

Automatiserade Funktioner i Lasersvetsning



Kristian Walter

Department of Industrial Electrical Engineering and Automation
Lund University

Abstract

The Company is welding pressed thin metal plates with laser. When the plates are welded together a rolling wheel is used to squeeze the plates together just before the laser welds. This is done just to obtain as small a play as possible. Welding is done in the same track as the wheel is rolling in. It is important that the wheel has a correct position. Otherwise, if the wheel starts to climb on the edges the laser loses its focus and there is a risk that there will be a gap between the plates. The method to squeeze the plates before welding has been developed by the Company.

The aim of this master thesis was to develop software that calculates the exact path of the wheel and to make a NC-program direct from the construction drawing of the pressing tool. The programming of the position of the wheel is done manually, partly by experience partly by online testing.

There are a lot of different types of pressed plates and many parameters that have influence on the optimal position of the wheel, which demands that the software has to be flexible.

The master thesis is divided into two parts, analysis of the movement of the wheel and a software part. The movement of the wheel treats how geometric and mathematic parameters influence the movement of the wheel. In the software part Matlab has been used as program package. During test runs of the program it became clear that certain machine dependent parameters affect the position of the wheel. After compensation for the machine dependent parameters the wheel was positioned correctly.

Some manual corrections of the NC-program can be needed in the finish of the weld or if the pressed plates measurements don't correspond with the pressing tool.

Conclusion: The final software creates an exact and optimized path for the wheel that gives increased margins when welding.

Titel: **Automatiserade funktioner i lasersvetsning**

Författare: Kristian Walter

Handledare: Per Evergren, Företaget
Gunnar Lindstedt, Industriell elektroteknik och automation,
LTH
Gustaf Olsson, Industriell elektroteknik och automation, LTH

Sammanfattning

Företaget svetsar pressad tunnplåt med laser i en NC-maskin. Vid sammanfogning utnyttjar man före lasersvetsen ett rullande hjul vilket pressar ihop plåtarna och ger ett så litet spel som möjligt mellan plåtarna. Svetsningen sker i samma spår som hjulet går. Det är viktigt att hjulet befinner sig rätt i spåret eftersom om hjulet börjar klättra på kanterna förlorar lasern sin fokus och det finns även risk för att en spalt mellan plåtarna kan uppkomma. Metoden att med ett tillhållarhjul sammanpressa plåten före svetsning har utvecklats av företaget.

Syftet med examensarbetet är att skapa en programvara som beräknar tillhållarhjulets exakta bana samt att från pressverktygets ritningsunderlag skapa ett färdigt NC-~~program~~ **program** av tillhållarhjulets position vid svetsning görs idag manuellt dels av erfarenhet, dels genom online-testning.

Eftersom det förekommer flera varianter av den pressade plåten samt att flera parametrar påverkar hjulets optimala position, krävs det att programvaran är flexible.

Arbetet är uppdelat i en analys av svetsens rörelse samt en programutvecklings del. Svetsens rörelse behandlar hur de geometriska och matematiska parametrar påverkar tillhållarhjulets rörelse. Till programutvecklingen har Matlab utnyttjas som programpaket. Vid testkörning av programmet framkom det maskinberoende parametrar som måste beaktas eftersom tillhållarhjulets position påverkades av ~~Efförjning~~ **Efförjning** ~~pehspen~~ **pehspen** för de maskinberoende parametrarna kunde hjulet positioneras exakt.

Vissa manuella korrektioner av NC-programmet kan behövas vid avslutning av svetsning och om den färdigpressade plåtens mått ej överensstämmer med pressverktyget.

Slutsatsen är att den slutliga programvara skapar en exakt optimerad bana för hjulet vilket ger ökade marginaler vid svetsning.

Innehållsförteckning

1 Inledning	4
1.1 Bakgrund.....	4
1.2 Syfte.....	4
2 Analys av svetsens rörelse	5
2.1 Geometri.....	5
2.2 Hjulets förflyttning	10
3 Programutveckling.....	12
3.1 Programuppbyggnad.....	12
3.2 Testkörning med analys.....	15
3.3 Program för korrigering av avvikelser.....	18
4 Slutsatser.....	21
4.1 Hjulets positionering.....	21
4.2 Övergång från ritningsunderlag till färdigt program.....	21
5 Källförteckning.....	22
Tryckta källor.....	22
Muntliga källor.....	22

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Företaget svetsar pressad tunnplåt med laser i en NC-maskin. Vid sammanfogning utnyttjar man före lasersvetsen ett rullande hjul vilket pressar ihop plåtarna och ger ett så litet spel som möjligt mellan plåtarna. Svetsningen sker i samma spår som hjulet går (figur 1.1, figur1.2).

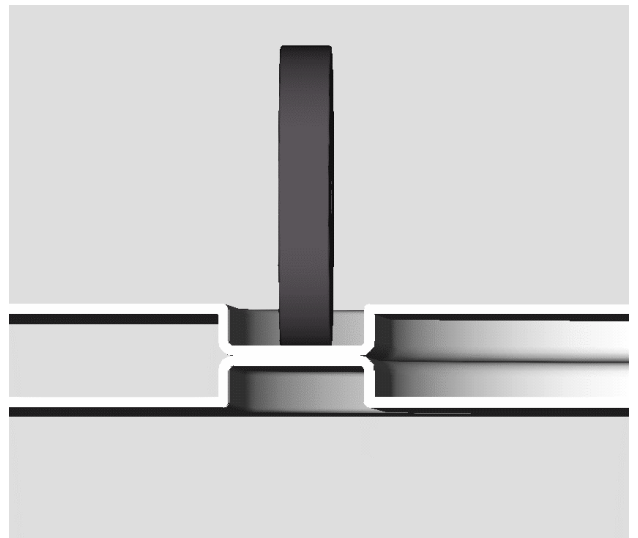
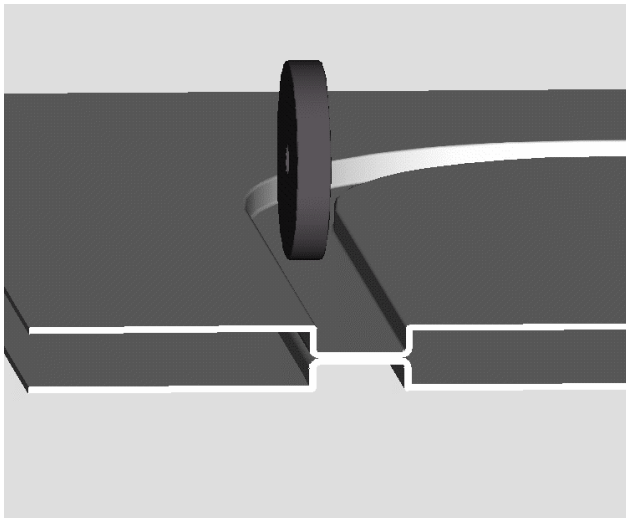
Det är viktigt att hjulet befinner sig rätt i spåret eftersom om hjulet börjar klättra på kanterna förlorar lasern sin fokus och det finns även risk för att en spalt mellan plåtarna kan uppkomma. Det som saknas idag är programvara som lägger in hjulets exakta position vid svetsning. Eftersom det förekommer flera varianter av den pressade plåten samt att flera parametrar påverkar hjulets position, krävs det att programvaran är flexibel.

Inläggning av hjulets position görs idag manuellt dels av erfarenhet, dels genom online-testning [Wegner].

1.2 Syfte

Arbetet består i att göra en postprocessor d.v.s. en programvara för att kunna gå från ett ritningsunderlag till ett färdigt program för NC-maskinen.

Arbetet är uppdelat i en geometrisk analys, en matematisk analys, en programuppbyggnads del, en testkörnings med resultatanalys samt en program korrigering.



Figur 1.1 Hjul utan hjulhållare i spår.

Figur 1.2 (Figur 1 i horisontell vy.) Här visas hur den övre plåten pressas mot den undre med hjulet just före svetsning

2 Analys av svetsens rörelse

För att klargöra vilka parametrarna och hur de påverkar programuppbyggnaden delas de upp i en geometrisk analys och en analys av hjulets rörelse. Den geometriska analysen behövs för att bestämma hur programmets bana skall beräknas, men kan också eventuellt utnyttjas till att försöka optimera parametrarna för att få ökad marginaler vid körning.

Analysen av hjulets rörelse behövs för att se vilka kommandon i NC-koden som kan utnyttjas till det färdiga programmet.

2.1 Geometri

Svetsning sker i ett i plåten utpressat spår där även hjulet är placerat.

Spårets utseende varierar mellan olika plåtar men har oftast samma djup och bredd över hela plåten. Avståndet mellan centrum på laserstrålen och hjulets centrum är konstant vid uppmätning 22.3mm men kan varieras till ett annat konstant värde.

Laserstrålen utgång ger ett centrum runt vilket hjulet kan rotera runt 360°

Hjulets bredd 3-5 mm och diameter är oftast 30mm.

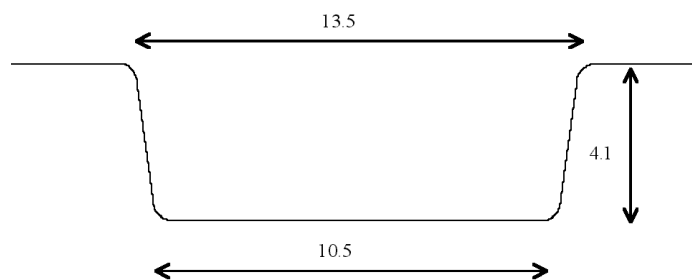
Lasersvetsen är alltid placerad mitt i spåret.

Det som söks är inom vilka vinklar hjulet kan befinna sig utan vidröra kanterna.

Parametrar som påverkar begränsningarna:

- Spårets bredd i topp och botten
- Spårets djup
- Hjulets bredd.
- Hjulets diameter.
- Hjulets avstånd till laserstrålens centrum.

För analys av hur olika parametrarna påverkade begränsningarna valdes ett spår med 4.1 mm djup, 13.5mm bredd i toppen och 10.5mm bredd i botten. (figur 2.1)

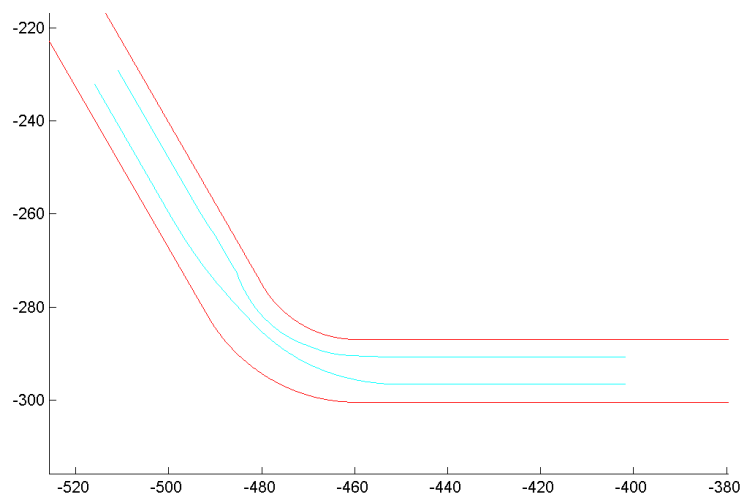


Figur 2.1 Snitt av spåret

Som standard-inställningar valdes:

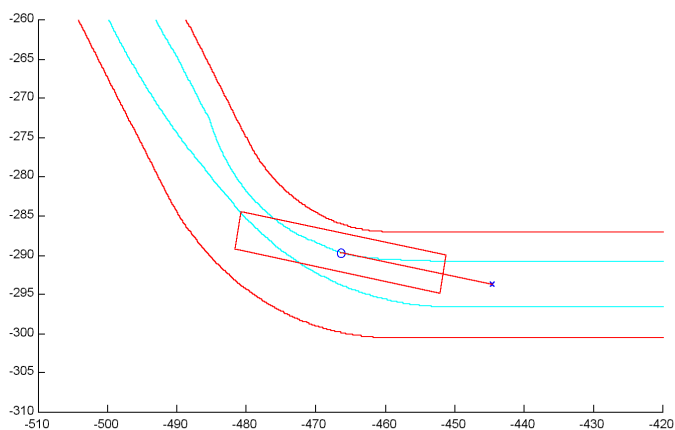
- Hjul diameter 30mm
- Hjulbredd 5mm
- Avståndet mellan centrum laserstrålen och centrum hjulet är 22.3mm
- Kurvan i spårets har en centrumradie på 30 mm och vinkeln är 60°

Därefter varieras de olika parametrarna var för sig. Figur 2.2 visar standardinställningarna. De yttre linjerna är spårets topp och linjerna innanför visar var hjulets centrum befinner sig då någon del av hjulet tangerar spårets kant. Laserstrålen befinner sig i spårets mitt.

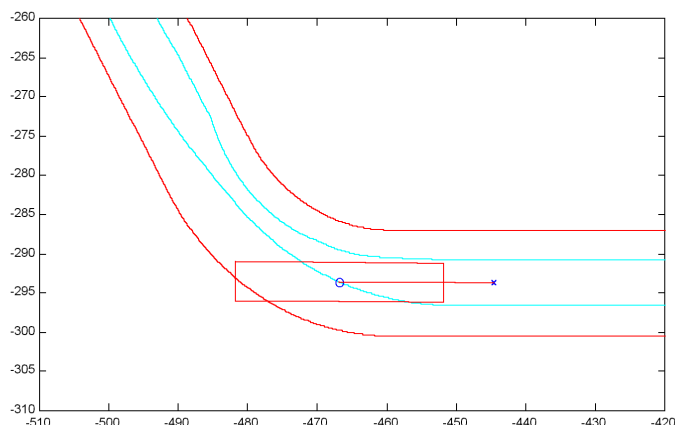


(röd) innanför visas hjuletsbegränsningar (blå) i centrum mellan de yttre linjerna befinner sig svetsen (ej markerad)

Hjulet kan placeras mellan de två inre linjerna utan att vidröra kanterna. I figur 2.3 och 2.4 är vyer ovanifrån som visar var hjulet tar i begränsningarna där x markerar laserstrålens position och o markerar centrum på hjulet.



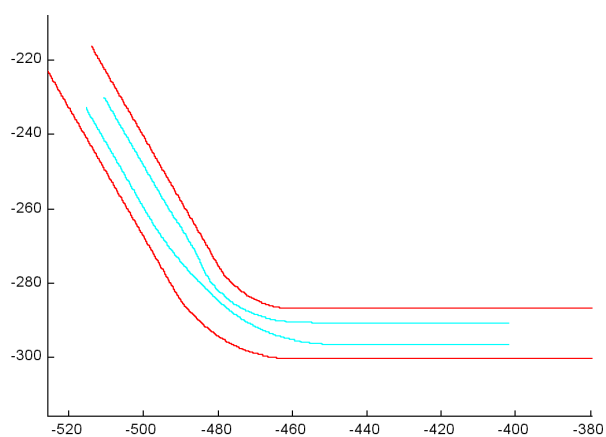
Figur 2.3 Begränsning innerspår. Anledningen till att hjulet ej vidrör kanten är att det är toppen av spåret som är utritad och att hjulet begränsas av bredden i botten spåret, x markerar laserstrålens position och o markerar centrum på hjulet.



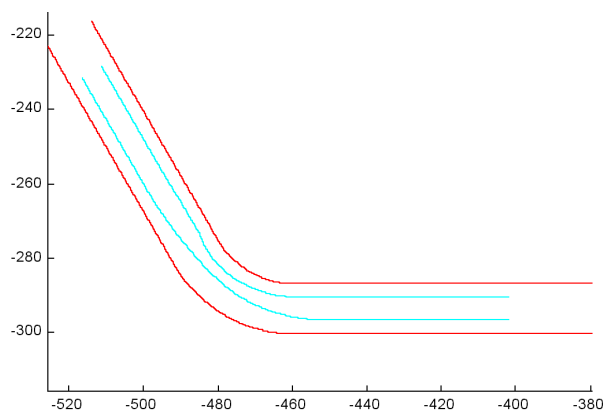
Figur 2.4 Begränsning ytterspår. Anledningen till att en del av hjulet är utanför spåret är att denna del av hjulet befinner sig ovan spåret, x markerar laserstrålens position och o markerar centrum på hjulet.

Variation av parametrarna:

- Spårets bredd ger direkt utslag. Vid ökning av bredden i toppen och/eller i botten får man ökade marginaler inom vilka hjulet kan befinna sig.
- Hjulets bredd ger direkt utslag. Vid minskning av bredden så ökar marginalerna inom vilka hjulet kan befinna sig.
- Spårets djup påverkar på de ställen där hjulet vidrör toppspårets kant. Ett lägre spår djup ger här ökade marginaler inom vilka hjulet kan befinna sig. Detta gäller framför allt i ytterkurva men oftast ger det även ökade marginaler på raksträckor.
- Hjulets diameter. Vid ökning av diametern så minskar marginalerna inom vilka hjulet kan befinna sig. Det är framför allt i ytterkurva detta gäller men även en minskning av marginaler på raksträckor förekommer. I figur 2.5 och 2.6 visas effekterna av en minskning respektive en ökning av hjulets diameter.



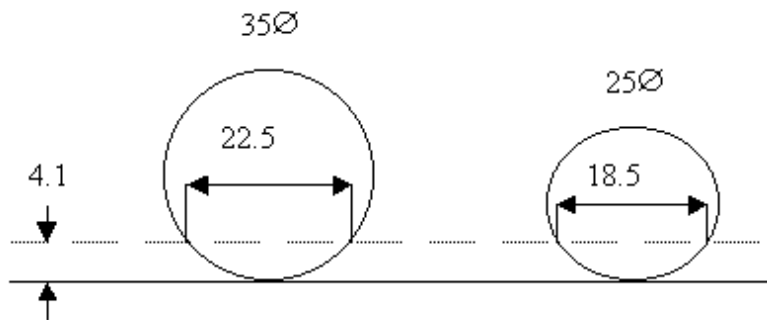
Figur 2.5 Hjul 35 mmØ. Begränsningar för hjulet smalnar av något i kurvan



Figur 2.6 Hjul 25 mmØ. Gränserna för hjulet vidgas något i kurvan

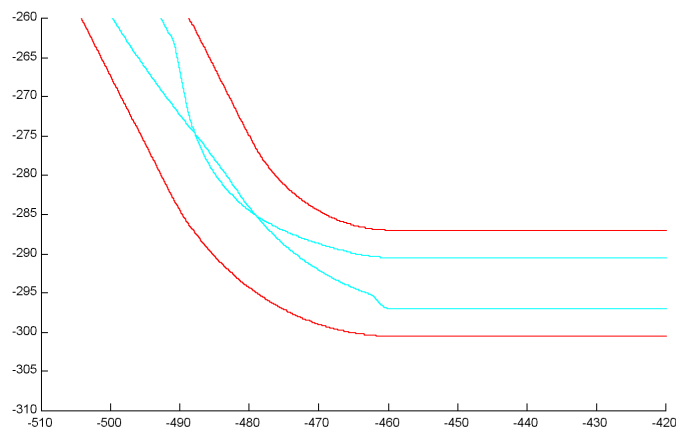
Figur 2.7 visar att det beror på att en större del av hjulet befinner sig i spåret när diametern ökar.

Vid minskad diameter får man ta hänsyn till att hjulhållare går fri och att det blir en minskad kontaktyta.

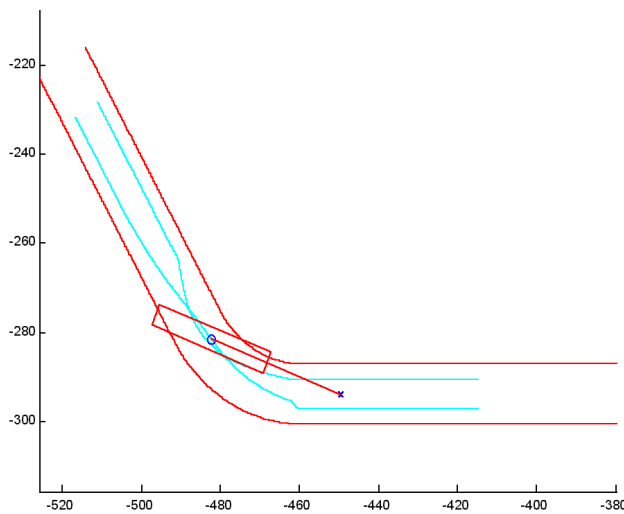


Figur 2.7 Här visas hur stor del av hjulet som befinner sig i spåret

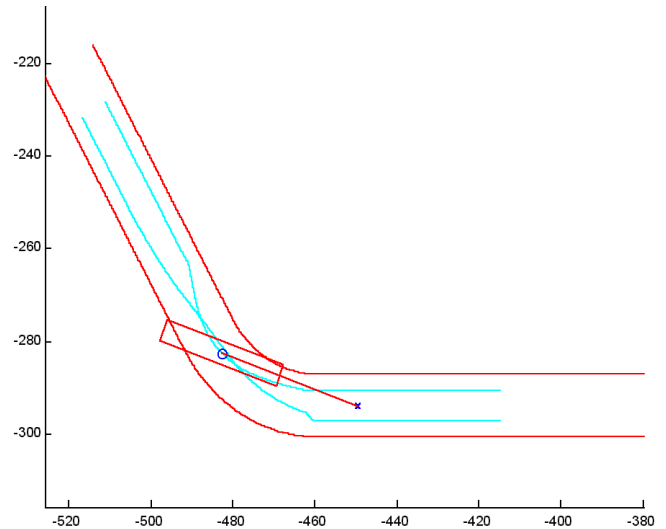
- Hjulets avstånd till laserstrålens centrum. Det finns en omslagpunkt när avståndet mellan centrum hjulaxel och centrum laser är större än radien på kurvan. Detta innebär då kraftigt försämrade marginaler. Figur 2.8 visar när begränsningslinjerna har korsat varandra. Detta innebär att det ej finns något utrymme för hjulet. I figur 2.9 och 2.10 visas fall med hjulet inritat.



Figur 2.8 Här visas marginalerna för ett fall med avståndet 35 mm mellan laserns centrum och hjulets centrum. Medelradien för spårets kurva är 30 mm.



Figur 2.9 Hjulets placering i ytterspår. Eftersom linjerna är korsade innebär detta att hjulet tar i innerspåret. x markerar laserstrålens position. o markerar centrum på hjulet.



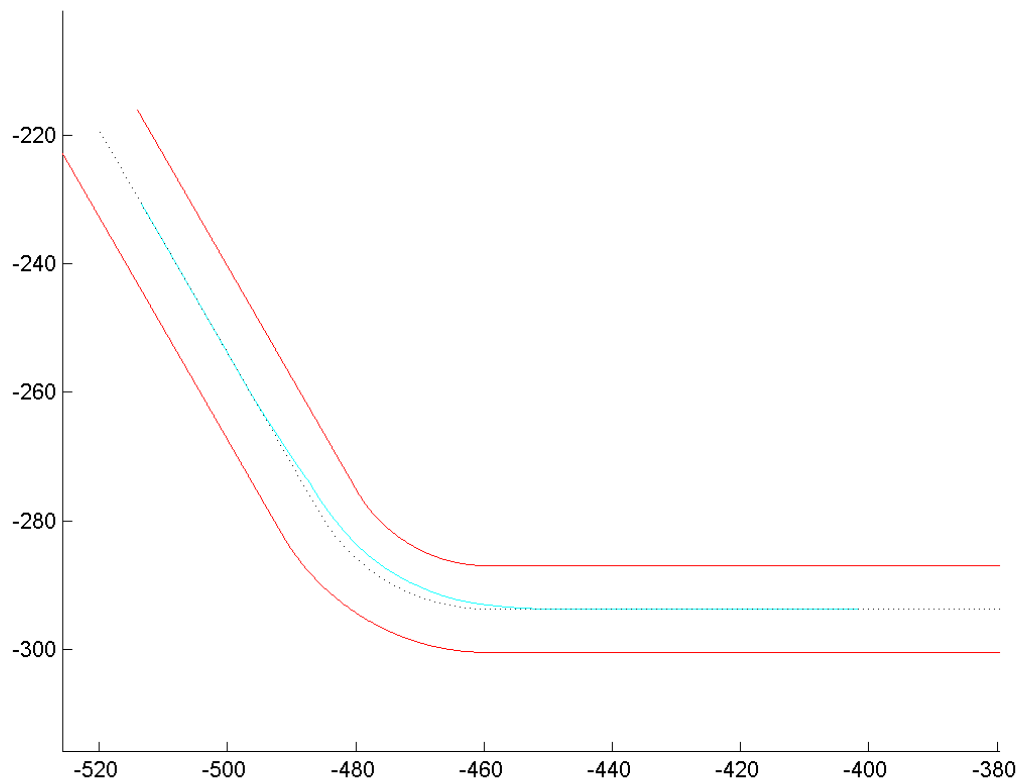
Figur 2.10 Hjulets placering i innerspår. Eftersom linjerna är korsade innebär detta att hjulet tar i ytterspåret.

Den beräknade ideala vägen för hjulet (medellinje mellan begränsningslinjerna) påverkas således av flera faktorer. Figur 2.11 visar hjulets ideala väg samt lasersvetsen vilken alltid placeras mitt i spåret.

Slutsats: För att nå optimal geometrisk utformning så bör

- hjuldiametern vara så liten som möjligt
- hjulets centrum placerat så nära laserns centrum som möjligt
- hjulets bredd vara så smalt som möjligt
- spårets radie vara så stor som möjligt
- spårets bredd vara så stor som möjligt
- spårets djup vara så liten som möjligt

Slutliga valet av de geometriska parametrarna begränsas av faktorer som tryckkraft, värmeutveckling, val av plåtens geometri mm. Det man speciellt bör se upp med är att kurvans radie på plåten ej understiger avståndet mellan hjulets centrum och centrum lasern, då det ger kraftigt försämrade marginaler.

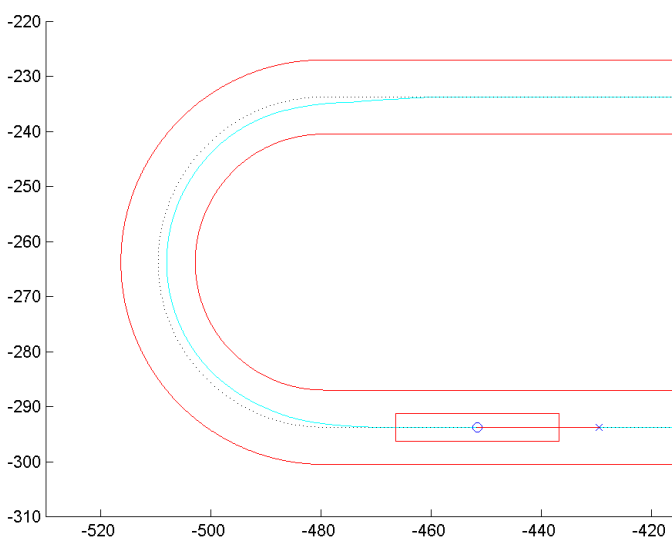


Figur 2.11 Streckad linje visar laserns väg medan heldragen linje visar hjulets ideal väg. I detta fallet används standardinställning.

2.2 Hjulets förflyttning

NC- maskinen är uppbyggd på fyra axlar X, Y, Z samt en rotation kring Z-axeln där hjulet är monterat. Maskinen svetsar i X-Y planet. Z-axeln används för att pressa hjulet mot plåtarna med ett förutbestämt tryck. X och Y är definierade i mm medan rotationen (benämnd B-axeln) är angiven i $^{\circ}$. I NC-programmet definierar man en punkt dit maskinen skall gå. Då går respektive axel med en konstant hastighet till slutpunkten. Det finns även möjligheter att definiera en acceleration för någon av axlarna till slutpunkten. För X och Y finns även cirkulär interpolation.

När både laserns centrum och hjul befinner sig på en rät linje är B-axelns vinkelhastighet noll och även vinkelaccelerationen noll (figur 2.12). Då laserns centrum befinner sig på en rät linje emedan hjulet befinner sig i kurvan så är det en ökande vinkelhastighet och en positiv vinkelacceleration figur (2.13). Vinkelacceleration är konstant om hjulets ideallinje sammanfaller med lasersvetsen - annars inte. Då både laserns centrum och hjul befinner sig i cirkulär kurva är vinkelhastigheten konstant och vinkelaccelerationen noll (figur 2.14). Då laserns centrum befinner sig i kurvan medan hjulet befinner på en rät linje så är det en minskande vinkelhastighet och en negativ vinkelacceleration (figur 2.15). Vinkelaccelerationen är konstant om hjulets ideallinje sammanfaller med lasersvetsens, annars inte.



Figur 2.12 Både hjulet och laserstrålen befinner sig på en rät linje. x markerar laserstrålens position. o markerar centrum på hjulet. Den streckade linjen visar lasersvetsen medan den heldragna linjen visar hjulets idealväg.

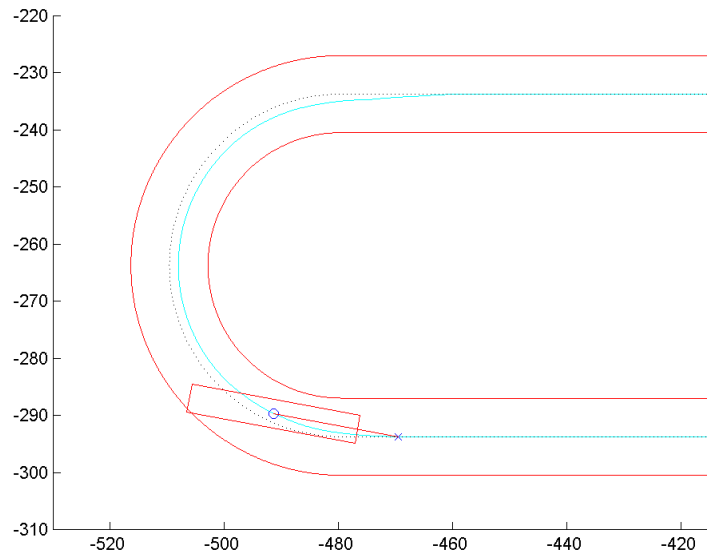
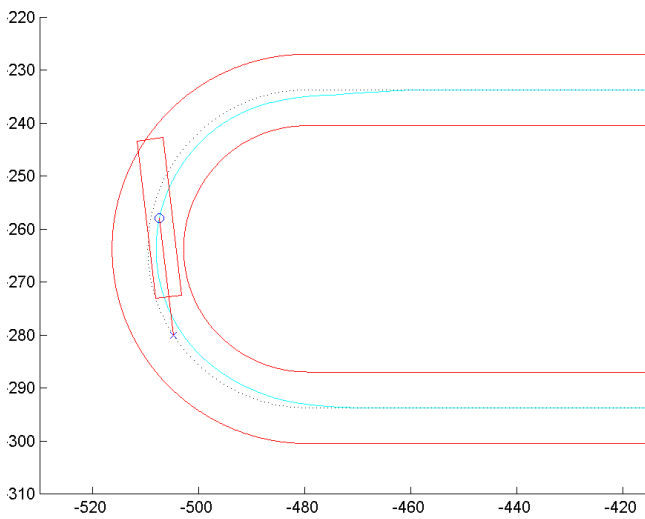
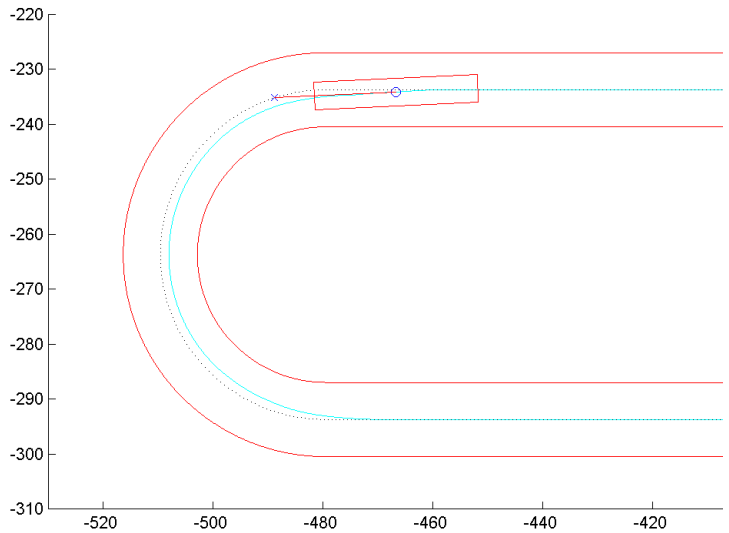


Figure 2.13 Hjulet befinner sig i kurvan medan laserstrålen fortfarande befinner sig på en rät linje



Figur 2.14 Både laserens centrum och hjulet befinner sig i kurvan



Figur 2.15 Hjulet befinner sig på en rät linje medan laserstrålen fortfarande befinner sig i kurvan

3 Programutveckling

Programutveckling delas upp i programuppbyggnad, testkörning och programkorrigering. Programuppbyggnad beskriver arbetsgången från inläsning av fil till färdigt program. Testkörningen visade att programkorrigering krävdes för att placera hjulet i sin exakta position.

3.1 Programuppbyggnad

Programmets uppbyggnad utgår från ett NC-program som inläses och de block av programmet som behövs för inläggning av hjulets positioner plockas ut (block som beskriver lasersvetsens bana). Block som utnyttjas är [BOSCH Flexible Automation, 1993]

G0	snabbtransport (vilket även anger lasersvetsens startposition och hjulets startvinkel)
G1	linjär interpolering
G2	cirkulär interpolering (medurs)
G3	cirkulär interpolering (moturs)

Matlab utnyttjas som programpaket då det är ett väl utvecklat program för numeriska beräkningar.

Arbetsgången vid uppbyggnaden av programmet kan sammanfattas i följande punkter:

1. Inläsning av program för laserns bana och omnumrering av blocknumren
2. Plocka ut de data ur filen som behövs för vidare bearbetning.
3. Beräkning av begränsningar samt bestämning av hjulets position.
4. Nya block beräknas.
5. Övergång till inkrementell måttsättning och hastighetsberäkning.
6. Sammansättning av de block som ej använts vid beräkning med de beräknade till en ut-fil.

Vidare förklaring av åtgärder vid punkterna:

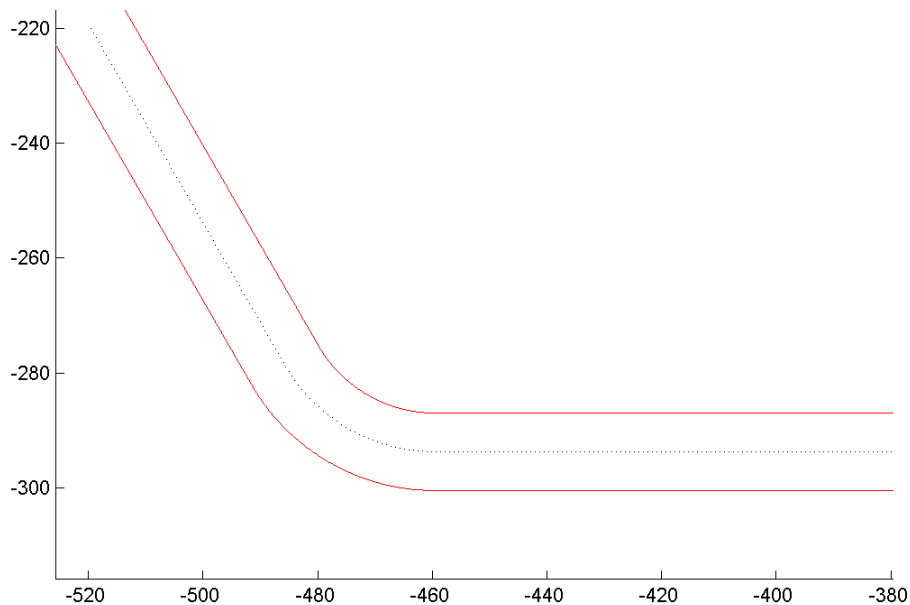
1. Inläsning från befintlig fil till matrisform som MATLAB kan hantera [Pärt-Enander Sjöberg, 1999] samt omnumrering av block-numren. Detta görs eftersom den ingående filen har information som ej behövs för beräkning men som skall vara med i utfilen. Block numreras med löpande tiotal för att nya block som beräkningarna ger skall kunna komma på rätt plats.

2. Omvandling av de rader (block) som behövs för vidare beräkning från strängar till numerisk form. De block som behövs är G0, G1, G2, G3.

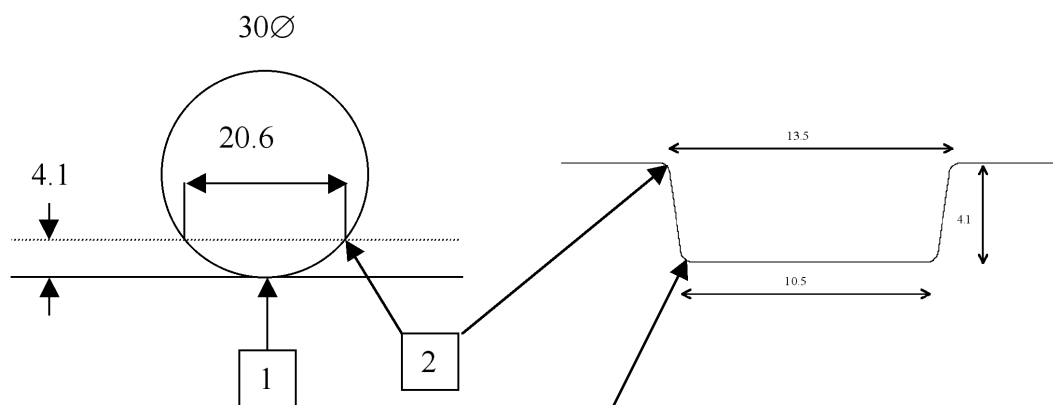
3. Beräkningen av banan startar med att laserns bana läggs i matrisform med 0.1 mm upplösning i kolumn 2 för X-värdet och kolumn 3 för Y-värdet. Utifrån laserns bana beräknas toppspårets begränsningar och läggs in i kolumn 4-5 (till höger om laserns arbetsriktning) samt i kolumn 6-7 (till vänster om laserns arbetsriktning). Ett exempel på dessa kurvor visas i figur 3.1.

För att underlätta beräkningarna ersätts hjulet av ett teoretiskt hjul som tar hänsyn till skillnaden mellan begränsning i topp och botten av spåret såsom indikeras i figur 3.2.

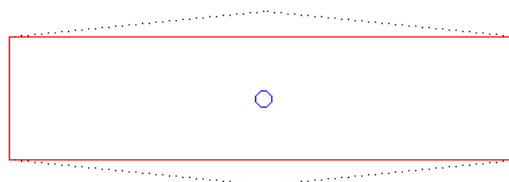
Mittpunkten på hjulet har ett tillägg för skillnaden mellan topp och botten ((toppspår-bottenspår)/2). Från mitten till de ytterpunkter av hjulet som befinner sig i spåret fördelas tillägget linjärt enligt figur 3.3. Detta teoretiska hjul stämmer exakt vid mittpunkt och ytterpunkter (vilket oftast är de kritiska punkterna)



Figur 3.1 Streckad linje är laserns bana. Ytterlinjerna är begränsningarna i toppen av spåret.



Figur 3.2 Vid 1 tangerar hjulet botten på spåret medan om det är den yttersta delen av hjulet som vidrör kanten så sker det vid 2.



Figur 3.3 Vy av hjul från ovan. Snitt längs toppspårets kant. Prickad linje är tilläget på befintligt hjul. o är hjulets centrum.

Utgående från laserns position beräknas därefter var hjulet tangerar spårets kant. Värdet för x och y koordinaterna för hjulets centrum sparas i kolumn 8 och 9 för begränsningen till vänster och i 10 och 11 för begränsningen till höger. Då beräkningarna är klara tas medelvärdet vilket ger ideallinjen för hjulet (sparas i kolumn 12 och 13). Rotationsmatriser utnyttjas för att beräkna toppspårets begränsningar, samt vid bestämning av var hjulet tangerar spårets kant [Bolmsjö, 1992, s164]. Med hjälp av ideallinjen och laserns position kan nu hjulets vinkel beräknas i steg om 0.1 mm. Ur dessa värden beräknas även vinkelhastigheten och vinkelaccelerationen.

4. Beräkningen av nya block: Nya block behövs vid utgång ur ett block om nästa block ej har identisk riktning. Då lasern och hjulet befinner sig i ett linjärt block så är vinkelhastigheten noll och när lasern och hjulet befinner sig i ett cirkulärt block är vinkelhastigheten konstant. I dessa fall behövs ej nya block.

Då lasern lämnar ett linjärt block och hjulet går in i ett cirkulärt block sker en icke linjär vinkelhastighetsökning av hjulet. För att anpassa hjulet till ideallinjen delas värdena in i segment med ökande vinkelhastighet. Kriterierna för uppdelningen är att max 5 block med en längd av minst 5mm används. Anledning till minimum 5 mm längd per block är att styrsystemet skall hinna läsa in/exekvera.

Skapandet av nya block startar då vinkelhastigheten ej längre är noll och avslutas då lasersvetsen avslutar det linjära blocket. Då varje nytt tilläggsblock börjar och slutar med hjulet exakt på ideallinjen så blir avvikelserna från denna liten. (Vid grundexemplet i 2.1 var max avvikelse mindre än 0.2 mm).

Då lasersvetsen befinner sig i ett cirkulärt block och går in i ett linjärt block eller ett cirkulärt block med en annan radie sker en icke linjär vinkelhastighetsförändring av hjulet. För att anpassa hjulet till ideallinjen delas ingångsvärdena in i segment. Kriterierna som ovan. Delningen startar då vinkelaccelerationen ej längre är noll och avslutas då lasersvetsen avslutar det cirkulära blocket.

5 Övergång till inkrementell måttsättning och hastighetsberäkning.

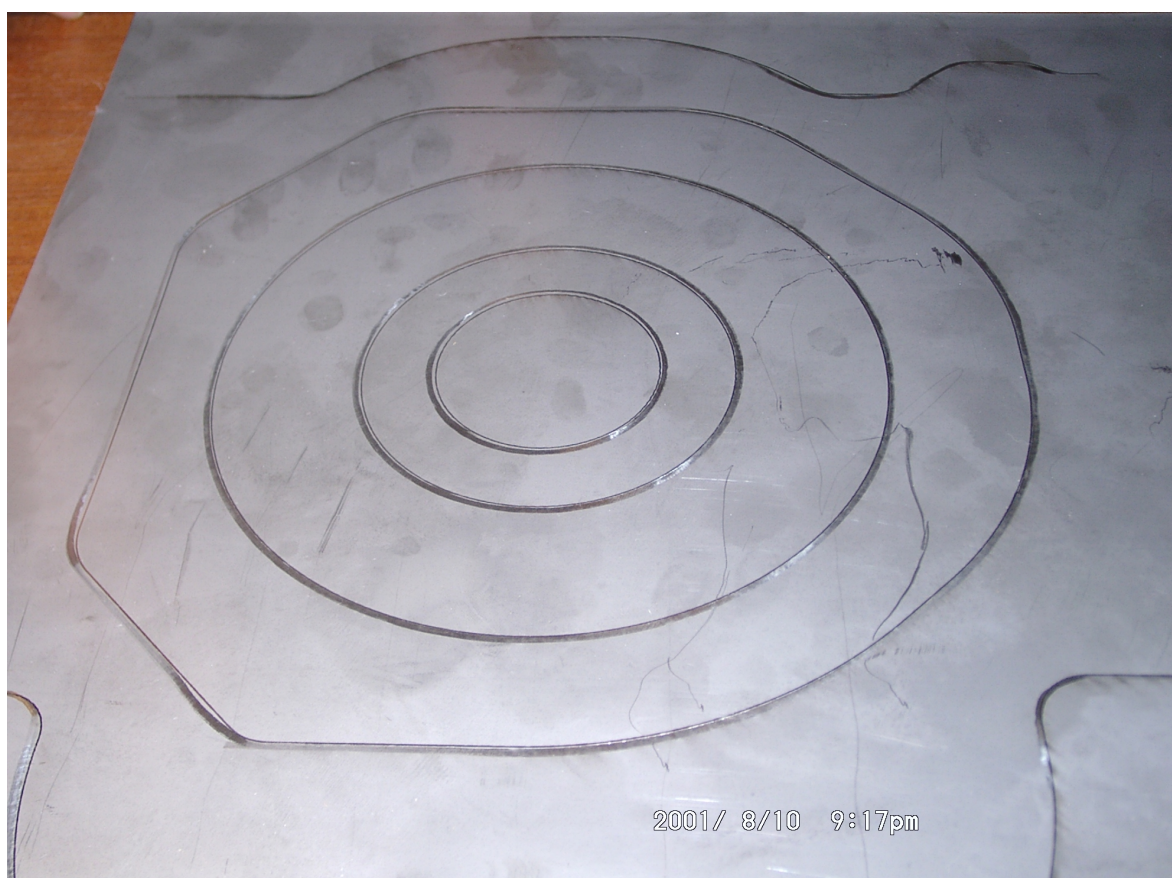
Då samtliga block är färdigberäknade sker övergång till inkrementell måttsättning. Hastigheten beräknas så att konstant hastighet erhålls för svetsen. (Hastigheten anges för X-, Y- och B-axeln gemensamt så omräkning måste ske för att få konstant hastighet för svetsen).

6 Sammansättning av de block som ej använts vid beräkning med de beräknade till en Först om förändlas data från numerisk form till strängar sedan sätts den ihop med de strängar som ej använts, till ett färdigt NC-program. NC-programmet sparas under samma namn som filen in men med tillägget 'nmk' för att ej skriva över infilen.

3.2 Testkörning med analys

Testkörningen började med att köra programmet i luften d.v.s. Z-axeln i sitt övre läge så att hjulet ej vidrör plåtarna, detta för att undvika eventuella kollisioner. Då och då stannades programmet och hjulet sattes ned för att kontrollera att hjulets position i spåret stämde. Då hjulpositionerna stämde gjordes en 'riktig' körning. Det visade sig då att hjulet alltid ville gå i ytterkurvor och man kunde ana att felet var beroende av hur stor radie kurvan hade. Som mest var avvikelsen ungefär 1.9mm. Stannade man programmet och lyfte hjulet och satte ner det igen så hamnade hjulet på sin rätta position.

För att utreda vad avvikelsen berodde på valdes att provköra figurer på slätplåt (för att undvika eventuell påverkan från kanter). Se figur 3.4. Till denna provkörning fick det skapas ett program som placerade hjulet exakt på svetsen för att underlätta uppmätning av avvikelsen.



Figur 3.4 Figurer med olika radier

Vid uppmätning av avvikelsen kunde man konstatera att den var beroende av radien se figur 3.5.

Detta beror antagligen på materialutböjning. Avvikelsen ökade med minskad radie. Man kunde åter konstatera att om man stoppade programmet, lyfte hjulet och åter sänkte det så hamnade hjulet på den position det skulle ha haft d.v.s. mitt över svetsen.



Figur 3.5 Cirklar med olika radie. Tunna linjen är svetsen och breda linjen är markeringarna efter hjulet. Radien från vänster 112.5 mm, 62.5 mm 37.5 mm. Man kan konstatera att avvikelsen ökar med minskad radie.

Vidare kan man se att det efter en kurva tar en viss sträcka innan hjulet sammanfaller med en rät linje vilket framgår i figur 3.6. En liknande effekt uppträder också då man går in i en kurva från en rät linje. Man ser då en viss fördröjning innan hjulet börjar svänga.

Detta kan förklaras med att det är ett spel dels i kuggarna i växellådan, dels i



hjulhållaren. Det går att känna ett visst spel då man tar tag i hjulet. Tabell 3.1 visar avvikelserna för de olika figurerna.

Program nr 100

G2 cirklar med radien mm	Medelavvikelse av 8 mätningar mm	Avvikelse i grader
37,5	1,35	3,47
62,5	1,22	3,13
112,5	0,96	2,47

Program nr 101

G3 cirkel med radien mm	Medelavvikelse av 8 mätningar mm	Avvikelse i grader
37,5	1,35	3,47

G2 cirkulär kurva 90 grader med radien mm	Maxavvikelse i respektive kurva mm	Avvikelse i grader
15	1,4	3,6
25	1,3	3,34
35	1,2	3,08
50	1,1	2,83
75	0,9	2,31
100	0,8	2,06
125	0,9	2,31
150	0,8	2,06

Program nr 102

G2 cirkulär kurva 45 grader med radien mm	Maxavvikelse i respektive kurva mm	Avvikelse i grader
15	1,9	4,88
25	1,5	3,85
35	1,15	2,95
50	1,15	2,95
75	1,25	3,21
100	1	2,57
125	1	2,57
150	1	2,57

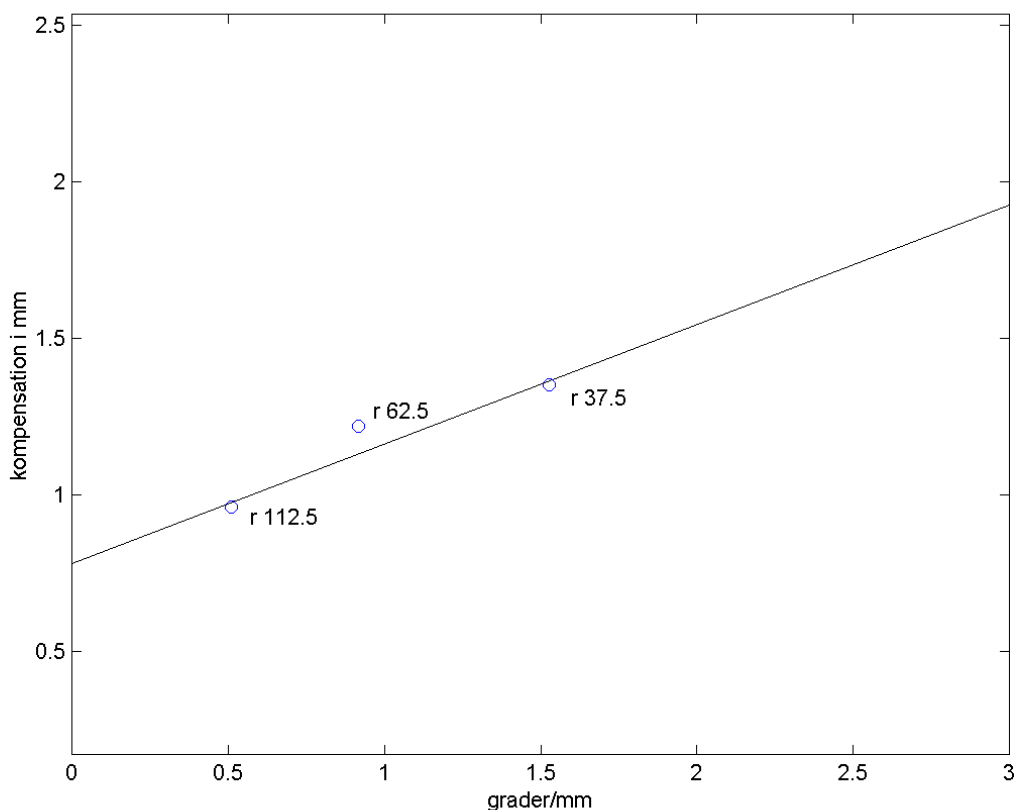
Tabell 3.1

Slutsats: Man kan konstatera att de krafter som påverkar hjulet resulterar i mekanisk materialutbøjning samt att spel förekommer.

3.3 Program för korrigering av avvikelser

För att kunna korrigera avvikelserna beroende på utböjning samt spel gjordes ett program som läste in det redan färdiga programmet och kompenserade det för avvikelserna. Anledning till detta är dels att faktorer som spelet kan ändra sig med tiden (slitage), samt att avvikelserna kan skilja sig mellan olika maskiner, dels att grunduträkningen är mycket tidskrävande*** och egentligen är den exakta lösningen. Med detta kompensationsprogram kan även parametrar så som hastighet ändras.

Uppmätningen av avvikelserna är gjorda med mikroskop (20ggr förstoring) och ställinjal (med 0.5 mm gradering). Vid testkörningen var ej laserstrålen exakt centrerad. För att kompensera att centreringen ej var exakt valdes de hela cirklarna för bestämning av utböjningen då dessa mätningar är ett medelvärde av åtta mätpunkter. För enstaka mätpunkter uppskattas felet till ± 0.25 mm. För att uppskatta spelet gjordes ett program där laserstrålen fick gå längs en rät linje medan hjulet rörde sig i sidled ($\pm 4^\circ$). Avvikelsen mellan teoretiska och verkliga värdet gav att spelet var ungefär 2° (0.75 mm).



Figur 3.7 visar korrigeringen för spel och utböjning.

***Beräkningen av grundprogrammet tar ungefär en timme per tre meter svets (300MHz processor) medan kompenseringens beräkning tar ca 30 sekunder.

Figur 3.7 Visar korrigeringen beroende av vinkelförändringen/mm samt de uppmätta värdena för referensradierna. Y-axeln visar avvikelserna i mm (hur mycket som behövs för att kompensera för att hjulet skall nå sin riktiga position). X-axeln visar hur många grader

Korrigeringen för spelet läggs in i första blocket då hjulet börjar ändra riktning och tas bort i blocket då vinkelförändringen är noll eller då vinkelförändringen byter riktning. Utböjningen beräknas linjärt för vinkelförändringen/sträcka i varje block.

Tabell 3.2 där avvikelserna korrigerade enligt

$0.7784+0.38288*\text{vinkelförändringen/sträcka } (^\circ/\text{mm})$. Figur 3.8 visar hur teoretiska banan ser ut för hjulet.

Program nr 100

G2 cirklar med radien mm	Medelavvikelse av 8 mätningar mm	Avvikelse i grader	Avvikelse i mm efter korrigering	Avvikelse i grader efter korrigering
37,5	1,35	3,47	-0,01	-0,03
62,5	1,22	3,13	0,09	0,23
112,5	0,96	2,47	-0,01	-0,03

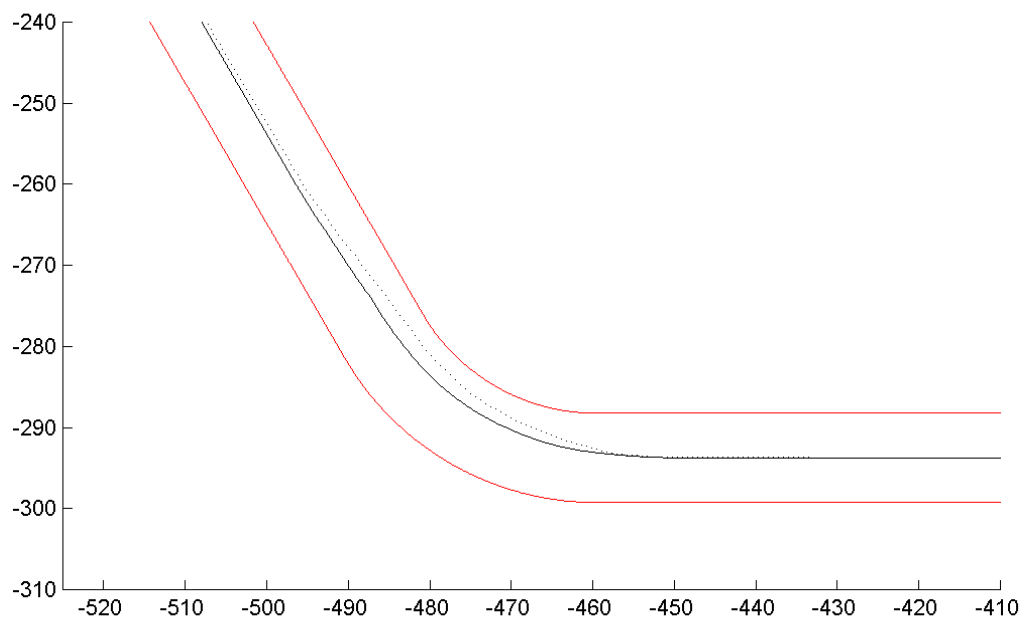
Program nr 101

G3 cirkel med radien mm	Medelavvikelse av 8 mätningar mm	Avvikelse i grader	Avvikelse i mm efter korrigering	Avvikelse i grader efter korrigering
37,5	1,35	3,47	-0,01	-0,03
G2 cirkulär kurva 90 grader med radien mm	Maxavvikelse i respektive kurva mm	Avvikelse i grader	Avvikelse i mm efter korrigering	Avvikelse i grader efter korrigering
15	1,4	3,6	-0,52	-1,34
25	1,3	3,34	-0,36	-0,92
35	1,2	3,08	-0,21	-0,54
50	1,1	2,83	-0,12	-0,31
75	0,9	2,31	-0,17	-0,44
100	0,8	2,06	-0,2	-0,51
125	0,9	2,31	-0,05	-0,13
150	0,8	2,06	-0,12	-0,31

Program nr 102

G2 cirkulär kurva 45 grader med radien mm	Maxavvikelse i respektive kurva mm	Avvikelse i grader	Avvikelse i mm efter korrigering	Avvikelse i grader efter korrigering
15	1,9	4,88	0,34	0,87
25	1,5	3,85	0,02	0,05
35	1,15	2,95	-0,25	-0,64
50	1,15	2,95	-0,07	-0,18
75	1,25	3,21	0,18	0,46
100	1	2,57	0	0
125	1	2,57	0,05	0,13
150	1	2,57	0,08	0,21

Tabell 3.2 Uppmätta avvikelser samt teoretiskt korrigerade värde enligt ett spel på 2° samt utböjning enligt $0.38288*^\circ/\text{mm}$



Figur 3.8 Yttre linjerna markerar ytterspåret begränsning, heldragen linje hjulets ideallinje och prickad linje teoretiska banan för hjulet, då korrigeringar gjorts.

4 Slutsatser

4.1 Hjulets positionering

Hjulets position påverkas av mekanisk utböjning samt spel. Programmet blev därför uppdelat i två program där man först beräknar hjulets exakta position. Utifrån hjulets exakta position korrigeras avvikelser för utböjning och spel för den befintliga maskinen. Testkörningar med färdigt program visade att hjulets placering blev den önskade.

4.2 Övergång från ritningsunderlag till färdigt program

Vid övergång mellan pressverktygets ritningsunderlag och den färdigpressade plåten kan små avvikelser i mått förekomma [Stig Jönsson]. Avvikelsen kan justeras i linjära block och påverkar då ej hjulets bana. Då det gäller övergång från ritningsunderlag så saknar CAD-programmet beredning för lasersvets. Istället får man utnyttja program för fräs och utnyttja centrumlinjen i spåret för att få fram svetsens bana [Mats Leijonmarck]. Det går även bra att läsa in befintliga program då programmet endast läser in svetsens bana och räknar fram hjulets parametrar samt hastigheten. Det färdiga programmets avslutningssekvens bör justeras vid provkörning för att undvika svetsgropar i plåten.

5 Referenser

Tryckta källor

BOSCH Flexible Automation CC220/320 M , Programming Instructions,1993

Eva Pärt-Enander, Anders Sjöberg, *Användarhandledning för MATLAB 5*, Elanders Gotab, 1999

Gunnar S. Bolmsjö, *Industriell robotteknik*, Studentlitteratur, 1992

Muntliga källor

Richard Wegner, Företaget, 2001

Stig Jönsson Företaget, 2001

Mats Leijonmarck Företaget, 2001