”	367

3	1,39	11,5	30,5	180	0,90	185	193	0,07+ Cyl	”	367
4	1,23	11,5	38,5	160	0,80	185	193	0,07+ Cyl	”	326
5	1,20	2,4	40,0	95	0,30	185	193	Cyl	”	194

Noteringar till stickschemat:

Mellanvals: 300 mm enkelkona med 0,7 µm/mm tapering

Arbetsvals: Snabbstål

Försöksvalsningen startade med två cylindriska arbetsvalsar. Denna gång slirade inte verket, men inledande bromskraft var aningen lägre än vid föregående försök. Dock erhöles återigen kantlångt band, speciellt på bandets baksida likt förra försöksvalsningen, enligt bild 36.

Kantlångheten åtgärdades genom insättning av en bomberad vals för att som motåtgärd öka trycket på bandets mitt, enligt bild 37.



Bild 36: Kantlånghet vid inledning till stick 1



Bild 37: Bandform efter stick 1

Fortsatt valsning löpte utan större problem med relativt bra bandform, som varierade mellan antingen svagt kantlång enligt bild 38 eller svagt mittlång med antydning till revben, enligt bild 39.



Bild 38: Bandform efter stick 2



Bild 39: Revbensmönster under valsning av stick 3

Vid sista finsticket innan återhämtningsglödningen började det uppstå valsproblem. Total reduktion var nu uppe i 40 % och ett bandbrott infann sig. Bandet började även uppvisa mer revbensmönster som troligtvis beror av bristande bandspänning, enligt bild 40. Bandet var

dessutom aningen mittlångt, samt fick även en lång repa på undersidan av något skräp i valsverket.

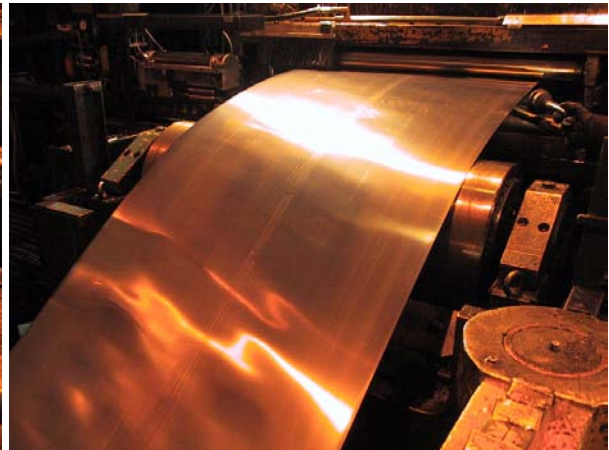
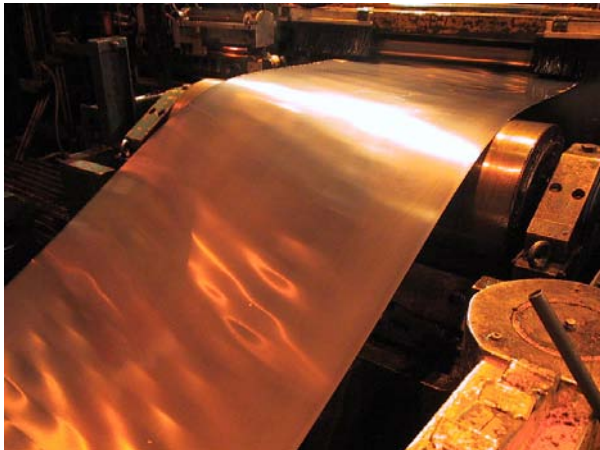


Bild 40: Bandform vid bandbrott under sista stick 5 **Bild 41: Bandform efter sista stick 5**

Trots detta blev bandformen ändå relativt plan enligt bild 41, men med facit i hand borde valsningen ha upphört innan sista finsticket.

11.2 Återhämtningsglödningen

Efter valsningens första del utfördes återhämtningsglödning i 450 C och 60 minuter enligt resultat från tidigare materialundersökning. Bandets glödgningsförfarande ses i diagram 22 nedan, där temperaturerna är avlästa på den liggande bandrullens övre samt nedre kant.

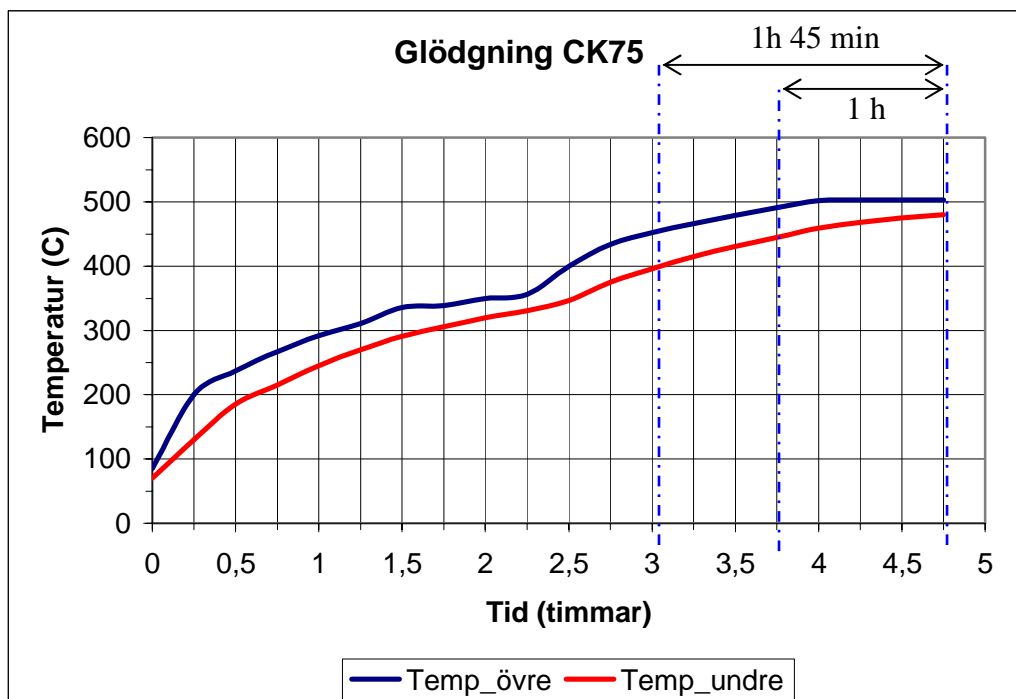


Diagram 22: Glödningstemperatur samt tid vid återhämtningsglödning av påvalsat CK 75 band

Glödningsschemat visar att både glödningstid samt temperatur översteg planerade värden en aning. Temperaturen låg mellan 450 – 500 C mellan 1 timme och 1 timmar 45 minuter, beroende på var avläsning skett. Detta innebär att glödningen blev lite större än avsett.

11.2.1 Mekaniska egenskaper

För att kontrollera glödningens inverkan undersöktes bandets mekaniska egenskaper både före och efter återhämtningsglödningen. Resultatet ses i tabell 10 nedan.

Tabell 10: CK 75 bandets mekaniska egenskaper efter 40 % reduktionsgrad före och efter glödning

	Tjocklek (mm)	Rm (N/mm ²)	A ₈₀ (%)	HV3
Före glödning	1,22	1261	5	380
Före glödning	1,22	1258	5	-
Efter glödning	1,21	1135	7	356
Efter glödning	1,21	1132	7	-

Resultatet överensstämmer relativt bra med tidigare utförda laborieförsök, trots att glödningen blev större än avsett samt genomfördes vid en mindre reduktionsgrad på bandet.

Vid laborieförsöken med återhämtningsglödning sänktes brottgränsen efter glödning med ca 180 N/mm² samtidigt som brottstörningen ökade med ca 2 %.

Här sänktes brottgränsen ca 130 N/mm² och töjningen ökade även 2 %. Dock ökade hårdheten av bandet vid laborieförsöket, medan hårdheten sänktes här.

11.3 Försöksvalsning 2 - Efter återhämtningsglödning

Efter glödningen delades bandet i mitten för möjlighet till två avslutande vals försök. Dock deltog jag bara i det första försöket, men kommer ändå att redovisa resultatet av det andra försöket.

11.3.1 Slutvalsning band 1 - Efter glödning

Efter återhämtningsglödningen var det dags för slutvalsningen. Förhoppningsvis hade glödningen gjort bandet så pass duktilt att valsningen var genomförbar och skulle leda till bra återfjädring och mekaniska egenskaper. Valsningen genomfördes enligt stickschemat i tabell 12, och fick även denna gång ett finstick med liten reduktion på slutet.

Tabell 11: Stickschema 1 som skapades efter återhämtningsglödning av CK 75 vid försöksvalsning 2

Stick	Tjocklek (mm)	Red (%)	Total red (%)	Tryck (kN)	Amp (kA)	Broms (kN)	Drag (kN)	A-vals	Koninst. (mm)	RSF* (ton)
0	1,20	-	-	Spolning	-	30	193	-	-	-
1	1,06	11,7	11,7	140	0,75	185	193	Cyl	550	285
2	0,94	11,3	21,7	180	0,60	185	193	”	”	367
3	0,86	8,5	28,3	160	0,50	185	193	”	”	326
4	0,84	2,3	30,0	80	0,12	185	193	0,07Bläst	530 / 500	163

Noteringar:

Bandbredd: 1000 mm

Mellanvals: 300 mm enkelkona med tapering 0,7 µm/mm

Arbetsvals: Snabbstål

Innan valsningen var bandformen relativt bra enligt bild 42. Dock förvärrades både revbensmönstret samt mittlångheten direkt efter första stick, enligt bild 43.

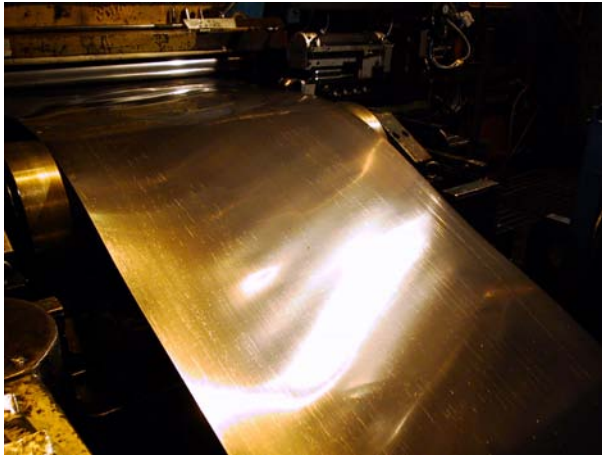


Bild 42: Bandform efter glödningen

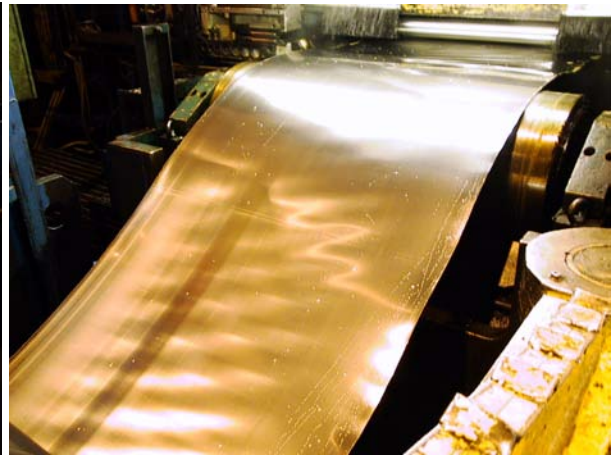


Bild 43: Bandform efter stick 1

Vid andra sticket uppstod det dessutom två bandbrott. Orsakerna misstänks vara kantsprickor. Ibland kan även för liten kantreduktion medföra att bandets korta kanter lätt dras av, men så verkar ej fallet här. Bandet får dessutom ränder, enligt bild 44.

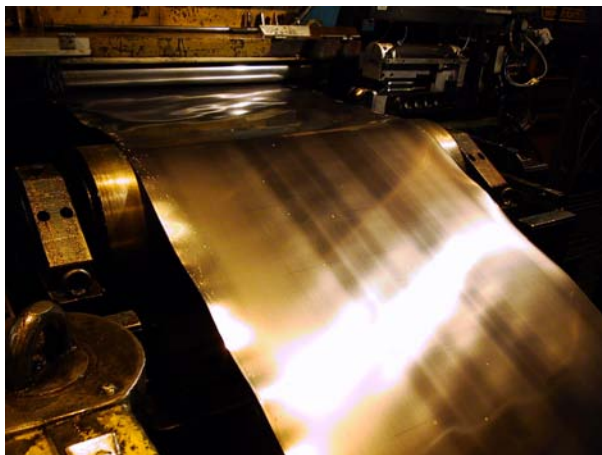


Bild 44: Bandform efter stick 2

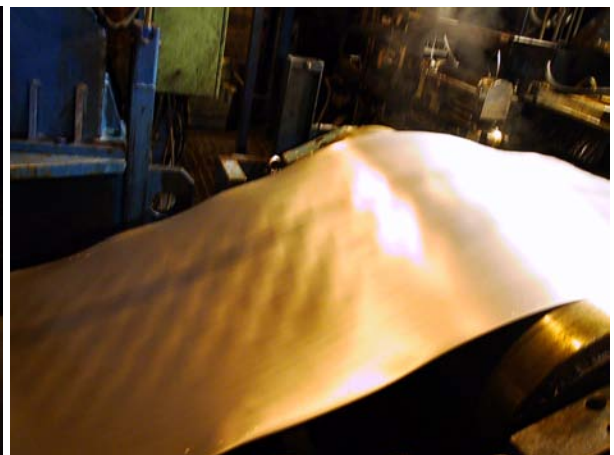


Bild 45: Bandform efter stick 3

Vid tredje sticket som skulle vara det sista sattes blåstrade valsar in för att bandet skulle få rätt ytjämnhet. Dock gav inledningen till stick 3 så dålig bandform att reduktionen minskades successivt under det 3:e sticket tills bättre bandform erhöles, vilket gav upphov till ett extra stick. Dessutom uppstod det bandbrott igen, troligtvis på grund av kantsprickor. Bandformen efter stick 3 ses i bild 45.

Slutresultatet efter sista finsticket med liten reduktion var ett relativt plant band som dock uppvisade både revbensmönster samt kantlånghet, enligt bild 46 och 47.



Bild 46: Bandform efter finstick 4



Bild 47: Bandformen efter finstick 4

11.3.2 Slutvalsning band 2 - Efter glödning

Tyvär var jag inte deltagande vid denna valsning, utan redovisar bara det dokumenterade resultatet. Denna valsning utfördes med ett stick mer än föregående försök, för att utvärdera om skillnader i valsningsmetod påverkade slutresultatet. Stickschemat kan ses i tabell 12.

Tabell 12: Stickschema 2 som skapades efter återhämtningsslödning av CK 75 vid försöksvalsning 2

Stick	Tjocklek (mm)	Red (%)	Total red (%)	Tryck (kN)	Amp (kA)	Broms (kN)	Drag (kN)	A-vals	Koninst. (mm)	RSF* (ton)
0	1,20	-	-	Spolning	-	30	193	-	-	-
1	1,10	8,3	8,3	125	0,5	185	193	Cyl	550	255
2	1,00	9,1	16,7	150	0,5	185	193	”	”	306
3	0,92	8,0	23,3	150	0,5	185	193	”	”	306
4	0,84	8,7	30	160	0,5	185	193	”	500	326
5	0,83	1,2	30,8	30	0,1	185	193	”	”	61

Noteringar:

Stick 6: Prova med 1,5 % nästa gång

11.3.3 Bandens slutliga mekaniska egenskaper

Efter valsningsförsöken undersöktes de två delvis olika slutvalsade bandens mekaniska egenskaper. Resultatet kan ses nedan i tabell 13:

Tabell 13: CK 75 bandets mekaniska egenskaper efter 58 % reduktionsgrad och tidigare glödning

	Tjocklek (mm)	Rm (N/mm ²)	A ₈₀ (%)
3 stick + trimvalsning (längs)	0,851	1358	4
3 stick + trimvalsning (längs)	0,851	1360	4
3 stick + trimvalsning (tvärs)	0,852	1298	5
3 stick + trimvalsning (tvärs)	0,852	1299	6
4 stick + trimvalsning (längs)	0,845	1391	-
4 stick + trimvalsning (längs)	0,845	1376	-
4 stick + trimvalsning (tvärs)	0,845	1325	5
4 stick + trimvalsning (tvärs)	0,845	1319	5

Enligt dragproverna fick bandet som valsats med färre stick en aningen lägre brottgräns. Detta beror på att valsning med färre stick genererar mer värme under valsningen, vilket

ibland leder till lägre hållfasthet [4]. Olika material är dock olika känsliga för denna egenskap. Återhämtningens glödning har lett till fördubblad brottstörning jämfört tidigare försök.

Avslutande undersökning av plåtar utklippta som sågblad längs med valsriktningen, visar åter att plasticering sker vid böjning av bladet. Det innebär att återhämtningens glödningens ökade duktilitet inte påverkade bandets återfjädring på det gynnsamma sätt man hoppats på.

Granskning av de två olika banden tyder på olika planhet samt olika mycket kantsprickor beroende på hur slutvalsningen gick till.

Resultatet av valsning på 3 stick samt ett avslutande finstick, visar både på stora kantsprickor enligt bild 48, samt revbensmönster på bandet enligt bild 49.

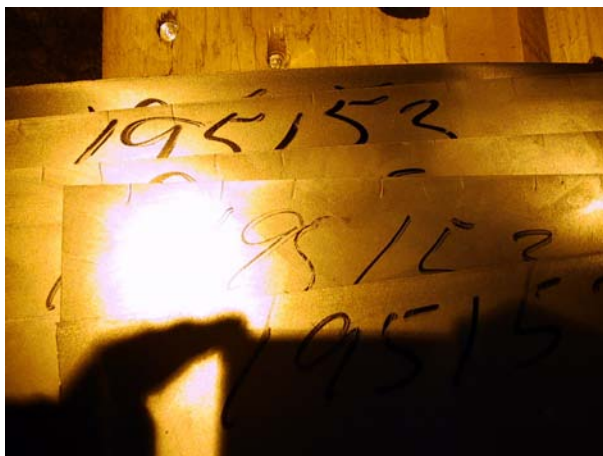


Bild 48: Kantsprickor, 3 stick + trimvalsning



Bild 49: Revbensmönster, 3 stick + trimvalsning

Resultatet av valsning på 4 stick samt ett avslutande finstick visar inga kantsprickor enligt bild 50 samt klart bättre planhet på bandet enligt bild 51.

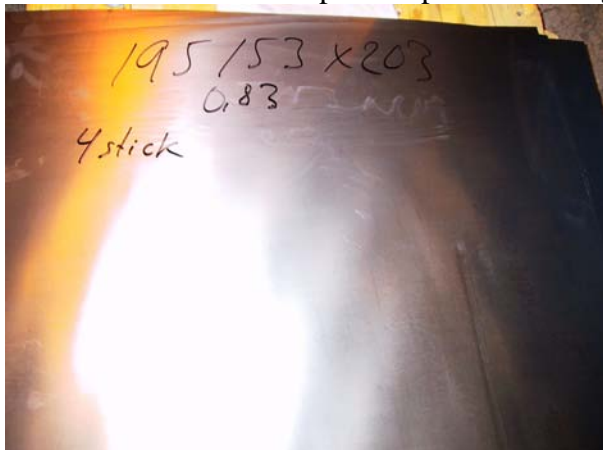


Bild 50: Inga kantsprickor, 4 stick + trimvalsning



Bild 51: Relativt plant band, 4 stick + trimvalsning

Bilderna indikerar på att valsning med fler stick ger bättre bandform samt färre kantsprickor, tillsammans med högre hållfasthet enligt mätningen av de mekaniska egenskaperna.

Diagram 23 visar hur banden i både första och andra försöksvalsningen deformationshårdnar i takt med reduktionsgraden. Den översta heldragna kurvan visar försöksvalsning 1. Den undre

avbrutna kurvan visar försöksvalsning 2 fram till återhämtningsglödning samt därefter de två olika slutvalsningarna efter återhämtningsglödningen.

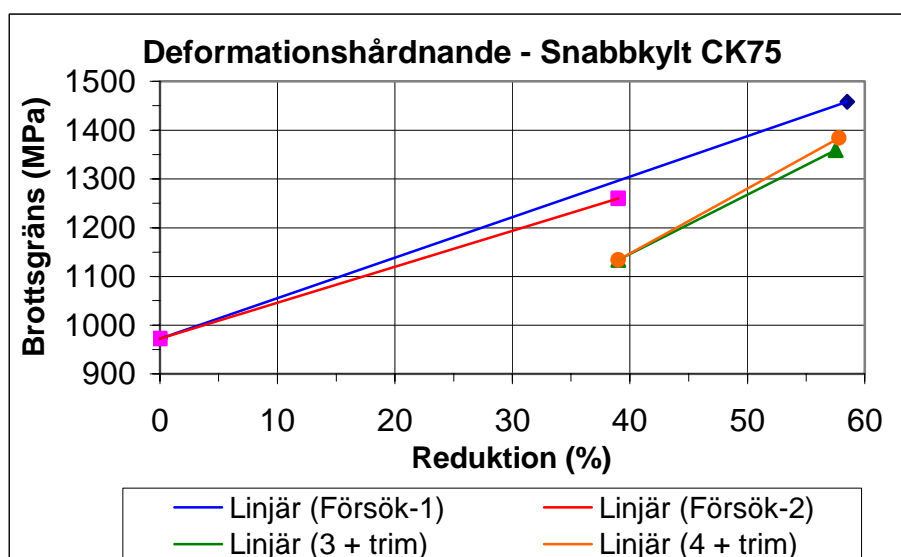


Diagram 23: Deformationshårdnande för CK 75 för vals försök 1 samt vals försök 2 med återhämtningsglödning

De två brantare kurvorna för slutvalsningen vid vals försök 2 antyder att bandet deformationshårdnar snabbare efter återhämtningsglödning än innan.

12 Resultat - Valsverket

Korrespondensen med John Turley på Sendzimir Inc. gällande LuCoils ålderstigna valsverk och valsning av höghållfasta material leder till följande svar.

Trots att valsverket är designat med avseende på valsning lågkolhaltiga stål, är både valsmotorer samt valshus tillräckligt starka för höghållfasta material. Däremot skulle hasplarnas dragkraft behöva ökas från dagens 19,3 ton till 30 – 35 ton. Lösningen till problemet är antingen ändrade utväxlingar i valsverket eller montering av starkare haspelmotorer.

Ändrade utväxlingar skulle via sänkning av dagens maximala valshastighet 315 m/min ge följande banddragkrafter, enligt tabell 14:

Tabell 14: Förhållandet mellan sänkt utväxling och höjd haspeldragkraft

Maximal valshastighet vid fullt vridmoment	Haspeldragkraft (kg)
315 m/min	19 300
250 m/min	24 000
200 m/min	30 000

Vid valsning med höga bandspänningar bör det finnas shapemetrar i valsverket, som avläser och talar om bandets verkliga form under pågående valsning via spänningsfördelningen i bandet. Utan shapemetrar är bandformen nästan omöjlig att avläsa under valsning, eftersom de höga bandspänningarna sträcker ut bandet.

Även hasplarna kan vara en svaghet vid valsning av höghållfasta material, som i sin tur kräver höga bandspänningar. Uppgradering till nya Reverse Pyramid hasplar som motstår höga bandspänningar utan att de expanderande segmenten kollapsar hydrauliskt rekommenderas. Dessutom antas att dessa hasplar bättre motstår höga bandspänningar eller rullvikter utan att svikta.

Vid utveckling av ny valsningsteknik för nya material skulle det stickschemagenererande programmet Mill Management System kunna vara till hjälp, eftersom det skapar stickscheman utifrån valsverkets prestanda och materialets egenskaper. Därigenom slipper operatörerna gissa sig fram vid utveckling av nya stickscheman.

Uppgradering till hydraulisk justering av mellanvalsarna skulle innebära kraft nog att styra koninställningarna under drift och därigenom även bandformen via bandkanternas påvalsning.

Övriga förslag av Turley är mindre högprioriterade och kan vara framtida åtgärder.

12.1 Diskussion och analys - Valsverket

Svaren från Turley bekräftar det LuCoil redan känt till om valsverkets bristande dragkraft. Dock visar hans beräkningar att verket i övrigt räcker till för valsning av höghållfasta material.

Shapemetrar har länge varit önskade av operatörerna. Dagens metod att kontrollera bandspänning genom att slå på bandkanterna vid inledningen av ett stick, eller att stanna upp valsningen och släppa på bandspänningen är ingen effektiv eller tillförlitlig metod att kontrollera bandformen. Via shapemetrar skulle operatörerna lättare kunna se och påverka bandform och valsresultat. Dock måste området kring verkets brytvalsar byggas om för att ge plats åt en shapemeter på varje sida

LuCoil har problem med att hasplarna sviktar av vid höga rullvikter. Detta medför att hasplarnas kragbultar till slut går av. Här finns ett behov att viktupptagande stöd monteras. Alternativt kan nya hasplar också lösa detta problem.

Uppgradering till hydraulisk justering av mellanvalsarna skulle väsentligt öka kontrollen över bandkanterna under pågående valsning. I dagsläget kan konförflyttning bara göras när verket är stoppat och valspaketet öppnat.

Hos LuCoil utvecklas nya stickscheman utifrån tidigare valsningar i liknande material och dimensioner. Ett stickschemagenererande program kan därför både underlätta och snabba upp utvecklingen av ny valsningsteknik för nya material. Dessutom kan ett stickschemagenererande program vara till hjälp vid inläring av ny personal, som via programvarans framtagna parametrar lättare skulle kunna ställa in valsverket.

Turley lämnade även förslag på saker som kan behöva ses över på ett gammalt valsverk. Dock är de av mer allmän karaktär och inte förknippat med valsning av höghållfasta material.

13 Resultat – Försöksvalsning 1

Trots att valsförsöket dominerades av dålig planhet på bandet samt upprepade bandbrott, erhöles tillräckligt mycket färdigvalsat band för utvärdering.

Den inledningsvis mycket dåliga bandformen försökte man korrigera successivt under resterande valsning. Vid ca 50 % reduktionsgrad uppstod dessutom problem med kantsprickor, bandbrott samt revbensmönster på bandet. Dock förbättrade det avslutande finsticket med liten reduktion bandformen avsevärt.

Stickschemat genererat med Mill Management System fungerade inte alls vid försöksvalsningen och frångicks direkt. De verkliga valskrafterna var dessutom ca 50 % högre än vad stickschemat angav.

Dragprover visar att det färdigvalsade bandet uppnår en brottsgräns motsvarande kundens tidigare kravspecifikation 1 450 N/mm², trots aningen låg ingående brottsgräns. Ändå sker plasticering av plåtar utklippta till sågbladsform längs med valsriktningen vid praktiska böjprov, vilket inte är godtagbart av kunden. Återfjädringen är väsentligt bättre på plåtar utklippta tvärs valsriktningen, trots lägre brottsgräns

Blästrade valsar ger inte heller bandet den ytjämnhet på 0,80 µm som önskas av kunden, enligt tabell 15.

Tabell 15: Bandets mekaniska egenskaper efter 58,5 % reduktionsgrad

Mätريktning på bandet	Rm (N/mm ²)	A ₈₀ (%)	Ra (µm)	HV
Längs	1454	2	0,28	426
Längs	1461	2	0,40	-
Tvärs	1337	5,3	-	-
Tvärs	1347	5,3	-	-

Efter försöksvalsningen upptäcktes dessutom att en mellanvals lossnat i bakkant. Detta kan även ha inverkat på den dåliga bandformen.

Försöksvalsningens resultat innebär att rätt valsningsteknik ej hittats så att bandet går att valsa till rätt egenskaper utan valsningsproblem.

13.1 Diskussion och analys – Försöksvalsning 1

De höga valskrafter som valsningen resulterade i kan ha påverkat den dåliga bandformen. Vid höga valskrafter fås en utböjning samt tillplattning på arbetsvalsarna, vilket övervalsar bandets kanter.

För att åtgärda bandets kantlånghet sattes en 0,07 mm bomberad arbetsvals in. Dock övervalsades ändå bandets kanter, vilket kan bero på att mellanvalsarna har för liten tapering i förhållande till valskrafterna. Därigenom kan inte konförflyttning inåt minska kantrycket tillräckligt. Dock önskas en viss kantlånghet på denna typ av hårda och sköra material under valsningen, för att inte bandspänningen ska riva av bandkanterna.

Eventuellt kan inledande stora kantlånghet dessutom förvärrat uppkomsten av kantsprickor genom att skapa brytveck. Orsaken till mer kantlånghet på verkets baksida beror antagligen på den lossnade mellanvalsens eller att bandet tappas centreringsproblem. Centreringsproblem kan uppstå om hasplarna sviktar eller kollapsar på grund av hög bandspänning.

Bandspänningen är inte tillräcklig hög för valsning av detta hårda material, eftersom det uppträder revbensmönster på bandet. Beräkning av lämpligt banddrag enligt operatörernas

metod ger 26 ton, jämfört med verkets tillgängliga 19,3 ton. För valsning med rätt bandspänning i LuCoils verk skulle bandet inte få vara bredare än 665 mm.

Återkoppling av den misslyckade valsningen till Turley visar att missförstånd skett angående CK 75 bandet. Den troliga orsaken till valsningens höga valskrafter och de tidigt uppkomna kantsprickorna förklarar Turley med otillräcklig ingångsglödning av bandet. Om inte glödningen får ske under tillräckligt lång tid hinner inte full rekristallisation ske i bandet, vilket misstänks vara upphov till problemen. Dock ingångsglödades aldrig detta band och så var ej heller avsikten.

Det innebär att Turley felaktigt genererat ett stickschema med Mill Management System till ett ingångsglödlat band, när valsningen i själva verket har skett av ett snabbkyllt och därav extra hårt stål. Detta missförstånd gör att MMS – programmet inte kan utvärderas på rätt grunder. Dock kan framtida utvärdering av MMS – programmet ske mot någon kommande valsning av ingångsglödlat CK 75 band.

Turley kommenterar återigen problemen med att valsa högkolhaltiga stål med över 50 % reduktion. Vid så stora reduktioner uppstår vanligtvis kantsprickor eller alternativt vingformade hål nära bandets kanter när materialet inte flyter. Denna teori bekräftades under valsningen genom de kantsprickor samt bandbrott som uppstod vid 50 % reduktion.

Trots att MMS - stickschemat inte stämde till materialet i detta valsningsförsök, så var dess uppbyggnad enligt The Sendzimir Manuals teorier för valsningsteknik med fallande reduktion, valskraft och valseffekt.

Försöksvalsningens stickschema som skapades successivt genom kontinuerlig anpassning till bandformen i föregående stick, avvek från tumreglerna hur ett bra stickschema bör vara uppbyggt.

14 Resultat – Materialteknisk undersökning

Undersökningens beräkningar visar att en sträckgräns på ca 700 – 750 N/mm² borde vara fullt tillräcklig för att klara sågbladets återfjädring. Trots att materialet från tidigare försöksvalsning håller en sträckgräns kring 1 300 N/mm² enligt SSAB:s dragprovning, sker dock plasticering av sågbladet vid böjning.

Eventuellt kan orsaken till plasticeringen bero på försvagande mikrosprickor invaldade i bandet tvärs valsriktningen. Dessa sprickor skulle kunna uppstå på grund av den stora reduktionsgraden på drygt 58 % av detta hårda material.

En möjlig orsak till mikrosprickor är att bandet mister för mycket av sin duktilitet vid valsningens deformationshårdnande. Om så är fallet skulle en återhämtningsglödning troligtvis förbättra valsmöjligheterna och därigenom även slutresultatet.

Laboratorieundersökningen på Luleå Tekniska Universitet visar att lämplig återhämtningsglödning ökar bandets duktilitet och hårdhet med marginell sänkning av brotts- och sträckgräns, enligt medelvärdena i tabell 16.

Tabell 16: Materialegenskaper längs valsriktningen efter laboratorieförsök med återhämtningsslödning

Glödning: 450 C – 60 min	Före glödning	Efter glödning
Brottsgräns (N/mm ²)	1415	1235
Sträckgräns (N/mm ²)	1240	1140
Brottstjörning (%)	3,5	5,4
Hårdhet (HV)	412	430

Utifrån beräkningarna av sträckgräns samt glödgningsresultatet togs beslutet att införa en återhämtningsslödning i 450 C under 60 minuter efter 40 % reduktionsgrad till nästa försöksvalsning, eftersom kantsprickor och bandbrott normalt börjar uppstå vid ca 50 % reduktionsgrad.

14.1 Diskussion och analys – Materialteknisk undersökning

Vid beräkningarna av sågbladets sträckgräns antas att materialet är isotropiskt, vilket ej är fallet enligt undersökningens dragprovresultat. Beräkning av sträckgräns för anisotropiskt material hade kanske gett mer rättvisande värden. Dock är det mer troligt att det är andra mekanismer som uppstår i materialet vid valsningen som påverkar återfjädring samt plasticering.

Vid kontroll av bandets hårdhet upptäcktes en mikrospricka i bandet, vilket bekräftar tidigare misstanke av vad som kan orsaka den dåliga återfjädringen.

Dragproverna från SSAB Tunnbrå visar att sträck- och brottsgränser längs valsriktningen ligger nära varandra. Detta kan ytterligare vara ett problem vid valsningen, eftersom det lätt leder till bandbrott. Sträckgränsen måste överskridas för att valsa bandet, samtidigt som brottsgränsen ej får överskridas.

Hållfastheten på LuCoils valsade band brukar normalt sett vara bättre tvärs valsriktningen än längs, men så är ej fallet för CK 75 bandet. Trots den avsevärt lägre hållfastheten tvärs valsriktningen så uppvisar materialet en klart bättre återfjädring vid böjning, jämfört med längs valsriktningen. Detta tillsammans med de tvära och raka brottsytorna utanför provstavarnas midja som erhöles vid SSAB Tunnbrå dragprovning tvärs valsriktningen bör utredas vidare.

De aningen låga värdena från dragprovningen på Luleå Tekniska universitet beror troligtvis på att provstavarnas angivna area var lite för stor. Dragprovkurvan för det påvalsade men ej glödade bandet avvek dessutom tidigt från E-modulens räta elastiska linje. Detta kan också påverka sågbladets återfjädring samt sträckgräns och behöva undersökas bättre.

15 Resultat – Försöksvalsning 2

Detta försök var indelat i valsning till 40 % reduktionsgrad, därefter återhämtningsslödning och till sist avslutande valsning till totalt 58 % reduktionsgrad.

Första delen av valsningen gick avsevärt bättre än föregående försök. Bandformen blev relativt plan förutom mycket kantlånghet igen på verkets baksida. Precis innan återhämtningsslödningen vid 40 % reduktion uppstod ett bandbrott. Dessutom började bandet uppvisa revbensmönster igen.

Glödgningen blev lite större än planerade 450 C under 60 minuter. Dock överensstämmer resultatet av glödgningen bra med föregående laboratorieförsök. Brottstojningen ökar 2 % samtidigt som hållfastheten sjunker marginellt. Dock sjönk även hårdheten här, vilket inte inträffade vid tidigare undersökning. Tabell 17 visar medelvärdena för de mekaniska egenskaperna.

Tabell 17: Medelvärden av mekaniska egenskaper före och efter återhämtningsslödgning

	Rm (N/mm²)	A₈₀ (%)	HV3
Före glödgning	1260	5	380
Efter glödgning	1135	7	356

Den avslutande valsningen gick dåligt trots återhämtningsslödgningen. Bandet fick direkt kantlånghet och revbensmönstret ökade. Fortsatt valsning leder till ett antal bandbrott samt kraftiga ränder längs valsriktningen på bandet. Blästrade valsar de två sista sticken försvårar valsningen ytterligare. Avslutningsvis erhöles ett band som var relativt plant men uppvisade både revbensmönster samt kantlånghet.

Trots att bandet efter detta vals försök uppnår dubbelt så stor brottstojning längs med valsriktningen jämfört föregående valsningsförsök utan återhämtningsslödgning och samtidigt bara tappar marginellt i brottsgräns, plasticeras fortfarande sågbladet vid böjning. Tabell 18 visar medelvärdena av bandets uppmätta mekaniska egenskaper efter försöksvalsning 2.

Tabell 18: Slutliga mekaniska egenskaper efter andra vals försöket med CK 75

	Rm (N/mm²)	A₈₀ (%)
3 stick + trimvalsning (längs)	1360	4
3 stick + trimvalsning (tvärs)	1300	5,5
4 stick + trimvalsning (längs)	1385	-
4 stick + trimvalsning (tvärs)	1320	5

Försöksvalsningens resultat innebär att rätt valsningsteknik fortfarande ej hittats så att bandet går att valsa till rätt egenskaper utan valsningsproblem.

Dessutom antyder de två olika slutvalsningarna att valsning med fler stick ger bättre bandform samt färre kantsprickor, tillsammans med högre hållfasthet enligt mätningen av de mekaniska egenskaperna.

15.1 Diskussion och analys – Försöksvalsning 2

Trots att första delen av valsningen gick mycket bättre denna gång blev bandet åter kantlångt i bakkanten. Orsaken till detta bör undersökas vidare. För att komma tillrätta med den osymmetriska bandformen måste valsverkets inställningar vara olika i fram- och bakkant av bandet, vilket inte är normalt.

Teoretiskt anges övre gränsen för påvalsning av högkolhaltiga band till 50 %. Vid förra försöket uppstod bandbrott efter 47 % reduktion och vid detta försök vid 40 % reduktion, vilket delvis bekräftar teorin.

Trots återhämtningsslödgningen så uppstod ett flertal bandbrott under slutvalsningen. Tydligt var införandet av återhämtningsslödgning inte tillräckligt för att göra bandet lättare att bearbeta.

Orsaken till större än avsedd återhämtningsslödning är att bandets underkant behövde mer tid på sig att uppnå rätt temperatur, samt att slödgningsugnarnas temperatur inte går att styra så exakt.

Ränderna på bandet vid speciellt stick 2 efter återhämtningsslödningen kan bero på att sticket genomförs med för stor reduktion i förhållande till bandets tidigare deformationshårdnande [4]. Denna tes överensstämmer med andra stickets höga valskraft, jämfört övriga stick

16 Slutsatser

Syftet att utveckla en metod att direkt kallvalsa högkolhaltigt CK 75 band till slutegenskaper motsvarande sågblad till fogsvansar, utan den ingångsslödning som normalt sker, har ej uppfyllts under detta examensarbete. Vid normal tillverkning ingångsslödgas bandet före valsning och härddas sedan efter valsning. Dessa två processer önskar man undvika i besparingssyfte.

Svårigheterna i undersökningen kan indelas i två delar, dels att valsa produktivt utan bandbrott till bra bandform, samt dels att valsa bandet till rätt slutegenskaper för sågblad. Ingen av dessa villkor har undersökningen uppfyllt.

Dock har undersökningen påvisat en misstanke om att den stora reduktionsgraden leder till försvagande mikrosprickor i bandet, som i sin tur medför att kraven på bandets mekaniska egenskaper ej uppfylls. Beräkningar har dessutom visat att reduktionsgraden kan vara onödigt stor. Därför skulle kanske en omvärdering av bandets målvärden leda till ett bättre slutresultat, med avseende på återfjädring och eventuella mikrosprickor.

Detta innebär att fortsatta vals försök samt materialtekniska undersökningar krävs för att lösa uppgiften. Framst bör man undersöka varför plasticering sker av böjt sågblad, trots den mycket höga hållfastheten.

Något som också försvårar ett bra valsresultat är att LuCoils valsverk både är ålderstiget, samt avsett för valsning i mjuka stål. Vissa uppgraderingar av valsverket skulle därför troligtvis både underlätta samt förbättra valsningen av höghållfasta material. Vilka uppgraderingar som är mest prioriterade bör valsoperatörerna bestämma, eftersom de besitter den största kunskapen i ämnet.

Referenser:

- [1] T. Sendzimir Inc. (2004). *Products och Papers*.
URL: <http://www.sendzimir.com/>
- [2] Hosford, William F. Caddell, Robert M. (1993). *Metal Forming, Mechanics and Metallurgy*. 2nd edition. Englewood Cliffs, N.J : Prentice Hall. ISBN: 0-13-588526-4
- [3] Roberts, William L. (1978). *Cold Rolling Of Steel*. New York: Marcel Dekker Inc. ISBN: 0-8247-6780-2
- [4] T Sendzimir Inc. Duprez, Jean-louis. (2000). *The Sendzimir Manual*. USA
- [5] Ginzburg, Vladimir B. Ballas, Robert. (2000). *Flat Rolling Fundamentals*. New York: Marcel Dekker Inc. ISBN: 0-8247-8894-X
- [6] Roberts, William L. (1987). *Flat Processing Of Steel*. New York: Marcel Dekker Inc. ISBN: 0-8247-7780-8
- [7] Arén, Björn. (1983). *Grundläggande Plastisk Bearbetning*. 1:a upplagan. Luleå: Luleå Tekniska Högskolan. Kurskompendium MP101B
- [8] Richnau, Kerstin. (2003). Materialkaraktisering av ultra höghållfasta stål. Luleå: Luleå Tekniska Universitet. Examensarbete. 2003:186 CIV
- [9] Sidestam, Patrik. Grip, Carl-Erik m.fl. (2002). *Use Of Physically Based Simulation Program To Develop Strip Quality in A Wide 20-Roll Cluster Mill*. Luleå: Mefos och SSAB LuCoil. Teknisk rapport.
- [10] Lundh, Hans. (1998). *Grundläggande Hållfasthetslära*. Stockholm: Nordstedts. ISBN: 91-972860-I-X

Bilagor

Fråga 1 till Sendzimir Inc.

Bilaga 1

From: Erik Nordmark
Sent: Tuesday, November 04, 2003 8:49 PM
To: Engineering
Subject: Zenzimir ZR22B-42 Cold Strip Mill?

Hi,

I'm a production engineer university student who is doing my degree project at LuCoil Steel in Sweden.

LuCoil Steel produces a unique product range of cold rolled steels at an old Sendzimir (ZR22B-42) Cold Strip (20-high) Mill built in 1961.

Because of the spindle torque limits of the old mill there are some problems cold rolling new ultra high strength steels. The front/back tension on the strip is far from enough. Despite that, my research assignment is to examine how to cold roll ultra high strength steels to a good strip shape and flatness.

I visited your site and noticed "The Sendzimir Manual" and wonder how much a copy would cost, if it might help me in my work and if you are shipping to Sweden?

I'm also interested where to find some new and up-to-date literature regarding cold rolling (ultra) high strength steels. Right now I'm reading the book "Cold Rolling of Steel" by William L. Roberts. It's an old book (1978) and I don't know if I can apply its theories on today's new steel material.

So basically I'm examination the possibility to cold roll new high strength steel to a good result with an old Sendzimir 20-high mill which lacks of power.

I would appreciate any advice from you which could help me with my task.

Finally, is there a Swedish Sendzimir contact I can talk to?

Best Regards,
Erik Nordmark
LuCoil Steel AB
SE - 971 88 Luleå
Sweden

PS.

In the Sendzimir documentation at our office I've read some old faxes sent to you between 1994 and 1995 regarding Sendzimir problems. It was Mr Gunnar Jacobsen and Mr Curt Andersson at SSAB, Sweden who asked Mr John Turley about rolling problems, mill alignment and tensiometer calibration.

Svar 1 från Sendzimir Inc.

Bilaga 2, sid. 1(2)

From: "Engineering" <engineering@sendzimir.com>
Sent: Tuesday, November 13, 2003 22.28
To: Nordmark Erik @ LUTPL/SSAB
Subject: Zenzimir ZR22B-52 Cold Strip Mill

Dear Erik,

Thanks for your interesting e-mail. I have happy memories of Lulea – I visited there several times during the early operation of the planetary mill (about 1963) and we had lots of fun!

I also visited there more recently (in the 1990's) when the company was known as Plannja to the best of my recollection.

The ZR 22B-42 mill was designed for rolling low carbon steel. This means that the mill drives would be designed for that material. However, normally the capacity of the mill stand (roll separating force capacity) is standard, and the mill stand should be entirely capable of rolling your ultra high strength steels (I assume you mean HSLA steels) - certainly materials having constrained yield strength up to 2000 N/mm² are commonly rolled on Sendzimir mills.

According to our records this mill has 2700 KW mill motor (2 x 1350 KW) and a base speed of 315 MPM. This gives specific power of $2700/315 = 8.57$ KW/MPM. This would be equivalent to about 10.7 KW/MPM for a 50" wide mill. For a 50" mill of that vintage rolling stainless steel the specific power would be about 50 HP/100 FPM or 12.23 KW/MPM, so in fact the mill is not lacking much power.

Our records also show a maximum tension of 19300 Kp. This is equivalent to about 24 tonnes at 50" wide. A 50" mill rolling stainless steel would probably have had about 40 tonnes, and today a new mill would probably be provided with 45 tonnes.

So depending upon the properties of this UHS steel, and also depending upon starting gauge, you may certainly have insufficient tension. I don't think that rolling torque (directly proportional to specific power) is too much of a problem.

What can I suggest to help?

1/ Check the functioning of mill and coiler motors. Are they delivering the full torque that was specified? (For example, we have found some old drives where various components failed and could not be replaced, and so were not producing the full torque).

2/ If the drives are OK, you could check with the drive supplier (ABB) what could be done to increase the torque. We have come across many old DC motors which were generally designed, and could be operated with torque increased by 20% - 30%.

In such a case we would advise you to check the gearboxes to calculate if they have enough safety margin to operate at increased tension. (we could do this for you).

Forts. svar 1 från Sendzimir Inc.

Bilaga 2, sid. 2(2)

3/ It's not normally necessary to roll high strength alloys at such high speeds. Therefore, if the speed of the mill and coilers were reduced by modifying the drive gear ratio, the mill torque and maximum coiler tension would increase correspondingly. e.g. if base speed were reduced from 315 to 250 (200) MPM, we would achieve a 26% (57%) increase in mill torque and tension, without any change to the electrics.

In order to advise you properly I would need you to supply me with information (curves of constrained yield strength vs. reduction) defining the UHS steels you mention.

Regarding textbooks you will not find anything better than the W.L. Roberts book. There are other good books if you want to understand general principles, such as those by Wusatowski (Pergamon Press) and Larke. (Chapman and Hall). I believe there have been one or two articles on HSLA steels published in the "Iron and Steel Engineer" over the years. Try Google (on the internet) using "HSLA Steels" - you'll find 1870 references.

Best regards,
John Turley

From: Erik Nordmark
Sent: Tuesday, December 08, 2003 13.30
To: Engineering
Subject: Zenzimir ZR22B-42 Cold Strip Mill?

Dear John,

As mentioned in earlier mail I'm a production engineer university student who is doing my degree project at LuCoil Steel in Lulea, Sweden.

My research assignment is to examine how to cold roll ultra high strength steel at LuCoil's Sendzimir ZR22B-42" Mill, which for this purpose provide insufficient strip tension.

I have visited your site and read all your articles regarding cold rolling and 20-high mills. I was especially interested of the articles "Mill Management System" and "Control of Quarter Buckles on Sendzimir 20-h Mills".

SSAB together with MEFOS have made similar studies like yours on flatness using the simulation program Cluster, rolling experiments and flatness measurement with laser. The results were presented in the paper "Use Of A Physically Based Simulation Program To Develop Strip Quality In A Wide 20-Roll Cluster Mill" during the 3rd European Rolling Conference at METEC Congress, June 16 – 21, 2003 in Düsseldorf. The text of the paper is included as a PDF file if you would like to read it.

Now I have some questions you hopefully can answer:

1. How much would it cost to implement The Mill Management System software at LuCoil?
2. Is it possible to upgrade LuCoil's 20-h mill with flexible backing assemblies and segmented idler roll and to what cost and would this upgrade somehow compensate insufficient strip tension?
3. The article I have attached regarding SSAB's and Mefos research discusses modified taper rolls with double taper. Are you familiar with any new roll grinding profiles or tapers that might be appropriate when rolling UHS-steel or any new roll cluster compositions?
4. Today LuCoil use Stuart Rolkleen EP 3032 (3-5%) oil emulsion as a rolling lubrication. Maybe this is a question for the oil manufacturer but do you know if there is a more suitable rolling lubrication for LuCoil on the market that also makes the strip cleaner?
5. Would changing of lubrication need reconstruction of the lubrication system?
6. One of the mandril supports that can be moved aside when the coil is to be removed needs to be reinforced/strengthen. It seems like the support yields making the mandril to flex from the strip tension until the housing bolts finally breaks. Do you know how to strengthen this mandril support and how much would it cost?

In an earlier reply regarding problems with UHS steels you wrote:

"In order to advise you properly I would need you to supply me with information (curves of constrained yield strength vs. reduction) defining the UHS steels you mention."

Forts. fråga 2 till Sendzimir Inc.

Bilaga 3, sid. 2(2)

In a couple of weeks we are going to do some rolling experiments on the steel grade CK 75 (I think its equivalent to US ASTM A 682) that is commonly used for saw blades. The final tensile strength of the blade is supposed to be at 1 550 N/mm² and the final thickness 0.83 mm.

LuCoil has earlier made two cold rolling attempts which both failed. On the 1st attempt they had a starting gauge at 2.86 mm. After the 4th out of 10 passes the strip shape was so bad they gave up. To the next attempt the strip was annealed. This time the strip shape was fine but the final tensile strength didn't reach up to 1 550 N/mm².

So now as a 3rd attempt we are going to try a different cooled and therefore harder CK 75 steel (Rm = 1 100 N/mm²) with a starting gauge at 2 mm.

I'm hoping you or maybe your Mill Management software (as a test sample) could give me some advice before this 3rd attempt. Your advice will guide the rolling experiments and if you like I will forward you the results.

I have attached a word file consisting of all previous CK 75 rolling data. I don't have curves of yield strength vs. reduction on this new and therefore harder CK 75 since this grade is new to LuCoil. If you would like to have those curves I will have to send some material for tensile tests.

Best Regards,
Erik Nordmark

LuCoil Steel AB
SE - 971 88 Luleå
Sweden

Från: MIME :engineering@sendzimir.com
Skickat: den 12 december 2003 07:47
Till: Nordmark Erik @ LUTPL/SSAB
Ämne: Sendzimir ZR 22B-52 Cold Strip Mill

Dear Erik,

I think you are doing good work, and I have learnt something from you already!

I had not discovered anything in the literature in respect of herringbone prior to your last email. It's normally considered to be a function of inadequate tension, as you say. I also remember some things that I have learnt in respect to herringbone.

1/ It's much more common on Z mills than on mills having large work rolls.

2/ Sometimes the herringbone can be reduced by running the mill with tapers further out (i.e. "effective flat" is increased) and using larger total work roll crown.

3/ At Vallourec Solesmes (in France) I remember watching a ZR 33C-27 mill rolling 600mm wide low carbon steel down to approx. 0.1mm (the strip was used for automobile radiators at that time). They used very high tension in order to minimize herringbone. I do not remember the tension level (it may be in our files somewhere) but I do remember that the strip width reduced from 600mm to approx. 590mm during the rolling.

I also remember very clearly that herringbone was visible on the strip after rolling. But after slitting to around 50mm wide molts, there was no sign of herringbone on the molts, and the molts coiled very nicely on the slitter rewinder mandrel.

However, I have to confess that I do not understand the herringbone mechanism, and if you have copies of your references (1) and (2) I would be very grateful if you could mail copies to me. The paper by Sidestam et al is fascinating, particularly the description of the mechanism of development of cross buckles, and I would very much like to be able to establish required tension levels for any application.

One interesting aspect of this for me is that, if such high levels as 44% of the yield strength are required, then it will be very important to have a shapemeter on the mill to roll safely at such tension levels. We have recently developed a new shapemeter which is compact and low cost, and easily maintained. We have built twelve units so far and results have been very good. So perhaps we can build you a shapemeter or two. Or perhaps you already have shapemeters?

Regarding your questions:

1/ A mill management system for your mill would cost around \$15,000 (software only, to run on a Windows based PC). We are emailing you a general description.

2/ Yes, the mill can be upgraded with FSBA and SIR. Please contact Marc Brecy at Redex, France for a quotation. These features will be particularly helpful if you run with automatic flatness control. It will definitely help to improve flatness but I'm not sure whether it will reduce herringbone.

3/ In the article, the single taper is reasonable for your application. (taper 1.2 micron/mm on dia.) However, I think the double taper is no good because it's too steep. (2.8 micron/mm and 5 micron/mm) Such steep tapers usually produce quarter buckle when rolling strip that has edge drop. If you have a roll grinder that has computer controlled profile control, I would be glad to make suggestions for taper profiles to try.

4/ The oil used for the emulsion has to be carefully selected. To keep the strip cleaner a higher SAP no. (more fatty ester in the oil) may help, but this is dangerous, because, especially when you roll softer grades, the mill can skid on the strip (usually causing chatter at the same time) if the oil becomes too slippery. You need to talk to other oil suppliers and other companies rolling similar steels. It's probably true that no one is completely happy with the rolling oil they use. With a Z mill you are also always concerned that the emulsion will properly lubricate the rolls and backing bearings.

5/ In general, provided that you continue to use the same type of mineral oil based emulsion, with the SAP no. sufficiently low that the emulsion is relatively stable, I think you can change oil types without reconstructing the system.

6/ The mill is 40 years old so many parts are probably very worn by now. Even so, I am sure that the mill housing itself is OK, but lots of parts that I see when I look at the drawing really need to be replaced. Here is a list of things I see.

6.1/ Mill coolant spray boards - I believe the original "slot" design was replaced in 1981 with new spray boards incorporating Lechler nozzles, so these should be OK.

6.2/ Backing bearings - it seems that an oil mist system was installed in 1971. This is not a good idea unless the backing bearings you use are shoulder type, which require no thrust washers. This is because oil mist does not adequately lubricate thrust washers.

6.3/ Crown adjustment - the system which uses hydraulic motors and screw jacks should be replaced with direct acting hydraulic cylinders, using servovalves or proportional valves for control. This enables the possibility of automatic flatness control and greatly eases manual control by the operator.

6.4/ Axial adjustment - the system which uses hydraulic motors driving through chain/sprocket and screw/nut systems should be replaced with direct acting servo controlled hydraulic cylinders (or possibly servo hydraulic cylinders acting via lever arms for simpler installation and lower maintenance cost). We have supplied both types.

6.5/ Deflector roll base/tensiometer/outboard bearing gate. This whole arrangement is horrible - there is hardly enough space to fit a thickness gauge between the wipers and the deflector roll. With our current design methods, we can move the deflector roll perhaps 300 mm away from the mill and towards the winder. The outboard bearing gate pivot pin is located underneath the deflector roll bearing block. I will fax you a typical arrangement.

The new design would give you (on each side of the mill)

- (a) More space for the strip wipers
- (b) Space for thickness gauge
- (c) Space for a Sendzimir shapemeter (adjacent to deflector roll)
- (d) Possible space for a shear
- (e) New outboard bearing gates with tight clearances at the pivot bushings
- (f) Horizontal support pads for tension reaction bridges

6.6/ I would really like to see the existing mandrels replaced by reverse pyramid mandrels of modern design, (these would be retro-fitted into the existing gearboxes) especially if the mill is operated at higher tensions.

6.7/ You mentioned that the winder gearboxes were becoming loose on the foundations. This problem is best solved by using horizontal support struts ("bridges") mounted between winder gearboxes and deflector roll bases to support the horizontal force on each gearbox and remove this force from the foundation.

Erik, - it's possible that some of the items I have noted above have been attended to by yourselves. One quick way of checking would be for you to use a digital camera to take some photos of the mill (front and back) and deflector roll bases and email them to us.

7/ Rolling of CK 75 (0.75" carbon steel) Such high carbon grades are notoriously difficult to roll, mostly because of edge cracking after reductions more than about 50% (after annealing). They are commonly rolled on small Sendzimir mills (e.g. ZR 33C-18) and small Z-high mills. Usually the flatness requirements are not so critical as some applications because the strip will be slit to narrower widths. However, I don't think those double tapers will help you, unless a large amount of strip is trimmed from each edge.

I have heard of a new type of high carbon steel which is "spheroidal" (i.e. carbon component) and thus much more ductile - can be rolled over 80% after annealing. (Westig in Germany rolls this material)

I do have curves for most carbon steel grades, published by BISRA many years ago and so quite reliable. I will run pass schedules for you. However, examining the schedule you sent, it looks quite good to me (reduction wise) but I think that you probably need more work roll crown in the earlier passes (I don't know which inter. roll tapers you used for this schedule, and I don't know the setting of crown adjustment system).

Best regards,
John Turley

Attached file: Sendzimir Mill Management System Software - Rev 13.doc

Mill Management System User List				
	Customer	Mill Type	Stand Alone	On-Line
1	Allegheny Ludlum Steel Co., Wallingford, CT USA	ZR 33-26	X (1986)	
2	Allegheny Ludlum Steel Co., Wallingford, CT USA	ZR 23-25	X (1986)	
3	Allegheny Ludlum Steel Co., Lockport, NY USA	ZR 33-12	X (1986)	
4	Avesta AB, Avesta, Sweden	ZR 618A-85	X (1987)	X (1992)
5	Washington Steel Corp., Washington, PA USA	ZR 22-42		X (1987)
6	Washington Steel Corp., Washington, PA USA	ZR 22-49		X (1987)
7	American Brass Co., Buffalo, NY USA	ZR 67-30	X (1987)	
8	United Aluminum Co., North Haven, CT USA	ZR 23WF-37	X (1987)	X (1991)
9	United Aluminum, Co., North Haven, CT USA	ZR 24-18	X (1988)	X (1991)
10	Lee Steel Strip Co., Sheffield, UK	ZR 66-20	X (1987)	
11	Brinsworth Strip Mills, Rotherham, UK	ZR 64-12	X (1988)	
12	Avon Cycles, Ludhiana, Punjab, India	ZR 66-17		X (1988)
13	Comet Steel, Nanded, Maharashtra, India	ZR 22B-50		X (1990)
14	Lee Steel Strip Co., Sheffield, UK	ZR 23-19		X (1990)
15	Chicago Steel, East Chicago, IN USA	4-High		X (1990)
16	Lee Steel Strip Co., Sheffield, UK	ZR 33-21		X (1991)
17	Allegheny Ludlum, Vandergrift, PA USA	ZR 22B-52		X (1991)
18	Sipta Coated Steels Ltd., Nanded, Maharashtra, India	ZR 22B-50		X (1991)
19	Him Ispat Steel Co., Pathankot, India	ZR 22B-50		X (1991)
20	Avon Cycle, Ludhiana, India	4-High		X (1991)
21	Titanium Metals Corp., Toronto, OH USA	ZR 22BB-50		X (1991)
22	Uttam Galva, Maharashtra, India	ZR 22B-50		X (1991)
23	Jawahar Metal #2, Uttar Pradesh, India	ZR 22B-50		X (1991)
24	Criterion Metals, Attleboro, MA USA	4-High		X (1992)
25	Texas Instruments, Attleboro, MA USA	ZR 16-8½		X (1992)
26	Special Steels Ltd., Tarapur, India	ZR 612A-50		X (1992)
27	Guangzhou, China	4-High, #1		X (1992)
28	Guangzhou, China	4-High, #2		X (1992)
29	Allegheny Ludlum, Wallingford CT USA	ZR 33-26		X (1992)
30	Allegheny Ludlum, Wallingford, CT USA	ZR 23-25		X (1992)
21	Allegheny Ludlum, Waterbury, CT USA	ZR 23SC-25, #2		X (1992)
32	Tung Mung, Taiwan	ZR 21BB-54, #1		X (1992)
33	Tung Mung, Taiwan	ZR 21BB-54, #2		X (1992)
34	Sam Yang Metals, Korea	ZR 21-44		X (1993)
35	Coshocton Stainless Div. Armco, Coshocton, OH USA	4-High		X (1993)
36	Steel Technologies, Canton, Michigan	ZR 611A-44		X (1993)
37	Teledyne Rodney Metals, New Bedford, MA USA	ZR 22-42		X (1993)
38	Worthington Steel Co., Columbus, OH	4-High		X (1993)
39	Washington Steel Co., Massillon, OH USA	ZR 22-49		X (1993)
40	Columbus Joint Venture, Middelburg, South Africa	ZR 613A-63		X (1994)
41	Steel Tubes of India, Dewas, Indore, India	4-High		X (1994)
42	Uttam Steel, Ltd., Khopoli, India	6-High		X (1994)
43	Lee Steel Strip, Ltd., Sheffield, England	Sundwig 20-High		X (1995)

Mill Management System User List				
	Customer	Mill Type	Stand Alone	On-Line
44	Raymond Steel, Ltd., Thane, Maharashtra, India	4-High		X (1995)
45	Lee Steel Strip, Ltd., Sheffield, England	ZR 23-19, #2		X (1995)
46	Foshan Precision, Guano Dono, China	4-High	X (1995)	
47	Special Steels Ltd., Navsari, India	4-High		X (1996)
48	Avery Cycles Ltd., Ludhiana, India	4-High		X (1996)
49	Jindal Iron & Steel Co., Tarapur, India	6-High		X (1996)
50	Tube Products of India, Madras, India	6-High		X (1996)
51	United Aluminum, North Haven, CT, USA	ZR 23WF-37	upgraded to Windows	X (1996)
52	CSN, Volta Redonda, Brazil	4-High		X (1996)
53	Lukens Inc., Washington, PA USA #3 Mill	ZR 22-42	upgraded to Windows	X (1996)
54	P.T. Badja Ind., Indonesia	4-High		X (1996)
55	Shanghai Stal #1 Mill, China	ZR 33C-27		X (1997)
56	Shanghai Stal #2 Mill, China	ZR 23SC-26		X (1997)
57	Precision Specialty Metals, CA, USA	ZR 22WFT-52		X (1997)
58	Special Metals (Inco) IN, USA	ZR 22WF-52		X (1998)
59	Jupiter Aluminum IN, USA	ZR 67-32		X (1999)
60	Ticomp Metal Forming Co., CA, USA	ZR 24C-15		X (2000)
61	AvestaPolarit Meadowhall, UK	ZR 23-19		X (2001)
62	United Aluminum, CT, USA	ZR 23WF-37	upgraded to Windows	X (2002)
63	AvestaPolarit Meadowhall, UK	ZR 23-20		X (2003)
64	United Aluminum, CT, USA	ZR 24-19	upgraded to Windows	X (2003)

T. Sendzimir Inc. - U.S.A.

Company: **SSAB**
 Attention: **Mr. Erik Nordmark**
 Please cc:
 FAX #: **011-46-920-25-5856**
 From: **John Turley**
 Date: **Thursday, December 11, 2003**
 Subject:
 Reference:
 Pages: 2, including this one

FAX Message No: 9872

Dear Erik,


I'm appending a pass schedule for rolling 0.81% carbon steel (my closest reference) 900mm wide from 2mm down to 0.83mm.

1. To calculate total rolling force (RSF): -
 e.g. at 243.6 Kg/mm
 Total RSF = 243.6 x 900/1000 = 219 tonne
2. Values given in your schedule (e.g. 120 kN) are much too small, and probably represent the total screwdown cylinder force. They need to be multiplied by approx. 20 (provided screwdown position is between 4 and 8) to convert to RSF.
 e.g. 120 x 20 = 2400 kN = 2400/9.81 = 245 tonne
3. Note that actual results when rolling high carbon steels depend very much upon the quality of the anneal. If the strip is not fully annealed before rolling then the rolling loads may be much higher than those shown in my schedule.

Best regards,

JWT/mm

John Turley



269 Brookside Road, Waterbury, CT
 Voice: (203) 756-4617
 Fax: (203) 756-4610
 E-Mail: sales@sendzimir.com
engineering@sendzimir.com
 Website: www.sendzimir.com
 E-Mail communications preferred.

This confidential message is intended solely for the person to whom it is addressed. If you receive this message in error, please would you forward it to the correct person, or send it back to us.
 Thank you.

ENT BY: T. SENDZIMIR, INC; 203 756 4610; DEC-11-03 2:40PM; PAGE 2/2

T.SENDZIMIR, INC., WATERBURY, CT., USA 12-11-2003 13:23
 COMPUTER OPTIMIZED ROLL PASS SCHEDULES FOR NORRBOITENS
 MILL TYPE = ZR22D SCHEDULE NO. 1
 TUNING = 92.,1.2.,20,1.0,20,60000 OPTIONS = 0.5.0.,50,610,800.,800

ROLL DATA

20 -HIGH MILL. Soluble oil lubrication
 WORK ROLL DIA = 64 mm
 MAX. PAYOFF TENSION = 3800 kg
 MAX WINDER TENSION = 19300 kg
 BASE SPEED = 315 rpm
 WINDER BASE SPEED = 455 rpm
 TOP SPEED = 855 rpm
 MILL POWER = 2685 kw
 ROLL SEPARATING FORCE = 33000 lb/in

MATERIAL DATA

MATERIAL = .81% CARBON STEEL
 COIL WEIGHT = 10000 kg
 ANNEAL GAUGE = 2 mm
 START GAUGE = 2 mm
 FINISH GAUGE = .83 mm
 WIDTH = 900 mm
 MAX %REDUCTION, PASS 1 = 14
 MAX %REDUCTION, WATER PASSES = 13

PASS NO.	EXIT GAUGE MM	% RED.	TOTAL RED. %	PASS SPEED MPH	MILL EPP. %	SPEC. PRES. KG/MMA2	ENTRY TENS. KG	EXIT STRS. KG/MMA2	EXIT TENS. KG	EXIT PWR. KW	MILL PWR. KW	ROLLG. PWR. KW	ROLLG. LOAD KG/MM	PASS TIME MIN	FWD SLP %
1	1.720	14.00	14.00	110	80.86	75.60	3800	12.47	19300	364	+0099	382	243.6	7.98	3.83
2	1.496	13.00	25.18	455	75.13	94.56	19300	14.33	19300	1508	+1502	1613	255.3	2.58	0.58
3	1.302	13.00	34.91	455	73.60	102.54	19300	16.47	19300	1508	+1423	1538	261.4	2.89	0.76
4	1.163	10.66	41.85	455	71.18	108.71	19300	18.44	19300	1508	+1091	1189	238.4	3.17	0.93
5	1.036	10.94	48.21	455	69.60	113.27	19300	20.70	19300	1508	-1039	1144	238.3	3.50	1.07
6	0.919	11.29	54.05	455	67.86	117.36	19300	23.34	19300	1508	+0985	1097	236.4	3.89	1.23
7	0.830	9.68	58.50	455	65.19	120.80	19300	25.84	19300	1508	-0777	877	214.2	4.25	1.28

TOTAL ROLLING TIME/COIL= 24.76 min
 REVERSAL TIME = .5 MINUTE/REVERSAL, LOADING/UNLOADING TIME = 10 MINUTES/COIL, PRODUCTION EFFICIENCY = 75 %
 HOURLY PRODUCTION RATE=11761.31kg/hr

Copyright T.Senzimir Inc. Waterbury,CT.,USA,1995
 BY JWT

SENT BY: T: SENDZIMIR, INC; 203 756 4610; DEC-11-03 1:29PM; PAGE 1/2

Company: **SSAB**
Attention: **Mr. Erik Nordmark**
Please cc:
FAX #: **011-46-920-25-5856**
From: **John Turley**
Date: **Thursday, December 11, 2003**
Subject:
Reference:
Pages: 2, including this one

*cc: JLT
- Ale*

FAX Message No: 9871

T. Sendzimir Inc. --U.S.A.

Dear Erik,

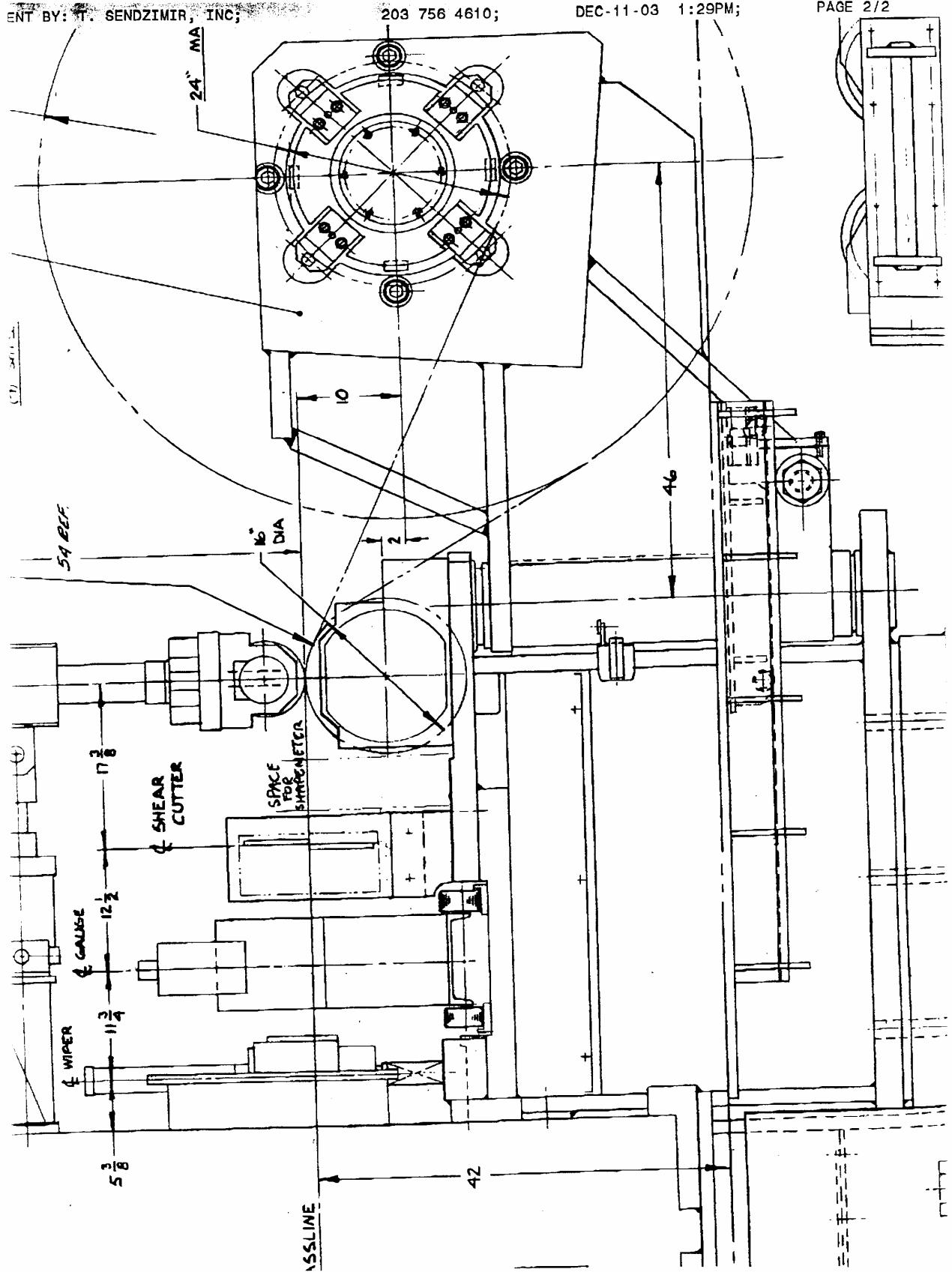
See attached sketch, which I referred to in my e-mail of today.

Best regards,
John Turley



269 Brookside Road. Waterbury, CT
Voice: (203) 756-4617
Fax: (203) 756-4610
E-Mail: sales@sendzimir.com
engineering@sendzimir.com
Website: www.sendzimir.com
E-Mail communications preferred.

This confidential message is intended solely for the person to whom it is addressed. If you receive this message in error, please would you forward it to the correct person, or send it back to us. Thank you.



Fråga 3 till Sendzimir Inc.

Bilaga 8, sid. 1(3)

Från: Nordmark, Erik

Skickat: den 18 december 2003 12:37

Till: 'engineering@sendzimir.com'

Ämne: From LuCoil To John Turley.

Dear John,

I'm very grateful to your detailed reply and the pass schedule. I have taken copies of the references [1] and [2] you wanted and I will send them by post to you today.

I'm going to have a meeting with the management regarding everything you wrote about in the mail. I will get into touch with you again after the meeting. Meanwhile I'm attaching some pictures of the mill.

Maybe this is a stupid question but I can't figure out how you calculate the total RSF, especially when I look at the description of RSF in The Sendzimir Manual: $\sqrt{R} \cdot r \cdot W \cdot p$.

I would be grateful if you could explain your calculations to me, which was: Total RSF (0.81% carbon steel, 900mm wide, from 2mm down to 0.83 mm)= $243.6 \times 900/1000 = 219$ tonne?

And those curves for carbon steel grades published by BISRA, where can I find or buy them?

In the data sheet regarding CK 75 I tried to collect as much information as possible. In the table for work rolls the first row shows which rolls LuCoil is having, i.e. cylindrical WR and 0.07 mm or 0.010 mm crowned WR, and their respective hardness and roughness. The second row is showing which rolls that are used during the rolling for the particular pass schedule, in this case CK 75, and the used rolls hardness and surface roughness.

The same is valid for the 1st intermediate rolls. The first row shows which tapers who are available at LuCoil and how steep they are. The second row is showing which rolls that are used during the rolling of CK 75 and its positioning and hardness. So for CK 75 a single taper, which tapers 1.2 micron/mm, is used. (Here the roll positioning happens to be in the pass schedule)

The single taper rolls I called "300/0,21mm@end" in the CK 75-table is having a 300 mm taper length, which tapers 0.21 mm at the end, or 0.7 micron/mm

And the taper "450/0,54mm@end" is also a single taper having a 450 mm taper length, which tapers 0.54 mm at the end, or 1.2 micron/mm

And the three available double tapers rolls are: (see sketch in the last page)

450/310/2.00mm@end:

450mm total taper length, which tapers a total of 2.00 mm at the end and about 0.13 mm between the 1st and 2nd taper. The 1st (outer) taper starts 310 mm from the roll end. The two tapers would be 0.9 micron/mm and 6.8 micron/mm.

Forts. fråga 3 till Sendzimir Inc.

Bilaga 8, sid. 2(3)

300/150/0,70mm@end:

300mm total taper length, which tapers a total of 0.70 mm at the end and about 0.11 – 0.13 mm between the 1st and 2nd taper. The 1st (outer) taper starts 150 mm from the roll end. The two tapers would be 0.7 micron/mm and 4.7 micron/mm

250/100/0,55mm@end:

250mm total taper length, which tapers a total of 0.55 mm at the end and about 0.10 mm between the 1st and 2nd taper. The 1st (outer) taper starts 100 mm from the roll end. The two tapers would be 1.25 micron/mm and 5.5 micron/mm.

So the intermediate roll tapers used for rolling CK 75 was a 1.2 micron/mm tapered single taper with 450 mm cone length. According to the pass schedule the intermediate roll positioning varied between 530 to 600 mm.

Both work rolls were cylindrical in the beginning of the rolling, but due to bad strip shape one cylindrical roll was replaced with a 0.07 mm crowned roll in the 5th pass.

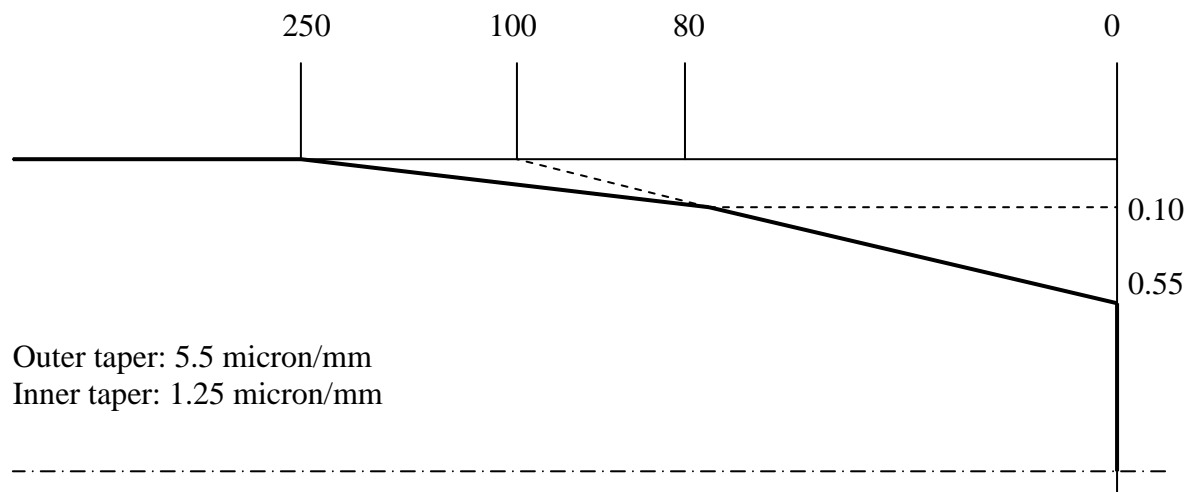
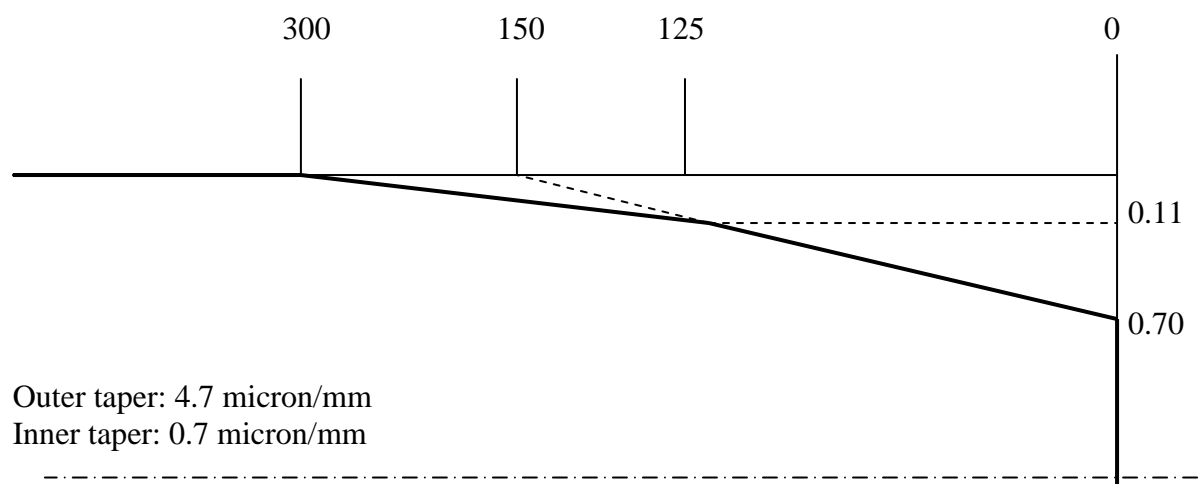
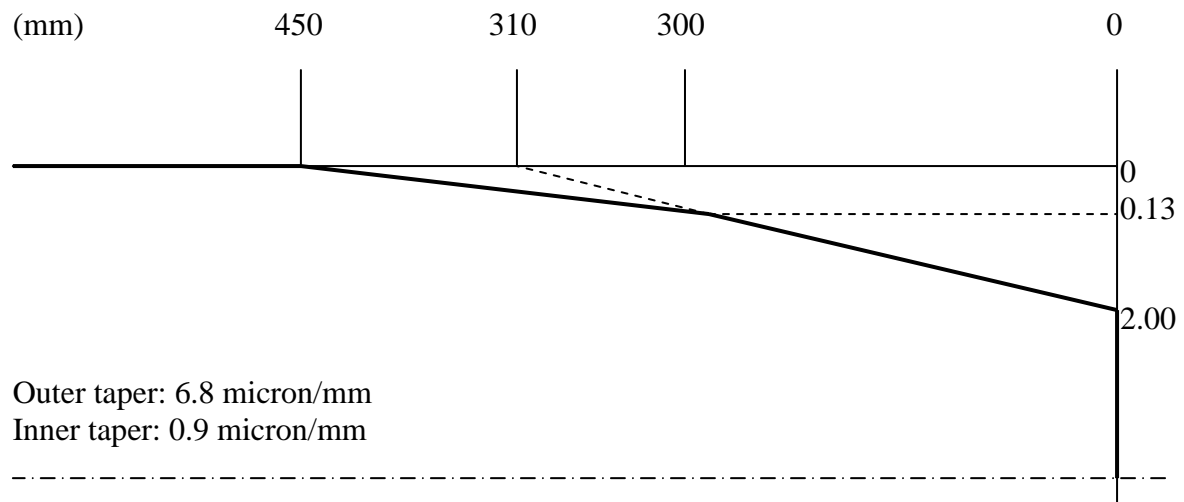
If you have any other suggestions for roll tapers profiles, especially for rolling UHS steel grades, please let me know.

After the Christmas (maybe in week 2 or 3) we are going to do rolling experiments based on the pass schedule you sent for the steel grade CK 75. I will forward you the results and some pictures from the rolling.

Best regards,
Erik Nordmark

LuCoil Steel AB
SE - 971 88 Luleå
Sweden

The three different double tapers:



SENT BY: T. SENDZIMIR, INC;

203 756 4610;

DEC-18-03 1:47PM;

PAGE 1

Company: LuCoil Steel AB

Attention: Mr. Erik Nordmark

Please cc:

FAX #: 011-46-920-25-5856

From: John Turley

Date: Thursday, December 18, 2003

Subject: BISRA curves

Reference:

Pages: 3, including this one

FAX Message No: 9875

T. Sendzimir inc. --U.S.A.

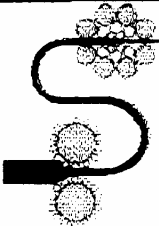
Dear Erik,

Enclosed herewith is BISRA yield stress strain curves for various materials including carbon steels.

These curves were reproduced in an old SKF catalog as you can see.

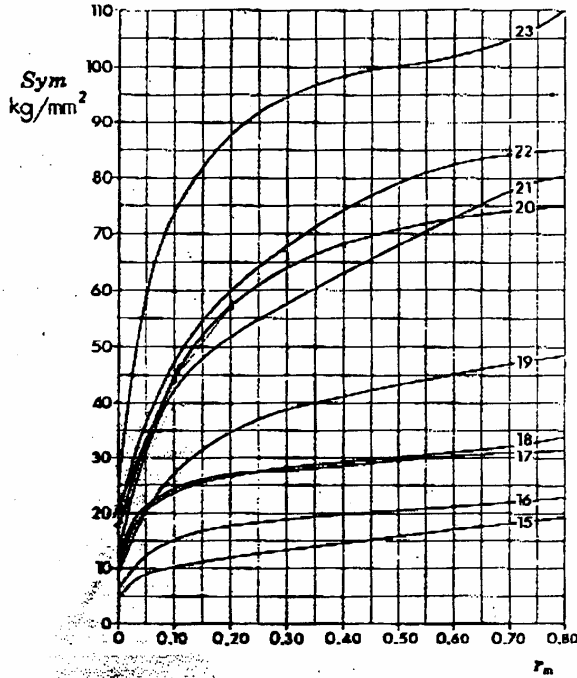
JWT/mm

Kind regards,
John Turley



269 Brookside Road, Waterbury, CT
 Voice: (203) 756-4617
 Fax: (203) 756-4610
 E-Mail: sales@sendzimir.com
engineering@sendzimir.com
 Website: www.sendzimir.com
 E-Mail communications preferred.

This confidential message is intended solely for the person to whom it is addressed. If you receive this message in error, please would you forward it to the correct person, or send it back to us. Thank you.



MULTIPLY GRAPH RESULT BY 14223 TO OBTAIN PSI

- Fig. 3a. BISRA yield stress-strain curves for:
- 15 Aluminium
 - 16 " with 1.25% Mn
 - 17 " with 0.25% Mn and 2.0% Mg
 - 18 Aluminium with 4.25% Cu, 0.75% Si, 0.75% Mn and 0.5% Mg
 - 19 Copper
 - 20 Nickel silver
 - 21 Brass, 63% Cu and 37% Zn
 - 22 " 70% Cu and 30% Zn
 - 23 Monel metal

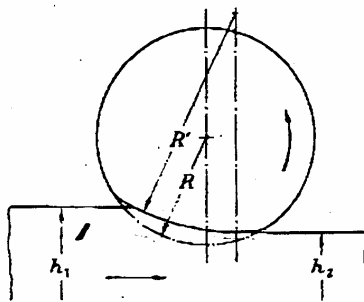


Fig. 4. Roll radius for flattened roll.

DIVIDE S_{red} AND S_{tred} BY 1422.3 TO ENTER GRAPHS WITH KG/MM².

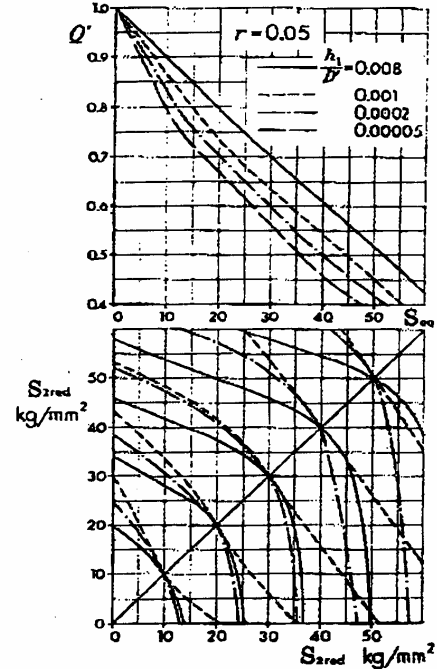


Fig. 5a. Graph for determining reduction factor Q' when $r = 0.05$

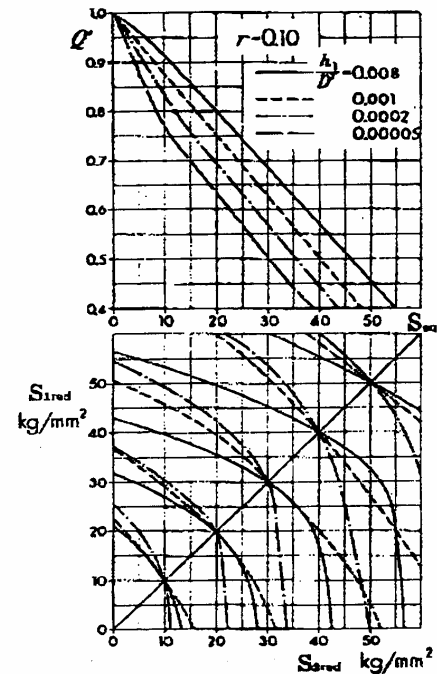


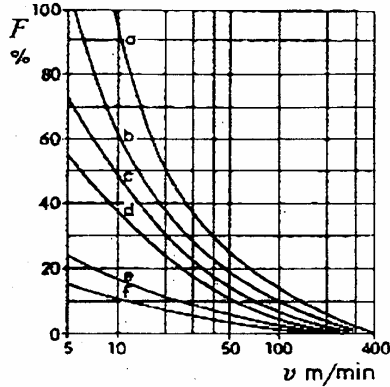
Fig. 5b. Graph for determining reduction factor Q' when $r = 0.10$

SENT BY: T. SENDZIMIR, INC;

203 756 4610;

DEC-18-03 1:48PM;

PAGE 3/3



Summary of h_i/D values represented by curves in Fig. 2 for different pass reductions

r	$10' \times h_i/D$					
	a	b	c	d	e	f
0-10	5.7	8.5	11	14	28	57
0-20	9.5	14	19	24	48	95
0-30	14	21	29	36	72	143
0-40	21	31	42	52	104	208
0-50	31	46	61	76	153	306
0-60	47	70	94	117	234	467

MULTIPLY FPM BY 0.3048 TO ENTER GRAPH WITH M/MIN.

Fig. 2. The relative roll force F for different rolling speeds when rolling strip steel.

$1 \text{ Kg/mm}^2 = 1420 \text{ Psi}$

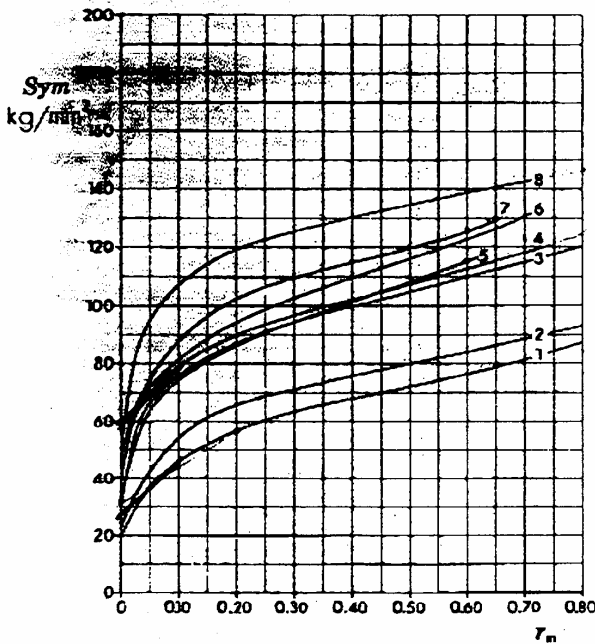


Fig. 3a. BISRA yield stress-strain curves for:

- 1 Carbon steel, 0.08% C
- 2 " " 0.17% C
- 3 " " 0.36% C
- 4 " " 0.51% C
- 5 " " 0.66% C
- 6 " " 0.81% C
- 7 " " 1.03% C
- 8 " " 1.29% C

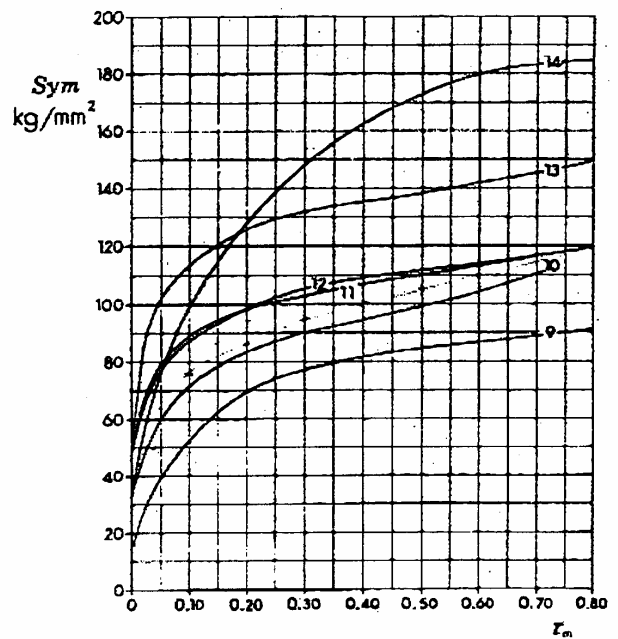


Fig. 3b. BISRA yield stress-strain curves for:

- 9 Nickel
- 10 Ferritic stainless steel, 17% Cr
- 11 Silicon-alloyed steel, 1.8% Si
- 12 " " 2.7% Si
- 13 Nimonic 80, approx. 80% Ni and 20% Cr
- 14 Austenitic stainless steel, 8% Ni and 18% Cr

MULTIPLY GRAPH RESULTS BY 1422.3 TO OBTAIN PSI

Fråga 4 till Sendzimir Inc.**Bilaga 10, sid. 1(2)**

From: Erik.Nordmark@ssab.com
Date: Tue, 13 Jan 2004 16:54
To: engineering@sendzimir.com
Subject: From LuCoil to Mr Turley.

Dear Mr Turley,

As mentioned earlier I'm very grateful for all you help. I hope the papers (Ishikawa and Komori) I mailed to you before Christmas have arrived. Otherwise let me know and I'll send (or fax) you new copies.

Due to Christmas holidays, I haven't had the meeting with the management regarding your upgrade tips yet, but I will in the immediate future. Meantime, have you looked at the picture of the mill I've sent you? Is there anything you would like to add to your earlier list of things that might need to be replaced, or do you need more pictures?

The rolling of the steel grade CK 75 that you made me a pass schedule for, will take place next week. The strip has arrived and it is 1200 mm wide and will be slit to 900 mm before rolling. The initial mechanical properties, at least at the strip end, were a bit lower than the expected $R_m = 1050 \text{ N/mm}^2$ (due to insufficient cooling). Tensile test of the raw material shows $R_e = 604 \text{ N/mm}^2$, $R_m = 972 \text{ N/mm}^2$ and $A_5 = 21\%$. Hopefully these numbers will increase further into the coil. Right now I'm trying to figure out everything (all the parameters) I need to examine during the rolling experiments. If you have any suggestions please let me know.

Since LuCoils management is very interested in the Mill Management System software I hope the rolling experiments turns out well. I will forward the results with some pictures to you as soon as the rolling experiments are done.

When I look at your enclosed CK 75 pass schedule, the BISRA curves and The Sendzimir Manual, I can't figure out how the pass schedule calculations are done. This is something I really would like to learn to calculate "manually" if it's possible, or at least understand. Therefore I would be very grateful if you in detail could explain to me how to calculate the rolling forces, strip tensions and reductions with starting point in the mill and the material properties and limitations. In the W.L. Roberts book "Cold Rolling Of Steel" there are many more or less complicated mathematical models, but which of them is best and simplest to use for 20-high mills?

I would also appreciate some explanations how to use the different BISRA graphs. However, the parameters in the BISRA curves you sent me were a bit hard to read due to the printing/faxing quality, but I will try to look for these curves in SKF catalogues.

We are also doing some other rolling experiments on a softer steel grade ($R_m = 390\text{-}490 \text{ N/mm}^2$, $A_{80} = 6\%$, $C = 0.05 \%$) to improve the surface roughness. Today we reach $R_a = 0.20 \mu\text{m}$, but the goal is $0.13 \mu\text{m}$. The total reduction is only about 30 % and we are rolling two passes.

Forts. fråga 4 till Sendzimir Inc.

Bilaga 10, sid. 2(2)

According to W.L. Roberts book, less/poorer lubrication and the front/back tension set so the neutral point moves upstream, increases the forward slip or "scuffing" and results in a better strip surface finish. On the other hand, earlier experiments on this steel grade with extra lubrication added have produced a better/lower strip surface roughness, which is contradictory. Do you think W.L. Roberts theories will work here, since the contact arc is very small due to small work roll diameter, thin strip and low reduction per pass? The initial strip thickness is either 1.0 mm or 1.3 mm.

Best regards,
Erik Nordmark

LuCoil Steel AB
SE - 971 88 Luleå
Sweden

Fråga 5 till Sendzimir Inc.**Bilaga 11, sid. 1(3)**

From: Erik.Nordmark@ssab.com
Date: Tue, 17 Feb 2004 11:40
To: engineering@sendzimir.com
Subject: From LuCoil to Mr Turley.

Dear Mr Turley.

I'm hereby sending you the results and photos from the CK 75 rolling experiment that you earlier gave me a pass schedule to. The starting gauge of the strip was 2.00 mm and the final gauge was 0.83 mm. The incoming coil width 1200 mm was slit down to 900 mm (150 mm at each side) before rolling.

The mechanical properties of the strip before rolling was:

$Re_H = 604 \text{ N/mm}^2$
 $Rm = 972 \text{ N/mm}^2$
 $A_5 = 21 \%$

And after 58.5 % reduction:

$Rm = 1450 \text{ N/mm}^2$

As you will see on the enclosed photos the rolling didn't turn out so well. Since we only rolled half the incoming coil, we are going to do another attempt with the other half. The last pass was impossible to carry through because of edge cracking. So any further suggestions to the next attempt would be greatly appreciated.

The pass schedule you sent me looked like this:

Pass	Exit Gauge	Reduction	Entry Tens.	Exit Tens.	Spec. Press.	Roll. Load
1	1.72	14.0 %	3.80 tonne	19.3 tonne	75.6 kg/mm ²	243.6 kg/mm
2	1.50	13.0	19.3	19.3	94.6	255.3
3	1.30	13.0	19.3	19.3	102.5	261.4
4	1.16	10.7	19.3	19.3	108.7	238.4
5	1.04	10.9	19.3	19.3	113.3	238.3
6	0.92	11.3	19.3	19.3	117.4	236.4
7	0.83	9.7	19.3	19.3	120.8	214.2

During the rolling your pass schedule was modified to the following:

Pass	Exit Gauge	Reduction	Entry Tens.	Exit Tens.	Screw Force	Approx RSF
1	1.80	10.0 %	10.0 tonne	19.3 tonne	165 kN	336 tonne
2	1.60	11.1	18.5	19.3	160	326
3	1.40	12.5	18.5	19.3	170	347
4	1.20	14.3	18.5	19.3	165	336
5	1.06	11.7	19.3	19.3	140	285
6	0.94	11.3	19.3	19.3	160	326
7	0.84	10.6	19.3	19.3	155	316
8	0.83	1.2	19.3	19.3	65	132

* Approx $RSF = (\text{Screw Down Force} \times 20) / 9.81$ according you last e-mail. Do you calculate this from the hydraulic piston area?

The Rolls:

The 1st intermediate rolls we used were single tapers with 450 mm cone length and they were tapered 1.2 micron/mm on diameter.

We used cast iron work rolls at pass 1-6, and then a bit harder blasted steel rolls at pass 7-8. The pass speed (which is maximal 315 mpm) was about 100 mpm during the rolling. Your pass schedule suggested 455 mpm though. The emulsion was only at 2 %, which is to low.

Pass 1:

In the beginning two cylindrical WR was chosen and the 1st intermediate roll positions was set to 600 mm at the front side and 500 mm at the back. Since the mill immediately was skidding, both the entry tension and reduction was lowered. The strip shape was very bad with long edges (mostly at the back side) and maybe some long center too. Also, one 0,07 mm crowned WR was put in instead of one of the cylindrical WR. The saddle adjustments are set with positive crown, but with less pressure at the backside since the incoming strip seems to be wedge formed.

Pass 2:

Still very bad strip shape. No changes in WR or 1st intermediate roll positions.

Pass 3:

A little bit better strip shape. Still one cylindrical and one crowned WR were used. 1st intermediate roll positions moved to 570 mm at the front side and 530 mm at the back.

Pass 4:

Now rolling with two 0,07 mm crowned WR. The saddle crown adjustment is still positive, but set more symmetrical.

Pass 5:

Two blasted and 0,07 mm crowned WR was put in, because the strip is supposed to have a surface finish according to $Ra = 0,80 \mu\text{m}$ at the end. The total reduction is 50 % and now the problems begin. The 1st strip breakage seems to be caused by the long edges at the backside, making the strip not centred. Then there is a 2nd breakage. On the picture of a piece of the strip cut out and standing on the floor you see holes tore open. Why? The 3rd breakage seems to be caused by edge cracks. On the 4th attempt the exit gauge is changed from 1.00 mm to 1.06 mm. Now the rolling can be carried through.

Pass 6:

Again there is a strip breakage. This one is caused by edge cracks. The strip shape is also having herringbones.

Pass 7:

Again a strip breakage in the beginning of the pass. The strip is tore apart. To the second attempt the entry tension is lowered but still a 2nd breakage occurs. More edge cracks at the backside of the strip, which has had the most severe long edges through all the rolling passes. A long piece of the strip with edge cracks is cut away to the 3rd attempt, which now is successful. The strip shape is no good.

Pass 8:

One after another there are three strip breakages. The reason is edge cracks. This final pass is considered impossible carry out and here we gave up. But the few meters we rolled aren't having so bad strip shape at all. So this final 1.2 % reduction was doing wonders to the strip shape.

Since we are having half the coil left we are going to do another rolling experiment in the immediate future. Any more rolling suggestions would therefore be greatly appreciated.

I do also have some questions regarding your mill upgrade tips. Some of the things you have mentioned that might need to be upgraded or installed are:

- The backing bearings
- The hydraulic crown adjustment
- The axial adjustment system
- The deflector roll base/tensiometer/outboard bearing gate
- The mandrels
- Horizontal support struts between mandrels and deflector roll bases
- Your recently developed shapemeter

Where can I get more detailed information and maybe some pictures about these upgrades and also the prices? If it's possible I would like to have some informative material to show for the LuCoil Management.

Best regards,
Erik Nordmark

LuCoil Steel AB
SE - 971 88 Luleå
Sweden

SENT BY: T. SENDZIMIR, INC;

203 756 4610;

FEB-26-04 1:09PM;

PAGE 1/1

Company: LuCoil Steel AB
 Attention: Mr. Erik Nordmark
 Please cc:
 FAX #: 011-46-920-25-5856
 From: John Turley
 Date: Thursday, February 26, 2004
 Subject:
 Reference:
 Pages: 1, including this one

FAX Message No: <u>9938</u>

T. Sendzimir Inc. - U.S.A.

Dear Erik,

Sorry for my delayed reply - we are currently having trouble with e-mail.

1. The differences between planned and actual schedule are interesting. The photos are very useful, but I don't know if the photo numbers correspond to the pass numbers (I think not).
2. It is not unusual to have problems when rolling high carbon steels (including 0.75%C steel) at reductions greater than 50%. Many mills limit reductions to around 50% for this reason. Usually edge cracking/strip breaking because the strip is so brittle. Sometimes also you get holes in the strip, a few cm inside each edge, which are called "gull wings" because of their shape, and strip breaks will often start at these points.
3. For as long as I remember, and certainly since 1973, mills have tried to reduce fuel costs by reducing the cycle time for the annealing process. The result of this is that the strip is not fully annealed before rolling, and this causes very high rolling forces during rolling, and premature edge cracking. I am not sure that yield strength and elongation values tell you the whole picture with respect to the strip properties. You may need to take photo-micrographs to check that full re-crystallization has occurred.

It would be useful to check the mill power values during rolling, or the mill torque. Note that, if rolling below the base speed of 315 MPM (and rolling at a steady speed) the torque is proportional to the mill amps. If the actual mill power is also much higher (relative to speed) compared to our schedules, this would confirm the high roll force values, and indicate that, most likely, annealing is the problem.



Best regards,
John Turley

JWT/mm

	269 Brookside Road, Waterbury, CT
	Voice: (203) 756-4617
	Fax: (203) 756-4610
	E-Mail: sales@sendzimir.com engineering@sendzimir.com
	Website: www.sendzimir.com
E-Mail communications preferred.	

<p>This confidential message is intended solely for the person to whom it is addressed. If you receive this message in error, please would you forward it to the correct person, or send it back to us. Thank you.</p>
--

HÄRDBARA STÅL

HÖGKOLHALTIGA OCH SEGHÄRDADE

DEFINITION

Härdbara stål med metallurgiska och mekaniska egenskaper enligt EN-normerna. De kan med fördel användas i applikationer där hög hållfasthet, hårdhet och slitstyrka är ett krav.

LEVERANSUTFÖRANDE

Ej glödgat eller glödgat.

ÖVRIGT

Upplysningar beträffande härdning lämnas av LuCoil Steel, Teknisk kundservice.

KEMISK SAMMANSÄTTNING (Typiska värden)

Stålsort	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Al %
	min-max	min-max	min-max	max	max	max	max
C10 E	0,07-0,13	max 0,40	0,30-0,60	0,035	0,035	0,40	
C45 E	0,42-0,50	max 0,40	0,50-0,80	0,035	0,035	0,40	
C55 S	0,52-0,60	0,15-0,35	0,60-0,90	0,025	0,025	0,40	
C67 S	0,65-0,73	0,15-0,35	0,60-0,90	0,025	0,025	0,40	0,020
C75 S	0,70-0,80	0,15-0,35	0,60-0,90	0,025	0,025	0,40	0,020
C100 S	0,95-1,05	0,15-0,35	0,30-0,60	0,025	0,025	0,40	0,015

HÅLLFASTHETSEGENSKAPER

Stålsort	Utförande	Brottgräns R _m N/mm ²	Förlängning A ₈₀ %	Hårdhet HV	Hårdhet HRB
		max	min	max	max
C10 E	Glödgat	450	25	140	73
C45 E	Glödgat	595	16	185	88
C55 S	Glödgat	625	14	195	90
C67 S	Glödgat	660	13	205	92
C75 S	Glödgat	675	12	210	93
C100 S	Glödgat	720	11	225	95

Oktober 2003

Uppgifterna i detta datablad hänför sig till tiden för publicering och avser att ge en allmän vägledning vid användning av produkten. Reservation görs för ändringar till följd av löpande produktutveckling. Angivna uppgifter och data får inte uppfattas som garantier utan särskild skriftlig bekräftelse.

ULTRAHÖGHÅLLFASTA STÅL

HILOC SUPER

PRODUKTEN

Hiloc SH är ett kallvalsat (sendzimirvalsat) stål för applikationer som kräver ett hårt material. Stålet har mycket hög hållfasthet och hårdhet i kombination med acceptabel bockbarhet och god svetsbarhet. Materialet har också god utmattnings-hållfasthet, högt motstånd mot slag och stötar samt hög energiupptagningsförmåga.

APPLIKATIONER

- Skärning; eggjar för knivar, stanslinjer, kopplingsskivor och sågar
- Nötning; betongblandare och lastbilsflak
- Återfjädring; brickor, klämmor och fjädrar
- Styrka; fordonsdetaljer, bärande konstruktioner, spadar, lättviktscontainers (sidor/front/tak/panel), stegar och rör
- Stöttålighet; dörrar, beslag och skyddsskor.

SVETSNING

Hiloc SH är låglegerat i förhållande till hållfastheten och kan därför svetsas med alla vanliga svetsmetoder, t ex punkt-, MAG-, laser- eller högfrekvenssvetsning. Vid punktsvetsning av materialet mot sig självt kan partiella pluggbrott uppkomma vid isärdragningstest.

STANDARDDIMENSIONER

Stålsort	Bredd (mm)	Tjocklek (mm)
Hi 1300 SH	8-1000	0,50 - 1,90
Hi 1400 SH		0,40 - 1,70
Hi 1500 SH		0,35 - 1,95
Hi 1600 SH		0,45 - 1,90
Hi 1700 SH		0,35 - 0,50

KEMISK SAMMANSÄTTNING (Typiska värden)

Stålsort	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %	Nb %
Hi 1300 SH	0,12	0,2	1,5	0,015	0,002	0,04	0,015
Hi 1400 SH	0,12	0,2	1,5	0,015	0,002	0,04	0,015
Hi 1500 SH	0,17	0,5	1,6	0,015	0,002	0,04	0,015
Hi 1600 SH	0,17	0,5	1,6	0,015	0,002	0,04	0,015
Hi 1700 SH	0,17	0,5	1,6	0,015	0,002	0,04	0,015

MEKANISKA EGENSKAPER (cirkavärden)

Stålsort	Brottgräns	Hårdhet	Förlängning
	Rm N/mm ²	Hv	A80 %
Hi 1300 SH	1300	400	2%
Hi 1400 SH	1400	430	2%
Hi 1500 SH	1500	450	2%
Hi 1600 SH	1600	490	2%
Hi 1700 SH	1700	520	1%

BOCKBARHET

Stålsort	Minsta rekommenderade bockningsradie (<90°)
Hi 1300 SH	3*t
Hi 1400 SH	4*t
Hi 1500 SH	4*t
Hi 1600 SH	5*t
Hi 1700 SH	7*t

Bockningsradierna avser bockning längs valsningsriktning, vilket är det svåraste fallet. Vid bockning tvärs valsningsriktning kan snävare bockning i allmänhet tillåtas.

Oktober 2004

Uppgifterna i detta datablad hänför sig till tiden för publicering och avser att ge en allmän vägledning vid användning av produkten. Reservation görs för ändringar till följd av löpande produktutveckling. Angivna uppgifter och data får inte uppfattas som garantier utan särskild skriftlig bekräftelse.

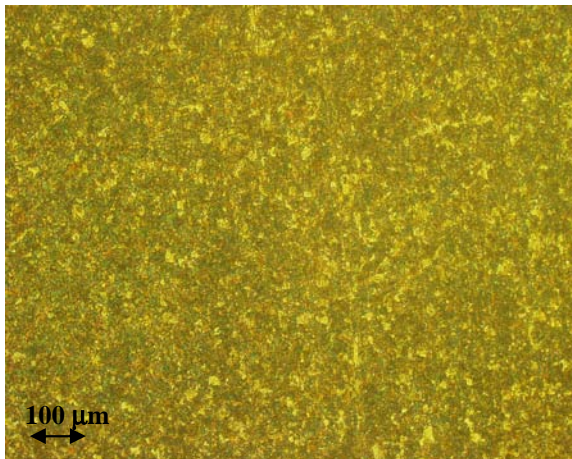


Bild 1: CK 75 råband – 300 ggr förstoring samt belyst med UV-ljus

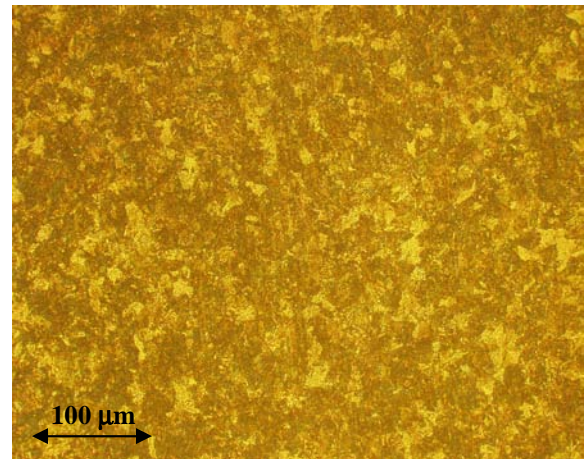


Bild 4: CK 75 råband, prov 2 – 600 ggr förstoring

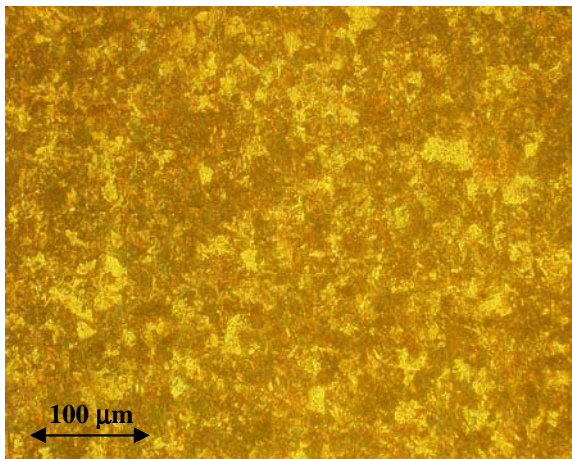


Bild 2: CK 75 råband, prov 1 – 600 ggr förstoring

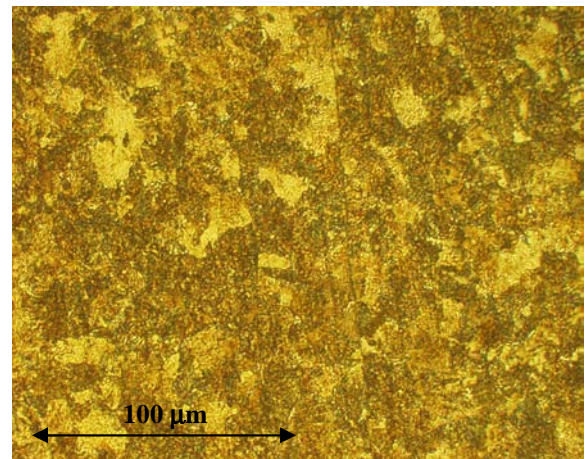


Bild 5: CK 75 råband, prov 2 – 1 500 ggr förstoring

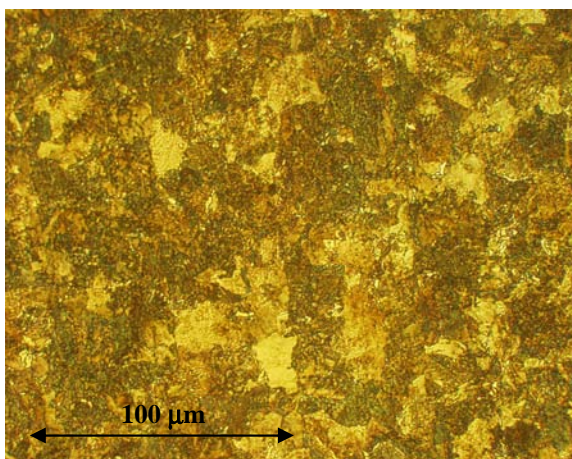


Bild 3: CK 75 råband, prov 1 – 1 500 ggr förstoring

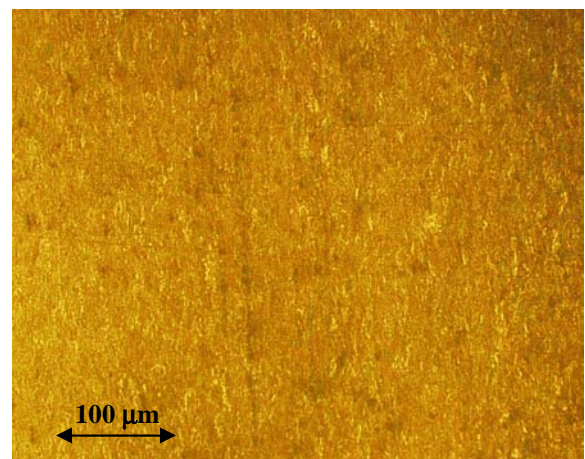


Bild 6: CK 75, 58 % reduktionsgrad – 600 ggr förstoring

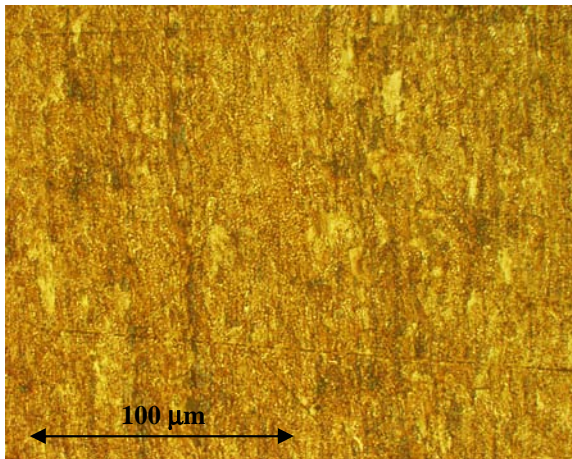


Bild 7: CK 75, 58 % reduktionsgrad – 1 500 ggr förstoring

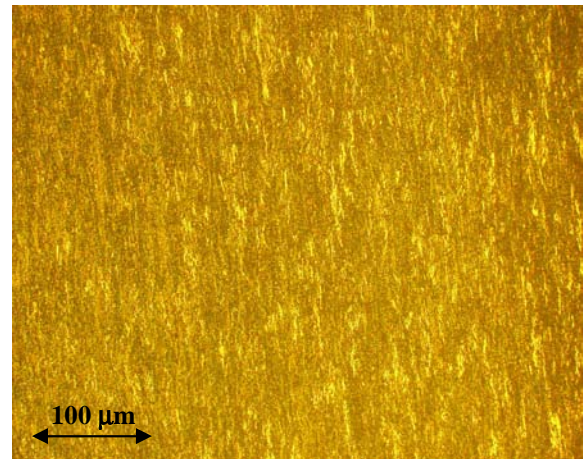


Bild 10: Återhämtningsglödning i 450C och 60 minuter – 600 ggr förstoring

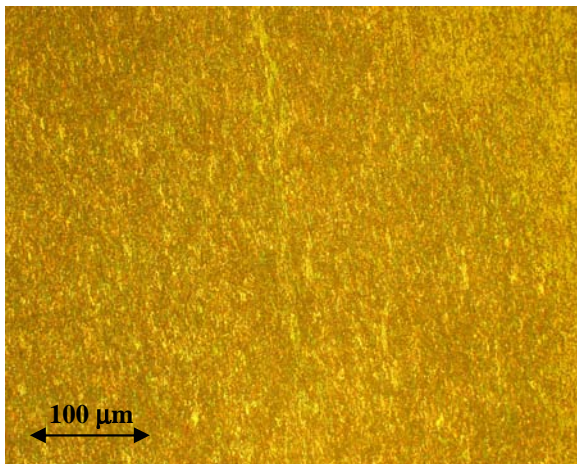


Bild 8: Återhämtningsglödning i 400C och 30 minuter – 600 ggr förstoring

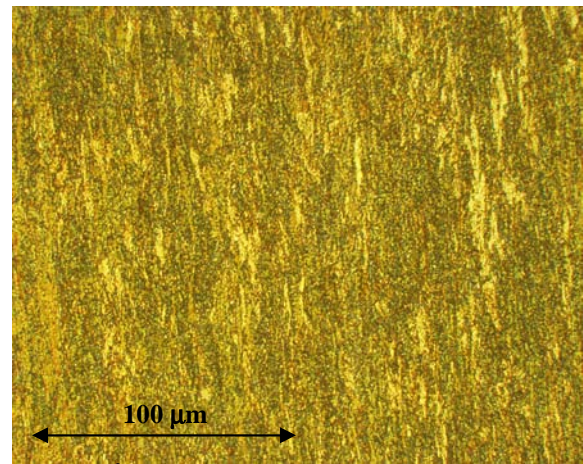


Bild 11: Återhämtningsglödning i 450C och 60 minuter – 1 500 ggr förstoring

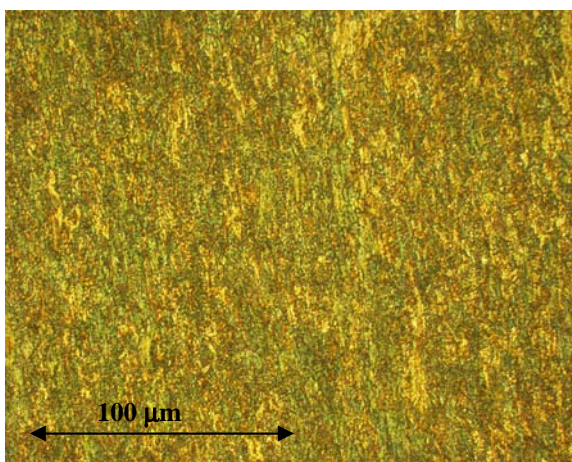


Bild 9: Återhämtningsglödning i 400C och 30 minuter – 1 500 ggr förstoring

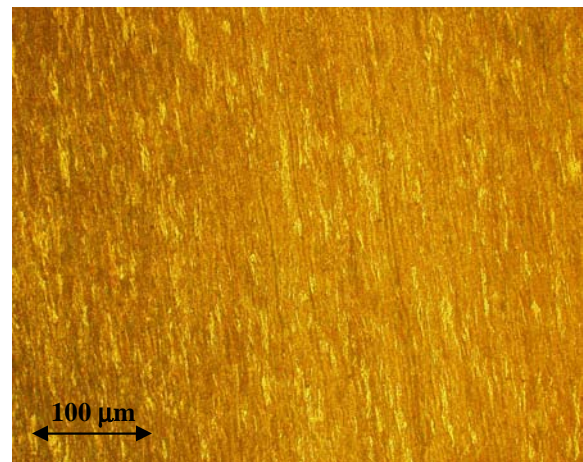


Bild 12: Återhämtningsglödning i 500C och 30 minuter – 600 ggr förstoring

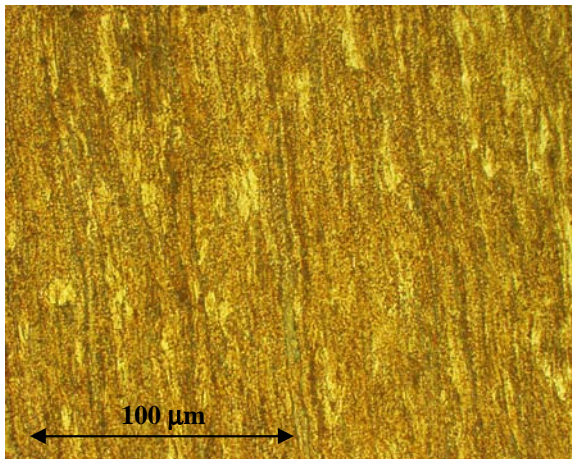


Bild 13: Återhämtningsglödning i 500C och 30 minuter – 1 500 ggr förstoring

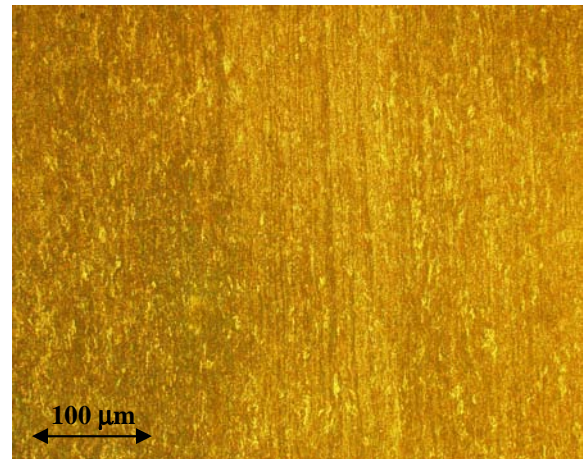


Bild 16: Återhämtningsglödning i 530C och 30 minuter – 600 ggr förstoring

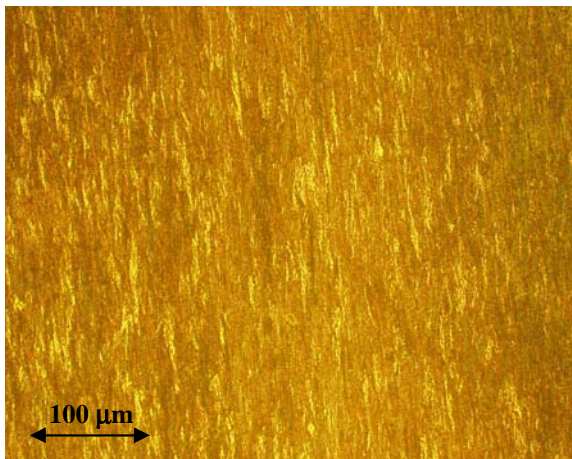


Bild 14: Återhämtningsglödning i 500C och 60 minuter – 600 ggr förstoring

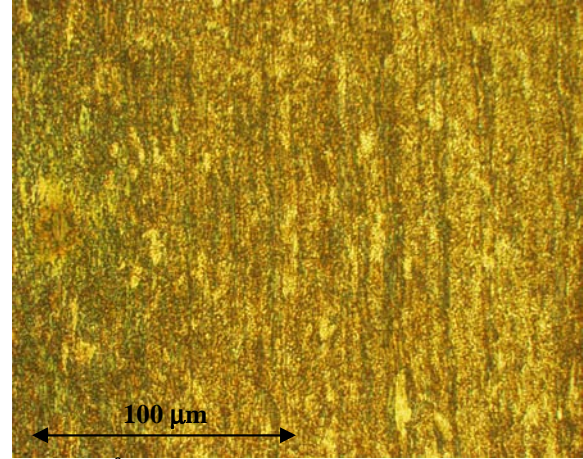


Bild 17: Återhämtningsglödning i 530C och 30 minuter – 1 500 ggr förstoring

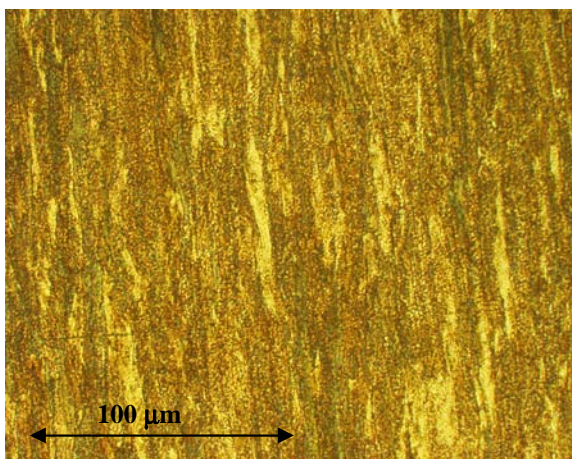


Bild 15: Återhämtningsglödning i 500C och 60 minuter – 1 500 ggr förstoring

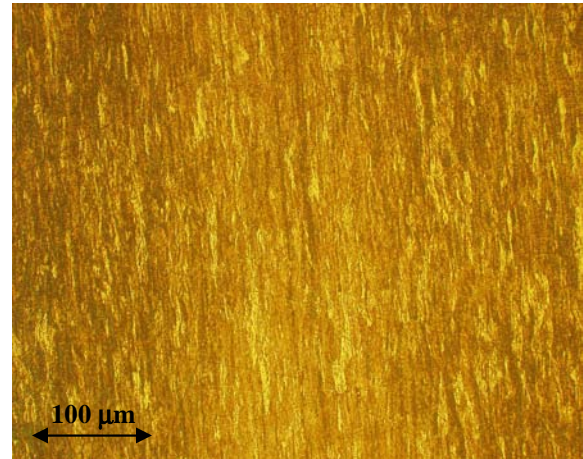


Bild 18: Återhämtningsglödning i 530C och 60 minuter – 600 ggr förstoring

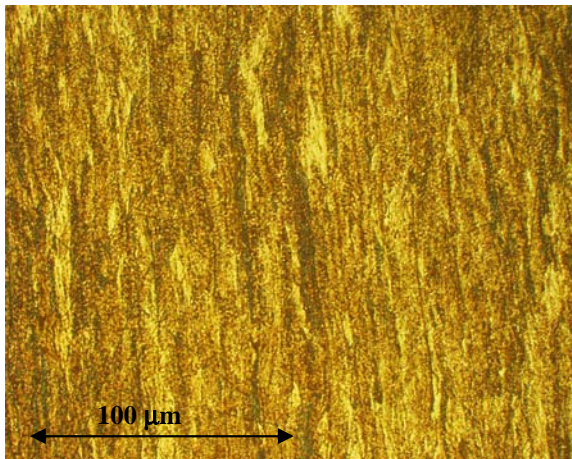


Bild 19: Återhämtningsglödning i 530C och 60 minuter – 1 500 ggr förstoring

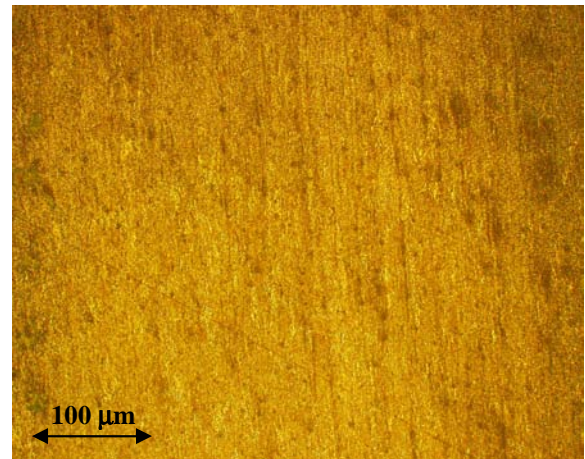


Bild 22: Återhämtningsglödning i 600C och 120 minuter – 600 ggr förstoring

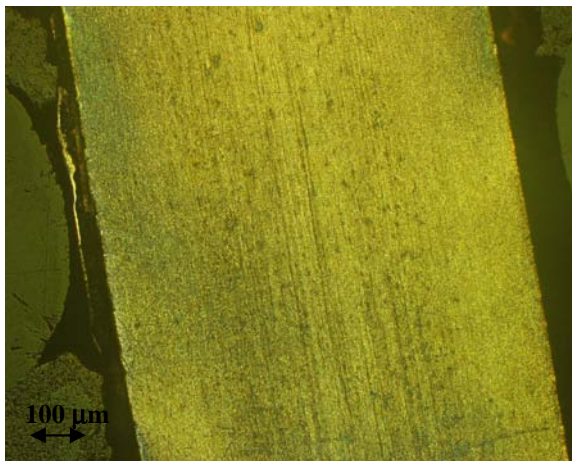


Bild 20: Återhämtningsglödning i 600C och 30 minuter – 300 ggr förstoring

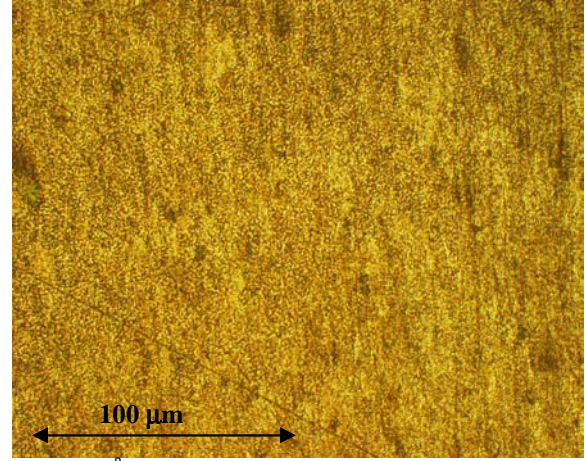


Bild 23: Återhämtningsglödning i 600C och 120 minuter – 1 500 ggr förstoring

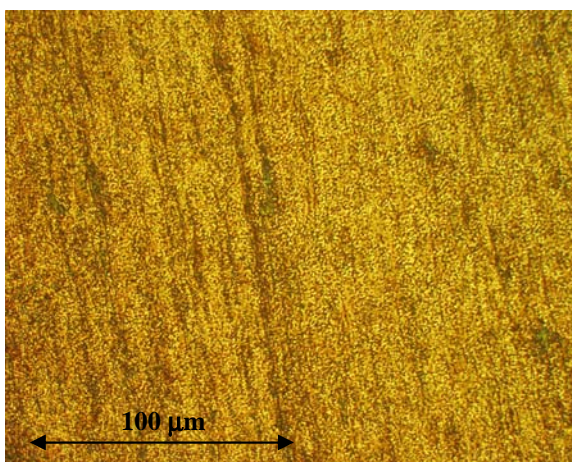


Bild 21: Återhämtningsglödning i 600C och 30 minuter – 1 500 ggr förstoring

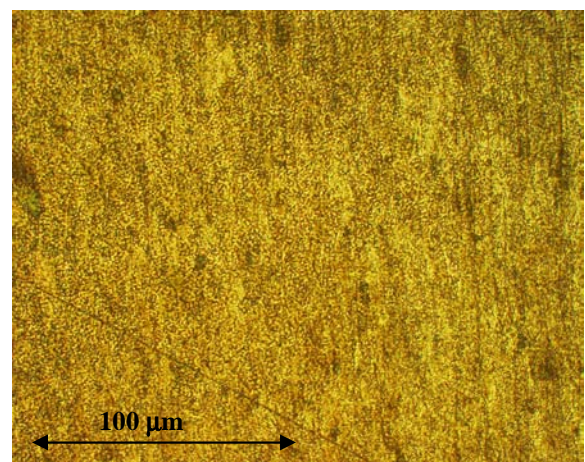


Bild 24: Återhämtningsglödning i 600C och 120 minuter – 1 500 ggr förstoring, samt belyst med polariserat ljus