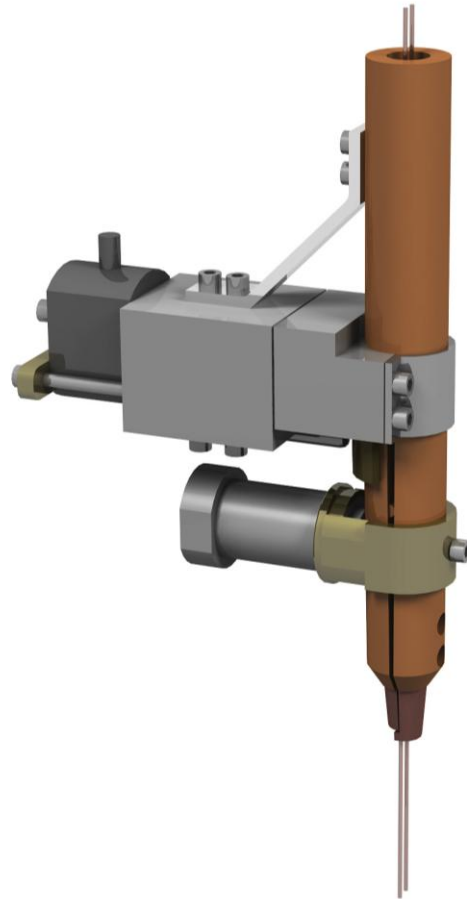


CHALMERS



Automatisering av elektrodklippning

Svetshuvud A6

Kandidatarbete i Teknisk design

**ANDREAS FOLKESTAD, DAVID GILLBLOM,
ANDERS HENRIKSSON, KARL ISAKSSON,
CHRISTOFER WIK**

Institutionen för Produkt och Produktionsutveckling
Avdelningen Design & Human factors
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2009

KANDIDATARBETE PPUX03

Automatisering av elektrodklippning

Svetshuvud A6

Kandidatarbete i Teknisk design

ANDREAS FOLKESTAD, DAVID GILLBLOM, ANDERS HENRIKSSON,
KARL ISAKSSON, CHRISTOFFER WIK

Institutionen för Produkt och Produktionsutveckling
Avdelningen för Design & Human Factors

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2009

Automatisering av elektrodklippning

Svets huvud A6

Kandidatarbete i Teknisk design

ANDREAS FOLKESTAD, DAVID GILLBLOM, ANDERS HENRIKSSON,
KARL ISAKSSON, CHRISTOFFER WIK

© ANDREAS FOLKESTAD, DAVID GILLBLOM, ANDERS HENRIKSSON,
KARL ISAKSSON, CHRISTOFER WIK, 2009

Kandidatarbete PPUX03

Institutionen för Produkt och Produktionsutveckling

Avdelningen Design & Human Factors

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag:

Bild på slutprodukten.

Tryckeri / Institutionen för Produkt och Produktionsutveckling
Göteborg, Sverige 2009

Förord

Detta projekt genomfördes våren 2009 som ett kandidatarbete på Chalmers av studenter på programmen Teknisk Design och Maskinteknik i samarbete med ESAB.

Tack till Arne Lagerkvist på ESAB för all hjälp och handledning under arbetets gång. Tack även till Anders Eriksson på ESAB:s processcentrum för all ovärderlig hjälp. "Gubbarna" i Laxå förtjänar också ett tack för deras tekniska kompetens; examinator Örjan Söderberg och handledare Pontus Engelbrektsson som varit ett stöd under hela terminen, samt den andra projektgruppen för god samarbetsvilja. Tack även till de externa företag som hjälpt oss ta fram lämpliga komponenter och lösningar. Sist men inte minst vill vi även tacka Alexandra Rånge som coachade oss och såg till att vi inte körde fast i vårt arbete.

Följande har också varit hjälpsamma i vårt arbete:

All personal på ESAB
Bengt Arohlén, Cryo AB
Björn Johansson, Björn Verktyg AB
Gustav Holmqvist, tekniklektor vid Inst. för material- och tillverknings teknik, Chalmers
Leif Jönsson, JöTek
Lena Bendrioua, studieadministratör, Chalmers
Mikael Öhman, doktorand vid Inst. för material- och tillverknings teknik, Chalmers
Svetsoperatörerna på Cryo AB

Andreas Folkestad

David Gillblom

Anders Henriksson

Karl Isaksson

Christofer Wik

Göteborg
2009-05-13

Abstract

ESAB is a world leading industrial company in the field of welding and cutting equipment. The company manufactures the welding head A6. This is ESAB's largest welding head used to perform submerged arc welding (SAW), which is a highly efficient welding method. The A6 head is used in applications when efficiency and quality demands are high, when constructing wind turbine towers or cisterns.

The assignment to improve the welding head is a matter of efficiency, safety and ergonomics. Today's welding process is mostly an automated process. With cameras and remote controls in use the operator has no need to be in the direct vicinity of the welding process. However, there is no solution to cut the wire from a distance to prepare for a new welding round, which consequently necessitates the operator to climb up on the welding object to manually cut the wire. This is unsafe, inefficient and time consuming.

The objective has been to come up with a solution to automate the restart of the submerged arc welding process performed by an A6 welding head. In order to achieve this, the operator needs an automated solution to cut the wire remotely. With this automation ESAB's desire is to move the operator to a safer and more ergonomic work environment.

In the initial phase of the project, time was spent to gather knowledge about the product and its users. The submerged arc welding process, how the A6 welding head is used and wire cutting was also studied. Based on the information gathered during the project, several different concepts were designed. These concepts were evaluated and one of them was chosen in agreement with ESAB. Thereafter this concept was sublimated to a final design. The result is a primary design and basis for a prototype construction of a hydraulic tool, which can solve the assignment and is well-acclimatized with the current equipment. The cutting tool is placed in a module on the contact tube and cuts the electrodes above the contact plates. The concept also has a solution to release the pressure between the contact plates, thus allowing the cut electrode to fall out of the contact tube.

The result has been evaluated in terms of strength, manufacturability, function, economics and the degree of assignment completion. The result is considered feasible regarding these terms and a prototype can be manufactured to test the solution further.

Sammanfattning

ESAB är ett världsledande företag inom svets- och skärutrustning. En av ESAB:s produkter är svetshuvudet A6. Detta svetshuvud är ESAB:s största vid pulverbågs svetsning, som är en hög-effektiv svetsmetod. Framförallt används A6 till att svetsa stora industriella applikationer där effektivitet och svetskvalitet är viktigt, exempelvis vid sammanfogning av vindkrafttorn och cisterner.

Uppdraget att förbättra svetshuvudet handlar om produktionseffektivitet, ergonomi och säkerhet. Svetsprocessen är delvis automatiserad, med kameror och fjärrkontroller som gör att operatören inte behöver befinna sig i svetsprocessens direkta närhet. Dock finns idag ingen lösning för att på distans klippa tråden inför start av ny svetsomgång. Detta medför att operatören måste klättra upp på det upp till sju meter höga arbetsstycket, vilket är både en farlig, ineffektiv och tidskrävande procedur.

Syftet med arbetet var att ta fram en produktlösning för att automatisera omstart av svetsning på svetshuvudet A6. På dagens svetshuvud måste elektroden klippas för hand av en operatör som därmed måste ha åtkomst till svetshuvudet mellan varje körning. Genom en automatisering kan tiden och antalet gånger operatören måste upp till svetsfogen minimeras vilket är önskvärt av säkerhets-, ekonomi- och ergonomiskäl.

Arbetet inleddes med en informationsinhämtning för att klargöra alla faktorer som påverkade produkten och för att ge underlag för att lösa problemet. Baserat på informationen genererades koncept som på olika sätt löste problemet. Efter att koncepten utvärderats valdes en intern klipplösning som sedan utvecklades vidare. Resultatet blev primärkonstruktion och prototyp-underlag av ett hydrauliskt drivet verktyg som löser uppgiften och som är väl anpassad till den övriga utrustningen. Verktöget är placerat i en ny modul på svetsröret och klipper elektroderna ovanför dess kontaktbackar. Det har även en funktion för att lossa backspänningen och släppa loss den avklippta elektrodbiten.

Resultatet har utvärderats med avseende på hållfasthet, tillverkningsbarhet, funktion, ekonomi och hur väl uppgiften löses. Slutsatsen är att resultatet är realiserbart, och att en prototyp byggd på underlaget bör tillverkas för vidare testning av lösningen.

Innehåll

| | |
|---|----|
| 1. Inledning..... | 11 |
| 1.1. Bakgrund..... | 11 |
| 1.2. Problembeskrivning | 11 |
| 1.3. Syfte..... | 11 |
| 1.4. Mål..... | 11 |
| 2. Teori..... | 12 |
| 2.1. Svetsteori | 12 |
| 2.2. Svetshuvud A6..... | 13 |
| 2.3. Svetshuvudet | 16 |
| 2.4. Trådklippning..... | 17 |
| 2.5. Fjädrar | 19 |
| 2.6. Hydraulik | 19 |
| 3. Metoder | 20 |
| 3.1. Idégenereringsmetoder | 20 |
| 3.2. Utvärderingsmetoder | 20 |
| 3.2.1. Matriser..... | 20 |
| 3.2.2. Finita elementmetoden..... | 21 |
| 4. Genomförande | 22 |
| 4.1. Informationsinhämtning & probleminentifiering..... | 22 |
| 4.1.1. Besök hos kunder..... | 22 |
| 4.1.2. Besök hos uppdragsgivaren ESAB..... | 22 |
| 4.1.3. Probleminentifiering | 23 |
| 4.2. Kravspecifikation..... | 24 |
| 4.3. Konceptgenerering och val | 25 |
| 4.3.1. Beskrivning av koncept..... | 25 |
| 4.3.1.1. Interna lösningar..... | 25 |
| 4.3.1.2. Omslutande lösningar..... | 26 |
| 4.3.1.3. Externa lösningar | 27 |
| 4.3.2. Delredovisning | 28 |
| 4.4. Utveckling slutkoncept & primärkonstruktion..... | 28 |
| 4.4.1. Konstruktionskonsultation på ESAB Laxå | 28 |
| 4.5. Empiriska tester | 29 |

| | |
|--|----|
| 4.5.1. Resultat tester | 29 |
| 4.5.2. Sammanfattning från testerna | 30 |
| 4.6. Datormodellering i CAD..... | 30 |
| 4.7. Klippberäkningar..... | 30 |
| 4.8. Skärverktyg..... | 31 |
| 4.8.1. Kriterier och krav..... | 31 |
| 4.8.2. Koncept skärverktyg..... | 32 |
| 4.8.2.1. Verktygskoncept 1 – Halv insats, rakt skär..... | 32 |
| 4.8.2.2. Verktygskoncept 2 – Halv insats, 45 graders skär..... | 33 |
| 4.8.2.3. Verktygskoncept 3 – Genomgående insats..... | 34 |
| 4.8.2.4. Verktygskoncept 4 – Utanpåliggande verktyg..... | 34 |
| 4.8.3. Konceptval..... | 35 |
| 4.8.4. Slutsats verktygskonceptval | 36 |
| 4.9. Utvärdering med finita elementmetoden..... | 36 |
| 4.9.1. Försök 1: Konstruktionsstål, 5 mm diameter..... | 37 |
| 4.9.2. Försök 2: Rostfritt stål, 4 mm diameter..... | 37 |
| 4.9.3. Försök 3: Twin – Konstruktionsstål, 2,5 mm diameter..... | 38 |
| 4.9.4. Slutsats efter FEM-beräkningar | 38 |
| 4.10. Kraftkälla | 38 |
| 4.10.1. Hydraulik..... | 38 |
| 4.10.2. Pneumatik | 39 |
| 4.10.3. Linjärrörelse med elmotor | 39 |
| 4.10.4. Linjärrörelse med pneumatikmotor..... | 40 |
| 4.10.5. Val av kraftkälla..... | 40 |
| 4.11. Öppning av kontaktbackarna..... | 40 |
| 4.11.1. Vippa | 41 |
| 4.11.2. Faktorer att betänka vid val av fjäder och hävstång..... | 42 |
| 4.11.3. Vinkeln | 42 |
| 4.11.4. Krafter..... | 43 |
| 4.11.5. Avstånd ner till fogen..... | 43 |
| 4.11.6. Val av hävstång | 43 |
| 4.12. Vidareutveckling skärverktyg..... | 43 |
| 5. Resultat..... | 46 |

| | |
|--|----|
| 5.1. Beskrivning av ingående delar i produkten | 46 |
| 5.1.1. Skärkroppen (samt dess monteringsanordning) | 46 |
| 5.1.2. Skärkniven..... | 47 |
| 5.1.3. Backöppningsmekanism..... | 47 |
| 5.1.4. Tryckfjäder..... | 49 |
| 5.2. Kraftkälla | 49 |
| 5.3. Kostnadsberäkningar | 50 |
| 5.4. Kravuppfyllelse | 51 |
| 6. Diskussion..... | 52 |
| 6.1. Problemställningen..... | 52 |
| 6.2. Metodik..... | 52 |
| 6.3. Miljö | 53 |
| 6.4. Måluppfyllelse | 53 |
| 6.5. Riskbeteenden och säkerhetstänkande | 53 |
| 7. Slutsats och rekommendation | 55 |
| 8. Källförteckning..... | 56 |

Definitioner

A6 – ESAB:s serie av pulverbågsvetsar avsedda för tung produktionssvetsning

CAD – Computer Aided Design, sv. datorstödd modellering

Elektrod – Den metalltråd som matas ned och smälts in i fogen

Finita elementmetoden – Numerisk metod för att lösa differentialekvationer. Kan användas vid spänningsberäkningar.

Flux, flussmedel, pulver – Det isolerande pulver som täcker svetsfogen under svetsning

Klipplösningen – Allt tillhörande den slutgiltiga lösningen inklusive hydraulik, kolv, fästanordning etc.

Kontaktbackar – De två halvcylindrarna i koppar som leder ström till elektroden genom direktkontakt. Fästa i svetsröret.

Kranen – Den kran svetshuvudet är fäst vid under svetsning på hög höjd

Projektgruppen – De fem som undertecknat denna rapport

Riktverk – Tillbehör med tre hjul där det mittersta trycker mellan de två andra för att böja tråden rak

Single (eller singel) – När svetsningen sker med en tråd per svetsrör

Svetsröret – Mässingsröret som ström och elektrod går igenom

Tandem – Svetsning med två svetsrör på ett svetshuvud. Ej att förväxla med twin, som beskriver två trådar per svetsrör. Exempelvis innebär Tandem twin alltså svetsning med fyra elektroder samtidigt.

Twin (eller tvilling) – Svetsning med två elektroder genom samma svetsrör. Ej att förväxla med Tandem.

Utstick – Avståndet elektroden sticker ut från kontaktbackarna innan start

1. Inledning

1.1. Bakgrund

ESAB

ESAB är ett av världens ledande företag inom svets- och skärutrustning. Företaget, som bildades i Göteborg 1904, finns idag i hela världen och har mer än 7800 anställda. ESAB levererar helhetslösningar inom svetsssystem till industrin.

Produkten

Svets huvudet A6 är ett svets huvud som används för pulverbågs svetsning. Svets huvudet är ESAB:s största svets huvud för denna metod och används tillsammans med svets kranar, ström- aggregat och styrdon i olika automatiseringsgrad för att foga samman plåtar. Pulverbågs svetsning används främst vid stora industriella applikationer där effektivitet och svets kvaliteten är viktigt, exempelvis sammanfogning av vindkraftverkstorn, gastankar och cisterner.

1.2. Problembeskrivning

Uppdraget från ESAB handlar på en övergripande nivå om svetsens produktions effektivitet, ergonomi och säkerhet. Vid svetsning av stora objekt är processen ofta delvis automatiserad. Svetsen sitter på en kran och kameror och fjärrkontroller används som gör att svets operatören kan styra svetsningen nerifrån marken, utan att behöva klättra upp på objektet. Dock finns det idag ingen lösning för att på distans kapa av svetsstråden, något som måste göras när maskinen stannats och ska startas igen. Skulle detta problem lösas skulle operatören teoretiskt sett kunna sköta hela driften från marken utan de potentiella risker det medför att klättra och befinna sig på hög höjd. Effektivitetsökningen skulle också vara märkbar.

ESAB har som ambition att allt som går att automatisera också bör automatiseras, något som detta projekt samklingar väl med.

1.3. Syfte

Syftet med detta projekt är att utveckla en lösning för omstart av svetsning med A6, som inte kräver att en operatör finns i svets huvudets direkta närhet.

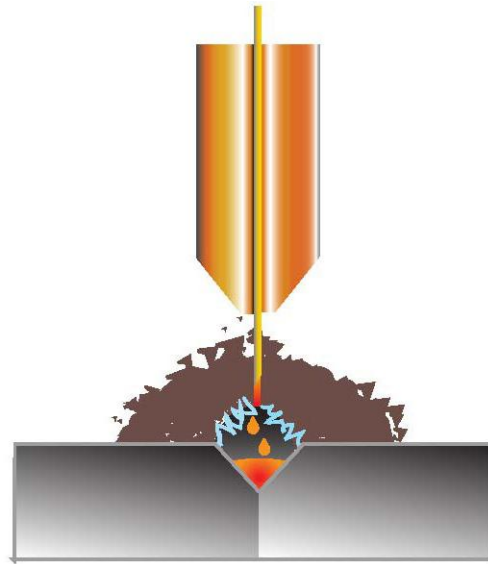
1.4. Mål

Målet är att utveckla en automatiserad lösning för omstart av svetsning med A6 som kan styras på distans. Denna lösning ska vara tillräckligt långt utvecklad för att det direkt efter projektets avslut ska vara möjligt att tillverka en prototyp för att testa lösningens funktion.

2. Teori

2.1. Svetsteori

Svetsning innebär att man hettar upp metallstycken och sammanfogar dem. *Bågsvetsning* går till så att en elektrifierad tråd sticks mot de metallstycken man vill sammanfoga. Arbetstycket är kopplat via ett strömaggregat till tråden. När tråden kommer nära sker kortslutning och tråden blir så varm så den smälter ned i fogen. För att förhindra att den extremt varma smältan reagerar med syret i luften måste den skyddas. I MIG/MAG-svetsning görs detta genom att man sprutar en inert gas vid trådmatningen. *Pulverbågsvetsning* stänger ute luften genom att ett täcke av pulver, eller flux, isolerar smältan från luften (se Figur 1). Elektroden skapar ett magnetfält under svetsning som bildar en grotta i pulvret så tråden kan smälta ned i fogen. Fluxet närmast smältan smälter i sin tur och lägger sig som en skyddande skorpa ovanpå fogen. Efter några sekunder har smältan stelnat och pulverskorpan kan knackas bort. Eftersom svetsoperatören inte ser själva fogen under svetsning är parametrar såsom strömstyrka, matningshastigheten och trådmatningen noga reglerade från början.



Figur 1: Schematisk skiss över pulverbågsvetsning.

När en svets färdigställts och trådändan på pulverbågsvetsen svalnar och stelnar fastnar slagg från fluxet och oxider bildas på trådens ände (se Figur 2). För att kunna börja svetsa igen utan att få ner dessa föroreningar i svetsen bör tråden klippas så att tråden är ren. Ytterligare en anledning att göra detta är en avklippt tråd blir spetsig. Spetsen gör att det bildas en tydligt definierad punkt av den elektriska spänningskoncentrationen i tråden vid start, som gör att ljusbågen tänds lätt. Med slagg på tråden blir starten hoppig och svetsens kvalitet dålig. (The Welding Institute, 2006)



Figur 2: Elektrod med beläggning.

Fördelar med pulverbågsvetsning

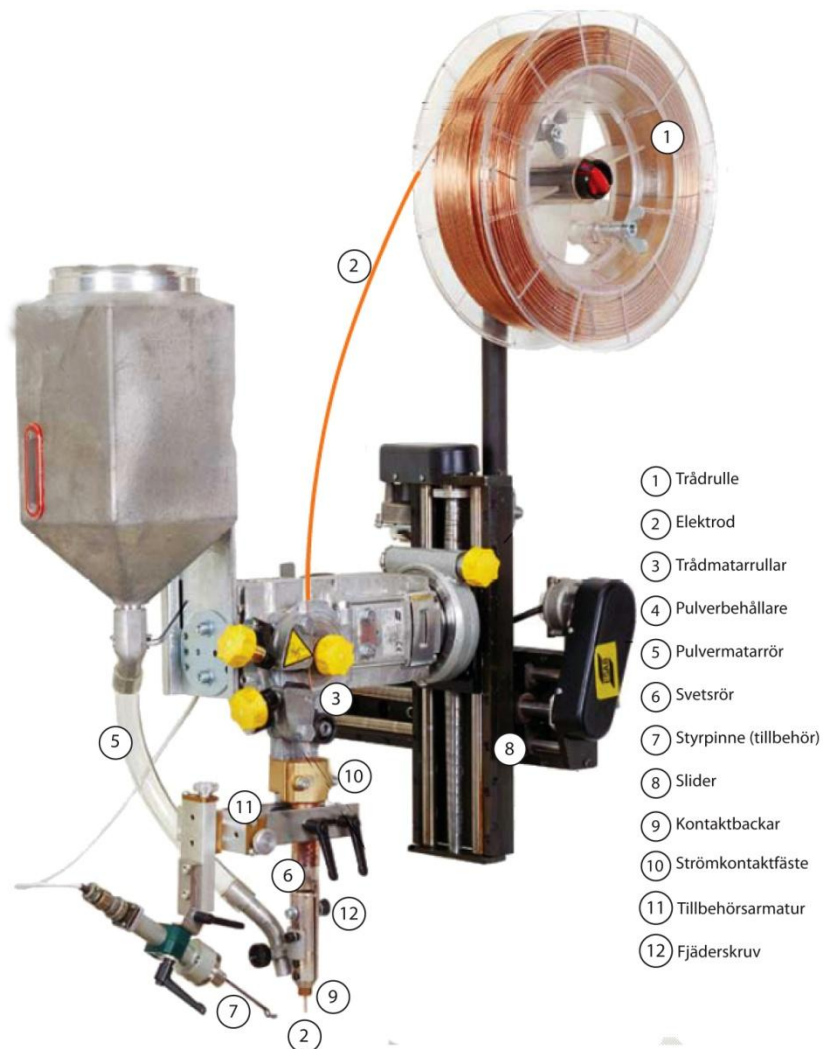
- Pulvret begränsar rökbildning, vilket gör den till en relativt ren svetsmetod.
- Pulvret är värmeisolerande vilket gör svetsmetoden effektiv.
- Svetskvaliteten är hög.
- Pulvret blockerar svetslågan, så inga skyddsglasögon behövs.
- Metoden är tyst, ljudet påminner om att steka ägg i en varm panna.

Nackdelar med pulverbågs svetsning

- Pulvret gör att fogen inte syns för svetsoperatören.
- Kräver på grund av ovanstående punkt en hög grad av automatisering (matning av arbetsstycke/svets huvud kopplat till trådmatningen och för varje ändamål framtestade svetsparametrar.)

2.2. Svets huvud A6

Nedan syns ett A6 S Arc Master svets huvud. Andra svets huvuden, så som A6 S Tandem Master – har ett liknande utförande, men Tandem innebär att två svetsrör (nr 6 på bilden nedan) sitter på ett huvud och svetsar simultant i samma fog. Både Arc Master och Tandem Master kan svetsa med två elektroder i varje svetsrör, s.k. twin för att ytterligare öka hastigheten på mängden tråd man kan smälta ned i fogen. Tandem twin betyder således att fyra trådar smälter ned i fogen samtidigt.



Figur 3: Svets huvud A6.

1. Trådrulle

Denna kan vara fäst som på bilden eller vara 10-tals meter bort. För stora applikationer finns rullar som väger tusentals kilo, där man aldrig byter tråden som löper genom svetsen. Istället smälter man ihop trådändarna mellan den gamla och den nya tråden, för att skapa ett oändligt trådflöde.

2. Tråd/elektrod

Tråden är gjord av olika metallegeringar, och varierar i diameter från 1.6 mm upp till 8 mm. Tråden är ofta beklädd med koppar av flera anledningar. Dels för att kunna glida genom svetsröret och kontaktbackarna med så låg friktion som möjligt. Dels för att kopparen leder strömmen bättre mellan kontaktbackarna och tråden.

3. Trådmatarrullar

En av dessa tre rullar är kopplade till en stark elmotor. Denna rulle har ett spår (två spår om man svetsar med twin) för att få fäste kring tråden. Den andra rullen trycks mot den motordrivna rullen som mothåll, fastskruvad för hand. Den tredje rullen är inte nödvändig för drift, men används för att styra (böja) tråden rätt.

4. Pulverbehållare

Denna innehåller fluxet, det isolerande pulvret. Andra pulverlösningar innefattar stora säckar nedanför kranen och tryckluftslösningar som suger/blåser upp pulvret till svetsen.

5. Pulvermatarrör

Detta kan vara omslutande, eller sitta framför svetsröret. Det omslutande munstycket är gjort av ett keramiskt material för att tåla värmeutvecklingen samt vara resistent mot den starka strömmen. Röret i Figur 3 är ej utrustat med ett sådant munstycke.

6. Svetsrör (även Figur 4)

Ett rör av strömledande mässing. Huvudet är tvådelat och har två skruvfästen på varje del för en varsin kontaktback. Det finns även två gängade hål för fäste av tillbehör. Ytterligare ett gängat hål utgör fäste för spännfjädern (12).

7. Styrpinne (tillbehör)

Styrpinnen sticks ned i fogsömmen. Pinnen är kopplad till svetsens styrsystem så att svetsen automatiskt följer styrpinnens väg.

8. Slider

Varje svetshuvud har två slider, en vertikal och en horisontell som kan finjustera huvudets position i två dimensioner. Större rörelser sker med kranen, där sådan används.



Figur 4: Den större halvan av ett svetsrör med en singelback monterad.

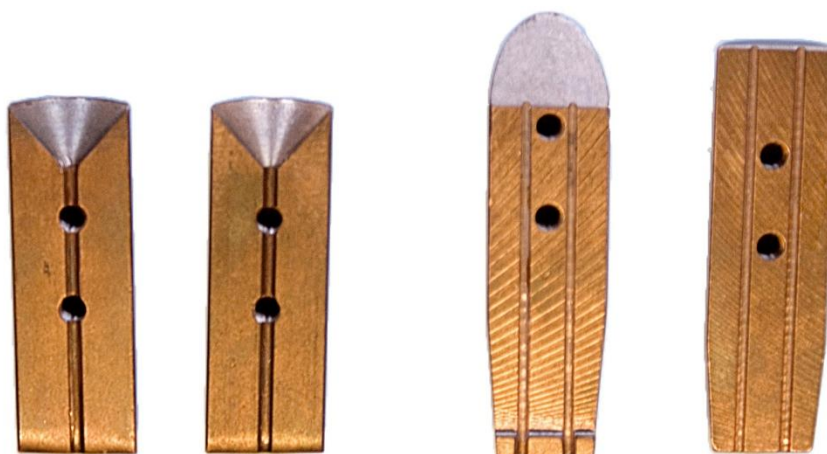
9. Kontaktbackar

Kontaktbackarna är två halvcylindrar med spår i för tråden. Det är kontaktbackarna som för över strömmen till tråden, och därför är de gjorda i lågresistent koppar. Backarna pressas samman med 210 N för att garantera en god strömledning. Det krävs 60 N för att dra ut kopparbelagd tråd ur ett par sammanpressade backar. Backarna nöts successivt ned av tråden och måste bytas med jämna mellanrum. Hur ofta är olika mellan olika svetsstationer och företag, men allt mellan varje skift och en gång i veckan förekommer. Allt eftersom backarna nöts ned blir glappet mindre tills de kommer i kontakt med varandra. Det är då man byter backar.

Backarna ser olika ut beroende på om en eller två trådar används. De enkla backarna kommer i två utföranden; dels med en trådledande kona högst upp (t.v. Figur 6) eller vinkelslipad högst upp med en liten fasning längst ned för enkel montering (t.h. Figur 6). Dubbelbackarna finns även i utförande med infästningar för trådledningsrör.



Figur 5: Twinbackar.



Figur 6: Singel- och twinbackar.

10. Strömkontaktfäste

Det är här kablar från strömaggregatet för över strömmen till huvudet.

11. Tillbehörsarmatur

Utöver styrpinnen finns ett antal tillbehör som kan hängas på svetsröret, och ofta då på tillbehörsfästet som styrpinnen på bilden är fäst vid. Dessa tillbehör inkluderar bland annat laserpekare, kameror och lampor.

12. Fjäderskruv

Denna skruv används för att hålla ihop huvudets halvor och för att se till att trycket mellan backarna är rätt. Fjädern trycks in vid 1000 N och slaglängden är ca två millimeter, vilket uppmätts genom praktiska tester.

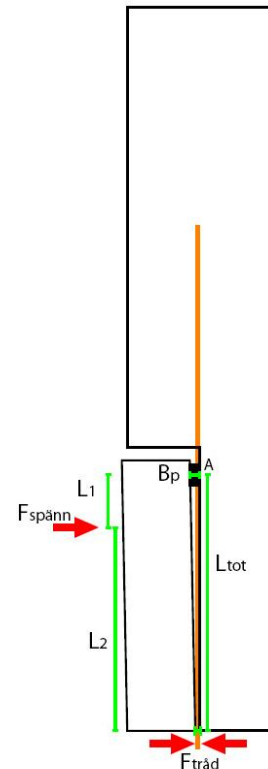
13. Pulversug (ej i figur)

De flesta svetsar har också en pulversug som suger upp det lösa pulver som inte smält till en skorpa på fogen. Detta pulver suges tillbaka till pulverbehållaren och kan sedan återanvändas.

2.3. Svets huvudet

Huvudfokus på detta arbete ligger vid svets huvudets nedre delar, där svetsröret och kontaktbackarna sitter och pulvermatningen sker. På dagens A6 sitter det en skruv eller en fjädrad skruv ($F_{spänn}$ i Figur 7) en bit upp på huvudet. Denna skruv ser till att kontaktbackarna trycks samman med tråden emellan, så att strömledningen blir jämn och säker. Tråden ska innan svetsningen startar ha ett definierat utstick på några centimeter. Utsticket är definierat i WPS:en (Welding Procedure Standard), en beskrivning av de viktiga svetsparametrarna som är framtestad specifikt för varje företag och applikation.

Starten av manuell pulversvetsning går till så att operatören öppnar pulvermunstycket så att pulvret fyller matarröret och svetsfogen täcks av flux. Pulvermatningen stannar när en hög med pulver blockerar det som är i röret från att komma ut. Därefter sätts trådmatningen, svetsrörelsen, pulversuget och strömmen på samtidigt, och ljusbågen tänds och tråden börjar smälta ned i fogen. Under svetsningen övervakar operatören svetsen och styr vid behov huvudet rätt. När svetsningen går mot sitt slut stänger operatören av pulvermatningen några sekunder innan svetsen är klar, eftersom pulvermatningen stängs av uppe vid behållaren och det finns nog med pulver i matarröret för några sekunders svetsning (~20 cm). För att vara säkra på att fogen blir bra används vid longitudinell svetsning (svetsning där arbetstycket har ändar, motsatsen är när man svetsar runt en trumma) ofta en start- och en stoppbit, metallbitar som svetsas på för hand i ändarna så att svetsen har några sekunder på sig att komma igång. Efter svetsning skärs sedan start- och stoppbitarna bort. (The Welding Institute, 2006),(Welding Mag, 2008)



Figur 7: Schematisk skiss av svetsröret.



Figur 8: Stoppbit som efter gjord svetsning kapas bort.

2.4. Trådklippning

Dagens lösning på problemet innebär manuell klippning av svets elektroden. Skall en liknande automatisk lösning utvecklas behövs grundläggande kunskaper i klippteori. Nedan följer några viktiga begrepp och definitioner som kan vara bra att kunna vid fortsatt läsning av rapporten.

Spänning

Belastas ett arbetsstycke med axiella dragkrafter kommer arbetsstycket att motstå en spänning σ som är proportionell mot genomsnittsarean. Så länge spänningen håller sig under elasticitetsgränsen (punkt 2 i Figur 9) återgår arbetsstycket till sin ursprungliga längd. När spänningen överstiger elasticitetsgränsen kommer en plastisk deformation att inträda och slutligen ett brott (punkt 3). Det intressanta i detta projekt är den sistnämnda punkten – brottspänningen. (Hågeryd, Björklund och Lenner 2005, s 184-185)

Brottspänning

Brottspänning (eng. tensile strength) är den spänning som krävs för att få ett material att gå till brott vid axiell belastning (punkt 3). Brottspänningen, vanligen förkortad σ_b eller r_m , finns tabellerade för de flesta material och uppgår i vårt fall till maximalt ungefär 800 MPa. Variationen mellan olika material beror till största delen på materialkonstanten Elasticitetsmodul (E). (Hågeryd, Björklund och Lenner 2005, s 184-185)

$$\sigma_b = \frac{F_{axiell}}{A}$$

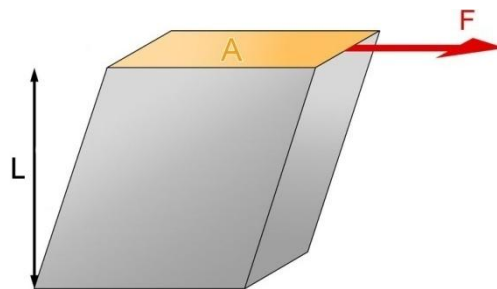
$$\sigma_b = \text{brottspänning (MPa)}$$

$$F_{axiell} = \text{Axiellt applicerad kraft (N)}$$

$$A = \text{genomsnittsarean (mm}^2\text{)}$$

Skjuvspänning

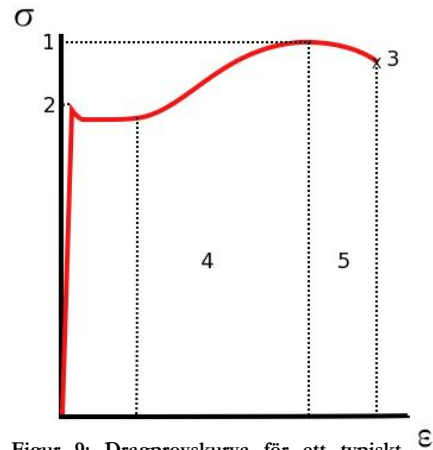
Skjuvspänning (eng. shear stress) är en spänning som appliceras parallellt, eller tangentiellt, med ett materials genomsnittsytan. Detta är alltså den viktigaste datan - den spänning som krävs för att helt skjuva av ett material. Skjuvspänningen, som förkortas τ , kan överslagsberäknas till 60–80 % av brottspänningen. (Hågeryd, Björklund och Lenner 2005, s 184-185)



Figur 10: Skjuvkraften F appliceras längs med kroppens genomsnittsarean A. Elektrodens längdriktning är L.

Klipparbetet

Då kraften F inte är konstant under klippvägen, t, måste en korrektionsfaktor vägas in i klipparbetesberäkningarna. Korrektionsfaktorn, bestäms endast vid praktiska försök och kan vid överslagsberäkningar uppskattas till 0,6.

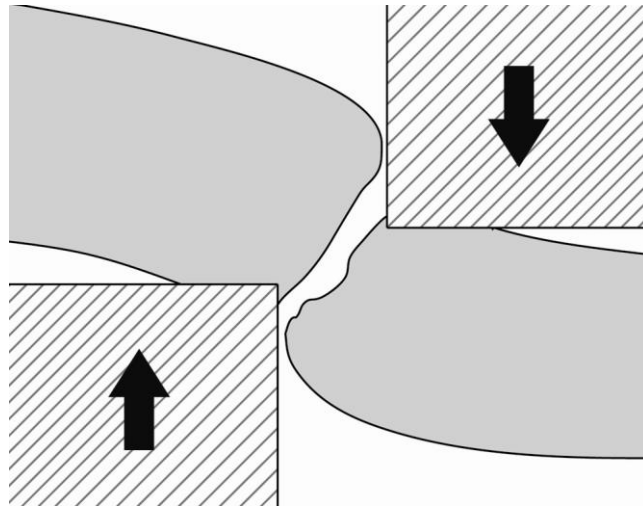


Figur 9: Dragprovskurva för ett typiskt konstruktionsstål, σ står för dragspänningen och ϵ för den relativa förlängningen.

$$W = X \cdot F \cdot t \text{ (Nm)}$$

$X = \text{korrektionsfaktor}$
 $F = \text{skjuvkraft (N)}$
 $t = \text{tjocklecken (m)}$

(Hågeryd, Björklund och Lenner 2005, 194)



Figur 11: Med för stor klippspalt är risken för böjning stor. Klippet blir också fulare.

Skärkrafter

Den intressanta klippkraften är den maximala kraft som krävs för att skjuva av en tråd. Kraften kan beräknas med hjälp av det tabellerade brottspänningsvärdet samt ovanstående ekvationer. (Hågeryd, Björklund och Lenner 2005, 194)

$$F = \ddot{o} \cdot \tau \cdot A = \ddot{o} \cdot \tau \cdot \frac{r^2 \cdot \pi}{\cos(\varphi)} \approx \ddot{o} \cdot 0,8 \cdot \sigma_b \cdot \frac{r^2 \cdot \pi}{\cos(\varphi)}$$

$\ddot{o} = \text{överdimensioneringskonstant}$

$A = \text{arean för en cirkel, dvs genomskärningsytan på en tråd.}$

$\varphi = \text{vinkel på klippskären}$

Skärgeometrier

Som synes i formeln kommer den erforderliga kraften att öka med ökande klippvinkel, φ . Detta innebär att klippvinkeln bör hållas låg, men av andra anledningar än krafthänsyn kan denna eventuellt behöva höjas.

Ett optimalt klipp sker när det finns en spalt mellan de två skären som är i storleksordningen 5 – 10 % av det klippta materialets tjocklek. Väljs detta kommer sprickorna mötas inuti klippzonen och minska släppningen. I de nedre regionerna blir klippkraften och verktygsslitaget högre medan det får en finare yta och rakare skär. Sker klippet i de övre regionerna, alltså cirka 10 % av elektrodens genomskärningsdiameter, blir klippkraften och verktygsslitaget lägre medan det blir en grövre klippyta. Vid en mycket stor klippspalt, cirka 15 %, blir deformationszonen väldigt stor och ett ökat böjande moment ger böjda detaljer.

Klippeggarna bör vara skarpa för att åstadkomma större spänningskoncentration och således lägre erforderlig klippkraft på grund av smal klippzon. Vid slitna klippverktyg ändras förloppet och brottet sker senare. Således är det viktigt att man utformar eggarna så att de hålls vassa en längre tid, alternativt att det går att byta till nya vassa eggar. (Hågeryd, Björklund och Lenner 2005, s. 180-181)

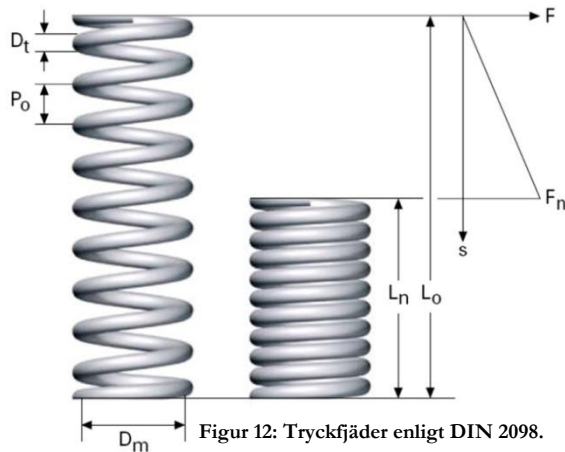
Klipphastighet

Klipphastighet är en faktor som kan påverka klippresultatet. Risken vid låga klipphastigheter är att svetsning kan uppstå och delar av det deformerade materialet kan fastna på skärverktyget. Med högre hastighet sänks friktionen. Enligt experiment ligger optimal klipphastighet på 540 – 720 meter per minut, detta är dock i stort sett omöjligt att uppnå i vanliga klippverktyg. (Hågeryd, Björklund och Lenner 2005, s. 181-183)

2.5. Fjädrar

En fjäder är en mekanisk anordning som används för att uppta kraft, lagra energi eller dämpa stötar.

*Tryckfjädrar för allmänt bruk.
Dimensionering enligt DIN 2098. DIN står för Deutsches Institut für Normung.
Alla dimensioner i mm
 D_t = Tråddiameter
 D_m = Medeldiameter
 L_o = Obelastad längd
 L_n = Minsta tillåten inspänd längd
 F_n = Fjäderkraft i Newton vid L_n
 s_n = Fjädring vid L_n
 c = Fjäderkonstant N/mm
 L_{st} = Längd helt sammanpressad $\approx D_t \times n_t$
 N_c = Antal belastningscykler (livslängd)
(Lesjöfors, 2009)*



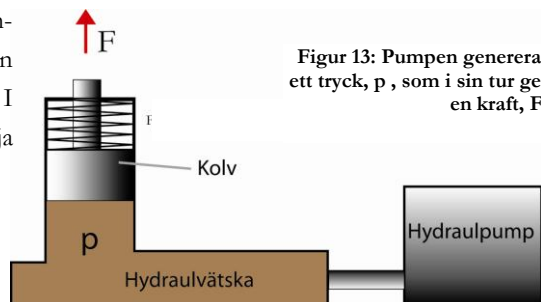
Figur 12: Tryckfjädrar enligt DIN 2098.

För att räkna ut hur stor fjäderkraften är vid en viss fjäderlängd används $F_x = F_n - (x - L_n)c$.

Om vi vet vilken kraft vi vill ha på fjädern och hur mycket kraften ska ändras vid hoptryckning kan det ibland vara lämpligt att ta en längre fjäder och trycka ihop den (förspänna den) till den önskade längden. Detta för att längre fjädrar med samma F_n har en lägre fjäderkonstant c – kraften som krävs att trycka ihop fjädern 1 mm är mindre än för en kortare fjäder.

2.6. Hydraulik

I ett hydraulsystem överförs och styrs energi med hjälp av vätska. Energiöverföringen är av så kallad displacementstyp, vilket innebär att vätskan tvingas strömma av en pump. Då hydraulvätskan inte är kompressibel och utrymmet är begränsat kan tryckkraften från pumpen omvandlas till mekanisk rörelse. I vanliga hydraulsystem använder man olja för att driva en hydraulkolv (se Figur 13).



Figur 13: Pumpen genererar ett tryck, p , som i sin tur ger en kraft, F .

3. Metoder

3.1. Idégenereringsmetoder

Brainstorming används när man har en relativt tydlig bild av vad det är man vill ha en lösning på och det finns flera sätt att lösa det på. Det är en mycket fri metod för kreativ idégenerering i grupp. De exakta formerna på metoden kan se ut på olika sätt, men i sin enklaste form innebär det att alla i gruppen genom fri association kring lösningar på ett specifikt problem försöker generera så många möjliga lösningar som möjligt. I ett första skede är syftet att få fram så stor och bred idémängd som möjligt, därför sker ingen kritik eller värdering av idéerna för att inte hindra kreativiteten. Vissa av idéerna kommer att vara realistiska medan andra kommer vara fullständigt orealistiska. Idéernas värde ligger inte enbart i deras applicerbarhet utan även genom att gruppen hittar nya tankebanor och idéfärer. Efter att en avsevärd idémängd uppnåtts görs en grovsällning där man tar bort de idéer som är uppenbarligen ointressanta eller omöjliga. Det som sedan återstår arbetas vidare med. (Johannesson, Persson och Pettersson 2004, s. 425-426)

Andra sätt att få fart på idégenereringen är att placera frågeställningen i en ovanlig kontext, för att på så sätt hitta oväntade lösningar eller se frågan ur ett nytt perspektiv. Exempel på denna metod är Osborns idésporrar, som går ut på att man frågar sig hur det skulle fungera om man gjorde lösningen större, mindre, tvärtom, kombinerar om delarna mm. (Österlin 2003, s 46)

För väldefinierade konstruktionsproblem med många krav handlar det ibland om att bara hitta en enda fungerande lösning. Det bästa angreppssättet då handlar om att diskutera och skissa (exempelvis med hjälp av idésporrarna ovan), gärna vid konsultation med erfarna konstruktörer och expertis inom det aktuella området. Även internet- och patentsökningar fungerar som källa till möjliga lösningar. (Johannesson, Persson och Pettersson 2004, s. 125-126)

3.2. Utvärderingsmetoder

3.2.1. Matriser

För att utvärdera exempelvis en mängd idéer eller koncept på ett objektivt sätt, kan man ställa upp dessa i matrisform.

En elimineringsmatris används för att sälla idéer, de som inte fyller sitt syfte eller är omöjliga att förverkliga sorteras bort. På en av axlarna listas idéerna och på den andra en rad kriterier (exempelvis kravspecifikationens krav). Därefter testas varje idé mot kriterierna för att se om dessa kan uppfyllas. De idéer som omöjliga kan uppfylla ett krav stryks. Efter att alla idéer och kriterier gått igenom har man fått en första grovsällning av idémängden och kan arbeta vidare med endast de som är genomförbara. Matrisen används för att snabbt sälla bort de koncept som inte uppfyller kraven. Elimineringsmatrisens användbarhet sträcker sig dock inte längre än så då ingen värdering av godkända koncept görs.

En graderingsmatris görs för att på ett åskådligt sätt skapa en jämförande värdering av olika koncept eller idéer. Matrisen har två axlar där den ena axeln utgörs av en listning av de kriterier som koncepten värderas mot, samt en viktningskoefficient på vare kriterium efter deras bety-

delse. På den andra axeln listas de koncept man vill värdera. Varje koncept värderas efter hur väl det uppfyller kriterierna på en skala, till exempel 1–4. När alla koncept och kriterier värderats multipliceras värdesiffrorna med respektive kriteriums viktningskoefficient. De nya viktade värdena för varje koncept summeras till ett slutvärde. Det är detta slutvärde som används för att jämföra de olika koncepten.

Fördelar med att ställa upp en graderingsmatris är att man ganska enkelt får en jämförelse av olika koncept. Viktningen av kriterierna gör att viktiga kriterier får större genomslag än mindre viktiga. Slutvärdet och små skillnader mellan olika koncept är i sig inte särskilt intressanta då dessa värden är ganska godtyckliga. Däremot kan man lätt se om enskilda koncept skiljer sig starkt från de övriga, till det sämre eller till det bättre. Genom att utföra arbetsprocessen med matrisen får man dessutom en god översikt över konceptens styrkor och svagheter. Metoden förhindrar gruppen från att ta irrationella beslut där ”favoritidéer” som medlemmarna känner starkt för väljs utan logisk grund. (Johannesson, Persson & Pettersson 2004, s. 132-133)

3.2.2. Finita elementmetoden

För att beräkna vilka spänningar som påverkar ett objekt under påverkan av en kraft kan finita elementberäkningar användas. Finita elementmetoden används för att approximera partiella differentialekvationer. Beräkningar görs på ett godtyckligt antal punkter för att sedan approximera resultatet mellan dem. Detta medför att ju fler punkter, eller noder, man beräknar desto mer exakt blir slutresultatet. Fördelen med finita elementmetodberäkningar på en tredimensionell kropp är att man kan ha tätt mellan noderna på de intressanta ytorna och glesare på de ytor där resultatet är mindre intressant.

Av naturliga beräkningsskäl kommer vissa värden inte vara tillförlitliga. Hit räknas bland annat värdet precis i kraftens angreppspunkt. Då kraften angriper en punkt, vars area går mot noll, kommer spänningen att gå mot oändligheten ($\sigma = \frac{F}{A}$). Även spänningarna vid kanter bör åsidosättas till viss mån. Detta på grund av att avståndet mellan noderna är större än radien på hörnet och det inte existerar matematiskt räta vinklar i verkligheten, beräkningarna blir således missvisande.

För att på ett överskådligt och enkelt sätt göra dessa beräkningar finns Dassault Systems programvara Simulia Abaqus CAE, dit CAD-ritningar på objekt kan importeras.

I Abaqus väljs först nodplaceringar, noderna placeras tätt vid de platser man är mest intresserad av och glesare i övriga områden. Detta gör att programmet behöver göra färre beräkningar, men det erhålls ändå god noggrannhet i de intressanta områdena. När noderna är utplacerade och rutnätet skapats bestäms randvillkor, vilket är ett måste för att programvaran ska få en utgångspunkt i sina beräkningar. Exempelvis kan man bestämma att vissa ytor inte kan förskjutas i någon riktning, det vill säga att de är statiska.

Därefter väljs kraftens läge och riktning, sedan kan beräkningarna starta. Resultatet presenteras i en färgkodad CAD-ritning där områden med högst spänning får en röd färgnyans. För att säkerställa att objektet håller vill man undvika att de röda områdenas värde överstiger materialets brottgräns.

4. Genomförande

4.1. Informationsinhämtning & probleminentifiering

För att identifiera problemet gjordes informationsinhämtning genom flera kanaler. ESAB tillhandahöll problemet ur sitt perspektiv, men för att ytterligare definiera problembilden gjordes flera studiebesök, expertkonsultationer och teoristudier.

4.1.1. Besök hos kunder

För att inhämta information om användningsaspekter på problemet har en rad studiebesök gjorts hos ESAB:s kunder.

Cryo och Metso Power är två av de företag som besökts. Cryo använder ESAB:s pulverbågsvetsar för att svetsa gastankar av varierande typ och storlek. På Metso Power svetsas industripannor. På dessa företag förevisades anläggningarna och vår produkts användningsmiljö. Projektgruppen fick möjlighet att studera användningen av svets huvud A6. Vi genomförde även öppna intervjuer med svetsarnas operatörer. Dessa besök gav en god bild av produktens användning och hur brukarna själva såg på produkten. Besöken bekräftade även att svets huvudets tillbehörsuppsättning och användning varierar kraftigt mellan olika kunder.



Figur 14: A6 i användningsmiljö.

EWP Windpower Produktion tillverkar vindkraftstorn. Dessa görs av rundvalsade plåtar som svetsas ihop till större segment, som sedan fraktas till och sammanfogas på platsen där vindkraftverket ska stå. Olika svetsmetoder används, främst pulverbågsvetsning. Vanligtvis sker svetsningen uppe på tornsegmentet, flera meter över marken. Detta då pulverbågsvetsning kräver en plan yta för pulvret att lägga sig på. De olika säkerhetsproblem som höjden för med sig gör att denna kund har ett påtagligt behov av en automatiserad klipplösning. Under besöket studerades företagets utrustning och användningen av denna. Intervjuer genomfördes med operatörer och ESAB:s lokala säljare. Främst gav detta besök en möjlighet att studera den mest troliga målgruppen och användningsplatsen för den produkt som ska tas fram.

4.1.2. Besök hos uppdragsgivaren ESAB

Projektgruppen har haft kontakt med flera ESAB-kontor under projektets gång. De har haft olika resurser för projektgruppen att tillgå.

På kontoret i Göteborg jobbar projektets samordnare och handledare från ESAB, Arne Lagerkvist, Industrial Design Engineer, som varit tillgänglig för teknisk konsultation och vidarebehandling av kontakter under arbetets gång.

Processcentrum är ESAB Göteborgs verkstad där man bland annat gör tester och föreläsningssvetsar. Här utfördes introducerande demonstrationer av svetsen, samt de empiriska testerna. Resursperson här var Anders Eriksson, Training Manager.

I Laxå ligger huvuddelen av ESAB:s produktutveckling för svetsutrustning. Även de globala säljarna för utrustningen utgår härifrån. Resurspersoner här var konstruktörerna Gunnar Bohlin och Siewert Karlsson, samt säljarna Per Ivarsson, Anders Lord och Peter Söderberg.

På ESAB: produktionsanläggning i Perstorp tillverkas olika elektrodotyper för ESAB:s svetsar. Denna besöktes för att undersöka vad dessa använder för olika metoder för trådklippning. Förutom högproduktiva maskiner som används för att kapa belagda elektroder i bestämda längder finns här även ett par små manuella klippmaskiner. Den ena pneumatiskt driven, den andra hydraulelektrisk. Att se dessa maskiner gav upphov till flera av de idéer till lösningar som senare arbetades vidare med.

4.1.3. Problemidentifiering

Uppgiftsbeskrivningen från ESAB visade tydligt på vad företaget ansåg vara problemet med de delvis automatiserade pulverbågsvetsarna; att klippningen måste skötas manuellt när övriga funktioner var automatiserade.

För att inte fokus för tidigt skulle hamna på konventionell klippning av svetselektroden studerades svetsprocessen och huvudet i sin helhet. Angreppspunkten var således att studera processen förutsättningslöst för att sedan göra en egen problemidentifiering.

Under ett studiebesök märkte vi stora brister i säkerhetstänkande och -beteende, samtidigt som operatören indirekt undvek risker genom att inte klättra upp för att klippa elektroden mellan svetsningarna. För att ta sig upp på den rundvalsade plåten flera meter upp tog han sig upp på en plåtå och klättrade sedan över till arbetsstycket på en stege som nästan låg horisontellt. Det är inte lätt att kryp gå över horisontella stegar, något som säkerligen påverkade operatörens val att inte klippa elektroden. Resultatet för företaget i fråga är minskad produktion. Operatören uppskattade själv att ungefär en av sex starter med oklippt elektrod misslyckas, vilket innebär produktionsstopp där arbetsstycket måste roteras en kvarts varv och den misslyckade starten slipas bort med vinkelslip. Projektgruppen förstod efter detta vikten av att få ned operatörerna och att en automatiserad trådklippning skulle utgöra en stor förbättring av effektiviteten och säkerheten.



Figur 15: Bilden visar en sektion av ett vindkraftstorn. Svetskranen skymtar till vänster i bakgrunden.

Efter de första studiebesöken och vidare diskussioner med ESAB och projekthandledaren Pontus Englebretsson från Chalmers blev det alltmer tydligt att den manuella klippningen av tråden faktiskt var ett stort problem.

4.2. Kravspecifikation

Alla olika förutsättningar, krav och önskemål som uppkom genom inhämtning från användare och tillverkare sammanställdes och bearbetades till en kravspecifikation. Under hela projektet, även efter att inhämtningen var avslutad, fortsatte krav att uppkomma och förändras. Därav kommer att kravspecifikationen ha varit ett levande dokument som ständigt förändrats.

Kravspecifikationen innehåller både krav och önskemål. Kraven är sådant som slutresultatet måste uppfylla för att lösa uppgiften. Önskemål är inte absolut nödvändiga men gör lösningen mycket mer attraktiv om de uppfylls. Önskemålen är viktade efter hur prioriterade de är. Krav och önskemål kan komma från olika håll. Många kommer från beställaren, andra har sitt ursprung i lagar och standarder.

Nedan följer ett utdrag ur kravspecifikationen med några av de krav som återkommit under projekttidens gång och som präglat slutkonceptet mest. Hela kravspecifikationen kan hittas i Bilaga 1: Kravspecifikation.

Tabell 1: Kravspecifikation med de viktigaste kraven.

| Vad | Krav/ Önskemål | Ev. viktning (1-5) |
|--|----------------|--------------------|
| Möjliggör svetsomstart | Krav | |
| Ej försämra strömledningsförmåga | Krav | |
| Ej försämra värmeledningsförmåga | Krav | |
| Ej vara i vägen för arbetsrörelse | Krav | |
| Restprodukt får inte förstöra svetsresultat | Krav | |
| Klippa konstruktionsstål med 5 mm i diameter | Krav | |
| Klippa rostfritt stål med 4 mm i diameter | Önskemål | 2 |
| Klara verkstadsmiljö | Krav | |
| Reservdelar av standardtyp | Önskemål | 4 |
| Vikt <30 kg på svetshuvud | Krav | |
| Vikt <150 kg på kran | Krav | |
| Kostnad <20 000 kr för prototyp | Krav | |

Av utdraget ur kravspecifikationen ovan framgår att det inte finns något krav på minsta klippkraft. Detta eftersom uppdragsgivaren ESAB inte visste exakt vilka klippkrafter som behövdes, utan bara vilken typ av tråd de tyckte var rimligt att produkten klarade av att skjuva. Självklart finns det även krav på produkten att den inte förstör svetsresultatet.

4.3. Konceptgenerering och val

Parallellt med informationsinhämtningen och efter att denna avslutats skedde också idégenerering. Under informationsinhämtningen uppkommer idéer hela tiden i och med att projektdeltagarna aktivt arbetar med problemet. Idégenerering har också skett aktivt genom olika strukturerade idégenereringsmetoder, vid brainstormingtillfällen etcetera.

För att skapa koncept sammanställdes den uppkomna idémängden. Denna mängd bearbetades, dokumenterades, sorterades och rensades. Sortering skedde efter vilket delproblem som lösningarna behandlade, exempelvis erhöles ett antal lösningsförslag för delproblemen klippningsmetod, verktygsplacering, drivmetod osv.

De olika dellösningarna sattes därefter samman i olika kombinationer till olika grundkonceptkoncept. Denna sammansättning skedde till stor del genom diskussion inom projektgruppen. Morfologiska matriser användes som hjälpmetod för detta arbete.

Grundkoncepten utvecklades något ytterligare och utvärderades i elimineringsmatriser och värderingsmatriser. De som därefter ansågs ha störst potential valdes ut för presentation på delredovisningen.

4.3.1. Beskrivning av koncept

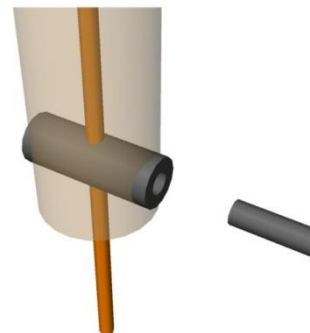
De utsorterade koncepten som var mogna för vidare utvärdering delades in i tre kategorier baserat på hur lösningen är placerad i förhållande till svetsröret: internt, omslutande eller externt. Koncepten varierades för att kunna driva en diskussion med ESAB kring vilken inriktning som var lämplig.

4.3.1.1. Interna lösningar

Det gemensamma för dessa koncept är att klippverktyget delvis är placerat inuti svetsröret och klippningen sker ovanför backarna. Detta gör att man undviker att ha någonting placerat under backarna, som potentiellt kan påverka eller påverkas av svetsprocessen. Utmaningen ligger i att hitta en lösning som är genomförbar med tanke att på de ingrepp som görs i det befintliga svetsröret inte får påverka svetsprocessen negativt.

Koncept A: Insats

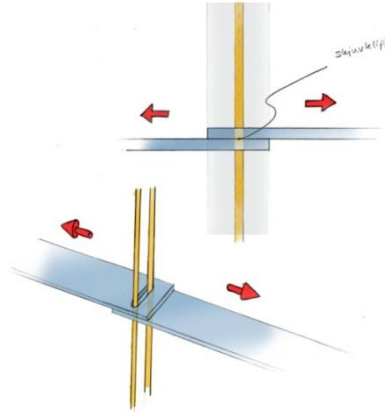
I detta koncept är verktyget monterat in i svetsröret och klippningen sker ovanför kontaktbackarna. Klippet sker med ett skärverktyg som klipper tråden mot ett mothåll. Denna lösning blir relativt enkel att passa ihop med kringutrustning.



Figur 16: Koncept A; ett verktyg skär av elektroden i en insats placerad ovanför backarna.

Koncept B: Cigarr

Detta koncept skiljer sig från insatskonceptet i hur kapningen av elektroden sker. Verktøget är utformat som en cigarrsnoappare, två kanter på var sin sida om tråden förs åt mot varandra motsatta håll och kapar av tråden.



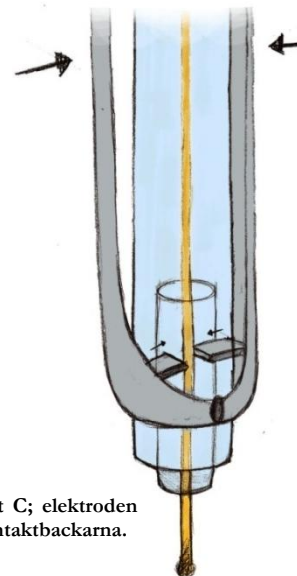
Figur 17: Koncept B; elektroderna skjuvas av likt en cigarr i en cigarrsnoappare.

4.3.1.2. Omslutande lösningar

De omslutande lösningarna är placerade runt svetsrøret. Klippingen kan ske antingen i eller under kontaktbackarna. Med denna placering av verktyg kan man minimera ingreppen i den befintliga utrustningen och ändå undvika att verktyget tar mycket plats. Utmaningen ligger främst i att passa ihop verktyget med befintlig kringutrustning.

Koncept C: Nötknäppare

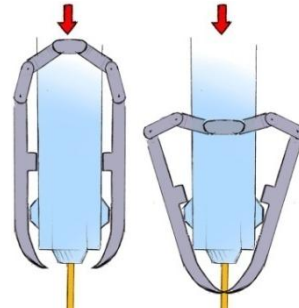
I detta koncept har verktyget två skaft som är placerade längs med svetsrøret, i den nedre delen av dessa är två skär placerade. När drivningen trycker ihop skaften pressas skären mot elektroden från varsitt håll och tråden klipps av. Denna lösning påverkar inte svetsprocessen eller det befintliga svetsrøret lika mycket som de interna lösningarna och verktyget ökar inte svetshuvudets totala storlek så mycket. Skaften måste utformas noggrant med tanke på den øvriga kringutrustningen



Figur 18: Koncept C; elektroden klipps av inuti kontaktbackarna.

Koncept D: Kniptång

I detta verktyg omvandlas en vertikal kraft till en horisontell kraft som angriper elektroden med två skär. Klippet sker nedanför backarna men mellan klippen flyttas verktyget bort från svetsområdet. Denna lösning behöver passas in med all kringutrustning och de många rörliga delarna innebär en utmaning att konstruera.



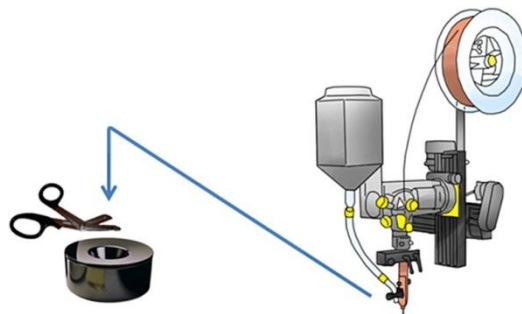
Figur 19: Koncept D; verktygets eggar förflyttas ned till tråden av en vertikal kraft som mekaniskt omvandlas till en klippkraft.

4.3.1.3. Externa lösningar

I dessa koncept är verktyget placerat utanför svetsröret och förs fram till trådänden vid klippning. Klippningen sker nedanför backarna, men är ändå inte i vägen när svetsningen sker. Dessa lösningar gör dock att hela svetshuvudet tar mer plats.

Koncept E: Askfat

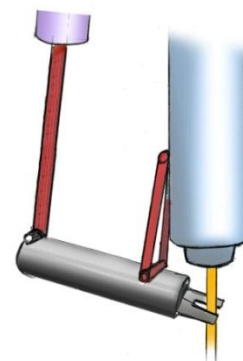
I detta koncept utnyttjas svetshuvudets möjlighet att förflytta sig längs med sina slider. Vid klippningen så flyttas huvudet till ändpunkten på banan där ett klippverktyg är placerat. Tråd matas ut, klippes och matas tillbaka. Svetshuvudet flyttas sedan tillbaka till ursprungsläget. På detta sätt behöver inget verktyg placeras på själva svetsröret, inga förändringar av detta behöver göras. Däremot måste klippverktyget hänga med när kranen flyttas och det kan tänkas att det utgör ett problem om det blir i vägen i användningsmiljön. Det krävs också en hög grad av automation för att få förflyttningarna att fungera.



Figur 20: Koncept E; hela svetshuvudet förflyttas till ett externt klippverktyg.

Koncept F: Verktygsarm

Detta koncept innebär att man har ett klippverktyg monterat på svetshuvudet som är rörligt. Vid svetsning befinner sig verktyget ur vägen för processen, när klippning ska ske förs verktyget fram till elektroden och klipper. På så sätt undviks påverkan av svetsprocessen och förändringar av svetsröret blir minimala.



Figur 21: Koncept F; ett externt klippverktyg förs fram till elektroden och klipper.

4.3.2. Delredovisning

För att välja koncept för vidare utveckling hölls en delredovisning för ESAB. Projektets arbetsprocess presenterades kort, därefter presenterades de koncept som utvecklats. ESAB:s representanter fick möjlighet att komma med frågor och ge kommentarer på de olika koncepten. I diskussion efter redovisningen diskuterades realiserbarhet, processpåverkan och säkerhet. De flesta var överens om att vi skulle rikta in oss på att klippa tråden ovanför backarna och fortsätta att utveckla de interna koncepten.

4.4. Utveckling slutkoncept & primärkonstruktion

Vidareutvecklingen av det valda konceptet krävde att viss ytterligare information inhämtades. Denna information användes för att ta konceptet, med sina mycket grundläggande principer, till en preliminär konstruktion och ett underlag för framtagande av en prototyp.

4.4.1. Konstruktionskonsultation på ESAB Laxå

En konsultation med konstruktionschefen Gunnar Bohlin och konstruktören Siewert Karlsson skedde för att inhämta synpunkter på konceptets design och konstruktion. Som utgångspunkt för denna diskussion presenterades bland annat en hydraulpumlösning för konstruktörerna, något som tidigare varit utforskad terräng hos ESAB och deras kunder. Det finns en oro kring att hydrauliken läcker, olja i svetsfogen kan vara förödande. Efter en diskussion ansåg dock konstruktörerna att en hydraulpumlösning, där oljetrycket bara är högt vid själva klippningen, är tillräckligt säker. De ansåg också att lösningen var stark med tanke på att problemet var så komplext med stora erforderliga krafter. Vid detta möte kunde också några tidigare krav bekräftas och några nya krav framkom. Bland annat kunde beräkningen av erforderlig kraft för att dra ut tråden ur hopsatta backar bekräftas till 60 N och det fastställdes att ingrepp i svetsröret är godtagbart så länge den nuvarande ledande minimala tvärarean inte underskrids.

Sammanfattning av de nya kraven:

- Tidigare begränsning om tre kilogram som maximal vikt på svetshuvudet ökades markant till 30 kg som total påhäningsvikt
- Priset för prototyp var väldigt bra om det understeg 10 000 kronor och fullt acceptabelt om det understeg 20 000 kronor.
- Konstruktörerna ansåg att 4 mm rostfri elektrod var alldeles för starkt och det räckte om lösningen klarade av upp till 5 mm svartstål som elektrod.
- Överdimensioneringskrav på klippkraften bestämdes slutgiltigt till 2,5 gånger erforderlig kraft.
- Ingrepp i svetsröret accepteras så länge den nuvarande ledande minimala tvärarean inte underskrids (se Bilaga 2: Begränsande area).

4.5. Empiriska tester

För att studera vissa frågeställningar empiriskt gjordes vid flera tillfällen tester på ESAB Göteborgs processcentrum, där ett A6 svetshuvud fanns att tillgå. Frågan vi ställde oss i ett inledande skede var hur mycket backarna slits av att man matar ned en avklippt tråd i backarna, och om tråden överhuvudtaget hittar ned. Vi tillverkade små kutsar i stål (se Figur 22) med koniska hål för att använda under testerna. Dessa kutsar agerade trådledare halvvägs ned, mellan vår tänkta klipplösning och tråden. Vi testade sedan att föra ned tråden med öppna backar, med stängda men lösa backar och med spända backar, med och utan den gamla tråden fortfarande fast i backarna. Kompletta anteckningar från testerna finns i Bilaga 3: Anteckningar från baktester.



Figur 22: Kuts med konor för twintråd.

4.5.1. Resultat tester

- Tråden kommer inte i närheten av att pricka rätt i backarna om den inte styrs, på grund av den naturliga krökning tråden har sedan den var förpackad och förvarad på rulle. Problemet var överkomligt, och kunde lösas med justerande av riktverken.
- Den nya tråden klarar inte av att putta ut den gamla när backarna är stängda.
- Den gamla tråden trillar ut väldigt snabbt och smidigt vid öppnande av backarna, några millimeters öppning räcker.
- Singelbackarna vars ovandel ser ut som en tratt som går hela vägen ut till kanten klarade av att leda tråden ned i spåret, men den avklippta tråden var vass och gjorde ett märke längst in i backens kona. Tråden var då klippt med en bulstax, vilket innebär att den har en platt spets som sticker ut på två ställen utanför den ursprungliga diametern.
- För de backar som längst ned har en liten hylla (alla twinbackar och vissa singelbackar, se Figur 5: Twinbackar.) är det kritiskt att tråden kommer rätt, under testerna märkte vi att en tunnare tråd som matas ned och stöter på något platt kommer böjas. Så fort den börjat böjas får tråden väldigt svårt att hitta rätt ned. För twintrådar, som inte kan använda sig av dubbla riktverk, är detta extra viktigt.
- Det går inte att mata ned tråd i öppna backar utan att ha någon styrning mellan backarnas övre del och öppningen, (se Figur 23) något som försvåras av att backarna nöts ned successivt tills de möts. En sådan lösning måste alltså kunna agera i två dimensioner, alternativt vara flexibel och kompressibel.
- Tråden måste ledas mellan verktyget hela vägen ned till backarnas övre öppning. En kona eller annan lösning bör konstrueras i underdelen av verktyget för att leda ned tråden.
- Med spända backar hittade tråden ned utan problem, även i backar med hylla. Den nya tråden kan alltså matas ned genom spända backar.



Figur 23: Trådens böjning från rullen gör att även om den leds ned på rätt ställe så hamnar den fel. Vår kuts är den närmast backen.

4.5.2. Sammanfattning från testerna

Vår lösning måste efter klipp öppna upp backarna för att släppa ut trådstumpen. Därefter måste backarna stängas, den nya tråden matas ned genom rör eller på annat sätt så långt ned i backarna som möjligt. Väl där följer tråden backarnas spår tills den kommer ut.

4.6. Datormodellering i CAD

CAD har använts under en stor del av projekttiden och för flera ändamål. I ett tidigt skede har dellösningar modellerats för testas och illustreras. Senare i projektet modellerades färdiga delar och placerades in på huvudet för att verifiera att de rent praktiskt fungerar.

När vår lösning var tillräckligt bestämd för att kunna göra en preliminär konstruktion gjordes denna i CAD. Denna modell kunde sedan användas för att bekräfta huruvida komponenter passade ihop och även som diskussionsunderlag när lösningarna utvärderades.

4.7. Klippberäkningar

För att lösningen skall vara användbar skall den kunna klippa många olika varianter av svets-elektroder. Lösningens klippkraft måste således vara större för att kunna skjuva den elektrod som kräver störst skjuvkraft. Från uppdragsgivaren ESAB finns önskemål om att klippverktyget skall klara av att klippa rostfritt stål med fyra millimeter i diameter samt tvillingtråd av konstruktionsstål med enskild diameter på 2,5 millimeter. Krav finns på att klippa konstruktionsstål med fem millimeter i diameter. Överdimensioneringskonstanten på 2.5x används för att säkra hållfastheten.

Nedan följer resultaten för beräkningarna. För utförliga uträkningar, se Bilaga 4: Klippberäkningar erforderlig kraft.

Erforderliga krafter för olika trädtyper

| Krav: Konstruktionsstål med 5 mm i diameter | | | |
|--|----------|------------|----------|
| Vinklat skär 30°: | 16 324 N | Rakt skär: | 14 137 N |
| Önskemål: Rostfritt stål med 4 mm i diameter | | | |
| Vinklat skär 30°: | 17 122 N | Rakt skär: | 14 828 N |
| Önskemål: Tvillingkonstruktionsstål 2,5 mm i diameter | | | |
| Vinklat skär 30°: | 4 081 N | Rakt skär: | 3534 N |

4.8. Skärverktyg

Vid utformning av skärverktyget fanns ett antal aspekter som var väsentliga och avgjorde konstruktion och form. Nedan redogörs för de aspekter som låg till grund för design av verktyg.

4.8.1. Kriterier och krav

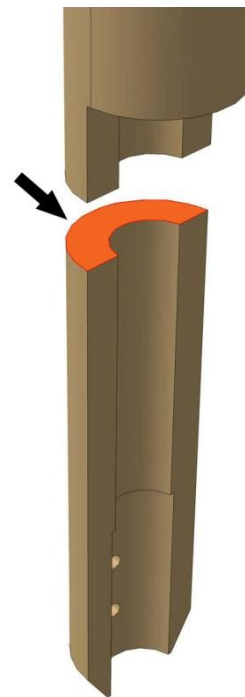
Verktyget ska klippa tråd med diameter på åtminstone 4 mm med brottspänning på 590 MPa och 5 mm med brottspänning på 360 MPa. Den ska även vara kompatibel med vald kraftkälla och klippa utan tillsyn ifrån operatör. Den ska klara av att klippa då svetsröret är monterat med två trådar. Tjockaste diameter som klippverktyget ska klara av i detta utförande är 2x3 mm.

Andra funktioner som inte är krav men önskemål är att tråden ska bli klippt i en vinkel 30-45 grader, och att snittet ska vara fritt från grader och deformationer. Det är också fördelaktigt om trådarna i twin klipps så att längderna på de kvarvarande trådarna skiljer i längd. Detta för att svetsprocessen ska starta en tråd i taget för att öka strömtätheten. Den kvarvarande tråden bör också förbli rak och riktad för att kunna löpa ned i backarna utan svårigheter. För att den avklippta tråden ska kunna falla bort utan att fastna bör även denna vara tämligen rak och utan deformationer.

Det är viktigt att skärverktyget inte förändrar egenskaper i svetsprocessen, i huvudsak gällande ström och värmeledning. Man vill därför göra så små ingrepp och förändringar i svetsröret som möjligt. Svetsrörets begränsande strömledande area i originalutförande är halva svetsröret. Om denna area inte underskrids vid omarbetad konstruktion kommer inte strömledningen att påverkas (se Figur 24, även Bilaga 2: Begränsande area). När det gäller värmeledningsförmågan finns det inte några klara avgränsningar, dock bör svetsrörets volym ej reduceras avsevärt. Förändringar bör också undvikas i svetsröret, då man vill att lösningen enkelt ska kunna appliceras på redan befintlig svetsar utan att kunderna behöver bygga om sina riggar.

Vid utformning av skärverktyget används metoden DFM (Design for Manufacturability), där det är viktigt att en enkel produktion och kostnadseffektiv tillverkning finns i åtanke. Vid design utgår vi ifrån standarddimensioner på material och standardiserade bearbetningsmetoder. Det är också viktigt att vi använder så få komponenter som möjligt samt att materialtyper dimensioneras för dess ändamål. (Lindstedt & Burenus 2003, s. 577)

Ett önskemål på verktyget är också lång livslängd med minimalt underhåll. Antal cykler som verktyget bör klara utan underhåll är 10 000 och lättare service ska begränsas till en gång per år. För att få god driftsekonomi med få avbrott i tillverkningen bör klippskären antingen vara utbytbara eller klara uppemot 20 000 cykler, samt ha en livslängd på minst fem år. Komponenter på verktyget ska i möjligaste mån vara utbytbara för att möjliggöra enkel service. Skruvar bör också vara standardiserade samt ha likvärdig verktygspassning för enkel montering.



Figur 24: Ingrepp i svetsröret begränsas av att den minsta arean inte får bli mindre.

4.8.2. Koncept skärverktyg

Med ovan nämnda kriterier i åtanke utformades fyra olika koncept.

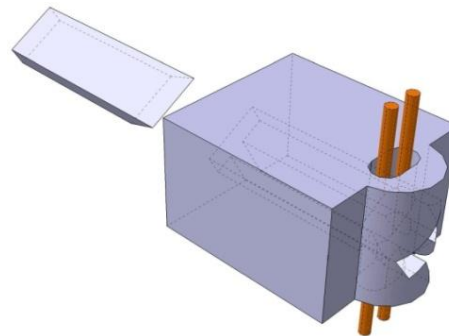
4.8.2.1. Verktygskoncept 1 – Halv insats, rakt skär

Konceptet består av ett klippverktyg där elektroden löper vertikalt genom ett hål i verktygets yttre kant. Elektroden klipps då ett skär, som löper 90 grader mot svetsröret, skjuvar av tråden mellan dess egg och klippverktygets kant. Skäret löper i sin tur genom ett spår vars syfte är att styra och positionera. Klippverktyget är konstruerat för att monteras på svetsröret utan att göra ingrepp på den begränsade strömledande arean. För att verktyget ska kunna monteras på svetsröret krävs att man avverkar 30–40 mm material i höjddled på rörets ena halva.

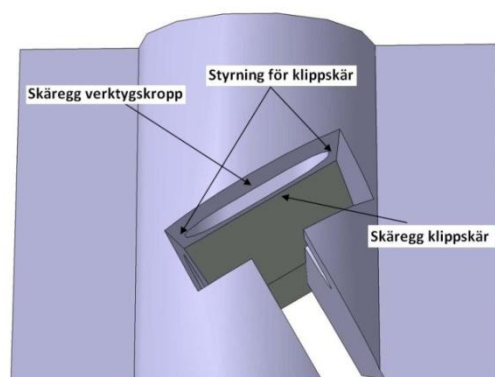
Spåret där skärkniven löper har en vinkel på 30 grader, för att klara vinkelklipp enligt kravspecifikation. Spåret är utformat för att kunna fräsas med T-spårsfräs och är genomgående i längdled. Hålet där tråden löper är utformat för att kunna fräsas med pinnfräs och är utformat för att klara både singel- och twintråd.

Klippskäret som löper i det stora verktyget har en vinkel på 45 grader vid klippkanten. Vinkeln krävs för att tjockare trådar ej ska deformeras mot underkant av den större verktygskroppen. Skäret löper enbart genom glidfriktion och smörjmedel behövs för att minimera friktion samt nötning. För att minimera trycket i spåret mellan skär och verktygskropp är det väsentligt att toleranser mellan de båda delarna är små. Små toleranser gör att kraften fördelas utmed en längre sträcka och trycket på varje enskild punkt minskar. Små toleranser krävs också för att avståndet mellan de båda skärepparnas kanter ska ha optimalt mellanrum och därmed öka verkningsgrad vid klipp. Högsta teoretiska verkningsgrad sker då mellanrummet ligger mellan 5–10% av trådens diameter (för noggrannare beskrivning se 2.4. Trådklippning). För att de båda skärepparna ej ska stöta ihop överlappar verktygsspåret trådhållets utgångspunkt och styrning sker över hela spåret.

Materialet runt verktygskroppens klippkant är begränsad för att kunna passa i svetsrörets befintliga form. De begränsade utrymmena gör att höga spänningar kan bildas i detta område och bli så stora att ett verktyg inte skulle vara tekniskt eller ekonomiskt möjligt att tillverka. För att utreda hur stora spänningar som bildas simulerade vi klippprocessen med hjälp av FEM-beräkningar.



Figur 25: Skärverktygskoncept 1.



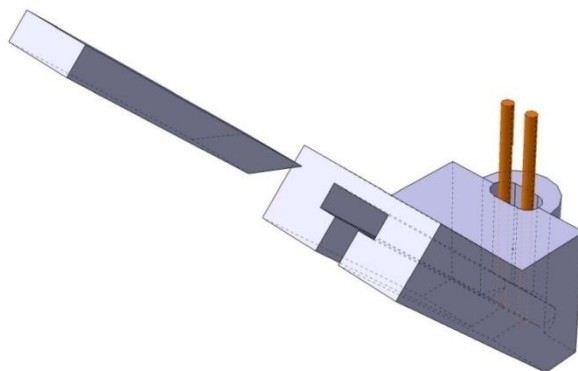
Figur 26: Skärverktygets bana i skärkroppen.

En konstruktion med utbytbara hårdmetallskär hade varit fördelaktigt, då detta medför en avsevärt billigare och enklare konstruktion. Med utbytbara skär kan man konstruera övriga delar i material som inte behöver vara anpassade för skärande bearbetning, samt att slitdelar enkelt kan ersättas. En konstruktion med hårdmetallskär skulle dock ytterligare försvaga konstruktionen vid verktygskroppens klippkant då mindre sammanhängande massa skulle ta upp klippkraften. Konsekvensen blir att tillgängliga material troligen inte skulle klara spänningspåfrestningarna vid design med hårdmetallskär. Detta gör att båda delarna av verktyget måste vara konstruerat i någon typ av verktygsstål. Verktygsstålet måste både ha hög brottspänning och vara anpassat för skärande bearbetning. För att få god nötningsbeständighet vid skärebben krävs att materialet härddas till en hårdhet på mellan 58–64 HRC, detta enligt rekommendationer från stålproducenter (Björn Johansson Björn Verktyg, telefonsamtal den 5 maj 2009).

4.8.2.2. Verktygskoncept 2 – Halv insats, 45 graders skär

Konceptet liknar Verktygskoncept 1, med skillnaden att klippskäret löper med en 45 graders vinkel i förhållande till svetsröret. Fördelen med denna konstruktion, i förhållande till det föregående konceptet, är att massan på materialet runt stora verktygskroppens klippkant ökar. Längden mellan klippkanten på verktygskroppen och dess slut ökar med cirka 1,4 gånger, detta utan att inverka på svetsrörets befintliga konstruktion och begränsande strömledande area. Nackdelar i förhållande till Verktygskoncept 1 är att tryckkraften på T-spårets undre kontaktyta mot klippskäret kommer att öka, vilket medför ökad friktion samt nötning. På grund av T-spårets lutande infallsvinkel kommer klippskäret att vilja tryckas från verktygskroppens skäregg vid kontakt med elektrod. Detta gör att ett ofördelaktigt glapp kan uppstå. För att få så låg klippkraft som möjligt vill man ha ett optimalt spelrum mellan skärebben. För att motverka ett för stort glapp krävs att toleranserna mellan T-spåret och klippskäret är mycket goda.

Konstruktionen är mer komplicerad än Verktygskoncept 1 och kräver mer bearbetning och materialavverknig vid tillverkning. Konceptet kommer ej att kunna klippa twintrådar i olika längder, vilket var ett önskemål.

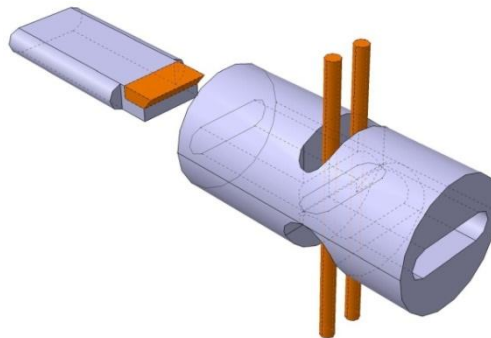


Figur 27: Skärverktygskoncept 2.

4.8.2.3. Verktygskoncept 3 – Genomgående insats

Konceptet består av ett klippverktyg som monteras inuti svetsröret. Ett hål borras genom svetsröret, i vilket klippverktyget placeras. Verktyget är utformat som en rund insats i vilken en skärkniv löper genom ett internt spår. Elektroden går igenom ett hål som löper vinkelrätt mot skärkniven och är urfräst i insatsverktyget. Elektroden skjuvas av mellan skärkniven och insatsens övre kant, där hårdmetallskär är monterade. En konstruktion med hårdmetallskär gör att övriga delar kan tillverkas i material med lägre hårdhet. Då man dessutom kan utgå ifrån standardiserat stångmaterial vid tillverkning blir kostnaden låg.

Verktygets spår samt elektrodhålet är utformade för att fräsas med pinnfräs. För att inte elektroden ska fastna eller deformeras vid klipp är materialet under insatsens klippkant urfräst. Denna urfräsning är också ett krav för att möjliggöra tillverkningen av en skåra för hårdmetallskär på insatskroppens inre ovansida. Klippskäret är utformat efter spåret i insatskroppen och har en inskärning för att positionera ett hårdmetallskär.



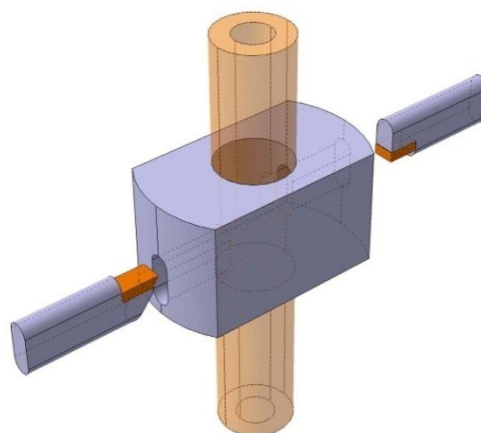
Figur 28: Skärverktygskoncept 3 med twintråd.

För att konstruktionen ska klara krävd trådtjocklek och twin bör insatsen vara minst 20 mm i diameter. Detta gör att ett hål på minst 20 mm i diameter behöver borras genom svetsröret och då hålet är genomgående kommer det att inverka på den begränsande arean. Detta gör att svetsegenskaperna kan förändras vilket kan vara en nackdel.

4.8.2.4. Verktygskoncept 4 – Utanpåliggande verktyg

Konceptet består av en utanpåliggande verktygskropp där två spår för klippskär finns urfrästa. Verktygskroppen är konstruerad för att monteras runt svetsröret och kräver att två ovala hål fräses från vardera sidan i svetsrörets mässingsgods. Hårdmetallskär är fästa vid skärknivarnas ändar för att skjuva av tråden/trådarna. Den övre skärkniven är konstruerad för att monteras i en fast position så att elektroden löper invid skäret. Den undre är utformad för att tryckas mot det övre skäret. Det kommer därmed bara vara den undre skärkniven som är rörlig och kommer att löpa i verktygskroppens spår.

Då verktygskroppen inte ger stöd åt skärknivarna vid hålet för svetsröret, krävs en skärknivshöjd på minst 20 mm för att klara momentspänningar. Dimensionering är gjord med ett konstruktionsstål med medelhög hållfasthet. Det kan dock krävas ett stål med hög hårdhet för att slitytor där skärkniven löper ska få hög slitstyrka.



Figur 29: Skärverktygskoncept 4.

Verktøyskroppen er relativt enkel å tillverke og ein kan utgå ifrå ein fyrkantsstång. Dock krev konstruksjonen mer material en øvrige konsept vilket kan vara negativt för vikt och pris. Skärknivarna är mer tidskrävande att tillverka då radien måste ha fin tolerans mot verktøyskroppens frästa ingångshål.

Skärknivarnas dimensioner i denna prototyp är lite större en øvrige verktøyskonsept. Detta kan inverka negativt på svetsegenskaper då større ingrepp krævs i svetsrøret.

4.8.3. Konseptval

För att analysere vilket konsept som var mest fördelaktigt utvärderades de med hjälp av en kriteriematris och genom att konsepthelheterna jämfördes mot varandra.

För att verktøyskonseptene ska fungere krævs att de er kompatible med vald kraftkälla. Konseptene utvärderades därför tillsammans med analysen av kraftkälla. Alla fyra konseptene er konstruere for att med en tryckande kraft föra fram skärverktøyet. En mindre kraft for tilbaka-dragande krævs också for alla lösningar. Denna rörelsekombination er relativt enkel samt konventionell, vilket gör att alla konseptene bör fungere med alla ulike alternative kraftkällor. Konseptene er också ganske likverdige når det gäller integrering av kraftkälla.

Graderingsmatrisen på næste side jämför konseptene gjennom att avgöra hur väl de oppfyller erfordrede kriterier. Viktningen beskriver betydelsen av respektive kriterier og konseptene poängsätts efter hur väl de presterer i varje kriteriekategori.

- Konsept 1 – Halv insats, rakt skär
- Konsept 2 – Halv insats, 45 graders skär
- Konsept 3 – Genomgående insats
- Konsept 4 – Utanpåliggende verktøyet

Tabell 2: Graderingsmatris.

| Kriterier | Vikt | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------------------|------|------------|------------|------------|------------|
| Klara 5 mm tråd 590 MPa | Krav | JA | JA | JA | JA |
| Kompatibel med kraftkälla | Krav | JA | JA | JA | JA |
| Klippa både singel- och twintråd | Krav | JA | JA | JA | JA |
| Klipp utan tillsyn ifrån operatör | Krav | JA | JA | JA | JA |
| 30-45 graders vinkel på klipp | 7,00 | 9,00 | 9,00 | 9,00 | 6,00 |
| Höjdskillnad mellan trådarna | 6,00 | 9,00 | 9,00 | 9,00 | 6,00 |
| Snitt utan grader och deformationer | 5,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 6,00 |
| Ny tråd bör förbli rak | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 7,00 |
| Avklippt tråd bör inte deformeras | 4,00 | 7,00 | 7,00 | 7,00 | 8,00 |
| Inte förändra svetsfunktioner | 9,00 | 9,00 | 8,00 | 3,00 | 6,00 |
| Kompatibel med befintligt svetsrör | 7,00 | 7,00 | 7,00 | 6,00 | 6,00 |
| Design för billig/enkel produktion | 6,00 | 7,00 | 5,00 | 9,00 | 4,00 |
| Utbytbara komponenter (främst skär) | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 7,00 | 8,00 |
| Få komponenter | 3,00 | 8,00 | 7,00 | 8,00 | 3,00 |
| Klara 10 000 cykler utan underhåll | 6,00 | 9,00 | 9,00 | 9,00 | 9,00 |
| Öppnande av backar med klippkraft | 7,00 | 8,00 | 7,00 | 6,00 | 6,00 |
| Total poäng | | 580 | 549 | 527 | 461 |

4.8.4. Slutsats verktygskonceptval

Verktygskoncept 1 – Rak halv insats framstår som bästa valet enligt graderingsmatrisen. För att avgöra om konceptet är möjligt att konstruera krävs dock att spänningssimuleringar görs i kritiska punkter.

4.9. Utvärdering med finita elementmetoden

För att analysera vilken brottspänning verktyget minst bör klara, simulerades spänningarna med finita elementmetoden (FEM). Verktyget skall klara att skjuva av elektrod av svartstål med fem millimeter i diameter. Dessutom finns önskemål om att skjuva av elektrod av rostfritt stål med fyra millimeter i diameter. Säkerhetsfaktor skall vara 2,5 enligt kravspecifikation. Verktygsstål kan härdas till en brottgräns på upp till 2 000 MPa, vilket således utgjorde taket för mätningarna.

4.9.1. Försök 1: Konstruktionsstål, 5 mm diameter

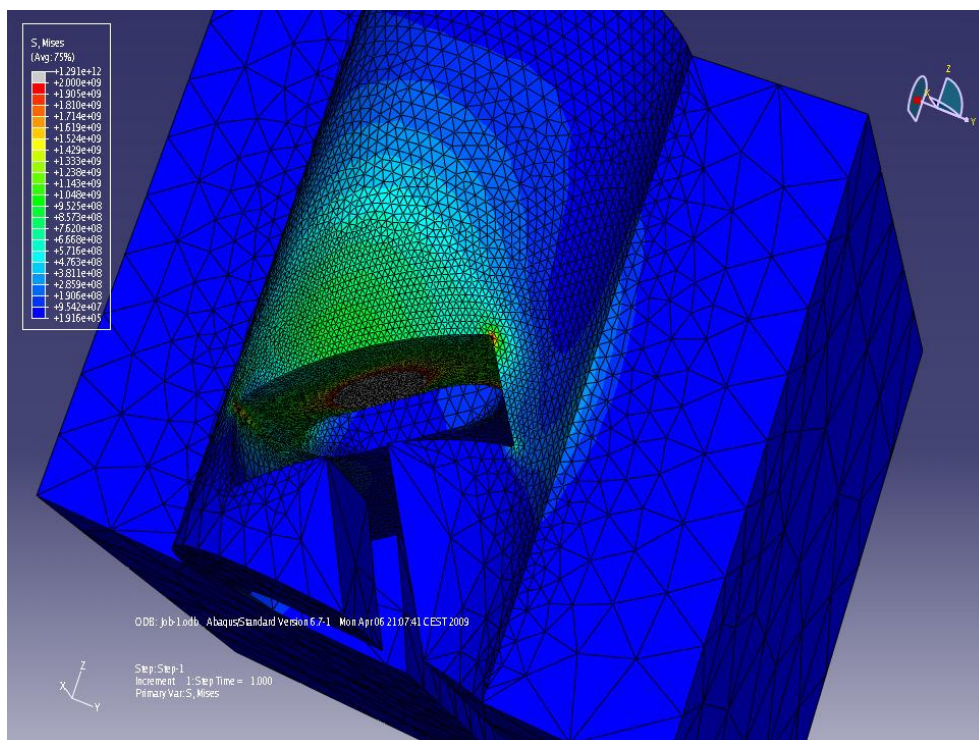
$$F_{max,singel} = 2,5 \cdot \tau \cdot A = \frac{\tau \cdot r^2 \cdot \pi}{\cos(\varphi)} = \left\{ \begin{array}{l} \tau = 0,8 \cdot 360 = 288 MPa \\ r = \frac{5}{2} = 2,5 mm \\ \varphi = 30^\circ \end{array} \right\} \approx 16\,324 N$$

Av simuleringarna framgick att spänningarna uppgår till 1200 MPa i materialet. Det är möjligt att få material med denna brottgräns, vilket säkerhetsställer att konstruktionen kommer vara fortsatt intakt efter genomfört klipp. Det uppstår en del kritiska spänningar, men dessa är i de zoner där simuleringsresultatet inte är tillförlitligt på grund av att kraften appliceras över en punkt med minimal area samt att perfekta räta vinklar inte existerar i verkligheten.

4.9.2. Försök 2: Rostfritt stål, 4 mm diameter

$$F_{max,singel} = 2,5 \cdot \tau \cdot A = \frac{\tau \cdot r^2 \cdot \pi}{\cos(\varphi)} = \left\{ \begin{array}{l} \tau = 0,8 \cdot 590 = 472 MPa \\ r = \frac{4}{2} = 2 mm \\ \varphi = 30^\circ \end{array} \right\} \approx 17\,122 N$$

När krafterna ökas för att skjuva av rostfritt stål med fyra millimeter i diameter blir spänningarna som störst 1400 MPa. Fortfarande finns det högre spänningarna inom zoner där resultatet är svårt att tyda och man kan anta att de är högre än i verkligheten. Således kan man anta att det bör finnas verktygsstål som klarar av att ta upp dessa spänningar. Detta bör dock testas praktiskt för att se hur materialet reagerar i de kritiska zonerna.



Figur 30: Spänningar vid klippning av 4 mm rostfri tråd under försök 2.

4.9.3. Försök 3: Twin – Konstruktionsstål, 2,5 mm diameter

$$F_{max,singel} = 2,5 \cdot \tau \cdot A = \frac{\tau \cdot r^2 \cdot \pi}{\cos(\varphi)} = \left\{ \begin{array}{l} \tau = 0,8 \cdot 360 = 288 \text{MPa} \\ r = \frac{2,5}{2} = 1,25 \\ \varphi = 30^\circ \end{array} \right\} \approx 4081 \text{ N}$$

Eftersom det är två elektroder som skall klippas samtidigt appliceras två krafter på vardera 4081 N på verktyget.

Materialet utsätts här för två krafter som är ickecentrerade i förhållande till verktygshålets mitt. Det gör att spänningarna blir högre i hörnen och mindre på halvcylinderns rygg. Spänningarna letar sig även ut till de yttre urfrästa hörnen. Spänningskoncentrationen i hörnen är dock även här högre än vad den torde vara i verkligheten på grund av små radier i hörnen (räta vinklar) och för stort avstånd mellan noderna. Med verktygsstål som klarar försök 1 och 2 ser vi att uppsättningen i detta försök ej kommer att vara kritisk.

4.9.4. Slutsats efter FEM-beräkningar

Efter att FEM-beräkningarna utförts på Verktygskoncept 1 kan man konstatera att det skulle motstå de spänningar som uppstår i verktyget om det härdas upp till en brottspänning på minst 1400 MPa.

4.10. Kraftkälla

För att den tuffaste elektroden ska skjivas av med klippanordningen krävs en kraft på omkring 17 kN (se 4.7. Klippberäkningar). Detta kräver naturligtvis att kraftkällan som driver klippprocessen åtminstone måste ge denna kraft. Det har funnits fyra alternativ på kraftkällor för att driva klipplösningen: hydraulisk cylinder, pneumatisk cylinder, linjärrörelse med elmotor och linjärrörelse med pneumatisk motor.

4.10.1. Hydraulik

Kraftkällan fungerar genom att en hydraulcylinder skapar en tryckande eller dragande rörelse (se 2.6. Hydraulik). För att detta skall fungera måste man koppla en hydraulpump som står för tryckökningen till hydraulcylindern. Trycket byggs upp när skärverktyget kommer i kontakt med elektroden och ökar tills kraften är tillräckligt stor för att skjuva av den. Nödvändig slaglängd är endast 10–30 mm, beroende på klippverktygets utformning. Risken för vätskeläckage är mycket liten eftersom trycket bara appliceras vid klippning. Hydraulcylindrar kan konstrueras mycket små i förhållande till erhållen kraft, vilket gör att en anordning kommer ta liten plats vid klippverktyget.

Hydraulpumpen kan placeras åtskilt från cylindern och trycket ledas i en tryckslang mellan dem. Hydraulpumpen kan hängas på svetskranen vilket gör att vikten inte påverkar svetshuvudet. Standard för utgående tryck i hydraulpumpar är 70 MPa. Hydraulpumpar drivs i allmänhet med el eller genom tryckluft. Pumpar med elmotorer är normalt mycket dyrare än tryckluftsdrivna pumpar och då tryckluft finns att tillgå vid svetshuvudet är detta att föredra. Tryckluftspumpar är normalt dimensionerade för att kopplas till lufttryck på 0,6–1,2 MPa, vilket också är

industristandard för pneumatiksystem. Ett tryckluftdrivet hydraulsystemet är också fördelaktigt då säkerhetsregler för el inte behöver tas i beaktande. (Teknisk kundtjänst Nike Hydraulics AB, telefonsamtal den 4 mars 2009)

För att föra tillbaka rörelsen som skjuvat av tråden, kan man använda sig av en fjäderretur. Då tillbakadragandet inte kräver någon större kraft, kan man använda sig av en cylinder med integrerad fjäderretur. Fjädern är då inbyggd i cylindern och trycker tillbaka kolven när trycket minskar (se Figur 13).

En fördel med hydraulik är att tryckslangen inte leder ström och därmed finns ingen risk för kortslutning i svetskretsen. Hydraulcylindern har ingen direkt kontakt med jordpolen i kretsen och strömparametrar påverkas därför inte.

4.10.2. Pneumatik

Pneumatik fungerar på samma sätt som hydraulik, med skillnaden att kraften alstras med lufttryck istället för med vätska. Luft komprimeras för att bygga upp ett tryck, som sedan förvandlas till en kraft via en tryckcylinder. Cylindern kopplas direkt till befintligt tryckluftsystem, vilket i allmänhet finns som standard vid svetsen. Pneumatiklösningen kräver endast en cylinder med kolv, vilken skulle fästas på svetsröret. Problemet är dock att pneumatiklösningen behöver vara betydligt större än ett hydraulsystem för att komma upp i samma kraft. Normalt tryck i tryckluftsystem för industrier ligger mellan 0,6–1,2 MPa. Kolvdiametern måste då vara så stor som 250 mm för att alstra nödvändig kraft. Dock behöver slaglängden endast vara mellan 10-30 mm, vilket gör att längden på cylinderkroppen kan göras relativt kort. Standardcylindrar med kolvdiameter 250 mm tillverkas vanligen inte med cylinderkroppar kortare än cirka 400 mm, dock kan kundanpassade cylindrar beställas men mot avsevärt högre kostnad. En standardcylinder med erforderlig kraft skulle ta upp stor plats runt huvudet samt väga cirka 30 kg. Pneumatikcylinderns storlek är en nackdel då låg vikt och litet omfång är ett önskemål, men eftersom många befintliga kunder till ESAB uttryckt viss skepsis mot hydraullösningar skulle en liten och billig pneumatiklösning vara fördelaktig.

Som hydraulcylindern behöver också den pneumatiska cylindern en returfjäder. Fjädern går att integrera i cylinderkroppen, vilket också är standard för enkelverkande kolvrörelser. För att styra en pneumatisk cylinder behövs en ventil. För vår applikation räcker det med en 3-steps ventil, vilken har tre lägen: tryck, stängd och öppen. För att kontrollera ventilen krävs fjärrmanövrerad styrning, då operatör ej finns på plats. (Jan Jingbro SMC Pneumatics Sweden AB, telefonsamtal den 21 april 2009)

4.10.3. Linjärrörelse med elmotor

Detta alternativ fungerar genom att en roterande rörelse från en elmotor överförs till linjärrörelse via kuggstångsdrift eller rörelseskruv. Utväxling kan användas för att alstra tillräckligt stor kraft för att kunna skjuva av tråden. Tanken är att man med hjälp av linjärrörelsen skall generera en rörelse som skjuter klippverktyget.

En svårighet med elmotor är att enheten måste vara tillräckligt isolerad annars är risken stor att man genererar kortslutning i svetsprocessen. Elmotorlösning hade även krävt fler frigående rörliga delar, vilket är något man vill undvika då konstruktionen blir mer komplicerad och

servicekostnaden högre. En lösning med elmotor kommer också att vara dyrare att konstruera än pneumatik- och hydrauliklösningar, eftersom fler maskinelementdelar behövs och motorer är dyra i inköp.

Med elmotor som kraftkälla kan man styra och positionera skärkniven fritt i linjärrörelsens riktning. Detta är en fördel om klippprocessen behöver köras i olika sekvenser. (Teknisk kundtjänst Mekanex Maskin AB, telefonsamtal den 26 mars 2009)

4.10.4. Linjärrörelse med pneumatikmotor

Lösningen liknar linjärrörelse med elmotor (stycket ovan) men med fördelen att risken för kortslutning genom strömöverföring avlägsnas. Då pneumatikmotorn drivs med tryckluft kommer det inte att finnas någon strömledande krets till motorn. Detta gör att maskinelementdelar inte behöver vara isolerade ifrån svetsröret.

Nackdelen med pneumatikmotorer är dock att de är dyra och priset för totallösningen skulle öka kraftigt. (Teknisk kundtjänst Mekanex Maskin AB, telefonsamtal den 26 mars 2009)

4.10.5. Val av kraftkälla

För att driva klippverktyget har en hydraulisk lösning utvecklats. Det främsta skälet till detta är att hydraulik kan ge tillräckligt stor kraft och samtidigt ta liten plats på svetshuvudet. En hydrauliklösning kan även göras till ett lågt pris jämfört med de andra alternativen.

4.11. Öppning av kontaktbackarna

En förutsättning för att kunna klippa av elektroden ovanför backarna är att den avklippta elektrodbiten kan släppas ut, samt att ny elektrod kan matas ner genom backarna. Eftersom det ligger en kraft på tråden som håller fast den (trådmatarmotorn trycker på med 60 N för att få ut tråden) lossnar inte trådstumpen av sig själv. Som framgick av testerna i avsnitt 4.5. Empiriska tester klarar elektroden endast av att hitta rätt ned genom backarna om de är spända och tråden leds ända ned till backarnas övre öppning. För att lösa detta krävs en lösning som släpper trycket mellan backarna tillfälligt efter klippningen så att trådstumpen med den slaggiga spetsen släpps loss.

Krav på öppningsmekanismen:

- Kraften på tråden vid stängda backar ska vara densamma som hos befintlig lösning.
- Lösningen ska kunna öppna upp backarna längst ned.
- Elektroden ska kunna hitta ned i backspåret

Önskemål på öppningsmekanismen:

- För att öppna backarna bör samma kraftkälla användas som för att klippa.
- Tråden bör kunna hitta ned i backspåret utan att nöta backen
- Lösningen bör vara utrymmesekonomisk

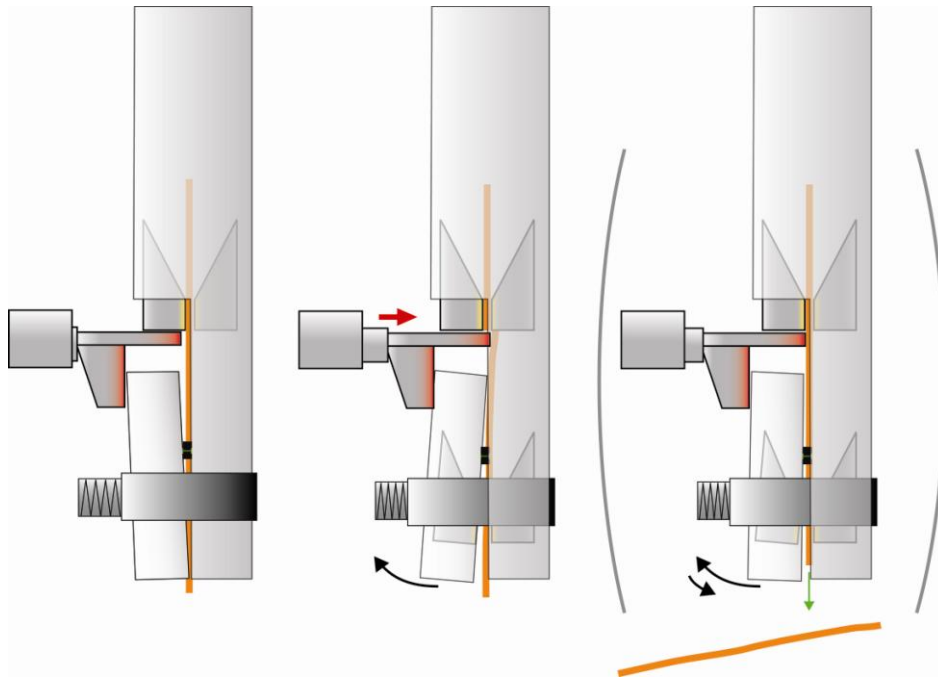
- Öppningsfunktionen bör ha en enkel konstruktion

4.11.1. Vippra

Två alternativ för att öppna backarna undersöktes: Med befintlig kraft och med extern kraft. Med befintlig kraft utnyttjas den rörelse som kommer ifrån klippkraftkällan. Med extern kraft krävs en extra kraftkälla enbart för backöppning. En öppningsmekanism med befintlig kraftkälla skulle minimera antalet komponenter men med extern kraftkälla skulle man kunna styra öppningsmekanismen friare (öppna och stänga oavsett klippverktygets rörelse).

Vi undersökte alternativet att använda en mindre pneumatikcylinder med bakåtvärande rörelse och inbyggd fjäderretur för att styra backarna (Jan Jingbro SMC Pneumatics Sweden AB, telefonsamtal den 21 april 2009). En lösning med pneumatikcylinder hade blivit förhållandevis billig och enkel, men fördelen med färre komponenter gjorde att vi valde att utnyttja den befintliga kraftkällan (kraft från klipp rörelsen).

För att möjliggöra backöppning med befintlig kraft flyttades distansskruvarna som håller isär huvudhalvorna ned så att en "gungbräda" bildas, med en fjäderskruv nedanför dessa. En kraft appliceras i samma rörelse som klippet med samma hydrauliska kraftkälla. Backarna hålls samman som idag med en fjädrad skruv, fast fjädern byts till en med längre spel så att backarna kan öppnas upp medan fjädern är fastskruvad. Fjädern säkrar alltså kontaktbackarnas spänning, samtidigt som kontaktbackarna kan öppnas genom att öppningskraften överstiger fjäderkraften. Öppningen ovanför distansskruvarna drivs tillsammans med klipp rörelsen med hydraulik. Fördelen med denna lösning är att hydrauliken kan utnyttjas som kraftkälla. Hydrauliken har en kapacitet på 48 800N och öppningsfunktionen kräver inte mer än 1000 N. Detta gör att hydrauliken kan användas utan att klippfunktionen påverkas negativt. (Jönsson, 2009)



Figur 31: I första läget är skäret bortfört från elektroden, samtidigt som backarna pressas mot den. I andra läget klipper skäret av tråden, samtidigt så öppnas backarna och den avklippta tråden kan falla ut. I det

tredje läget, ”mellanläget”, förs skäret bort och ny elektrod kan matas fram, backarna är fortfarande öppna och tråd kan matas på. För slutlösningen är endast de två vänstra bilderna aktuella.

Till en början var tanken att ha ett mellansteg, antingen på hydrauliken eller genom en mekanisk lösning, som gjorde att backarna kunde hållas öppna under nedmatningen av tråden. Detta för att inte slita på backarna. En hydraulikleverantör som kontaktats kom med beskedet att ett mellanläge på hydrauliken var möjligt med hjälp av distansgivare (Jönsson, 2009). Det stora problemet var att få tråden hitta ned rätt i backarna medan backarna är öppna. Det skulle krävas en styrmekanism någonstans mellan toppen av backarna och längst ned i backarna. Våra krav på att inte röra backarna försvårade en lösning. Backarna nöts ned successivt av tråden tills de kommer i kontakt med varandra. Om en lösning ska placeras mellan dem måste den vara så smal eller flexibel så att den inte blockerar backarnas tryck mot tråden. Med ordentliga dubbla riktverk som verkar i två riktningarna går det att få en rak tråd som skulle fungera, men det finns inga dubbla riktverk till twintråd. Efter diskussion med Gunnar Bohlin och Siewert Karlsson från ESAB Laxå kom gruppen fram till att lägga mellanläget på is inför den första prototypen. Om slitningen på backarna sedan visar sig vara oacceptabel får frågan utredas ytterligare.

4.11.2. Faktorer att betänka vid val av fjäder och hävstång

Efter att vi beslutat oss för konceptet med vippan (utan mellanläge) återstod att hitta en väl avvägd dimensionering. De viktigaste faktorerna att ta hänsyn till under denna konstruktion var de inblandade krafterna, backarnas kläminkel samt att fjädern inte kommer för nära fogen där den dels är i vägen och dels utsätts för värme. Efter att ha mätt upp alla mått, testat fjäderns styvhet och räknat på hävstångskrafter fick vi ut krafterna så som de ser ut nu.

4.11.3. Vinkeln

Enligt Gunnar Bohlin är backarnas kontaktyta mot tråden inte bara längst ned i nypet utan sträcker sig tiotals millimeter upp. Om kläminkeln blir för stor minskar kontaktytan och strömförsörjningen kan inte längre garanteras. Vinkeln idag är ~3 mm över 120 mm. Vinkeln varierar också beroende på vilken trådtjocklek som används. För 3 mm tråd så hålls backarna isär 2 mm i nederkant (av tråden) och 5 mm högst upp (av distansskruvarna). Backarna nöts även ned av tråden, vilket gör att vinkeln ökar under backens livstid. För en tunnare tråd, eller 3 mm tråd där backarna är slitna, är vinkeln således större. För detaljerad skiss, se Bilaga 5: Hävstångsberäkningar.

Vinkeln för vår lösning kan förändras på två sätt, antingen genom en förflyttning av de skruvar som håller isär backarna eller genom en minskning av distansskruvarnas höjd.

Skruvhöjden måste sänkas för att vinkeln inte ska bli för stor, samtidigt som vinkeln måste finnas där. I fallet med 4 mm tjock tråd håller tråden upp backarna med nästan 3 mm, varför distansen högre upp inte kan understiga detta värde. Som utgångspunkt för beräkningarna sattes alltså 3 mm som en lämplig distans.

4.11.4. Krafter

Från fjäderkraften för vårt ursprungliga svetshuvud bestämdes klämkraften på tråden till 218 N. Eftersom denna bör hållas konstant kan vi beräkna de krafter som krävs för vår nya fjäderkraft och vilken kraft som krävs från hydrauliken för att öppna backarna och släppa ut den avklippta tråden (beräkningar i Bilaga 5: Hävstångsberäkningar).

4.11.5. Avstånd ner till fogen

För att fjädern inte ska vara i vägen för pulvermatningen eller utsättas för värmepåverkan bestämdes preliminärt spännkraftens ursprungliga avstånd från huvudets ände till 65 mm. Därefter kunde övriga variabler manipuleras för att hitta en lämplig backöppningslösning.

4.11.6. Val av hävstång

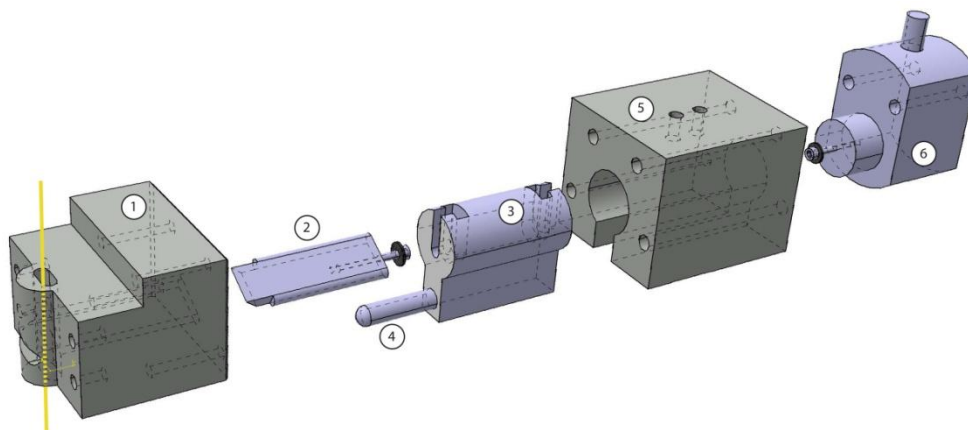
Efter beräkningar valdes en lämplig fjäder som när den är infäst trycker på vippan med 709 N (se Figur 31), och tråden är då klämd med 218 N. Ration på hävstången är $\sim 3:4$, vilket innebär att den lägsta kraft som krävs för att öppna upp backarna uppgår till 540 N.

4.12. Vidareutveckling skärverktyg

För att skärverktyget ska vara kompatibelt med övriga komponenter samt uppfylla önskemål och krav vidareutvecklades konstruktionen med avseende på ett antal kriterier:

- Enklare konstruktion
- Anpassning till hydraulcylinder
- Billigare konstruktion
- Enklare montering på svetsrör
- Få ut rörelse för backöppning
- Minimal förändring på befintligt svetsrör
- Mindre och lättare konstruktion
- Kraftigare konstruktion
- Driftsäkrare
- Längre livslängd och minskat servicebehov

För att anordningen enkelt ska kunna monteras på svetsröret bestämdes bredden på verktygs-kroppen så att skruvar kan dras utanpå. Detta möjliggör att hela klippverktyget kan spännas runt huvudet.



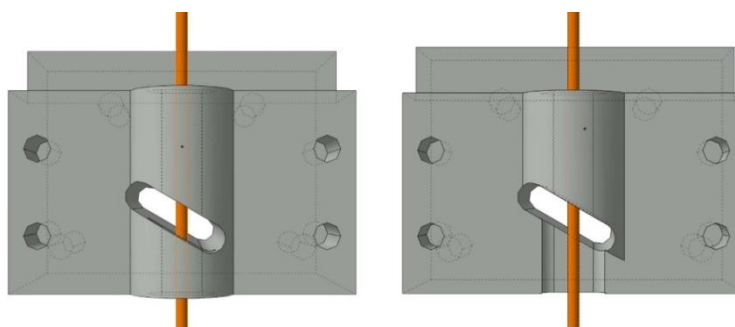
Figur 32: Skärkropp (1), klippskär (2), tryckkolv (3) med pistong (4), kolhus (5), hydraulcylinder(6).

För att minska kostnaden på verktyget delades verktygskroppen upp i två delar. Den ena delen är gjord i verktygsstål anpassat för att motstå de påfrestningar som uppstår vid klipp. I denna del kommer skärkniven (2) att löpa och tråden att klippas. Vi kallar denna del för skärkropp (1). Den andra delen konstrueras i ett billigare material med lägre krav på hållfasthet och hårdhet då denna del inte motstår lika stora mekaniska påfrestningar. Här löper kolven (3) som överför kraft till backöppning. Denna del kallar vi för kolhus (5).

Efter överläggning med verktygsmakare bestämdes att skärkroppens skärknivspår och klippskär skulle omformas. Spåret skulle utformas utan T-spårsfräsning och istället gnistas ut som en rektangel med rundade hörn (se Figur 33). Klippskäret ska i sin tur formas efter spåret i skärkroppen med radier på kanterna. Verktygsmakaren rekommenderade gnistning efter härdning istället för skärandebearbetning, detta då toleranser blir finare och skäregg skarpare (Johansson Björn Verktyg, telefonsamtal den 12 maj 2009).

Materialet till skärkroppen och klippskäret valdes till *Uddeholms Vanadis 4 Extra* efter konsultation med verktygsmakare (Björn Johansson Björn Verktyg, telefonsamtal den 7 maj 2009). Materialet är ett pulvermetallurgiskt verktygsstål lämpligt för klippning där hög hållfasthet krävs. Materialet kan härddas och anlöpas till 60 HRC (Rockwell hårdhetsmetod) utan att hållfastheten reduceras påtagligt på grund av sprödhet. (Uddeholm, 2008)

Ytterligare analys av klippningen visade att den avklippta elektroddelen, särskilt vid större diametrar, riskerar att få en betydande deformation då den vid klipp pressas mot underkanten av skärkroppen. Denna deformation kan medföra att elektroden fastnar och inte faller ut efter klippet. För att undvika detta har den nedre delen av skärkroppen (nedanför spåret) tagits bort. På så sätt ges elektrodbiten större möjlighet att röra sig i sidled och dess deformation blir mindre.



Figur 33: Underdelen planfräses bort.

Efter att materialet på skärkroppens nedre del (nedanför skärspåret) avlägsnats kunde skärkniven omkonstrueras och bli mer effektiv. Skärkniven behövde inte längre ha en vinkel på 45 grader, för att undvika tråddeformation, utan kan tillverkas med en mindre vinkel på 15 grader. En mindre vinkel gör att skärkniven blir kraftigare och förslitning på skäregg minskar.

För att klipplösningen skulle passa med hydraulcylindern (6) behövde kolvhuset (5) anpassas. Hydraulcylinderns kolv, vilken är 25 mm, måste trycka på tryckkolven (3) och löpa fritt i kolvhuset. Detta möjliggörs genom att ett hål med större diameter än kolven borrar. För att enkelt kunna montera ihop hydraulcylindern med verktygskroppen krävdes också hål för skruvförband (se Bilaga 6: Skruvförband).

Efter att olika alternativ för backöppning analyserats valdes att använda samma kraft till backöppning som till trådklippning. Detta gör att skärverktyget måste anpassas för att få ut rörelse och kraft. I kolvhuset (4) löper tryckkolven och på undersidan av kolven (3) är en pistong monterad. Pistongen utför en rörelse och överför en kraft till backöppningen (vippan, se Figur 31). Kolven är större än klippskåret för att friktionskrafter, från snedbelastningen som uppkommer vid vippöppning, ska kunna spridas över större yta. Skåret utsätts dock inte för dessa snedbelastande krafter.

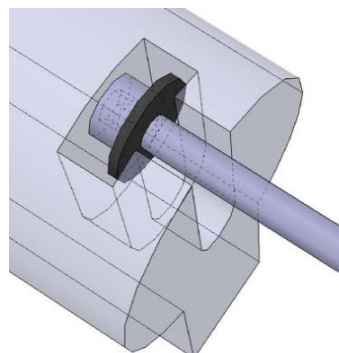
För att minska ingreppet i det befintliga svetsröret har den del av skärkroppen som sitter i detta gjorts mindre i höjddled. Materialet som reducerats har inte någon funktion utan kan fräsas bort utan att spänningar ökar runt klippområdet. Detta är också ett enkelt ingrepp på befintliga svetsrör (se Figur 34).

Klippverktygets längd har konstruerats för att ta så liten plats som möjligt. Detta gör också att vikten minskar, vilket var ett önskemål på produkten som helhet. En aspekt som gör att klipp huvudet inte kan minska mer i längd är att friktionskrafter på kolven ökar. Backöppningen bidrar till tvärkrafter som ger friktion på ytorna mellan spår och kolv. Med längre kolv och spår minskar friktionstrycket och verktyget blir driftsäkrare.

Spåren där skärverktyg samt tryckkolv löper är konstruerade med små toleranser mellan ytorna för att tvärkrafter ska fördelas utmed hela längden på spåret och att skärkniven ska klippa med precision. Då skärkniv, tryckkolv och hydraulkolv bör sammanlänkas för tillbakadragande måste någon inbördes fästordning förekomma. Men toleranserna i respektive spår gör att stela förband skulle knäckas om lägesförändring sker sinsemellan komponenterna. För att lösa problemet utformades en konstruktion där förbanden är frigående i två riktningar. Figur 35 visar hur skruvlänken mellan de inre delarna är konstruerad. Skruvhuvudet sitter löst inne i det frästa T-spåret och har frihetsgrader i alla riktningar. Då cylindern trycker anordningen framåt för trådklipp är det delarnas kontaktytor som överför kraften. Då kolven dras tillbaka är det skruvhuvudet som leder delarna med varandra. För att skruven inte ska påverkas av klippkraften vid framåtrörelsen är det väsentligt att höjden på T-spåret är anpassat. Detta för att toppen på skruven inte ska vidröra toppen på T-spåret och uppta kraft.

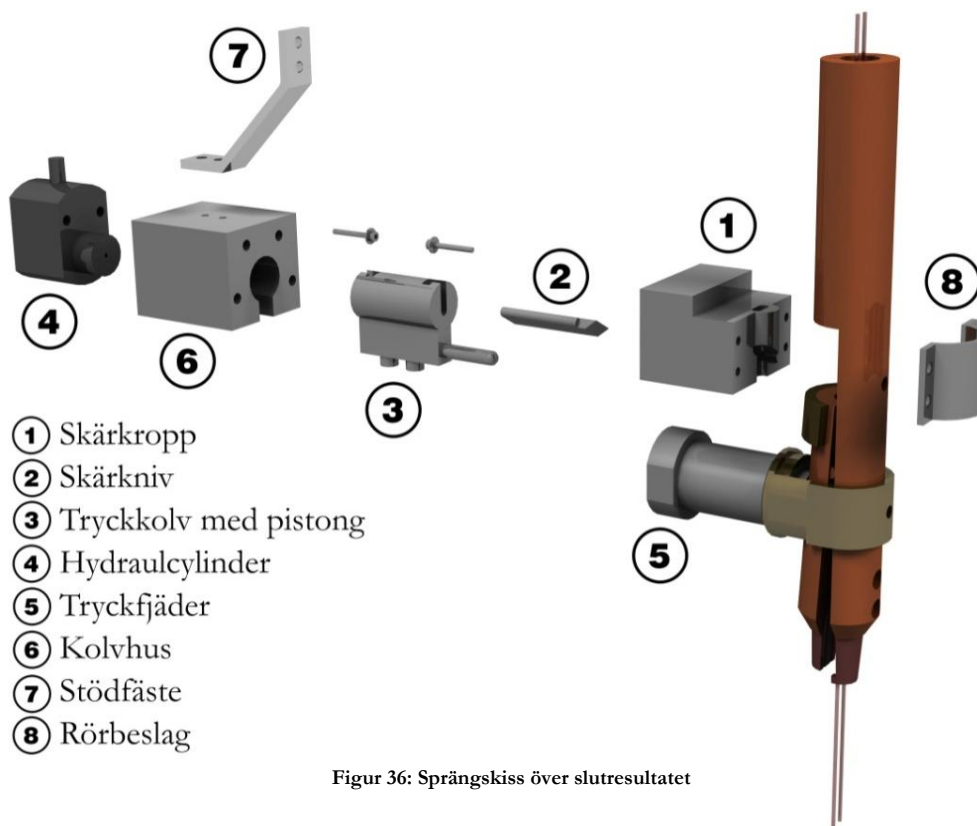


Figur 34: En del av svetsröret måste avverkas.



Figur 35: En skruv används för att dra tillbaka kolven efter klipp.

5. Resultat



Figur 36: Sprängskiss över slutresultatet

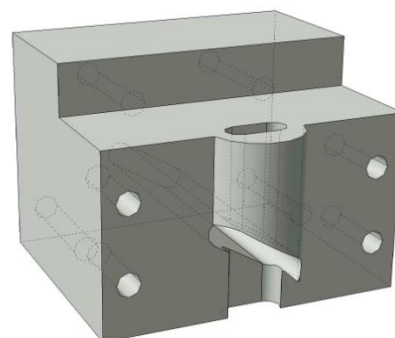
5.1. Beskrivning av ingående delar i produkten

I detta avsnitt beskrivs varje ingående del av den slutgiltiga produkten med avseende på dess respektive funktion, material och tillverkning. I ett efterföljande avsnitt kommer delarnas beräknade tillverknings- och driftskostnader att presenteras separat, tillsammans med respektive kalkyler.

5.1.1. Skärkroppen (samt dess monteringsanordning)

Denna del sammanbinder alla ingående delar med svetsröret. Dess funktion är att orientera svetsstråden ned i kontaktbackarna efter klippet, samt att fungera som mothåll under klippförloppet. Hela konstruktionen är universell, det vill säga att en och samma lösning fungerar utan modifikation tillsammans med samtliga trådupsättningar listade i kravspecifikationen.

Skärkroppen är monterad till svetsröret med ett rörbeslag och skruvförband. Skärkroppen har gängade hål för att enkelt kunna spännas mot beslaget. Då kraftsystemet vid klippet är slutet är beslagets funktion endast att hålla hela verktyget på plats; stabilt och driftsäkert.



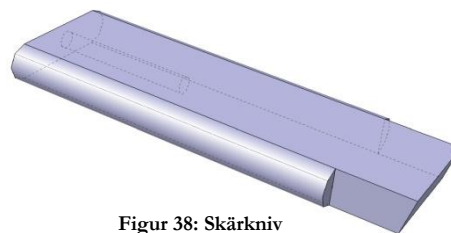
Figur 37: Skärkropp

Skärkroppen är tillverkad av verktygsstål, av typen *Uddeholms Vanadis 4 Extra*, detta för att med 2,5 gångers marginal klara de mekaniska påfrestningar som uppstår vid klippförlopp (Uddeholm, 2008). Materialet har en hårdhet på 60 HRC och ska enligt verktygsmakare klara 10000 klipp innan omslipning eller utbyte (Björn Johansson Björn Verktyg, telefonsamtal den 25 april 2009).

Utformningen är anpassad efter att kunna tillverkas på de mest kostnadseffektiva sätt genom att endast standardiserade tillverkningsmetoder används. Förutom urfräsningsoptioner, borroperationer och gängningsoperationer krävs också materialhårdning. Efter hårdning gnistas hålen för att få tillräckliga toleranser. Tillverkningsprocessen ger materialet hårdhet anpassad för klippningen samt hög brottspänning för att klara påkänningar i kritiska punkter.

5.1.2. Skärkniven

Skärkniven är tillverkad i samma verktygsstål som skärkroppen för att skärebben ska få lång livslängd och låg förslitning. Skärets funktion är att skjuva av tråden (eller trådarna) mot skärkroppens mothåll. Kraften överförs från hydraulcylindern som trycker fram tryckkolven som i sin tur trycker på kniven, vilken klipper tråden alternativt trådarna. Kniven och tryckkolven återgår till sitt ursprungsläge med hjälp av en löst ledad skruv (se Figur 35), som följer hydraulcylindern tillbaka efter genomfört klipp. Skruven ligger i ett T-spår och är fritt ledad i två riktningar. Detta för att inte spänningar ska uppstå i skruvförbanden mellan de inre delarna.



Figur 38: Skärkniv

Kniven löper inuti ett urfräst spår i skärkroppen som ger ett spel på någon tiondels millimeter. Konstruktion kommer att behöva någon form av smörjning.

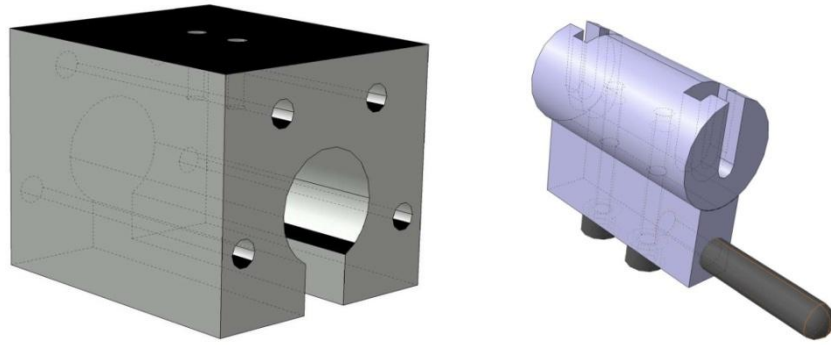
Skärkniven är liksom skärkroppen universell i den mening att den inte skiljer sig åt beroende på vilken tråduppställning svetshuvudet arbetar med. Dels för att minimera tillverkningskostnaderna, dels för att ge hela produkten ett så brett användningsområde som möjligt.

De operationer som förekommer vid tillverkningen av skärkniven är gnistning, fräsning och hårdning. Toleransnivåerna är anpassade till skärkroppen för bästa effektivitet vid klippning.

5.1.3. Backöppningsmekanism

Efter klippningen ligger den gamla trådstumpen kvar i trådloppet om den inte släpps ut på något sätt. Lösningen för detta är en vippfunktion som använder sig av tryckkraft för att öppna backarna. För att avklippt tråd skall föras bort måste backarnas tryck lättas. Detta görs med samma rörelse som hydraulcylindern driver skärkniven framåt.

Mellan hydraulcylindern och skärkniven sitter ett kolvhus med en tryckkolv (se Figur 39). Dess funktion är att förmedla hydraulcylinderns framåtgående kraft till backöppningsmekanismen. Samma kraft som skjuvar av tråden öppnar också backarna så att klippt tråd faller undan. Allt detta sker i ett synkroniserat förlopp.



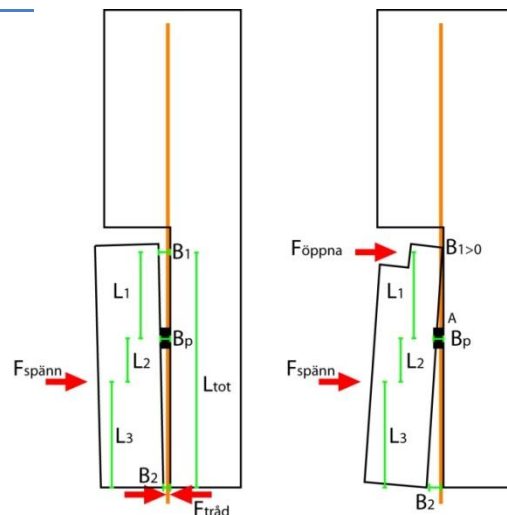
Figur 39: Kolvhus och tryckkolv.

Tryckkolven har ett beslag på vilken en tryckpistong är fäst (se Figur 39). Tryckpistongens uppgift är att föra över kraften till vipplösningen. Tryckpistongen är gängad för att kunna justeras i längd och beslaget är skruvat på kolven. Enligt beräkningar behövs åtminstone en pistong med M7-dimensioner för att motstå uppkomna krafter (se Bilaga 7: Pistong). Kolvhuset har i sin tur ett urfräst spår där beslaget kan löpa fritt. För att minimera friktionsslitaget i kolvhuset (från tvärkrafter) kan man öka längden på tryckkolv och kolvhus. Dock är detta en avvägning mellan att minimera storleken på konstruktion och optimal funktion.

Distansskruvarna som håller isär huvudets halvor har flyttats ned till 85 mm från svetsrörets botten och distansen har sänkt från 5 mm till 3 mm. Den fjädrade skruven som spänner fast backarna mot varandra har flyttats ned till 65 mm från svetsrörets botten (se L_3 , Figur 40). Detta innebär att backarna öppnas genom en gungbräde- eller vippfunktion om en kraft appliceras ovanför dessa skruvar. Backarna är således endast öppna under slutet av klippverktygets rörelse. I Tabell 3 redovisas data vid backöppning.

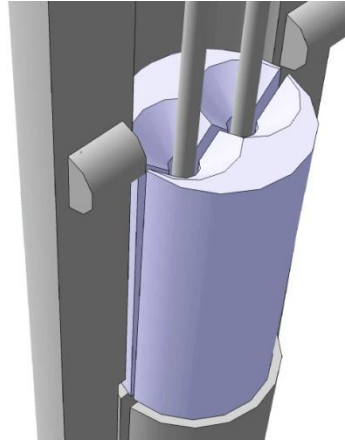
Tabell 3: Kraftfördelning.

| Under svetsning | Vid klipp |
|---|---|
| $B_p = 3\text{mm}$ | $B_p = 3\text{mm}$ |
| $B_1 = 3,4\text{ mm}$ | $B_1 > 0$ |
| $B_2 = 2\text{mm}$ | $B_2 = 10,7\text{mm}$ |
| | $S_{F_{\text{Spänn}}} = 2,1\text{ mm}$ |
| $F_{\text{öppna}} > 540\text{ N}$ | $F_{\text{öppna}} > 540\text{ N}$ |
| $F_{\text{spänn}} = 709\text{ N}$ | $F_{\text{spänn}} = 709\text{ N}$ |
| $F_{\text{tråd}} = 218\text{ N (konst.)}$ | $F_{\text{tråd}} = 218\text{ N (konst.)}$ |
| $L_{\text{tot}} = 118\text{ mm}$ | $L_{\text{tot}} = 118\text{ mm}$ |
| $L_1 = 37\text{ mm}$ | $L_1 = 37\text{ mm}$ |
| $L_2 = 20\text{ mm}$ | $L_2 = 20\text{ mm}$ |
| $L_3 = 65\text{ mm}$ | $L_3 = 65\text{ mm}$ |



Figur 40: Kraftfördelning kring öppningen.

För att den nya tråden som kommer ut ur verktyget ska hitta ned i backarna används en tvådelad kuts, vilken leder ned tråden. Kutsdelarna sitter ovanför backarna och leder tråden 35 mm genom ett spår. För att tråden enkelt ska hitta spåret har kutsens ovansida ett eller två fasade hål (likt en tratt). Kutsarna är fastskruvade i vardera halva av svetsröret och då klipp utförs kommer kutsdelarna att följa med respektive halva. Detta gör att den avklippta tråden inte kan fastna i spåret (se Figur 41). Då tråden kommer att löpa utan styrning, 35 mm mellan klippverktyg och kuts, finns det en risk att tråden inte kommer att hamna rätt in i trådspåret. Om kutsarna förlängdes så att de hamnade närmare klippverktyget skulle problemet minska eller försvinna, men då backöppningsmekanismen kräver en spalt mellan svetsrördelarna för att möjliggöra vippöppningen går det ej att förlänga kutsarna över vippans momentcentrum. På grund av förslitning på backarna måste det finnas ett visst glapp mellan kutshalvorna. Denna del måste anpassas efter vilken typ av tråddimension och -uppsättning som används i svetsprocessen.



Figur 41: Tvådelad trådlearkuts

Då det ligger tryck på backarna vid trådnedmatning, kommer slitaget att öka på backarna i jämförelse mot befintlig konstruktion. Trots den ökade förslitningen, skulle lösningens totala vinst i effektivitet och arbetsmiljö vara påtaglig.

5.1.4. Tryckfjäder

För att god strömöverföring mellan kontaktbackarna och elektroden ska erhållas krävs att backarna trycks mot dessa. Likt vid originalkonstruktionen uppnås detta i den nya konstruktionen med hjälp av en tryckfjäder med tillhörande omslutande cylinder.

Det som skiljer den nya tryckfjäders från den gamla är förutom storleken också de mekaniska egenskaperna. Fjäders *Lesjöfors art.nr. 6767* har de egenskaper som önskas både för tillräckligt anläggningstryck svetsekonomiskt sett, men också för att öppningsförloppet skall bli så optimalt konstruerat som möjligt. (Lesjöfors, 2009)

5.2. Kraftkälla

Efter att hydraulcylindermarknaden blivit utforskad hittades *Jötek CFF-0516* som lämplig hydraulcylinder. Den är väldigt lätt och klarar med sin vikt på ett kilogram utan problem de viktkrav som ställs på lösningen. Den är också liten till storleken och har en kapacitet på 48 800 N vid 700 bar (70MPa), vilket är mer än nödvändigt. Kolven har en slaglängd på 16 mm och förs tillbaka med hjälp av en returfjäder då trycket släpper. (Leif Jönsson JöTek Teknik & Handel, telefonsamtal 20 mars 2009)

Till cylindern krävs att man kopplar en hydraulpump och även där finns flertalet lämpliga alternativ på den befintliga marknaden: till exempel *Jötek LP-1500* som har ett arbetstryck på 700 bar (70MPa) och väger drygt åtta kilogram. Hydraulpumpen är luftdriven och måste kopplas

till befintligt pneumatiksystem, vilket finns som standard vid majoriteten av befintliga pulverbågsvetssystem. Då hydraulcylindern har en mycket liten volym för vätska tar tryckökningens förloppet (klippningen) enbart några sekunder.

Mellan hydraulcylindern och pumpen behöver man en hydraulslang för att överföra trycket. För att hydraulvätskan i slangen inte ska påverkas av värmen från svetsen krävs att vätskan är brandsäker och har liten värmeutvidgningskoefficient.

För att fjärrmanövrera hydraulpumpen kan man exempelvis använda *Jötek LP1500* fjärrmanövreringssats. Med fjärrmanövreringssatsen kan man styra pumpen från en extern styrenhet, vilket medför att klippörelsen kan manövreras från operatörens position. (Leif Jönsson JöTek Teknik & Handel, telefonsamtal den 5 maj 2009)

5.3. Kostnadsberäkningar

Nedan följer en uppskattning av kostnaderna för prototyp tillverkningen av slutprodukten.

Tabell 4: Kostnader ingående komponenter.

| # | Komponent | Kostnad | Not. |
|-------------|--|---------------|--|
| 1. | Skärkropp | 5000 | Enligt prisförslag från Björn Verktyg AB |
| 2. | Skärkniv | 1000 | Enligt prisförslag från Björn Verktyg AB |
| 3. | Tryckkolv | 1500 | Tillverkas av verktygsmakare |
| 4. | Hydraulcylinder | 1825 | Leif Jönsson, JöTek Teknik & Handel. |
| | Hydraulpump | 4960 | |
| | Hydraulslang | 565 | |
| | Fjärrmanövrering | 1795 | |
| 5. | Tryckfjäder | 120 | Lesjöfors, listpris |
| 6. | Kolvhus | 1500 | Uppskattning baserat på 3h arbete |
| 7. | Stödfäste | 50 | Uppskattning |
| | Övrigt (runt beslag, skruv, smörjmedel mm) | 100 | Uppskattning |
| TOT: | | 18 415 | SEK |

(Alla kostnader är exkl. moms. Eventuella tillkommande leveranskostnader och dylikt är inte inräknade.)

Priserna baseras på uppgifter från samtal med verktygsmakare, listpriser i produktkataloger och uppskattningar. Kostnaderna skall endast betraktas som vägledande och kan ge en uppfattning inför fortsatta, mer exakta beräkningar.

Då redovisade kostnader är för tillverkningen av en enstaka prototyp bör tillverkningen av en större serie innebära en nämnvärd skillnad avseende pris per produkt. Att beakta också är ESAB:s eventuella möjligheter att inom koncernen själv tillverka en eller flera av de ingående

komponenterna, och på så sätt ytterligare reducera kostnaderna. På liknande sätt kan även hydraulikutrustning tänkas kunna införskaffas till lägre pris.

5.4. Kravuppfyllelse

För att uppdragsgivaren skall vara nöjd med resultatet av det konstruerade konceptet bör samtliga krav i kravspecifikationen vara uppfyllda. Dessutom bör även de flesta önskemål vara tillgodosedda. För att se fullständig kravspecifikation se Bilaga 1: Kravspecifikation.

Kravuppfyllelsen är god. Lösningen är universell som går att applicera på de tre vanligaste A6-svets huvudena. Däremot möjligen inte på huvudet A6 Compact 300 / 500 då detta har mycket mindre utrymme och en hel del modifikation skulle eventuellt behövas.

Konceptet är litet, kompakt och monteras på en sida av svetsröret där inte många andra moduler idag är placerade. De flesta andra tillbehör är nämligen monterade i svetsens åkriktning. På ett tandemsvetshuvud blir dock utrymmet mer begränsat.

Det finns andra moduler som placeras på ett A6-svets huvud som sticker ut längre i kritiska riktningar och således bör inte klippverktyget vara det som förhindrar arbetsrörelsen från kranen eller arbetsstycket. Viktkraven uppfylls utan problem. Klipplösningens totalvikt är runt 15 kg varav cirka 7 kg hänger på kranen.

Eftersom ingen extern ström tillförs och skärverktyget är isolerat (enda förbindelsen är en hydraulslang) kommer inte strömöverföringen till svets elektroden att påverkas. Vissa olycksfall kan ske då den avklippta elektroden faller ner i svetsfogen och saboterar svetsresultatet om inte svets huvudet programmeras att flytta från svetsfogen eller tråden avlägsnas på annat sätt.

För närvarande ser lösningen ut att uppfylla gällande lagar och regler. Ingen grundlig undersökning har gjorts, men i kontakt med experter har inga invändningar uppkommit. En klämrisk vid backarna kan föreligga, men detta bör gå att trimma in så att backarna inte öppnas mer än 1 cm. För backöppningsfunktionen krävs inte mer än uppskattningsvis 3–4 mm. FEM-beräkningar och hydraulcylinderns kraft visar att de uppsatta kraven för klippkraft klaras utan problem.

Tabell 5: Några av de viktigaste kraven från kravspecifikationen, och utfallet från dessa.

| Vad | Krav/ Önskemål | Vikt | Uppfyllt |
|--|----------------|------|------------|
| Möjliggöra svetsomstart | Krav | | Ja |
| Ej försämra strömledningsförmåga | Krav | | Ja |
| Ej försämra värmeledningsförmåga | Krav | | Ja |
| Ej vara i vägen för arbetsrörelse | Krav | | Ja |
| Restprodukt får inte förstöra svetsresultat | Krav | | Eventuellt |
| Klippa konstruktionsstål med 5 mm i diameter | Krav | | Ja |
| Klippa rostfritt stål med 4 mm i diameter | Önskemål | 2 | Ja |
| Klara verkstadsmiljö | Krav | | Ja |
| Reservdelar av standardtyp | Önskemål | 4 | Nej |
| Vikt <30 kg på svets huvud | Krav | | Ja |
| Vikt <150 kg på kran | Krav | | Ja |
| Kostnad <20 000 kr för prototyp | Krav | | Ja |

6. Diskussion

6.1. Problemställningen

Vid projektets start gavs från ESAB en mycket konkret och specifik problemformulering och beskrivning av uppgiften. Denna var att utveckla en lösning för att klippa av elektroden på avstånd. När projektet planerades ansåg gruppen att denna formulering riskerade att allt för tidigt rikta in arbetet på en specifik lösning. Därför formulerades en ny, bredare problemställning att användas som utgångspunkt för arbetet. Målet bestämdes till det som redovisats i kapitel 1. Med denna formulering uteslöts inte några alternativa sätt att lösa uppgiften med andra metoder än ett klippverktyg. Det blev däriegenom informationsinhämtningen som fick klargöra vilka möjligheter som fanns. Genom informationsinhämtningen och de krav som uppkom genom denna, stod det dock klart att någon form av klippverktyg var den bästa lösningen. Man skulle därför kunna argumentera för att denna breda angreppspunkt inte förändrat resultatet jämfört med om den formulering som gavs av ESAB använts. Dock är det en styrka hos resultatet att det åstadkommit utifrån ett så pass brett problem och hade annars kunnat kritiserats för att vara determinerat av en allt för specifik problemformulering. Projektgruppen känner också att det varit en styrka i arbetet att de verkligen utrett vad problemet egentligen är.

6.2. Metodik

En av de metoder som varit viktigast i informationsinhämtningen är expertsamtal med personal på ESAB. Den största svårigheten med detta är att på förhand bedöma hur intressant information en specifik person har att ge, samt att hitta rätt person att svara på rätt frågor. Detta har gjort att viss tid har lagts på samtal med personer som i efterhand visat sig ge väldigt lite relevant information. Detta uppvägs dock delvis av andra samtal som varit mycket viktiga. En lärdom från detta är att experter ofta är duktiga inom sitt ämne och kan sina fakta, men när det handlar om väldigt specifika problem har projektgruppen ändå varit den som förstått problemet, och därmed lösningsförslagen, bäst. Gruppen ”äger” problemet och är de som bör ta de avgörande besluten kring konstruktionen. Med detta sagt har mycket tid gått åt till att inom gruppen bolla och skissa lösningar på jakt efter lösningar. Då det handlar om väldefinierade och krävrika konstruktionsmässiga problem har det ibland varit svårt att applicera systematiska idégenereringsmetoder för att hitta en lösning. Istället söker man en enda lösning som överhuvudtaget klarar kraven. Viss hjälp här har varit idéstöden Osbornes idésporrar och slumpordlistor, men det som gett mest är lösningsinriktade diskussioner inom gruppen och med Arne Lagerkvist, samt Gunnar Bohlin och Siewert Karlsson.

För våra utvärderingar har vi använt oss av matriser, och något vi märker nu när vi ser tillbaka på projektet är hur matriserna ökat i värde när lösningskoncepten successivt blivit tydligare. När vi skulle välja mellan delkoncepten tidigt i projektet fanns av naturliga skäl inte tillräckligt med information för att kunna avväga hur slutresultaten skulle se ut och matriserna blev följaktligen en uppskattning mer än en klassificering eller realistisk värdering. Besluten då handlade också mycket om hur säljbar en eventuell lösning kommer vara, något som är svårt att uppskat-

ta rationellt. Längre fram när vi bättre kunde bedöma hur väl koncepten uppfyller kriterierna var matriserna mycket värdefullare som verktyg och gav oss mer trovärdiga resultat.

Ett av de viktigaste verktygen under hela arbetet har varit datorstödd modellering. Detta har utgjort ett viktigt underlag för hur svetshuvudena faktiskt ser ut och vi har även använt CAD för snabba iterationer och analyser under vår konstruktion. CAD har också fungerat som ett mycket gott kommunikations- och konstruktionsverktyg.

6.3. Miljö

Miljöaspekten är något vi har haft i åtanke under arbetets gång, men det har inte dykt upp några direkta miljömässiga konflikter där vi tvingats välja mellan funktionalitet, kostnad och miljövinst. Vi har minskat vikten av alla delar av praktiska och kostnadsskäl, och således reducerad miljöpåverkan. Detsamma gäller i användandet av så lite verktygsstål som möjligt. Då det handlar om nyutvecklandet av en produkt går det inte heller att göra en rättvis livscykelanalys, då dessa går ut på att ställa olika alternativ emot varandra. Ingen värdefull information skulle komma fram av att jämföra till exempel en bultsax med vår hydraullösning i en livscykelanalys. Vi har alltså på ett sätt saknat metodiska verktyg för att optimera miljön mer än vad vi gjort. Vår lösning är ett verktyg för att producera andra produkter och om lösningen bidrar till att dessa produkters livslängd och kvalitet förbättras så är en stor miljövinst gjord. Varje A6-svetshuvud sammanfogar varje år 100-tals ton, metall och om svetsresultatet inte vore tillfredsställande skulle det innebära stora förluster i energi, material och arbetstid. För det fortsatta arbetet på denna lösning är vi övertygade om att ESAB kommer ta sitt miljömässiga ansvar. Ett stöd för detta är att företaget är ISO 14001-certifierade globalt.

6.4. Måluppfyllelse

Huvudmålet som formulerades vid projektets start lyder:

”Målet är att utveckla en automatiserad lösning för omstart av svetsning med A6 som kan styras på distans. Denna lösning ska vara tillräckligt långt utvecklad för att det direkt efter projektets avslut ska vara möjligt att tillverka en prototyp för att testa lösningens funktion.”

När en summering av resultatet görs konstateras att det finns tillgängligt underlag för att ESAB skall kunna skapa en prototyp av denna klipplösning. Lösningen möjliggör att operatören med hjälp av en styrdosa kan klippa svets elektroden på avstånd, och på så sätt kunna påbörja en ny svetsomgång. Den klippa svets elektroden kommer att vara fri från slagg och dessutom ha en spetsig vinkel som önskat.

Med ovanstående i beaktning får måluppfyllelsen ses som väldigt god.

6.5. Riskbeteenden och säkerhetstänkande

Med vår automatiserade klipplösning kommer arbetet med svetshuvudet A6, direkt och indirekt, att bli säkrare.

Riskmedvetandet hos människor är något som varierar med vana och erfarenhet av olyckor. Inom trafiksäkerhet används begreppet sannolikhetsinläring, vilket innebär att förare kör mer försiktigt på ställen där de varit med om olyckor, eller platser där de sett polisens fartkontroller

tidigare. Denna irrationella känsla för vad som är sannolikt är en produkt av vår kognition och vårt selektiva minne, där tydliga minnen på grund av starka eller nya upplevelser känns mer sannolika än vad de är.

För säkerhetsarbete på industrier finns också en sannolikhetsinläring. Denna handlar mer om att man vänjer sig vid risker ända tills man inte ens tänker på dem. I vårt fall handlar det om att operatören vänjer sig vid att arbeta högt uppe på höga föremål och vänjer sig vid de risker detta medför. Man kan föreställa sig två personer, där den ena många gånger klättrat upp på en sju meter hög liggande cylinder utan staket och där den andre aldrig gjort det. Om man studerar dessa två personers beteende när de klättrar upp på cylindern och klipper av svetstråden; vem kommer göra det mest säkerhetsmedvetet? Den första personen kommer att vara mycket medveten om riskerna och ta mycket hänsyn till föreskrifterna. Andra personen, med all sin erfarenhet, har varit uppe på höjden många gånger utan att någon olycka hänt. Varför skulle det hända nu? Sannolikhetsinläringen gör att vår svetsoperatör tar onödiga risker. När det dessutom handlar om ett kort, repetitivt moment där säkerhetsprocedurerna tar lika lång tid som själva momentet är det lätt att hoppa över detta.

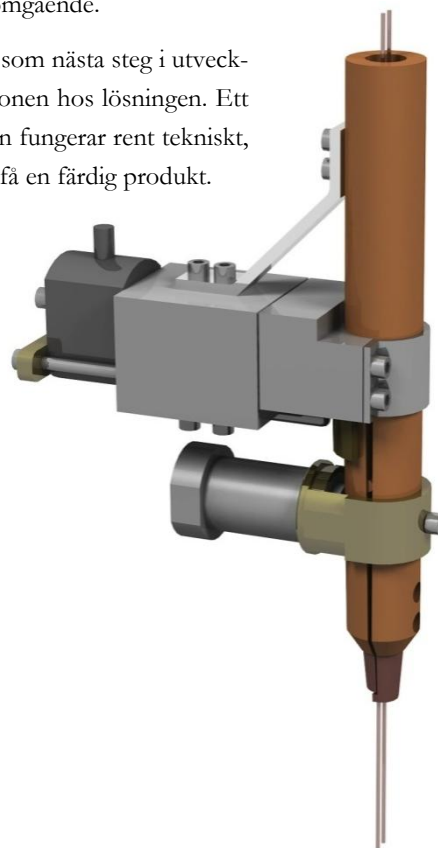
Moment där det föreligger en säkerhetsrisk kan hanteras på olika sätt, exempelvis kan man skydda mot risken eller eliminera den. Om vi minskar de gånger operatören måste klättra upp till huvudet får det flera effekter. Dels så minskar exponeringen för risken, dels minskar de korta moment operatören är uppe och det riskfyllda beteendet är som störst. En annan möjlig effekt är att då operatören inte är där uppe lika ofta blir vanan inte lika stark och det riskmedvetna beteendet kanske starkare.

7. Slutsats och rekommendation

Syftet med projektet var att utveckla en lösning för omstart av svetsning med A6, som inte kräver att en operatör finns i svetshuvudets direkta närhet. Det som idag utgör ett hinder mot detta är att elektroden måste klippas av manuellt mellan körningarna. Med den produktlösning som redovisats ovan kommer denna klippning att kunna ske helt automatiskt och det finns därmed inget som kräver operatörens närvaro i svetshuvudets omedelbara närhet.

I projektets mål anges att projektet ska resultera i tillräckligt underlag för att en prototyp ska kunna tas fram vid projektets slut, för att testa lösningens funktion och tillförlitlighet. Den lösning som redovisats är tillräckligt långt utvecklad för att nästa steg i utvecklingsprocessen kommer att bli tillverka en funktionsprototyp. Det underlag som projektet resulterat i omfattar CAD-ritningar, samt förslag på material, utformning och underleverantörer. Detta är fullt tillräckligt för att en prototyp ska kunna beställas omgående.

Projektgruppen rekommenderar således att ESAB som nästa steg i utvecklingen bör beställa en prototyp för att testa funktionen hos lösningen. Ett sådant test kommer att klargöra huruvida lösningen fungerar rent tekniskt, samt vad som behöver utvecklas ytterligare för att få en färdig produkt.



Figur 42: Slutprodukten monterad på A6.

8. Källförteckning

Burenius, Jan & Lindstedt, Per (2003). *The Value Model: How to Master Product development and Create Unrivalled Customer Value*. Sverige: Nimba AB.

ESAB:s miljöpolicy [online] (senast uppdaterad 2006), (2009-03-10),<http://www.esab.se/se/se/about/policy.cfm>

Hågeryd, Lennart, Björklund, Stefan & Lenner, Matz (2005). *Modern Produktionsteknik Del 1*. Stockholm: Liber AB.

Institutionen för hållfasthetslära, Kungliga tekniska högskolan (1998). *Handbok och formelsamling i Hållfasthetslära*. Redigerad av Bengt Sundström. Stockholm: Institutionen för hållfasthetslära, Tekniska högsk., cop.

Johannesson, Hans, Persson, Jan-Gunnar & Pettersson, Dennis (2004). *Produktutveckling – effektiva metoder för konstruktion och design*. Stockholm: Liber AB.

Lesjöfors fjäderkatalog #13 (2009), Lesjöfors AB, (2009-04-20),
http://www.lesjoforsab.com/teknisk-information/standard_stock_springs_catalogue_13_-_swedish_id1103.pdf

Mägi, Mart & Melkersson, Kjell (2004). *Lärobok (del A) i maskinelement*. Göteborg: EcoDev International AB

The Welding Institute [online] (senast uppdaterad 2006), (2009-01-28),
<http://www.twi.co.uk/content/jk5.html>

Uddeholms svenska AB produktblad Uddeholms Vanadis 4 Extra [online] (senast uppdaterad 2008), (2009-05-13),
http://www.uddeholm.se/swedish/files/Dimensioner_Vanadis_4_Extra_0811.pdf

Welding Mag [online] (2008), Goldsberry, (2009-01-28),
<http://weldingmag.com/processes/news/basics-submerged-arc-welding/>

Österlin, Kenneth (2003). *Design i fokus för produktutveckling*. Stockholm: Liber AB.

Bilaga 1: Kravspecifikation

Tabell 1: Kravspecifikation

| | Krav | | Önskemål /Krav | Vikt ¹ |
|----------|--|--|----------------|-------------------|
| 1 | Allmänt | | | |
| | Applicerbar på: | | | |
| 1.1 | | A6S Arc Master | Krav | |
| 1.2 | | A6S Tandem Master | Krav | |
| 1.3 | | A6DS Tandem Master | Krav | |
| 1.4 | | A6S Compact 300 / 500 | Önskemål | 4 |
| | | | | |
| 2 | Säkerhet | | | |
| 2.1 | Uppfylla lagar, regler och standarder gällande: | | Krav | |
| 2.1.1 | | Tillverknings | | |
| 2.1.2 | | Uppackning | | |
| 2.1.3 | | Montering | | |
| 2.1.3 | | Användning | | |
| 2.1.4 | | Demontering | | |
| 2.1.5 | | Kassering/återvinning | | |
| | | | | |
| 3 | Funktion | | | |
| 3.1 | Möjliggöra svetsomstart | | Krav | |
| 3.2 | Ej försämra svetsresultat | | Krav | |
| 3.2.1 | | Ej försämra värmeledningsförmåga så att funktion störs | | |
| 3.2.2 | | Ej försämra strömledning så att funktion störs | | |
| 3.2.3 | | Ej förhindra pulvrets funktion | | |
| 3.2.4 | | Ej förhindra kringutrustning såsom kamera, pulversug, pulvermatning, styrdon, laserpunkt och lampa | | |
| 3.2.5 | | Restprodukt får inte förstöra svetsresultat | | |
| 3.2.6 | | Ej vara i vägen för arbetsrörelse | | |
| 3.3 | Överdimensionering minst 2,5 * erforderlig kraft | | Krav | |
| 3.4 | Klippa konstruktionsstål med 5 mm i diameter | | Krav | |
| 3.5 | Klippa rostfritt stål med 4 mm i diameter | | Önskemål | 2 |
| | | | | |
| 4 | Användningsmiljö | | | |
| 4.1 | Skall klara användningsmiljö | | Krav | |
| 4.1.1 | | Tuff verkstadsmiljö | Krav | |
| 4.1.2 | | IP-23 klassad | Önskemål | 3 |
| 4.1.3 | | Eventuell plast V0- eller V1-klassad | Krav | |

¹ Viktning vid önskemål. Skala 1-5. 5 = Mycket viktigt, 1 = Inte viktigt alls.

| | | | | | |
|----------|---|--|--|----------|---|
| 5 | <u>Miljö</u> | | | | |
| 5.1 | Miljöoptimering för varje enskild del i lösning | | | Önskemål | 4 |
| 5.2 | Reservdelar av standardtyp | | | Önskemål | 3 |
| 5.3 | Uppbyggd av delar, så enskild del kan bytas | | | Önskemål | 3 |
| 5.4 | ESAB:s miljöpolicy skall följas | | | Krav | |
| 5.5 | Gällande miljölagar skall följas | | | Krav | |
| 6 | <u>Ergonomi</u> | | | | |
| 6.1 | Bör innebära förbättring i belastningsergonomi | | | Önskemål | 2 |
| 6.2 | Ska inte innebära belastningsergonomisk försämring | | | Krav | |
| 7 | <u>Uttryck</u> | | | | |
| 7.1 | Bör uttrycka ESAB:s produktidentitet | | | Önskemål | 2 |
| 7.1.1 | Utseendet bör överrensstämma med övriga komponenter | | | Önskemål | 2 |
| 8 | <u>Vikt</u> | | | | |
| 8.1 | <30 kg får hängas på svetshuvudet | | | Krav | |
| 8.2 | <150 kg på kran | | | Krav | |
| 9 | <u>Ekonomi</u> | | | | |
| 9.1 | Kostnad <20 000 kr för prototyp | | | Krav | |

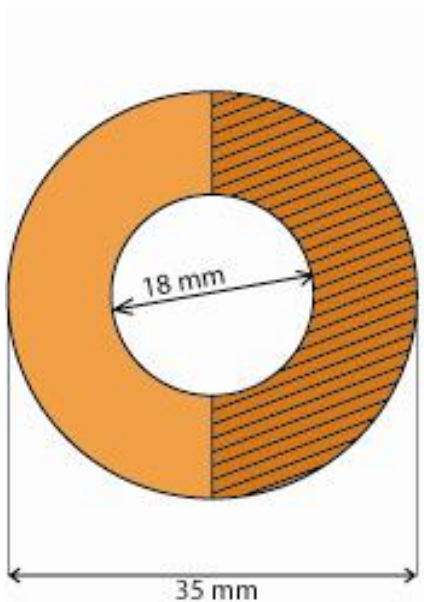
Bilaga 2: Begränsande area

Denna minsta area där ström och värme överförs i svetshuvudet, är där kopparröret övergår till ett halvrör. För att inte påverka svetsegenskaperna krävs att en modifierad konstruktion inte understiger denna area. Det är arean vinkelrätt mot svetshuvudet som begränsar och Bild 1 är en genomskärning som illustrerar detta.

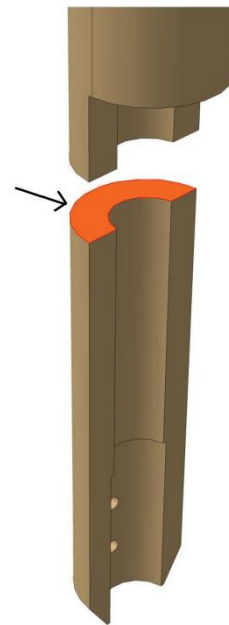
Ingrepp i svetshuvudet kan alltså göras då arean inte på någon position över hela rörets längd, understiger tidigare begränsning. På övre delen av svetshuvudet, där arean är två gånger begränsningen, går det att avverka material utan påverkan på värme och ström. På den del av kopparröret som ej sitter kontinuerligt med övriga huvudet går det att göra ingrepp utan någon strömpåverkan. Denna del kan dock påverkas enskilt av värme påverkan.

Begränsade arean är:

$$A = \frac{\left(\left(\frac{35}{2}\right)^2 - \left(\frac{18}{2}\right)^2\right) \cdot \pi}{2} = 353,8 \text{ mm}^2$$



Figur 2 Skiss över begränsad area



Figur 1 Den begränsande areans plats på svetshuvudet

Bilaga 3: Anteckningar från backtester

Testomgång 25/3 – nedmatning av avklippt tråd ned i backar

Inför testet hade vi 4 olika saker vi ville testa. Dessa är listade i punktlistan. Kommentarer under testet är markerade i röd text. Kommentarer i efterhand är skrivna i kursivt. Testet utfördes med 3mm singelelektrod, på Processcentrum i Göteborg.

- **Testa att köra ned tråden i tomma, spända backar.**

Vi ville se om tråden överhuvudtaget kunde hitta ned i spåret eller om spåren var för dåligt definierade i backarna. Vi satte fast vår cylinder med en kona (trattkuts) under denna för att se om den fungerade som en trådleddare som tänkt. Vi satte sedan fast en trådända i slutet av kopparbackarna och tog sedan ut den. Därefter skruvade vi backarna till motsvarande position, så att trådspänningen när tråden kommit ned blir rätt. **Försök 1: Tråden hakar i den inre cylindern med elliptiskt hål som fjäderspännaren är fäst i. Efter att ha spänt motormatningsrullarna slutar dessa att slira och tråden fjongar igenom. Fast när den kommer ned mot vår tratt-kuts kör den in i det platta och inte ner i tratten.**

Konan i vår kuts går inte hela vägen ut, det är en plåtå en bit utanför centrum. Innan testet trodde vi att råden skulle vara så pass rak att den träffade ungefär i mitten, men tråden släpar nästan i svärdets vägg. Viktigt också att motorn är ordentligt fastspänd så att den inte slirar.

Försök 2: Vi preppar tråden genom att föra den genom vår tratt, och sedan drar vi åt backarna ungefär så som de var när vi hade en trådbit fastspänd. När vi kör ned tråden hittar den denna gång hela vägen ned genom backarna och kommer ut precis i mitten. Dock så rispar tråden en flisa i backens smalaste trattdel.

Ok, så det går att mata ned tråden klippt, det går t.o.m. om man inte prickar precis rätt för backens tratt fungerar. Dock finns förslitningsfrågetecken.

- **Testa köra ner tråd i spända backar med trådstump fast i**

Detta var för att se om det går att klippa tråden ovanför backarna och sedan putta ut den nedre trådstumpen utan att behöva öppna upp backarna.

Försök 1: Tråden snäpper till när den går ned i backarna så backarna lossar pyttelite från varandra. Trådbiten glider därför ur med lätthet. Dock har de hakat i varandra så vi får peta på stumpen så den trillar av.

Detta försök var med trådstumpens övre ända inne i backarna. Det innebär att trådarna mötte varandra definierat ände mot ände.

Försök 2: Success! Backarnas spår är blanka och verkar lite småslitna – så som vi är vana att se backar. Att de ser ut så efter bara 4 försök kan innebära en högre förslitning än normalt.

Dock när vi klipper tråden så lägger de olika bitarna sig på sidan om varandra. De kan inte trycka på varandra annat än om de sitter riktade i ett lopp. Det kommer därför behövas en öppning av backar för att den nya tråden ska lossna.

Vi testade att sätta i en lång bit ända upp till fästet av klämskruven. Därefter lossade vi på klämskruven successivt. Tråden trillar ut väldigt fint så fort trycket lättar, det krävs inte mycket spel alls för att den ska lossna (~1-2mm).

Detta är positivt, tråden glider väldigt lätt ned genom sitt lopp bara med en relativt liten öppning.

- **Testa hur rak den klippta tråden kommer ner.**

Den kommer ned med böjen kvar från trumman. Det kommer behövas ett ledrör ned till klippen, något som iofs inte kommer utgöra något problem.

Detta var något vi var förvånade över, eftersom det brukar finnas riktverk o dyl. som vi trodde skulle göra sitt jobb. Det riktverk som satt på verkade iofs bara i sidriktning medan den inneboende böjen från trumman låg i svetsriktningen. så det är antagligen rakare med ett riktverk till, men vi kan inte uttala oss om hur mycket.

- **Testa att köra ner trådar med backarna öppna och sedan spänna fast backar.** Detta kan vi säga att absolut inte fungerar. Tråden måste ledas hela vägen ned om det ska fungera. Det kommer behövas ledning ned i mothållet, och det kommer behövas en tratt efter klippning som leder ned tråden i backen om inte backens kona tål att sköta detta själv.

Testomgång 24/4

Försök 1, singeltråd 2mm i back med "hylla".

Befintlig tråd där vi klippt nedanför och sedan hissar upp. Tråden backas upp till den är fortfarande i, men har lång bit ner till slutändan av backen. Tråden hittar ner utan problem.

Försöket 2.

Vi öppnar upp och klipper ovanför innan vi kör ned tråden. Vi filar tråden så den ska få en vinkel och grad på ungefär samma sätt som den skulle fått av vårt verktyg. Tråden är klämd högst upp i backen, en singelback med hylla och en lutning. Tråden hittar ner hela vägen utan problem. men den har metallspån på toppen när det kommer ner, antagligen från backen.

Försök 3

Tråden fastnar vid andra skruvhålet ungefär. Helt stopp, tråden är lätt böjd. Backen sliten vid ingångshålet.

Försök 4

Vi byter fästskruven mot vår fjäderskruv för att säkerställa att inspänningen är rätt. Den var antagligen för hård gången innan. Tråden hittar ner. Inspänningen utan fjäder så pass högt upp innebär att utväxlingen när man skruvar fast är väldigt hög. En kvarts varv för hårt skruvat ger mångdubbelt större kraft på tråden.

Försök 5 & 6

Vi byter till 3mm tråd för att se om den har mer böj med sig ner. Det har den. Vi vrider om rullen så att riktverket verkar på trådens naturliga böj från rullen. Det funkar bättre på en gång. En rekommendation bör vara att rullarna placeras på detta sätt.

Bilaga 4: Klippberäkningar erforderlig kraft

Krav: Konstruktionsstål med 5 millimeter i diameter

Vinklat skär:

$$\sigma_b = 360 \text{ MPa (Institutionen för hållfasthetslära 1998)}$$

$$\tau = 0,8 \cdot \sigma_b = 0,8 \cdot 360 = 288 \text{ MPa}$$

$$\varphi = 30^\circ$$

$$r = \frac{\emptyset}{2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ mm}$$

$$F_{erf,max} = \ddot{o} \cdot \tau \cdot A = \ddot{o} \cdot \tau \frac{r^2 \cdot \pi}{\cos(\varphi)} = 2,5 \cdot 288 \cdot \frac{\left(\frac{5}{2}\right)^2 \cdot \pi}{\cos(30)} \approx 16\,324 \text{ N}$$

Rakt skär:

$$\sigma_b = 360 \text{ MPa}$$

$$\tau = 0,8 \cdot \sigma_b = 0,8 \cdot 360 = 288 \text{ MPa}$$

$$\varphi = 0^\circ$$

$$r = \frac{\emptyset}{2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ mm}$$

$$F_{erf,max} = \ddot{o} \cdot \tau \cdot A = \ddot{o} \cdot \tau \frac{r^2 \cdot \pi}{\cos(\varphi)} = 2,5 \cdot 288 \cdot \frac{\left(\frac{5}{2}\right)^2 \cdot \pi}{\cos(0)} \approx 14\,137 \text{ N}$$

Önskemål: Rostfritt stål med 4 millimeter i diameter

Vinklat skär:

$$\sigma_b = 590 \text{ MPa (Institutionen för hållfasthetslära 1998)}$$

$$\tau = 0,8 \cdot \sigma_b = 0,8 \cdot 590 = 472 \text{ MPa}$$

$$\varphi = 30^\circ$$

$$r = \frac{\emptyset}{2} = \frac{4}{2} = 2 \text{ mm}$$

$$F_{erf,max} = \ddot{o} \cdot \tau \cdot A = \ddot{o} \cdot \tau \frac{r^2 \cdot \pi}{\cos(\varphi)} = 2,5 \cdot 472 \cdot \frac{\left(\frac{4}{2}\right)^2 \cdot \pi}{\cos(30)} \approx 17\,122 \text{ N}$$

Rakt skär:

$$\sigma_b = 590 \text{ MPa}$$

$$\tau = 0,8 \cdot \sigma_b = 0,8 \cdot 590 = 472 \text{ MPa}$$

$$\varphi = 0^\circ$$

$$r = \frac{\emptyset}{2} = \frac{4}{2} = 2 \text{ mm}$$

$$F_{erf,max} = \ddot{o} \cdot \tau \cdot A = \ddot{o} \cdot \tau \frac{r^2 \cdot \pi}{\cos(\varphi)} = 2,5 \cdot 472 \cdot \frac{\left(\frac{4}{2}\right)^2 \cdot \pi}{\cos(0)} \approx 14\,828 \text{ N}$$

Önskemål: Tvillingkonstruktionsstål 2,5 millimeter i diameter

Vinklat skär:

$$\sigma_b = 360 \text{ MPa}$$

$$\tau = 0,8 \cdot \sigma_b = 0,8 \cdot 360 = 288 \text{ MPa}$$

$$\varphi = 30^\circ$$

$$r = \frac{\emptyset}{2} = \frac{2,5}{2} = 1,25 \text{ mm}$$

$$F_{erf,max,1} = \ddot{o} \cdot \tau \cdot A = \ddot{o} \cdot \tau \frac{r^2 \cdot \pi}{\cos(\varphi)} = 2,5 \cdot 288 \frac{\left(\frac{2,5}{2}\right)^2 \cdot \pi}{\cos(30)} \approx 4\,081 \text{ N}$$

$$F_{erf,max,2} = 2 \cdot F_{erf,max,1} = 2 \cdot 4\,081 = 8\,162 \text{ N}$$

Rakt skär:

$$\sigma_b = 360 \text{ MPa}$$

$$\tau = 0,8 \cdot \sigma_b = 0,8 \cdot 450 = 288 \text{ MPa}$$

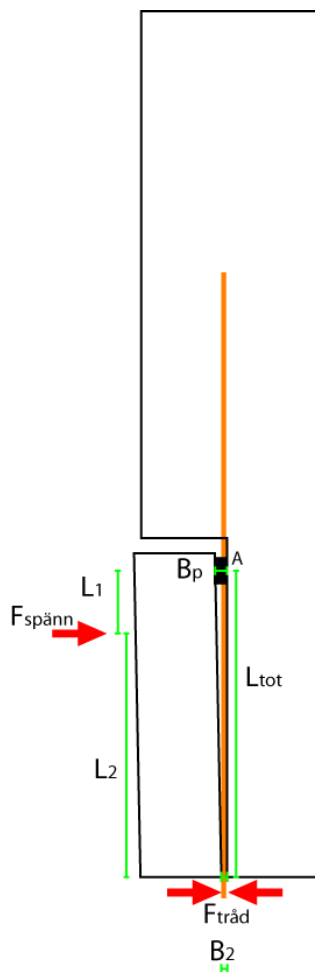
$$\varphi = 0^\circ$$

$$r = \frac{\emptyset}{2} = \frac{2,5}{2} = 1,25 \text{ mm}$$

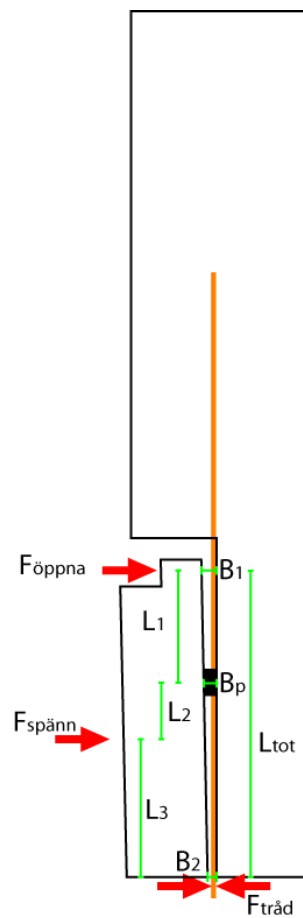
$$F_{erf,max,1} = \ddot{o} \cdot \tau \cdot A = \ddot{o} \cdot \tau \frac{r^2 \cdot \pi}{\cos(\varphi)} = 2,5 \cdot 288 \cdot \frac{\left(\frac{2,5}{2}\right)^2 \cdot \pi}{\cos(0)} \approx 3\,534 \text{ N}$$

$$F_{erf,max,2} = 2 \cdot F_{erf,max,1} = 2 \cdot 3\,534 = 7\,068 \text{ N}$$

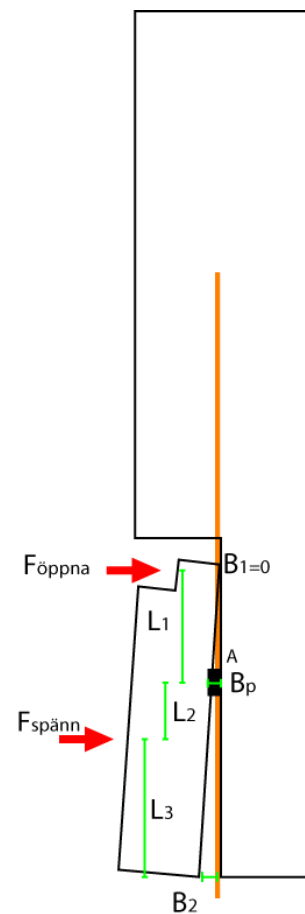
Bilaga 5: Hävstångsberäkningar



$F_{\text{tråd}}, B_2$ är konstanta.
Då A kan ses som en momentfri led gäller att
 $F_{\text{tråd}} * L_{\text{tot}} = F_{\text{spänn}} * L_1$



$F_{\text{tråd}}, B_2$ är konstanta.
Då A kan ses som en momentfri led gäller att
 $F_{\text{tråd}} * (L_2 + L_3) = F_{\text{spänn}} * L_2$



$F_{\text{öppna}}$ bör ge ett moment i punkten A som överstiger $F_{\text{spänn}}$ så att B_2 ökar.
 $F_{\text{öppna}} * L_1 > F_{\text{spänn}} * L_2$

Den resterande energin tas upp av en fjäder i den pistong som ger $F_{\text{öppna}}$.
Obs att tråden ej är klämd då svärdet är ihåligt. Det svarta är pluggarna och står inte tråden heller.

Denna principskiss låg till grund för de kraftberäkningar som utfördes i ett exceldokument (se tabell). Beräkningarna gick till så att utifrån empiriska tester på fjäderskraven fick vi ut det ursprungliga $F_{\text{spänn}}$ till 1000 N. Utifrån detta kunde vi sedan räkna fram kraften på tråden, $F_{\text{tråd}}$. I vår lösning har vi sedan utgått från $F_{\text{tråd}}$ för att få fram de övriga krafterna. Utöver de mått som finns i den schematiska skissen finns även i krafttabellen måttet $S_{F_{\text{spänn}}}$ som beskriver hur stort fjäderns spel är, alltså den horisontella förflyttningen vid $F_{\text{spänn}}$.

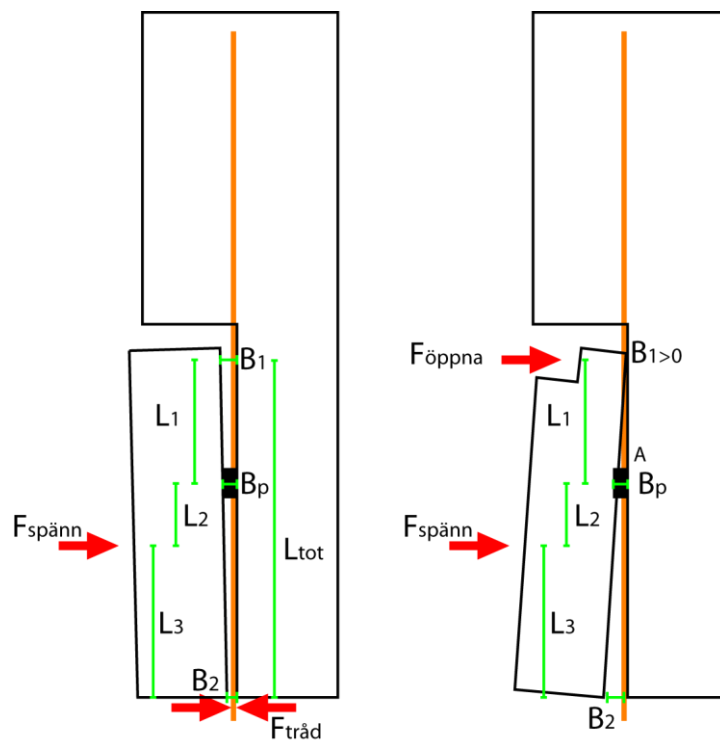
Valet av hävstång gick till så att avståndet B_p valdes till 3 mm av vinkelskäl, högre B_p än så och backarna får sämre kontakt med tråden. Mindre än 3mm så riskerar vinkeln bli negativ vid stora tråddimensioner.

Sedan valdes 65 mm som L_3 . 65 mm är högt nog att inte vara i vägen för pulvermatning och värmeutveckling, samtidigt som det finns plats för vippan och dess hävstång. Utifrån detta testades olika värden för L_2/L_1 för att få en bra balans mellan krafterna $F_{\text{öppna}}$ och $F_{\text{spänn}}$. För vår slutlösning är så liten öppning som möjligt önskad, och vid testning bör lösningen avpassas så att tråden lossnar säkert, men att vippan inte öppnar mer än nödvändigt. Detta främst för att minimera klämrisker. Observera att B_1 aldrig får bli noll, för då kommer pistongen trycka med hydraulikens fulla kraft på svetsröret och något kommer gå sönder!

Resultatet av uträkningarna visas i tabellen till höger och på nästa sida.

| Under svetsning | Vid klipp |
|---|---|
| $B_p = 3\text{mm}$ | $B_p = 3\text{mm}$ |
| $B_1 = 3,4\text{ mm}$ | $B_1 > 0$ |
| $B_2 = 2\text{mm}$ (beroende på tråd) | $B_2 = 10,7\text{mm}$ $S_{F_{\text{spänn}}} = 2,1\text{ mm}$ |
| $F_{\text{öppna}} > 540\text{ N}$ | $F_{\text{öppna}} > 540\text{ N}$ |
| $F_{\text{spänn}} = 709\text{ N}$ | $F_{\text{spänn}} = 709\text{ N}$ |
| $F_{\text{tråd}} = 218\text{ N}$ (konstant) | $F_{\text{tråd}} = 218\text{ N}$ (konstant) |
| $L_{\text{tot}} = 118\text{ mm}$ | $L_{\text{tot}} = 118\text{ mm}$ |
| $L_1 = 37\text{ mm}$ | $L_1 = 37\text{ mm}$ |
| $L_2 = 20\text{ mm}$ | $L_2 = 20\text{ mm}$ |
| $L_3 = 65\text{ mm}$ | $L_3 = 65\text{ mm}$ |

| Låsta variabler | L ₁ | L ₂ | L ₃ | F _{spänn} | B _p | B ₁ | B ₂ vid öppn. | Kläm-vinkel ν | L _{tot} | Klämkraft (konstant) | F _{öpenmin} | Hävstång (räknat på längd) |
|---|----------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------------|-------------------|------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| Ursprungliga huvudet | - | 20 | 92 | 1000 | 3 | | | 1,54 | 118 | 217,39 | - | 4,60 |
| Kraftfaktor (F _{spänn} / F _{tråd})=4,6 | | | | | | | | | | | | |
| B _p =3 mm, L ₃ =65 | 43 | 10 | 65 | 1417 | 3 | 3,57 | 8,23 | 2,29 | 118 | 218 | 329,53 | 6,50 |
| vald lösning >>> | 33 | 20 | 65 | 709 | 3 | 3,39 | 10,73 | 2,02 | 118 | 218 | 429,39 | 3,25 |
| | 23 | 30 | 65 | 472 | 3 | 3,24 | 15,39 | 1,81 | 118 | 218 | 616,09 | 2,17 |
| | 13 | 40 | 65 | 354 | 3 | 3,12 | 27,23 | 1,64 | 118 | 218 | 1090,00 | 1,63 |
| | | | | | | | | | | | | |
| B _p =3 mm, L ₃ =75 | 33 | 10 | 75 | 1635 | 3 | 3,39 | 17,88 | 2,02 | 118 | 218 | 495,45 | 7,50 |
| | 23 | 20 | 75 | 818 | 3 | 3,24 | 25,65 | 1,81 | 118 | 218 | 710,87 | 3,75 |
| | 13 | 30 | 75 | 545 | 3 | 3,12 | 45,38 | 1,64 | 118 | 218 | 1257,69 | 2,50 |
| | 3 | 40 | 75 | 409 | 3 | 3,03 | 196,67 | 1,50 | 118 | 218 | 5450,00 | 1,88 |



Bilaga 6: Skruvförband

För att kontrollera så att skruvförbandet i ritningen klarar krafterna ifrån klippningen gjordes enklare hållfasthetsberäkningar.

Tabell 1. Egenskaper för M6-skruv. Källa (Melkersson, Mägi 2008. s. 62)

| | |
|-------------------|-------------|
| Skruvtyp | M6 |
| Hållfasthetsklass | 10,9 |
| Antal skruvar | 4 st |
| Säkerhetsfaktor | 2,5 |
| Innerdiameter | 4,917 mm |
| Sträckgräns | 900 MPa |

$$D_i = 4,917 \text{ mm}$$

$$\sigma_b = 900 \text{ MPa}$$

$$n = 4 \text{ st skruvar}$$

$$f_{säk} = 2,5$$

$$F_{max} = \frac{\left(\frac{D_i}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot \sigma_b \cdot n}{f_{säk}}$$

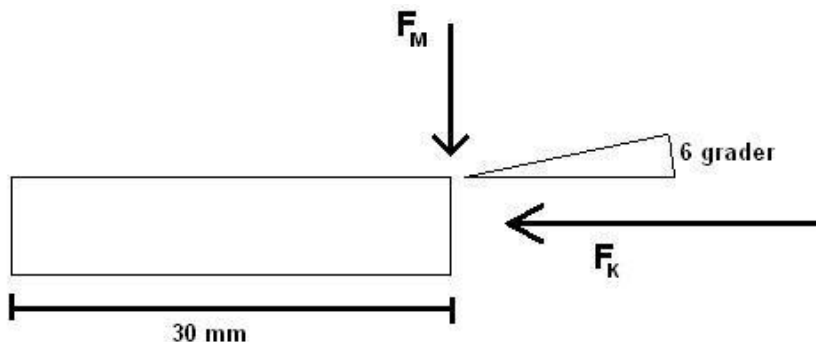
$$F_{max} = \frac{\left(\frac{4,917}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot 900 \cdot 4}{2,5} \approx 27\,343 \text{ N}$$

Slutsats: Max påverkan på skruvar blir 27 343 N

Melkersson, Kjell & Mägi, Mart (2008). *Lärobok i Maskinelement*. Göteborg: EcoDev International AB.

Bilaga 7: Pistong

För att dimensionera pistongen, som överför kraft från hydraulcilindern till öppning av backar, krävdes enklare hållfasthetsberäkningar på momentspänningar.



Krafter

Beräknad kraft parallellt med pistongen är 650 N, vilket är kraften som krävs för att öppna backarna:

$$F_k = 650 \text{ N}$$

Vinkeln som skapas då backarna trycks ihop 3 mm är 6 grader. Detta då avståndet ifrån momentaxel är 30 mm:

$$\tan V = \frac{3}{30} \rightarrow \\ \rightarrow V = 6^\circ$$

Kraften tangent mot skruven är den som bidrar till spänning:

$$F_m = \sin(6) \cdot 650 = 67,94$$

Högsta momentet får man genom att ta F_m gånger sträcken:

$$M = 459,6 \cdot 30 = 2038,30 \text{ Nmm}$$

Maximala böjmotståndet fås genom att dela högsta momentet med skruvens brottspänning. Standard 10.9 skruv används i beräkningarna:

$$\sigma = 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$W = \frac{M}{\sigma} \approx 2,04$$

Böjmotståndets formel för en stång är enligt följande:

$$W = \frac{\pi \cdot D^3}{32}$$

Med böjmotståndsformeln kan behövd diametern fås på skruven:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot W}{\pi}} = 2,75 \text{ mm}$$

Säkerhetsfaktor på 2,5 används för att säkerhetsställa funktion:

$$D_s = 2,5 \cdot D = 2,5 \cdot 2,75 = 6,87$$

Design med skruvdimension på minst M7 är erfordrad.