

CHALMERS



Utveckling av automatiserat klippverktyg för svetstråd

Ett utvecklingsarbete i samarbete med ESAB

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Teknisk design

JENNY ANDERSSON, ANNA HALLGREN,
ANDREAS KJELLSSON, CLAES SERNVI,
FILIP SUNDBLAD

Institutionen för produkt och produktionsutveckling

Avdelningen Design & Human Factors

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2009

Kandidatarbete

KANDIDATARBETE PPUX03

Utveckling av automatiserat klippverktyg för svetstråd

Ett utvecklingsarbete i samarbete med ESAB

Kandidatarbete i Teknisk design

Jenny Andersson
Anna Hallgren
Andreas Kjellsson
Claes Sernevi
Filip Sundblad

Institutionen för produkt och produktionsutveckling
Avdelningen Design & Human Factors
Chalmers tekniska högskola
Göteborg, Sverige 2009

Utveckling av automatiserat klippverktyg för svetstråd
Ett utvecklingsarbete i samarbete med ESAB
Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Teknisk design

© Jenny Andersson, Anna Hallgren, Andreas Kjellsson, Claes Sernevi
och Filip Sundblad, 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

Omslagsbild: CAD-bild på projektets resultat renderat i Alias Studio Tools.

Tryckeri / Institutionen för produkt och produktionsutveckling
Göteborg, Sverige 2009

Förord

Denna rapport är skriven vårterminen 2009 som del i ett kandidatarbete, PPUX03. Kursen ges av institutionen produkt och produktionsutveckling, vid Chalmers tekniska högskola i Göteborg, och omfattar 15 högskolepoäng. Kursen är en del av utbildningen under civilingenjörsprogrammen Teknisk Design och Maskinteknik vid Chalmers och ingår i examinationen till kandidatexamen inom de specifika programmen.

Kursansvarig och examinator är tekniklektor Örjan Söderberg och handledare är doktor Pontus Engelbrektsson. Författarna till rapporten är teknisk design- och maskinteknikteknologer.

Vi vill passa på att tacka alla inblandade parter för ett gott samarbete och för allt värdefullt stöd och all information vi fått längs vägen. Vi vill särskilt tacka ESAB (vår uppdragsgivare) samt EWP, Metso och Cryo, som låtit oss besöka deras anläggningar under projektets gång.

- Projektgruppen

Sammanfattning

Rapporten behandlar ett kandidatarbete som genomförts under våren 2009 av studenter på civilingenjörsprogrammen Teknisk design och Maskinteknik vid Chalmers tekniska högskola. Kandidatarbetet har gjorts i samarbete med svetsföretaget ESAB.

Syftet med projektuppgiften var att utveckla en automatisk kapningsmodul för kapning av svetstråd för SAW; submerged arc welding (pulverbågs svetsning). Produkten är avsedd för ESABs svetshuvudsserie A6. Fokus var att konstruera en produkt med avseende på ergonomi och funktionalitet. Projektet ska resultera i en realiserbar produkt som passar in i ESABs produktsortiment.

Automatisk trådkapning av svetstråden finns inte på marknaden idag, men det finns ett behov av att automatisera denna process eftersom det skulle effektivisera svetsprocessen. Idag klipper svetsoperatören av svetstråden för hand med avbitartång. Ibland måste operatören klättra upp flera meter för att komma åt svetstråden. Lansering av ett automatiskt trådklippningsverktyg skulle förbättra arbetssituationen för svetsoperatörerna på många sätt.

Processen startade med research om hur operatörerna arbetar idag, hur svetsen fungerar osv. för att komma fram till vilka krav som ställs på den kapningsmodul som skulle utvecklas. Projektgruppen besökte ett flertal industrier och utförde intervjuer för att ta reda på mer information kring problemet. Arbeta med diverse utvecklingsmetoder och hjälpmedel ledde fram till ett antal olika dellösningar, som i sin tur sattes ihop till ett antal koncept. Denna konceptgenerering resulterade i fyra olika lösningar som presenterades för en samlad grupp experter från ESAB, och i samarbete med dem valdes ett koncept ut för vidare utveckling.

Resultatet är ett automatiskt klippverktyg som fästs på svärdet ovanför kontaktbackarna. Klippningen sker inuti svärdet och styrs från kontrollpanelen på distans från svetsen och drivs av en enkelverkande hydraulcylinder. Genom att använda hydraulik var det möjligt att designa verktyget på ett sådant sätt att det tar minimalt med plats och ej är i vägen vid tandemdrift eller för de övriga tillbehören som monteras på svetshuvudet. Applicering av denna lösning kräver ett par förändringar av svärdet, bestående av ett antal hål för montering av komponenter och för åtkomst vid klippning. Slutprodukten av projektet är en lösning som uppfyller de krav som satts upp både från ESABs och från projektgruppens egen sida.

Abstract

This report concerns a bachelor thesis written by students in the Industrial Design Engineering- and Mechanical Engineering program at Chalmers University of Technology in the spring of 2009. The bachelor thesis is made in collaboration with ESAB, a company producing welding equipment and solutions.

The purpose of the project was to develop a device for cutting the welding wire for the SAW; submerged arc welding, process automatically. The product is aimed for ESAB's welding head A6. The focus was to design the product in terms of ergonomics and functionality. The project will result in a realizable product that fits ESAB's product range.

There exists a need for an automatic cutting device today, since it would increase the efficiency of the welding process. No product of this kind is available on the market at present. Today the operators have to cut the welding wire with a nipper by hand. Sometimes the operator has to climb as far as a few meters above the floor to reach the wire. The launch of an automatic cutting device would therefore in many ways improve the work situation for the operator.

The process started with researching how the operators work today, how the welding machine works etc. to reach a conclusion about what is demanded of the cutting. The project group visited industries and performed interviews to collect adequate information concerning the problem. Working with various methods and aids for development led up to a number of partial solutions to the problem, which in turn were assembled into a few concepts. The concept generation resulted in four different solutions that were presented to a group of experts from ESAB, and in cooperation with that group a single concept was chosen for further development.

The result is an automatic cutting device which is placed on the contact tube above the contact jaws. The wire is cut inside the tube and the operation is run from the process controller at a distance from the weld. By the use of hydraulics it was possible to design the tool so that it requires a minimum amount of space therefore not getting in the way of other equipment mounted on the contact tube, or when the weld is operated in a tandem configuration. Applying this solution will demand a couple of changes on the welding sword, consisting of a number of holes required for assembly and the cutting process. The final product of the project is a solution that meets the requirements of both ESAB and the project group.

Terminologi

Cryo: CRYO AB ligger i Göteborg, tillverkar trycktankar för transport och lagring av nedkyld gas.

Delredovisning: Redovisning halvvägs in i projektet, som hölls för ESAB på deras huvudkontor i Göteborg, där fyra konceptlösningar presenterades.

DFA: Design for assembly.

DFM: Design for manufacturing.

DFMA: Design for manufacturing and assembly.

Direktstart: Svetstråden tänds samtidigt som svetshuvudet börjar åka framåt, vilket gör att kiselskiktet på svetstråden skrapas av.

Ekologiskt fotavtryck: Ett mått på hur mycket miljön påverkas utifrån den resursmängd som en människa, eller ett land, förbrukar. Det ekologiska fotavtrycket uttrycks i den landyta som behövs för allt att ta fram råvarorna och för att ta hand om restavfall.

EWP: EWP Windpower Production AB, producent av vindkraftstorn i Malmö. De använder sig av ESABs produkter.

Fluxbehållare: Behållare där fluxet förvaras före det att det rinner ner till svetsfogen.

Fluxpulver: Ett pulver som används för att skydda svetsfogen, mot luften, under svetsprocessen.

Friformsyta: Ytan är obegränsad i de tre koordinatriktningarna x,y,z.

Kontaktbackar: Sitter placerade inne i svärdet och sluter om svetstråden. Dess uppgift är att positionera och överföra strömmen till svetstråden. Kontaktbackarna är tillverkade i koppar, vilket ger en bra ledningsförmåga av elektriciteten.

Kälfog: Är den svetsfog som bildas mellan två komponenter när de står 90 grader mot varandra.

Ljusbåge: Elektrisk gnista mellan svetstråd och arbetsstycke.

Metso: Producent av stålapplikationer i Göteborg. Använder sig av ESABs produkter.

OK Flux: Oskar Kjellberg Flux, ESABs tillsatsmaterial för pulverbågs svetsning namngivet efter företagets grundare.

Projektet: Avser här kandidatarbetet, som denna rapport avhandlar.

Punktsvets: Används när man ska positionera ihop komponenter med varandra. Svetsfogen har formen av en punkt som sätts med jämna mellanrum. Punktsvetsar görs i regel med hjälp av MIG/MAG svetsning.

Skrapstart: För förklaring se stycke 4.5.3

Startplåt: En platta, ca 150x150 mm stor, som fästs provisoriskt på svetsobjektet och används vid skrapstart. Svetsen kör första sträckan på startplåten för att undvika att den dåliga startfogen hamnar i den riktiga fogen.

Stickout: Avståndet mellan svärd och arbetsstycke.

Styrfinger: Sitter längst fram på svetshuvudet och har till uppgift att följa svetsfogen för att svetsen ska hamna rätt i fogen.

Svetstråd: Är det material man tillför under svetsningen för att en svetsfog ska bildas. Svetstråden är upprullad på vindor.

Svärd: Är det rör som svetstråden löper genom samt strömsätter tråden och håller kontaktbackarna på plats.

Tandem: Två svetshuvuden är placerade bredvid varandra på en svetsportal. De arbetar samtidigt och gör att svetsningen blir effektivare.

Trådriktare: Ett verktyg som sitter på svetsen för att göra svetstråden rak då den kommer från trådvindan.

Innehållsförteckning

1. Bakgrund	1
1.1 ESAB.....	1
1.2 Uppdrag.....	1
1.3 Problembeskrivning.....	1
1.4 Tidigare studier.....	2
2. Syfte, mål och avgränsningar	3
2.1 Syfte.....	3
2.2 Mål.....	3
2.3 Avgränsningar.....	3
3. Teori	5
3.1 Pulverbågsvetsning.....	5
3.2 Svetskranar.....	5
3.3 Svetshuvudet A6.....	5
3.4 Säkerhet och arbetsmiljö.....	7
4. Genomförande och resultat.....	9
4.1 HTA	9
4.2 Funktionsanalys.....	9
4.3 Expressionboard	9
4.4 Konkurrentanalys	9
4.5 Studie av svetsmiljön.....	10
4.6 Tidigare studier om kapning av svetstråd	13
4.7 Testning	14
4.8 Produktidentitet	15
4.9 Kravformulering.....	15
4.10 Miljöanalys	16

4.11 Idégenerering och utveckling	16
4.12 Konceptpresentation	17
4.13 Konceptval	19
4.14 Vidareutveckling av koncept	20
5. Slutgiltigt koncept – Autocut A6	25
5.1 Presentation av Autocut A6	25
5.2 Hydraulcylinder och styrning.....	26
5.3 Komponenter	27
5.4 Funktion.....	29
5.5 Klippcykeln	29
5.6 Kravuppfyllnad	30
5.7 Operatörens arbetssituation	31
5.8 Materialval	31
5.9 DFA och DFM	34
5.10 Underhåll och service	34
5.11 Kostnadsberäkning	35
5.12 Miljö.....	35
6. Diskussion	37
6.1 Arbetets gång	37
6.2 Olika aspekter	37
6.3 Marknadsacceptans	40
6.4 Kvalitetskontroll	40
6.5 Fel som kan uppstå.....	40
6.6 Tillförlitlighet	41
6.7 Vidareutveckling.....	41
6.8 Resultat.....	41

7. Rekommendation	43
8. Slutsats	45
9 Källförteckning	47
Appendix A - Funktionsträd.....	I
Appendix B - HTA.....	III
Appendix C - Expressionboard.....	V
Appendix D - Frågor vid intervju	VII
Appendix E - Existerande trådkapningsmaskiner	IX
Appendix F - Produktidentitet	XI
Appendix G - Viktad kriterielista.....	XIII
Appendix H - Kravspecifikation	XV
Appendix I - Tidiga skisser	XVII
Appendix J - Senare skisser	XIX
Appendix K - Pughmatris	XXI
Appendix L - Morfologisk matris	XXIII
Appendix M - Skissmodeller	XXV
Appendix N – Hålbild	XXVII
Appendix O - Konstruktionsberäkningar	XXIX
Appendix P - Diagram från CES.....	XXXI
Appendix Q - Beskrivning av materialkandidaterna.....	XXXIII
Appendix R - LCA	XXXV

1. Bakgrund

I nedanstående avsnitt utreds bakgrunden till projektet. Här beskrivs också problemet och vad en lösning till detta innebär.

1.1 ESAB

ESAB, som är uppdragsgivare, grundades 1904 och är idag ett världsledande företag inom svetsning och skärning. ESAB producerar svetsutrustningar och tillsatsmaterial för så gott som alla svets- och skärprocesser till kunder över hela världen.

ESAB ägs av det brittiska företaget Charter plc, som är en grupp av tillverkande företag där var och ett har en stark global marknadsposition. Deras globala huvudkontor ligger i London och det svenska huvudkontoret ligger i Göteborg. ESAB har produktionsanläggningar över hela världen, den största svenska anläggningen ligger i Laxå.

ESABs affärsidé är att *”föra våra kunder med de mest kostnadseffektiva lösningarna för deras svets- och skärapplikationer. Genom ett tekniskt ledarskap, trovärdiga produkter och leveranser och genom att fortsätta att förbättra våra processer, ska vi tillfredsställa våra kunder, anställda, delägare och samhället.”* Företaget arbetar efter värderingar som bygger på integritet, framgång, ledarskap inom kvalitet och samarbete och har en vision om att vara den partner som professionella kunder föredrar att samarbeta med inom svetsning och skärning.

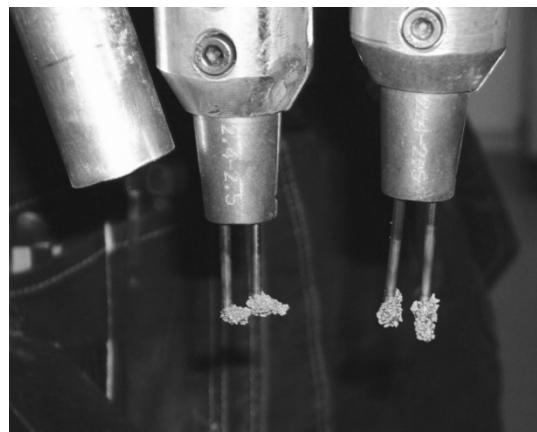
ESAB arbetar efter ett tydligt miljöledningssystem samt har en miljövision och en miljöpolicy. En stor framgång inom miljöarbetet var när man 2005 uppnådde sitt miljömål genom att bli den första svetsleverantören som certifierade hela sin verksamhet enligt ISO 14001.

1.2 Uppdrag

Uppdraget är att ta fram en modul för automatiserad kapning av svetstråd på distans, för A6-svetshuvud, med fokus på funktion, ergonomi och säkerhet. En önskan, från ESABs sida, är att produkten skall anpassas efter dagens krav på modernitet och säkerhet samt att den lätt skall kunna relateras till ESABs övriga produktfamilj. Projektet skall resultera i en visualiserande CAD-modell, renderingar, testresultat, hållfasthetsberäkningar samt en redogörelse av arbetet i form av en rapport.

1.3 Problembeskrivning

Vid pulverbågsvetsning matas svetstråd kontinuerligt ner i fogen samtidigt som munstycket rör sig framåt. För att skydda smältan, från luften, sker svetsningen under ett fluxpulver. Då svetsningen avbryts, efter avslutad svetsfog, fastnar kisloxid och fluxpulver längst ned på svetstråden, se Figur 1. För att processen ska kunna starta igen måste svetstråden få elektrisk kontakt med



Figur 1 Kisloxid och fluxpulver på svetstråd

arbetsstycket. Denna kontakt begränsas då svetstrådens spets inte är metalliskt ren. Kiseloxiden och fluxpulvret fungerar som en elektrisk isolator och kan göra att svetsprocessen inte går igång. Problemet löses idag med att svetsoperatören, för hand, klipper av cirka tjugo millimeter av svetstråden. Då blir det bara ren svetstråd kvar och svetsprocessen kan enkelt starta igen.

Klippningen av svetstråden kan vara olika svår och tidskrävande beroende på vilken höjd som svetsningen sker. Det största problemet är då svetsningen utförs på distans. Detta innebär att processen styrs av en operatör i marknivå medan svetsningen sker flera meter upp i luften. Då svetstråden ska klippas måste operatören klättra upp på arbetsstycket och utföra operationen, vilket är både tidskrävande och farligt. En automatiserad kapning av svetstråden skulle bidra till bättre arbetsmiljö för operatören, samtidigt som säkerheten ökar genom att klippning av svetstråden kan skötas från marknivå. Dessutom kan det antas att produktiviteten ökar eftersom svetstråden går snabbare att klippa på distans då operatören inte längre behöver förflytta sig till svetshuvudet.

Den nya modulen bör, i så stor utsträckning som möjligt, kunna monteras i redan existerande hål på svetshuvudet. Hänsyn ska också tas till de olika varianter av svetsutrustning som i dagsläget finns ute i industrin så att den nya modulen kan säljas in som en extrautrustning till nya och redan existerande kunder.

1.4 Tidigare studier

På ESAB har utveckling av ett automatiskt klippverktyg pågått under en längre tid dock utan att lyckas lösa kapningen av svetstråden på önskvärt sätt. För mer information om de studier som hittills gjorts inom området, se avsnitt 4.5 – Tidigare studier av kapning av svetstråd.

2. Syfte, mål och avgränsningar

I detta avsnitt specificeras de riktlinjer; syfte, mål och avgränsningar, som användes genom hela projektet för att förenkla arbetet och se till så att slutprodukten uppfyllde de från början uppställda kraven från såväl uppdragsgivaren, examinator, handledare som projektgruppen själva.

2.1 Syfte

Att genom framtagande av en produkt för automatiserad kapning av svetstråd på distans ge ESAB fler konkurrensfördelar på marknaden. Produkten ska leda till en bättre och säkrare arbetsmiljö för operatören. Vidare ska kapningsmodulen bidra till att svetsprocessen blir mer effektiv och därmed ökar produktiviteten vid svetsningsoperationer.

2.2 Mål

Projektet skall leda fram till en realiserbar lösning på en kapningsmodul för klippning av svetstråd på distans avsedd för kameraövervakad pulverbågsvetsning med A6-huvud. Kapningen ska leda till att svetstråden ska bli lätt att tända och ge en driftsäker svetsstart. Processen att klippa svetstråden ska också bli driftsäkrare och mindre tidskrävande med den nya produkten. Den slutgiltiga lösningen ska kunna monteras på ett A6 huvud utan att ändra för mycket på befintliga komponenter, vad gäller geometri och materialval. Produkten ska passa in i ESABs produktsortiment och vara anpassad för tillverkning på en upplaga om ett hundratal om året. Den nya produkten ska utvecklas med miljöhanseende och uppfylla krav från uppdragsgivare och gällande säkerhetsföreskrifter.

2.3 Avgränsningar

- Modulen ska vara anpassas endast till dagens nyproducerade svetshuvuden. A6S Arc Master, A6S Tandem Master, A6DS Tandem Master
- Modulen begränsas till att klara av att kapa en trådtjocklek på max 4 mm rostfritt stål.
- Någon prototyp tillverkas ej inom ramarna för projektet.

3. Teori

3.1 Pulverbågsvetsning

Svetsning är en metod som används för att sammanfoga metallkomponenter.

Grundfunktionen är att man med hjälp av elektrisk ström och svetstråd bildar en varm smälta mellan komponenterna. Materialet från de två olika detaljerna och svetstråden flyter samman i en svetsfog. När svetsningen är avslutad stelnar fogen och komponenterna sitter då ihop.

Pulverbågsvetsning är en av flera svetsmetoder. Dess användningsområden är främst inom tillverkningsindustrin där stora och grova stålapplikationer ska sammanfogas, till exempel inom vindkraft och fartygsbyggnation.

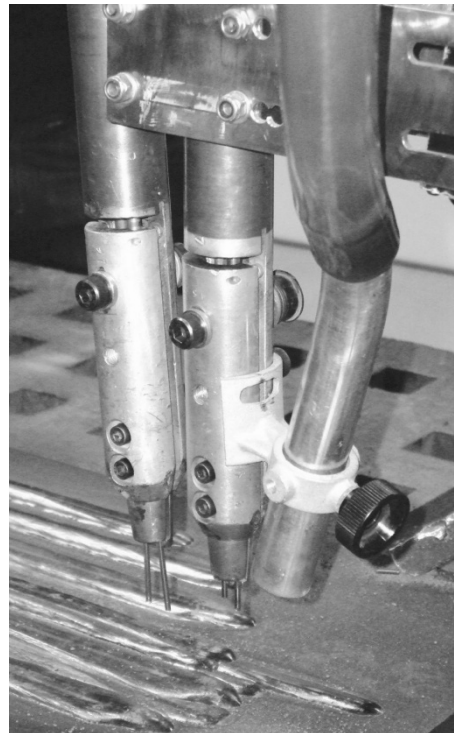
Svetsprocessen drivs via automation som operatören sköter från en kontrollpanel. För att svetsfogen inte ska komma i kontakt med luften, eftersom den då försämras avsevärt gällande hållfasthet, skyddas den av ett fluxpulver som ligger över smältan under svetsningen. Pulvret bildar en slaggskorpa som i regel lossnar av sig själv när svetsfogens temperatur sjunker. I det fall som slaggskorpan inte lossnar behöver svetsaren knacka loss slaggen för hand.

3.2 Svetskranar

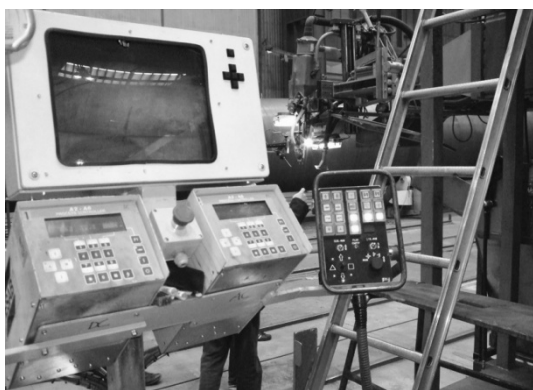
Då svetsning sker på distans är oftast svetsen monterad på en stor kran. Kranen gör det möjligt att svetsa flera meter upp i luften medan operatören står på marken och styr den. Längst fram på svetsen sitter svetshuvudet som det står mer om under nästa rubrik. Längre ner på svetsen sitter styrfunktionen samt el-komponenterna för strömgenereringen. En svetskran innebär i korthet att man sätter svetsens främre komponenter på en kran medan de övriga komponenterna är i markhöjd.

3.3 Svetshuvudet A6

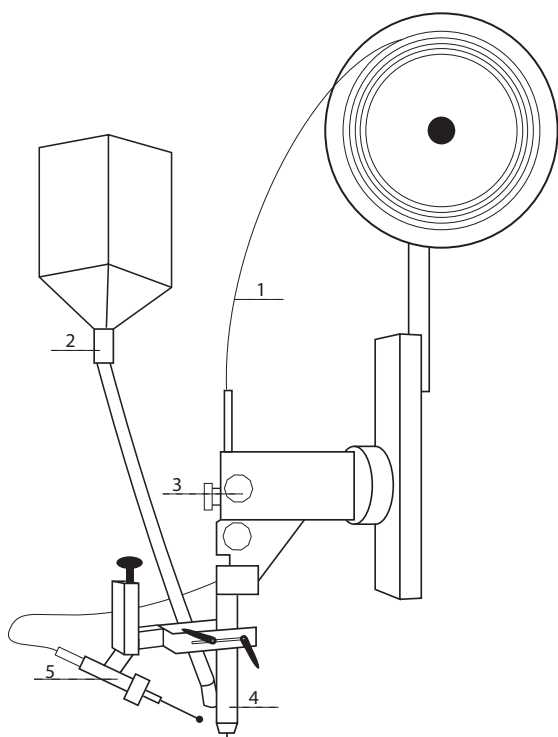
ESABs svetshuvud A6 är ett verktyg för pulverbågsvetsning (SAW). Det är det större av de två verktygen A2 och A6 och hanterar svetsgodstjocklekar på upp till 100 mm med en enkel eller dubbla svetstrådar. I A6-serien kan tjockleken för en enkel svetstråd vara upp till 5mm, varför det krävs en mycket stark motor för att mata fram svetstråden. Svetshuvudet kan användas ensamt eller i en tandemkonfiguration för att klara dagens krav på högeffektiv produktion, se Figur 2. Produkten kan monteras på exempelvis svetskranar, svetraktorer, svetsportaler och längdsvetsfixturer där det fungerar automatiskt med förinställda parametrar. Styrningen av svetsprocessen regleras från en kontrollpanel, se Figur 3.



Figur 2 Tandemkonfiguration



Figur 3 Kontrollpanel



Figur 4 Schematisk bild av svetshuvud A6

1. Svetstråd
2. Fluxbehållare
3. Trådriktare
4. Svärd
5. Styrfinger

Svetshuvudets huvudkomponenter syns i Figur 4, varav de vanligaste är svetstråd, fluxbehållare, motor, svärd och kontaktbackar vilka kan placeras på olika sätt beroende på tillämpning, se Figur 5. Rullen med svetstråd behöver exempelvis inte alltid sitta på huvudet utan kan istället vara placerad på kranen eller på marken. I övrigt finns det komponenter tänkta att hjälpa till att centrera svetstråden över fogen under själva svetsprocessen, placera fluxpulvret och se till att svetstråden är så rak som möjligt när den kommer ner genom svärdet.



Figur 5 Kontaktbackar

I Figur 4 syns svetstråden [1] som sitter placerad uppe på svets huvudet. Svetstråden är upplindad på en rulle som fritt löper när motorn drar i den. Fluxbehållaren [2] är också den placerad uppe på svets huvudet. Fluxpulvret rinner självt ner, genom röret, under svetsningen och flyter jämt ut över fogen. [3] visar trådmatarmotorn. Dess uppgift är att kontinuerligt mata svetstråden med rätt hastighet ner till svetsfogen. När svetstråden lämnar motorn åker den ner i svärdet [5]. Det består av ett långt metallrör och längst ner sitter två kontaktbackar som klämmer runt svetstråden med en kraft på 250 N. Kontaktbackarnas uppgift är främst att strömsätta svetstråden men även positionera den i mitten av svärdet. Styrverktyget [4] som ser till att avståndet mellan svets huvudet och arbetsstycket är konstant men också att den är centrerad över skarven mellan arbetsstyckena. Något som i så gott som alltid finns på huvudet och som inte finns på bilden är en dammsugare för att suga upp fluxrester.

3.4 Säkerhet och arbetsmiljö

ESAB har själva tagit fram säkerhetsinformation för sin svetsutrustning i dokumentet ”Svetsning och skärning – risker och åtgärder”, (ESAB 2009). Detta dokument innehåller krav och riktlinjer för hantering av skär- och svetsutrustning och kan ses som en detaljerad, men nerkortad manual, gällande svets säkerhet. Dokumentet innehåller detaljbeskrivningar av vad man bör tänka på när man hanterar en svets och förutsätter mycket förkunskaper i ämnet.

I dokumentet föreslås ett antal åtgärder för att förbättra svetsarens arbetssituation, bland annat att man skall förmedla fakta om hälsorisker i samband med svetsning, automatisera svetsprocessen med robotar och skydda svetsaren från strömkällans magnetfält genom att placera den någon meter bort.

Den strålning och det stänk som är vanligt i MIG/MAG svetsning är inget problem vid pulverbågsvetsning då smältan sker under ett skyddande fluxpulver. Temperaturen är inte heller av större betydelse eftersom fluxpulvret absorberar en stor del av värmestrålningen, den enda risk som föreligger där är att svetsaren kan komma åt arbetsstycket efter det att fluxpulvret sugits upp, men fogen fortfarande är varm. Arbetsmiljön för svetsaren är betydligt bättre vid denna process jämfört med andra typer av manuell svetsning då operatören befinner direkt vid svetsfogen. Vid pulverbågsvetsning, som styrs av automation, befinner operatören istället på ett betydligt längre avstånd från svetsfogen och utsätts då inte för samma risk i form av värme och svetsstänk.

Ur bullersynpunkt är pulverbågsvetsning en skonsam process då den är förhållandevis tyst jämfört med andra verkstadsoperationer. Det enda ljud som uppstår är ett fräsande som även det till viss del dämpas av fluxpulvret.

Ergonomiskt sett föreligger risk för statisk belastning då svetsaren vid manuell trådklippning på högt uppsatta eller svårtillgängliga ställen kan tvingas hålla händerna över huvudet eller hålla rygg, eller andra kroppsdelar, i obekväma ställningar för att komma åt att klippa av svetstråden.

4. Genomförande och resultat

Nedanstående text behandlar genomförandet av projektet, med början från det att uppdraget definierats, och går igenom hur arbetet lades upp samt det resultat som framkom i respektive delsteg av processen.

4.1 HTA

Första steget i processen var att sammanställa en uppgiftsanalys; HTA, se Appendix A, som visar de delsteg som finns i klippprocessen genom att bryta ner huvudmålet, i detta fall klippning av svetstråd, till delmål som att lyfta svetshuvudet, flytta huvudet från arbetsstycket, mata ut svetstråden osv. Analysen gav en överblick över klippningens olika delsteg och fungerade som en hjälp i vidare arbete.

4.2 Funktionsträd

Steg två i denna process var att sammanställa ett funktionsträd, se Appendix B, där brainstorming ledde fram till olika sätt att kapa en svetstråd med undergrupperna drift och avverkning. Den här analysen bidrog till en översikt av kapningsmetoder, såväl existerande, som nya, som sedan användes i den fortsatta idégenereringen.

4.3 Expressionboard

I inledningsfasen av projektet togs även en expressionboard fram, se Figur 6 eller Appendix C, som med ett antal utvalda bilder, skulle illustrera det produkten var tänkt uttrycka. Syftet med expressionboarden var att skapa ett diskussionsunderlag under utvecklingsarbetet samt att forma gemensamma riktlinjer för vad en klippmodul från ESAB ska kommunicera rent uttrycksmässigt. Viktiga kärnord som valdes till uttrycket var säkerhet, robusthet, funktionalitet och pålitlighet.



Figur 6 Expressionboard

4.4 Konkurrentanalys

ESAB har många konkurrenter både i Norden och i övriga världen, men ser amerikabaserade Lincon Electronic som sin huvudkonkurrent.

Efter att ha undersökt svetsmarknaden, genom att ställa direkta frågor till några av de stora svetstillverkarna; Axson, Motoman, Kemppi, Alexander Binzel AB, Lincoln och Oerlikon, framkom att det finns få aktörer på SAW-svetsmarknaden och än färre som har en automatiserad lösning på att kapa svetstråden. De tillfrågade företagen, förutom Oerlikon, var inte inriktade emot SAW-svetsar utan hänvisade istället till ESAB, som enligt dem skulle vara kunniga inom detta område och också dominera den nationella marknaden inom svets och skärutrustning.

Oerlikon är ett företag som har ett komplett program från små traktorer, seamers, kranar och större anläggningar. Man jobbar kontinuerligt med utveckling av detta program, till exempel styrning av svetsprocessen, utrustning, åtkomlighet mm. Forskning och utveckling inom området bedrivs ständigt och man har 150 personer som jobbar enbart med utveckling av svetsprocesser och lika många som jobbar med själva svetsutrustningen. Oerlikon har en automatiserad kapning av svetstråden som, enligt egen utsago, är en bra lösning, vilket

är intressant då automatiserad kapning är ett stort problem för deras konkurrenter. Mer detaljer än så vill Oerlikon inte delge då informationen om den automatiska klippmodulen inte är officiell förrän den nya lösningen lanserats (Eriksson, 2009).

Denna nya vetenskap gav insikt i att problemet med automatiserad klippning går att lösa och att denna nya lösning i så fall är relativt ensam på marknaden, vilket gör den värdefull för det företag som står bakom lösningen.

4.5 Studie av svetsmiljön

Genom besök i såväl ESABs testanläggning i Laxå, ESABs processlabb i Göteborg och hos ett urval av ESABs kunder skapades en bild av hur dagens svetsmiljö såg ut och också i vilket sammanhang den nya kapningsmodulen var tänkt att användas. Kunderna valdes utifrån den miljö den nya modulen var tänkt att göra mest nytta och besöken kunde på så sätt anpassas för det aktuella problemområdet.

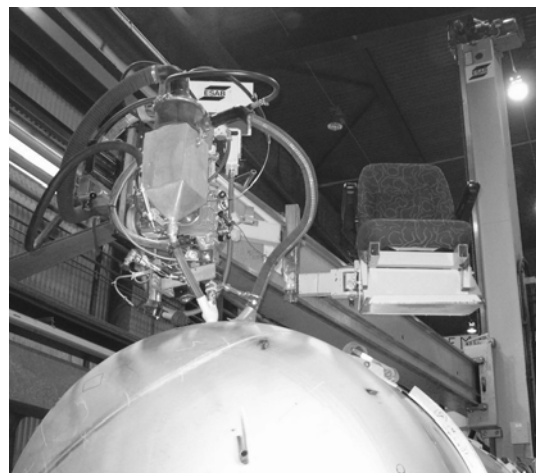
De företag som besöktes under arbetets gång var Cryo i Göteborg, Metso Power i Göteborg, EWP i Malmö och ESABs egna anläggningar i Laxå och Perstorp. Anledningen till att besök gjorts hos flera olika kunder är att svetshuvudet och dess tilläggsmoduler anpassas efter kundens egna krav och önskemål och därför inte ser likadant ut på alla ställen.

Informationsinsamling har skett genom intervjuer med allt från konstruktörer och säljare till de svetsare som till vardags jobbar med aktuellt svetshuvud. Intervjuerna utfördes vid olika tillfällen i samband med studiebesöken och var strukturerade på olika sätt, vissa ostrukturerade och andra semistrukturerade. Se intervjumall i Appendix D. De olika intervjuformerna användes beroende på den miljö där intervjun ägde rum samt vad målet med intervjun var; om man önskade att intervjupersonen skulle tala fritt i ämnet eller om man hade specifika frågor som man ville ha svar på. I de närmast följande avsnitten presenteras en del av den information som samlades in under studiebesöken. Annan information som framkom finns presenterad under respektive område.

4.5.1 Cryo, Göteborg

Cryo är ett företag som tillverkar tryckkärl för transport av nerkyld flytande gas för bland annat båtar och lastbiltransporter, där de står för hela tillverkningsprocessen av semitrailers från fördimensionerade plåtar till montering av manöverdon. Cryo gör även fasta anläggningar för förvaring och hantering av gas.

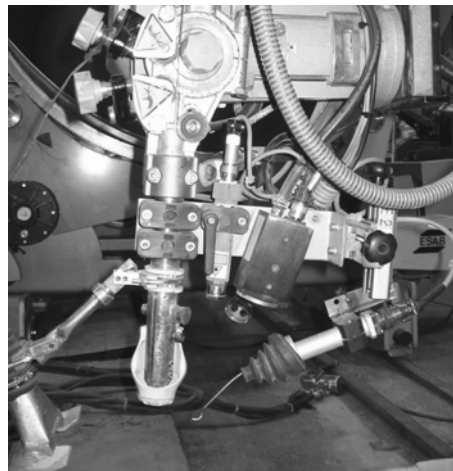
Under besöket på Cryo gavs en första inblick i hur svetshuvudet används i en verklig situation; i detta fall ett svetshuvud monterat på en svetskran där övervakaren satt i en stol uppe på kranen, se Figur 7, och skulle svetsa fast ett ändstycke på en tank med en godstjocklek på 3 mm av samma tjocklek med hjälp av en enkeltråd på 2,4 mm och en V-fog.



Figur 7 Operatörsstol

Cryos svetshuvud hade följande tillbehör: dammsugare, fluxtratt, laser, kamera, lampa och styrfinger, se Figur 8. Utav dessa användes bara dammsugaren och styrfingret. De hade även monterat på en riktare av svetstråden för att undvika att den böjdes och försämrade svetsresultatet.

Svetsprocessen är svår för svetsaren att övervaka och Cryo har därför monterat en spegel på foten av svetskranen för att kunna se insidan av tanken när de svetsar utsidan av tanken. Detta gör att operatören kan övervaka vilken färg arbetsstycket har och genom denna indikation kunna avgöra om svetsparametrarna är korrekta eller ej. Cryo har även gjort försök med att montera en vanlig kamera istället för den nuvarande spegeln, vilket dock inte fungerade på önskvärt sätt. Här skulle således en mer automatiserad svetsning vara till stor hjälp.



Figur 8 Tillbehör till A6 svetshuvud

4.5.2 ESAB, Laxå

I Laxå har ESAB sin största anläggning i Sverige. Här sker monteringen av bland annat de svetskranar som projektet berör. Många konstruktörer och utvecklare är stationerade i Laxå och levererar tillsammans helhetslösningar för svetsning och skärning till kunder över hela världen. I Laxå finns även ett democenter där flertalet av ESABs produkter är uppställda för demonstrering. Här kan kunder även själva få prova på allt från manuell till helautomatiserad svetsning för att få en ökad inblick i hur processen egentligen går till.

Besöket på ESAB Laxå gav mer information om svetsmaskinerna, de tillhörande modulerna och svetsprocessen i stort. Vid samtal med personalen i Laxå framkom också riktlinjer för A6-svetsen och den klippmodul som skall tas fram:

- Hydraulik är ej rekommenderat då hydraulvätska kan läcka. För hög spänning är inte heller bra eftersom det är en säkerhetsrisk. Idag är det 50 V på det mesta kring kranen.
- Byte från twin till enkeltråd sker inte särskilt ofta. Backar byts 1 ggr/vecka eller oftare.
- Vissa typer av fogar medför att utrymmet runt svetshuvudet begränsas. Kålfog svetsas exempelvis med 30 graders vinkel mätt uppifrån, vilket medför att svetsutrymmet blir litet.

Under Laxåbesökets gavs även information om tidigare forskning inom trådkapningsområdet, vilket presenteras i avsnitt 4.5 - Tidigare studier av klippning av svetstråd.

4.5.3 EWP, Malmö

På EWP svetsas vindkraftsverk med bland annat med ESABs svetshuvud i A6-serien. Svetsarbete sker på hög höjd och är därför den miljö som ställer störst krav på den kapningsmodul som skall tas fram och också den miljö där kapning av svetstråd på distans är mest angeläget.

EWP har två olika varianter av operativt arbete när det kommer till A6-svetsar. Antingen sitter svetsaren uppe på svetsobjektet och styr manövrering av slaggborttagning och svetskontroll manuellt, eller så sitter svetsaren i en stol framför ett kontrollbord nedanför svetsen och styr svetsen på distans. Under besöket framkom att det funnits stor skepsis till att införa distansstyrning av svetsprocessen, men att stationen, sedan den infördes, blivit allt mer populär och nu är den station som de flesta svetsare föredrar.

Att pulverbågsvetsa runt ett rör 4 ggr tar cirka 20 till 90 minuter beroende på rördiametern.

Arbetsmoment vid pulverbågsvetsning av rör:

1. Vattenpassinställning av centrumläge för svetsen
2. Start av hastighet och strömtillförsel
3. Start av rullbrickorna som röret ligger på
4. Start av likström
5. Start av växelström
6. Objektet svetsas samman
7. Avstängning av likström och växelström
8. Klippning av svetstråd

De operationer som idag inte görs på distans är:

1. Förinställning av svetsposition; operatören ställer in centrum med vattenpass och är då uppe på svetsobjektet.
2. Avklippning av svetstråd.

Därutöver kan det tillkomma arbete då fel uppstår; t.ex. slipning efter att svetsen bränt igenom, efterarbete på grund av en dålig start, bortförsel av slag eller utredande av svetstrådtrassel. Dessa problem stoppar upp processen och är de största hindren för en problemfri, helautomatiserad svetsprocess.

Eftersom det är besvärligt, farligt och tidsödande att klättra upp och klippa av svetstråden, förekommer det att operatörerna istället skrapar bort oxiden mot arbetsstycket, med såkallad skrapstart, och på så sätt startar svetsprocessen. Skrapstart innebär att svetstråden dras mot arbetsstycket, så att oxiden försvinner, till dess att elektrisk kontakt fås och tändning kan ske. Problem uppstår när svetstråden inte tänds tillräckligt fort samtidigt som ny svetstråd matas ned i fogen. Det innebär att svetstråden böjs och efter en stund bildas en kortslutning mellan trådsidan och arbetsstycket. Resultatet av detta blir att svetstråden smälter av vid en punkt och fastnar i svetsfogen, som då blir långt ifrån en fullständig svetsfog. Den fastbrända svetstråden måste nu tas bort innan dess att en ny svetsstart kan påbörjas. En operatör uppgav, vid intervju, att han, med den här metoden, misslyckas att tända var 5:e till 6:e gång.

Vid klippning av svetstråd eftersträvar man en spets på svetstråden, då detta underlättar tändningen genom att strömkoncentrationen på den spetsiga tråden blir högre och det gör att ljusbågen startar lättare.

Den intervjuade svetsaren sade sig vara skeptisk till nya hjälpmedel och ville att den nya kapningsmodulen skulle vara separat så att det fanns möjlighet att välja bort den.

4.5.4 Övriga besök

Utöver ovan beskrivna studiebesök, besöktes även Metso i Göteborg och ESABs anläggning i Perstorp.

Metso är ett företag som använder ESABs A6-svetshuvuden i sin produktion och syftet med besöket var att få en inblick i hur svetshuvudet kan användas idag. Dock var Metsos svetshuvud både gammaldags som ovanligt och liknade inte dagens standardsvetshuvuden inom A6-serien. Detta svetshuvud togs därför inte i beaktande i kommande arbete.

ESAB Perstorp tillverkar elektroder som används vid svetsning. Studiebesöket var tänkt att undersöka olika typer av kapningsmetoder som kan tänkas vidareutvecklas från kapning av svetstråd till elektroder till kapning av svetstråd efter färdig svetsning. Besöket innefattade visning av olika maskiner som kapade trådar av samma typ som svetstråden, men dessa maskiner var alla för stora för att direkt, eller med smärre justeringar, kunna användas för att klippa svetstråden i A6-svetshuvudet.

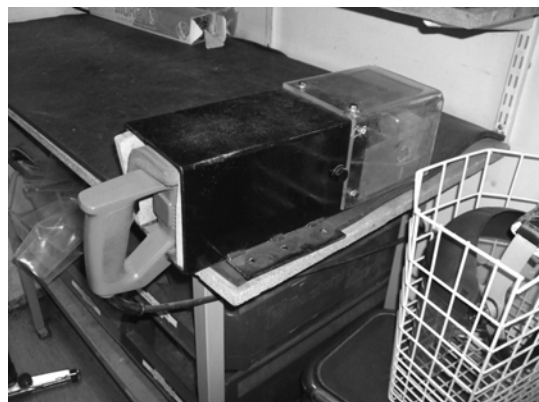
4.6 Tidigare studier om kapning av svetstråd

Som tidigare nämnts har ESAB arbetat med utveckling av ett automatiskt klippverktyg under lång tid, dock utan önskat resultat; en kapningsmodul i lagom storlek med kraft att kapa svetstråd i önskvärda diametrar. Man har bland annat konstruerat en automatisk trådklippare som drivs med tryckluft, se Figur 9, som dock inte levde upp till alla de krav som ställs på ett sådant klippverktyg. Problemen med den utvecklade saxen var att den flyttade svetstråden lite i sidled samt att den nätt och jämt klarade att klippa 4 mm svetstråd och verktyget sågs således inte som en hållbar lösning på problemet.



Figur 9 Trådklippare med lufttryckdrivning

I praktiken förekommer det idag att svetsoperatören, med motorkraft, drar tillbaka svetstråden och låter klumpen i slutet av svetstråden skavas av, vilket man inte rekommenderar från ESABs sida då kontaktbackarna är gjorda i koppar som är ett mjukt material som lätt kan slitas och då behöver bytas ut allt för ofta. Ett annat problem med denna metod är att det inte är säkert att man lyckas få bort klumpen och istället får en felaktig början med en osmält bit svetstråd fastsmält i svetsfogen. Svetsaren behöver då slipa bort den felaktiga svetsningen för hand, vilket är både ansträngande och tidskrävande.



Figur 10 Pneumatisk sax

ESAB har även testat att skruva fast ett skär längst ned på svärdet där svetstråden kommer ut, som var tänkt att skära av svetstråden då den backades av. Inte heller detta resultat var tillfredsställande och man gjorde inte fler efterforskningar på området. (Andrén 2009).

Under studiebesök på ESAB Perstorp upptäcktes även ett hemmabygge av en pneumatisk sax monterad på en tryckluftskolv, se Figur 10. Saxen kunde klippa armeringsjärn, men var fortfarande i ett experimentstadium.

För större bilder se Appendix E.

4.7 Testning

När det hade konstaterats att försök till kapningsverktyg på distans hade gjorts utan önskat resultat, samt att det fanns ett stort behov av denna typ av produkt ute hos kunderna, inleddes tester av svetshuvudet. Testerna skulle utröna hur rak svetstråden är när den har passerat motorn, samt hur stort slitage det blir på kontaktbackarna om svetstråden pressas igenom dessa utan att trycket på dem har släppts. Att få svar på dessa frågor var av stor betydelse för fortsatt arbete då de påverkade hur den nya kapningsmodulen behövde utformas och fungera.

Testet rörande svetstrådens raket utfördes genom att den löstagbara delen av svärdet, med den ena kontaktbacken, lossad från övriga svärdet så att bara halva nederdelen av svärdet fanns kvar, se Figur 11. Svetstråden började sedan köras fram och observationer gjordes på hurvida svetstråden, utan mothåll, gick rakt eller böjde av efter att ha lämnat det slutna svärdet.

Det visade sig att svetstråden började böja av så fort den lämnade det slutna svärdet och hade böjt av så pass mycket vid backarnas slut att det skiljde över en halv centimeter från det tänkta centrumläget. Svetstråden hade på så sätt lämnat spåret i backarna helt och hållet och alternativet att föra ned svetstråden genom öppna kontaktbackar kunde således uteslutas.



Figur 11 Lossning av kontaktbackar

Slitage-test utfördes genom att änden på en rostfri 4 mm svetstråd med handkraft skrapades mot ett par kontaktbackar för att se om det uppstod slitage. Ett antal försök gjordes med olika mycket kraft för att få en uppfattning om hur stor kraft som behövs för att göra åverkan på backen. Det gjordes även ett test i form av att klippa av en liten bit tråd och placera denna i kontaktbackarna tillsammans med resten av tråden bakom och skruva åt till rätt kontaktryck erhöles för att därefter slå med en gummihammare för att se om det blev något slitage. Märkena som uppstod utvärderades sedan både visuellt och genom att med handen känna efter hur djupa de blev.

Resultatet var att kontaktbackarna slets så att spår bildades, samt att viss spånbildning skedde. Detta antas även uppstå då trådens spets förs ner igenom stängda backar. Detta ledde till att besluts togs om att den nya kapningsmodulen inte fick fästas eller på annat vis ingripa på kontaktbackarna, samt att lösningen måste underlätta styrningen av svetstråden ner i backarna och att den i så stort mån som möjligt hålla tråden rak både innan och efter det att den är kapad.

4.8 Produktidentitet

För att behålla ESABs designuttryck i den nya modulen samt för att få den att smälta in i övrig svetsutrustning, gjordes en produktidentitet, se Figur 12 eller Appendix F, med bilder på olika befintliga ESAB-produkter samt ord som på olika sätt beskrev ESABs produkter och även skulle kunna användas för att beskriva den nya modulen.



Figur 12 Produktidentitet

ESABs produkter, svetsutrustning, skydd, verktyg mm, har en hel del likheter i sin identitet trots att produkterna i stort, särskilt de stora svetsmaskinerna, känns obearbetade designmässigt. Ord som beskriver produktidentiteten för ESABs produkter är pålitlig, enkel, robust, kantig, retro, vass, stabil och neutral. Vissa av ESABs produkter består till stor del av hopsatta komponenter i grundformer med skarpa kanter som ger ett omodernt uttryck. Vad gäller färgsättning går många av produkterna, i synnerhet de små, i svart och gult; ESABs färger. Svart och gult är färger som uttrycker varning (exempelvis getingar), vilket gör att man inte lockas att gå fram och ta på maskinen i onödan. Den svart-gula färgsättningen går förlorad i takt med att maskinerna växer och merparten av konstruktionen blir istället metalliskt grå. På de stora maskinerna är det ibland även svårt att se ESABs logotyp, vilket inte är bra eftersom man gärna vill att brukarna tydligt skall kunna se vem som har tillverkat produkten. Det genomgående intrycket av ESABs produkter är att fokus ligger på funktion och inte på design. Man kan dock, på deras nya produkter, exempelvis svets hjälm och glasögon, se att form och färg får allt mer betydelse även i denna bransch.

Dagens produktidentitet hjälper till att uttrycka stabilitet och funktionalitet, vilket är viktigt då produkterna riktar sig till kunder i industrin där man hellre har en mindre attraktiv produkt som fungerar än en estetiskt tilltalande produkt vars funktionalitet är bristfällig.

På grund av det faktum att ESABs produkter är så pass obearbetade designmässigt är det inte aktuellt att ta fram en alltför uttrycksfull eller modern modul, som riskerar att sticka ut för mycket från övriga komponenter.

4.9 Kravformulering

Vid utveckling av en produkt till en tänkt kundgrupp är det viktigt att identifiera deras behov och önskemål på produkten för att kunna skapa en lösning som riktar sig till rätt målgrupp. Även andra intressenters krav och önskemål tas i anspråk för att skapa en så exakt kravbild som möjligt. Utan denna analys riskerar produktutvecklaren att skapa en produkt som inte går att sälja eftersom den inte uppfyller kundernas behov på en sådan produkt och då inte ses som behövlig av målgruppen.

Analysen gällande målgruppens krav och önskemål, inleddes genom att ställa upp en kriteriematris med de riktlinjer som ställts upp för projektet. Kriterierna viktades sedan mot varandra för att visa vilka kriterier som var viktigast att fokusera på för att produkten över huvud taget skulle uppfylla sin tänkta funktion. Här såg man tydligt att de prestandabetonade kriterierna, tillsammans med ESABs krav på att svetsfogens kvalitet inte får påverkas, dominerade. Den viktade kriterielistan, som hittas i Appendix G, hjälpte även till att dela upp kriterierna i krav och önskemål, se Appendix H, där de uppställda kriterierna omvandlades till

antingen krav eller önskemål beroende på det värde de fick i den tidigare viktningen där kriterierna med högst värde blev krav och de med lägst värde blev önskemål. Viss anpassning gjordes även ifall ett kriterium som hamnat som önskemål sågs som ett krav från ESAB och istället sattes som ett krav. Vissa kriterier har även tagits bort då de inte sågs som lika viktiga i sammanhanget eller som inte gick att bedöma under projektet.

4.10 Miljöanalys

Nedan beskrivs aspekter som uppmärksammats som viktiga för hållbarhetspåverkan ur socialt, ekologiskt och ekonomiskt perspektiv för den automatiska kapningsmodulen under dess livstid.

Framställning av råmaterial

Tillgången på de råmaterial som används i produkten bör vara god. Det bör tas hänsyn till framställningens belastning på miljön. Om möjligt bör återvunnet material användas istället för råmaterial.

Tillverkning

Energiåtgång vid tillverkning av produkten bör minimeras. Minimera användning av hälsofarliga ämnen såsom toxiska material. Vad gäller arbetsvillkor bör dessa vara utformade så att inget tvångs eller barnarbete förekommer hos tillverkaren.

Distribution och försäljning

Vid val av förpackningsmaterial bör hänsyn tas till materialåtgång och möjligheten att återvinna materialet. Eftersträva att reducera transporter som påverkar miljön med utsläpp och energiförbrukning.

Användning

Under användningen bidrar energiförbrukningen till miljöpåverkan. Denna bör minimeras. Produkten ska inte förbruka energi då den inte används. Materialförbrukningen under användningen ska minimeras. Trådrester ska inte vara längre än nödvändigt.

Resthantering

Möjlighet att kunna separera material för att enklare kunna återvinna produkten. Det råmaterial som används bör kunna återanvändas i så stor utsträckning som möjligt. Eftersträva att inte använda fler materialsorter än vad som är nödvändigt.

Övrigt

Produkten ska uppfylla alla lagar och bestämmelser samt ESABs egna miljöstandard. Att medge möjlighet till att uppgradera en äldre svets med kapningsmodulen skulle kunna bidra till att brukaren väntar några år med att köpa en ny svets, vilket i sin tur skulle leda till minskad miljöpåverkan.

4.11 Idégenerering och utveckling

Det finns flera olika metoder för att generera lösningar till trådkapningsproblemet. I detta fall användes i huvudsak brainstorming i kombination med funktionsträd för att hitta lösningar till olika delfunktioner såsom kapningsmetod, kraftkälla och upphängning. Med hjälp av skisser och modellbygge genererades ett stort antal, mer eller mindre realiserbara, lösningar på

kapningsproblemet. Ett urval av dessa presenteras i Appendix I och Appendix J, varav de bästa sedan sällades ut för att använda i vidare utveckling.

I början av idégenereringsfasen satt projektgruppen var för sig och tog fram idéer för lösningar på huvudproblemet; att klippa svetstråd på distans. I detta tidiga skede användes metoden brainstorming och alla idéer var tillåtna, såväl realistiska som mer orealistiska. Därefter samlades gruppen och tog del av varandras idéer.

I nästa steg genomfördes en mer strukturerad idégenereringsfas där olika lösningsförslag kombinerades, delfunktioner specificerades och nya lösningar togs fram för respektive dellösning. I detta arbete användes även expressionboard, funktionstråd och morfologisk matris för att, på ett mer metodiskt sätt, generera idéer anpassade för de tidigare uppställda projektramarna gällande krav, önskemål och uttryck, se Appendix L.

Idégenereringen resulterade i fyra lösningar på vart den nya kapningsmodulen skulle placeras; före backarna, integrerat i backarna, under backarna eller som ett frammatat verktyg. Idéer fanns även om att ”TIG:a av” svetstråden med hjälp av elektricitet, att smälta av svetstråden med en värmeslinga, att vässa av svetstråden som man vässar pennor eller att backa av svetstråden mot ett fastmonterat skärstål.

De olika lösningarna viktades sedan mot kravlistan med hjälp av en Pugh-matris, se Appendix K. Resultatet här blev att det var bäst att ha kapningsmodulen ovanför backarna eller som ett frammatat verktyg, följt av att ha kapningsmodulen integrerat i backarna. Utifrån denna analys valdes fyra lösningar ut till vidare utveckling; kapning före backarna, kapning under backarna, kapning genom att backa av svetstråden mot ett fastmonterat skärstål och kapning med ett frammatat verktyg. De fyra lösningarna viktades sedan mot varandra i en morfologisk matris efter de tidigare uppställda kraven. Resultatet blev att det var bäst att kapa svetstråden ovanför backarna, alternativt att ha ett frammatat externt verktyg som kapar tråden. På andra och tredje plats kom att ha en klippmodul integrerat i backarna respektive att backa av svetstråden mot skärstål. Resultatet av matrisen gav en indikation om vilken typ av lösning som svarade bäst mot de uppställda kraven, men lades sedan på is fram till dess att färdiga koncept tagits fram för respektive lösningsförslag.

Utifrån ovan beskrivna resultat utvecklades fyra koncept som på olika sätt löste kapningsproblemet av svetstråden.

4.12 Konceptpresentation

Idégenerering och inledande utvecklingsarbete ledde fram till fyra koncept; två stycken som kapar svetstråden efter kontaktbackarna, ett som kapar innan kontaktbackarna och ett koncept som är en extern modul.

4.12.1 Koncept 1

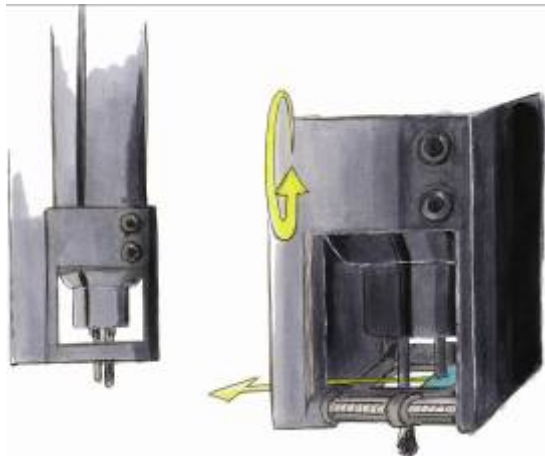


Det första konceptet, Figur 13, är en enkel och smidig lösning som tar tillvara på den kraft som genereras av en befintlig A6 motor. Idén bygger på att ett skärstål monteras horisontellt längst ned på svärdet. Skärstålet har ett hål precis så stort att svetstråden löper fritt igenom utan att skrapas mot kanterna av stålet. När svetsfogen är avslutad kommer trådändan att vara full

av kiseloxid och fluxrester vilket leder till att den inte längre får plats genom det befintliga hålet. Motorn körs då baklänges, vilket gör att svetstråden kommer åka upp genom hålet igen och antingen skäras av eller dras av vid kanten. Oavsett vad som händer kan en ny svetstråd matas ut igen genom hålet och svetsprocessen kan starta om på nytt.

Konceptet leder till att det kommer att bli en betydligt mer kontrollerad variant på skrapstart än den som används av brukarna i dagsläget. Skärstålet kommer inte att ta någon större plats när den sitter fastmonterat på huvudets nedre del och klarar alltså alla typer av svetsning, även mer kritiska typer av svetsfogar såsom kälfog, där man måste vinkla huvudet. Infästningen av stålet kommer att ske med hjälp av fyra skruvar, två på var sida om svärdet. Detta kommer kräva längre skruv för att fästa backarna då de befintliga hålen används. Tillverkningskostnader för konceptet kommer att bli små i jämförelse med de andra koncepten på grund av att det inte krävs några rörliga delar och att den använder den befintliga A6 motorn som kraftkälla.

4.12.2 Koncept 2



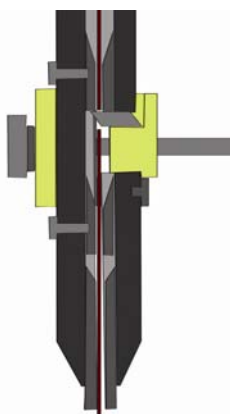
Figur 14 Koncept 2

Det andra konceptet, Figur 14, bygger på att svetstråden klipps av med hjälp av ett anhåll och en rörlig platta. Anhållet är en platta med ett hål i där svetstråden löper igenom utan kontakt. Plattan fästs på svärdet med fyra stycken bultar. För att kunna fästa verktyget i huvudet kommer det att behöva borrar nya skruvhål i svärdet. Själva klipplattan ligger precis under anhållet och rör sig med hjälp av två stycken trapetsgångor vilka överför en roterande kraft till en axiell kraft. Kraften är tänkt att komma från en extern kraftkälla och överförs med remdrift till gångorna. Detta för att kunna få lite flexibilitet i sidled och remmen späns med hjälp av en fjädrad skruv som lossas

när backarna behöver bytas. När svetstråden ska kapas kommer den ligga mot anhållet och den rörliga plattan förs mot tråden, som till slut skjivas av.

Kraften som uppstår vid klippningen tas upp av verktyget och påverkar därmed inte huvudet i någon större utsträckning. Själva klippmodulen är oberoende av vad det är för svetstråd som kommer att användas vid svetsningen, singel- eller twindrif. Konceptlösningen klarar även alla förekommande tråddimensioner.

4.12.3 Koncept 3



Figur 15 Koncept 3

Det tredje konceptet, Figur 15, är ett system för att klippa svetstråden ovanför kontaktbackarna. Det är en tredelad konstruktion där bakstycket fäster i svetsshuvudet, delen i mitten ersätter den nuvarande komponenten för fasthållning av kontaktbackarna och den tredje delen har ett skärverktyg snett monterat inuti sig för att skapa en spets, vilket är tänkt att underlätta vid tändning av svetsbågen. Dessa delar hålls samman och drivs av två långa skruvar i två genomgående gängade hål. I konceptet ingår även två pluggar som sätts i svetsshuvudet, en ovanför och en under kapdelen. Den nedre pluggen

är till för att styra den nya svetstråden rätt i kontaktbackarnas spår för att undvika onödigt slitage på kontaktbackarna och är utformad som en tratt för att lätt kunna fånga upp den nya svetstråden på ovansidan och med rätt dimension vid undersidan. När de två skruvarna roterar kommer delen som håller skärverktyget röra sig mot svetstråden och klippa av den mot kanten av pluggen. Samtidigt rör sig mittpartiet bort från bakstycket. Hålen på mittkomponenten är gängade på motsatt håll jämfört med skärdelen, vilket gör att trycket på kontaktbackarna släpps och den klippa trådbiten kan falla ut med hjälp av sin egen tyngd. Skruvarna backas sedan en bit så att hålet i pluggen ovanför modulen lämnas fritt och ny svetstråd kan matas fram, varefter skruvarna backas till dess att delarna i modulen är i sina ursprungliga positioner och en ny svets kan påbörjas.

För att undvika att strömmen överförs via pluggarna eller skärstålet kommer modulen isoleras från svärdet med hjälp av ett icke ledande material och pluggarna kommer även de bestå av liknande material. Skärstålet i sig består av till exempel keramik för att undvika kryptström mellan svetstråd och skär. Byte av pluggar sker när svetstråden ska ändras från twin till singel eller mellan olika tråddimensioner samtidigt som backarna. Drivningen till modulen är en extern motor, el, luft eller hydraulik som fästs antingen direkt på svärdet eller en bit upp på huvudet. Med detta koncept hålls svärdets nedre del fri och det finns inget som är i vägen för svetsningen eller vid användning av fluxtratt.

4.12.4 Koncept 4

Konceptet 4, Figur 16, är inspirerat av ett experiment som gjorts på ESAB. Det är ett klippverktyg som monteras på en teleskopisk arm som placeras högre upp på svetskranen. När en svets är färdig höjs svetshuvudet upp, armen sträcks ut och verktyget klipper automatiskt av svetstråden. När tråden är klippt drar sig armen undan igen, till ett avstånd där den inte påverkar processen. Kraftöverföringen sker med hydraulisk pump. Eftersom experiment gjorts på detta konceptområde finns det kunskap om att grundfunktionen är realiserbar. Ett vidare arbete av detta koncept skulle innebära att förfina och förbättra utformning och prestanda. Verktyget klipper med enkelhet tunnare svetstråd men behöver utvecklas för att även klara av tjockare svetstråd och twin. Ett förslag är att göra en ”dubbelsax”, dvs. två rörliga skär och ett mothåll mellan de båda skären, för att möjliggöra klippning av twintråd.



Figur 16 Koncept 4

4.13 Konceptval

För att välja ut det bästa av de fyra koncepten användes den tidigare framställda morfologiska matrisen. Med hjälp av matrisen kunde de olika koncepten viktas mot varandra. En ny morfologisk matris behövde inte göras i detta skede eftersom huvudfunktionen med de olika koncepten fortfarande var densamma.

Utifrån tidigare insamlad kunskap om svetsprocessen och de krav och behov som finns på en ny kapningsmodul gjordes även en analys av de olika konceptens realiserbarhet. Målet med

analysen var att hitta den lösning som löste trådkapningsproblemet på bästa sätt och som var lättast att integrera med övrig svetsutrustning.

Resultatet blev att koncept 3 ansågs lösa trådklippningsproblemet på bästa sätt. En av fördelarna med konceptet är att det är anpassningsbart till olika ställvinklar på svärdet samt att det är mer flexibelt än övriga koncept då det exempelvis kan placeras inom ett brett spann på svärdet och avskiljas på ett bra sätt från resten av processen och andra känsliga komponenter på svärdet som inte får störas. Ett viktigt kriterium för val av koncept var strömöverföringen som är helt nödvändig för att hela svetsprocessen skall fungera. I koncept 3 blir detta inte något problem då den nya modulen inte inkräktar på kontaktbackarna utan är placerad ovanför dessa långt från ljusbåge och strömkrets. En annan fördel med konceptet är att modulen kan drivas av en motor som inte behöver vara i vägen vid byte av kontaktbackarna.

Del två i konceptvalet var den delredovisning, som ägde rum den 4:e mars 2009, där de fyra framtagna koncepten presenterades för sju representanter på ESAB.

På plats under presentationen var:

Billy Hög- Export Manager, Sales Support

Per Ivarsson - Export Manager, Engineering Sales

Arne Lagerkvist- Industrial Design Engineer, Global Industrial Design

Kari Lahti- Director, Engineering Sales

Anders Lord- Export Manager, Engineering Sales

Peter Söderberg- Export Manager, Engineering Sales

Björn Thor- Global Industrial Design Manager, Global Industrial Design

Målet med konceptpresentationen var att fatta beslut om vilket koncept som skulle fortsätta utvecklas så att det efter redovisning och diskussion bara fanns ett koncept kvar att jobba vidare med. Bakgrunden till att enbart ett av koncepten valdes för vidare analys var att det sågs som viktigt att i nästa steg av konceptutvecklingen endast fokusera på ett av koncepten då tiden som fanns till förfogande inte möjliggjorde vidareutveckling av fler än ett koncept med önskat resultat.

Åhörarnas spridda kompetens och bakgrundskunskaper gjorde att projektgruppen fick feedback utifrån många olika perspektiv och även på ett relativt enkelt sätt fick chans att stämna av hur åhörarnas uppfattning om produkten varierade beroende på deras bakgrund, samt vad respektive expert såg för förbättringsmöjligheter och för fördelar med de olika koncepten. Samtliga representanter från ESAB ville att projektgruppen skulle jobba vidare med koncept 3. Majoriteten såg också koncept 1 som intressant att utveckla. Kari Lahti såg även koncept 2 som intressant att jobba vidare med.

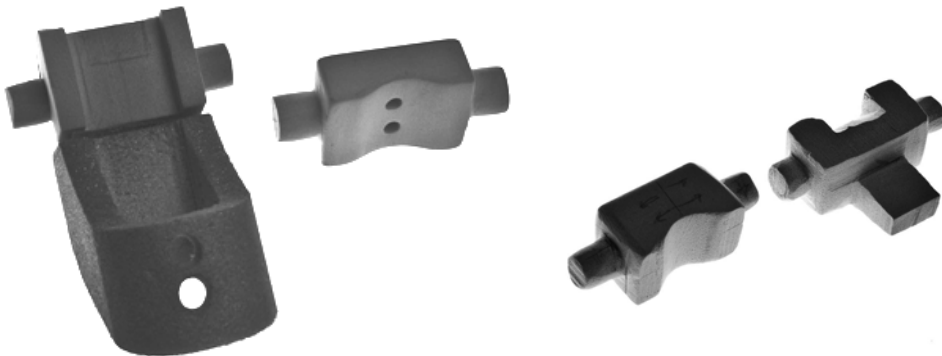
ESABs representanter hade även ett enskilt möte efter avslutad redovisning och diskussion och resultatet av detta blev att projektgruppen rekommenderades att jobba vidare med koncept 3, vilket även stämde överens med tidigare analys av de olika koncepten.

4.14 Vidareutveckling av koncept

Efter att beslut tagit om att jobba vidare med koncept nummer 3; kapningsmodul placerad ovanför backarna, fortsatte utvecklingsarbetet med vidare skisser och modellbygge för att hitta den form som var mest funktionell för modulen och det uttryck som smälte in bäst i A6 svetsens övriga form. För bilder på förstadiet till de modeller som presenteras längre ner, se

Appendix M. Målet var att göra en kapningsmodul som följde svärdets form och hade mjuka och kontinuerliga övergångar mellan ytor. Konceptets form gick från att ursprungligen ha varit fyrkantigt i formen till att bli mer kontinuerligt och strömlinjeformat.

Resultatet av vidareutvecklingen blev två koncept där kapningskraften genererades av en hydraulcylinder, integrerad i kapningsmodulen. Den första varianten, Figur 17, var tänkt att drivas av två lika stora hydraulcylindrar på var sin sida om svärdet och den andra var anpassad för en hydraulcylinder placerad bakom själva kapningsmodulen.



Figur 17 Koncept anpassat för två hydraulcylindrar

De två hydraulcylindrarna skulle fästas på de utskjutande knopparna på var sida om såväl mothållet som den stora omslutande delen som var tänkt att sitta runt svärdet. Den omslutande delen var tänkt att ha ett integrerat skärstål, samt en del som skulle öppna och stänga den lösa delen av svärdet så att svetstråden kunde trilla ur efter det att den klippts av och sedan stänga kontaktbackarna igen när svetstråd skulle föras ner i svärdet för att kunna påbörja ytterligare en svets.

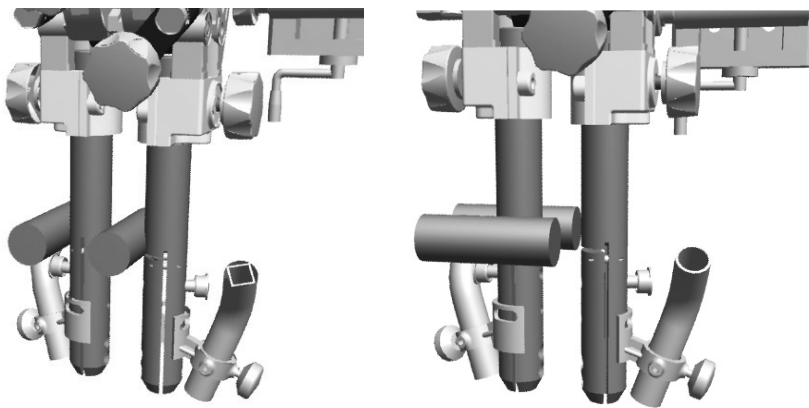


Figur 18 Koncept anpassat för en hydraulcylinder

Det andra konceptet, med endast en hydraulcylinder; Figur 18, var en utveckling av det föregående konceptet och har således samma grundfunktion som den tidigare. Vad gäller formen på kapningsmodulen var denna tänkt att likna den föregående modellen med två cylindrar, men när modellen togs fram låg fokus på att framföra funktionen hos den nya lösningen varpå den i denna form blev fyrkantig och strikt. Den egentliga formen på detta koncept var alltså en kombination av strömlinjeformen och kontinuiteten i det föregående konceptet men med en hydraulcylinder som sköt ut rakt bak från svärdet istället för åt sidorna.

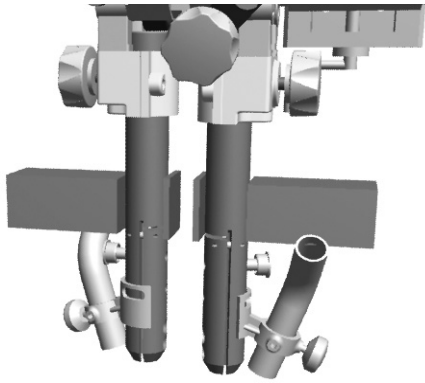
De två koncepten utvärderades under ett konsultationstillfälle på ESAB Laxå tillsammans med Gunnar Bohlin, Manager Engineering Design och Sievert Karlsson, Mechanical Design Engineer. Under konsultationen framkom att det alternativ som de ansåg var mest realiserbart var konceptet med endast en hydraulcylinder då denna dels ger en jämn klippkraft över svetstråden samt inte torde vara lika skrymmande vid tandemdrift.

Analysen fortsatte sedan genom att storleken på de två förslagen, gällande såväl kapningsmodul som hydraulcylindrar, lades in som block i Alias tillsammans med en CAD-modell av hela A6-svetsen för att utvärdera vilken lösning som var bäst gällande platsupptagning. Resultatet av detta blev att konceptet med en hydraulcylinder var att föredra då detta fick god plats tillsammans med den redan existerande utrustningen. Vid tandemkörning vändes hydraulcylindrarna bort från varandra och inkräktade således inte på varandras rörelseutrymme och inte heller på övrig kringutrustning. Konceptet med två hydraulcylindrar fungerade vid singeldrift men fick inte plats mellan de två svärd vid tandemkörning och uppfyllde således inte de uppställda kraven på kapningsmodulen som enligt kravlistan skulle kunna användas även vid tandem körning.



Figur 19 Två hydraulcylindrar på var sin sida om två svärd Figur 20 Två hydraulcylindrar på var sin sida om ett svärd

Ser man till konceptet med två hydraulcylindrar kan man bara genom att studera CAD-bilden, Figur 19, se att det inte kommer vara möjligt att placera två stycken sådana kapningsmoduler bredvid varandra på grund av att det finns allt för lite plats mellan de två svärd. Inte heller om man sätter cylindrarna utåt, såsom Figur 20 visar, kommer cylindrarna få plats då de kommer att ha en rörelse mot varandra och under själva klippmomentet krocka även om man skulle köra en sida i taget.



Figur 21 Två hydraulcylindrar på sidan om varsitt svärd

Studerar man konceptet med en hydraulcylinder vid tandem drift, Figur 21, har de två kapningsmodulerna inga problem att rymmas mellan de två svärden. Cylindern skjuter i detta fall ut på varsin sida om de två svärden och inkräktar inte på varandras utrymme.

Utfallet av denna analys blev att konceptet med en hydraulcylinder valdes för vidare arbete, vilket presenteras i nästkommande avsnitt. Där beskrivs även vilka ingrepp som behöver göras på svetshuvudet för att denna lösning skall fungera.

5. Slutgiltigt koncept – Autocut A6

Slutkonceptet har utvecklats med utgångspunkt av det koncept som presenterades i avsnitt 4.5.3, koncept 3. För att ta projektet bortom konceptstadiet krävs det att parametrar och material specificeras upp, baserat på de förutsättningar och begränsningar som finns i produktens tänkta arbetsmiljö. På så sätt fås ett underlag för beräkningar och dimensioneringar. Viktigt är också att dessa material väljs noggrant på ett sådant sätt att de ej belastar miljön i onödan eller kostar mer än nödvändigt då båda dessa faktorer har en negativ inverkan på produktens säljbarhet.

Vid valet av produktnamn undersöktes ESABs övriga produktsortiment. Produktnamnet ska säga något om vad för typ av produkt det rör sig om, det ska vara ett namn som fungerar bra internationellt och det ska ligga i linje med ESABs övriga produktnamn. Namnet bestämdes till Autocut A6; ett kort och koncist namn som refererar till vilken produktfamilj den hör hemma i och samtidigt säger något om vad produkten gör.

5.1 Presentation av Autocut A6

Den lösning som valts ut för att lösa problemet med att kapa svetstråden, är en hydrauldriven klippmodul, Figur 22, som fästs på svärdet ovanför kontaktbackarna. Produkten består av ett antal komponenter; hydraulcylinder, hydropump, svärdfäste, backhållare, skärstålsfäste, skär, klippanhåll och två stycken styrbackar. Hydrauliken är tänkt att köpas in som standardkomponenter medan övriga delar specialtillverkas av en mekanisk verkstad. Alla klipprörelser går enkelt att programmera in i en förutbestämd cykel.

Vad gäller placeringen av hydropumpen vill man undvika att montera denna nära svetshuvudet, eftersom den, då den är stor och platskrävande, begränsar rörelseförmågan under svetsprocessen. Hydropumpen är istället tänkt att placeras på svetskranen där det finns betydligt mer plats för en sådan applikation. Ingen hänsyn behöver tas till pumpens vikt, eftersom kranen klarar av att bära stora krafter.

Ett krav ESAB ställt på klippmodulen var att snittet, som bildas när svetstråden klippts, skall vara diagonalt mot svetstråden för att ge en så säker tändning som möjligt av ljusbågen vid start. Ett snett klipp reducerar trådarean och ger en högre strömtäthet vid tändningen. Kravet om snedklipp svetstråd möts genom att skärstålet fästs snett med en vinkel på trettio grader mot svetstråden. För att få lösningen att fungera vid tandemdrift, har utformningen av klippverktyget gjorts sådan att den mestadels tar plats i endast en riktning. Klippmodulerna vrids också från varandra då de monteras på tandemhuvudet för att bli mindre skrymmande. Bytet från singel- till twindrif, samt byte av tråddiameter, görs genom att byta anhållet och styrbackarna samtidigt som kontaktbackarna.

De ingrepp som måste göras på svetshuvudet är ett antal extra hål på svärdet. De nya hålen är till för att kunna fästa de olika komponenterna som tillhör klippmodulen. Ett större hål måste även göras lite ovanför svärdets delning ovanför kontaktbackarna. Detta hål är till för att



Figur 22 Autocut A6

skärstålet skall kunna gå in svärdet på denna plats och kapa av svetstråden. För exakt hålbild, se appendix N.

5.2 Hydraulcylinder och styrning



Figur 23 Hydraulcylinder

För att generera klippkraften används en hydraulcylinder, Figur 23. Den är enkelverkande, vilket betyder att den bara kan generera kraft i en riktning, och har en inbyggd fjäderretur. Trycket på kontaktbackarna har, efter beräkningar, fastställts till 250 N vid drift. Eftersom den rörliga kontaktbacken är fäst i cylindern, via fler komponenter, har även cylinderns fjäder en kraft på 250 N i sitt bakre läge. Resultatet av detta blir att det önskade kontaktbackstrycket genereras av den inbyggda fjädern i cylindern. Ett vridande moment uppstår också på hydraulcylindern genererat från

kontaktbackstrycket. Det genererade momentet är ingen fara för hydraulcylindern då den, enligt tillverkarna LALMEK AB, med god marginal klarar av att ta upp detta.

Cylindern har en slaglängd på tjugo millimeter, vilket är anpassat efter den längd som behövs för att kunna klippa av svetstråden. 16000 N är den totala kraften som hydraulcylindern kan generera, vilket, med säkerhetsmarginal, är fullt tillräckligt då den kraft som krävs för att klippa svetstråden som mest uppgår till ca 11000 N, Appendix O.

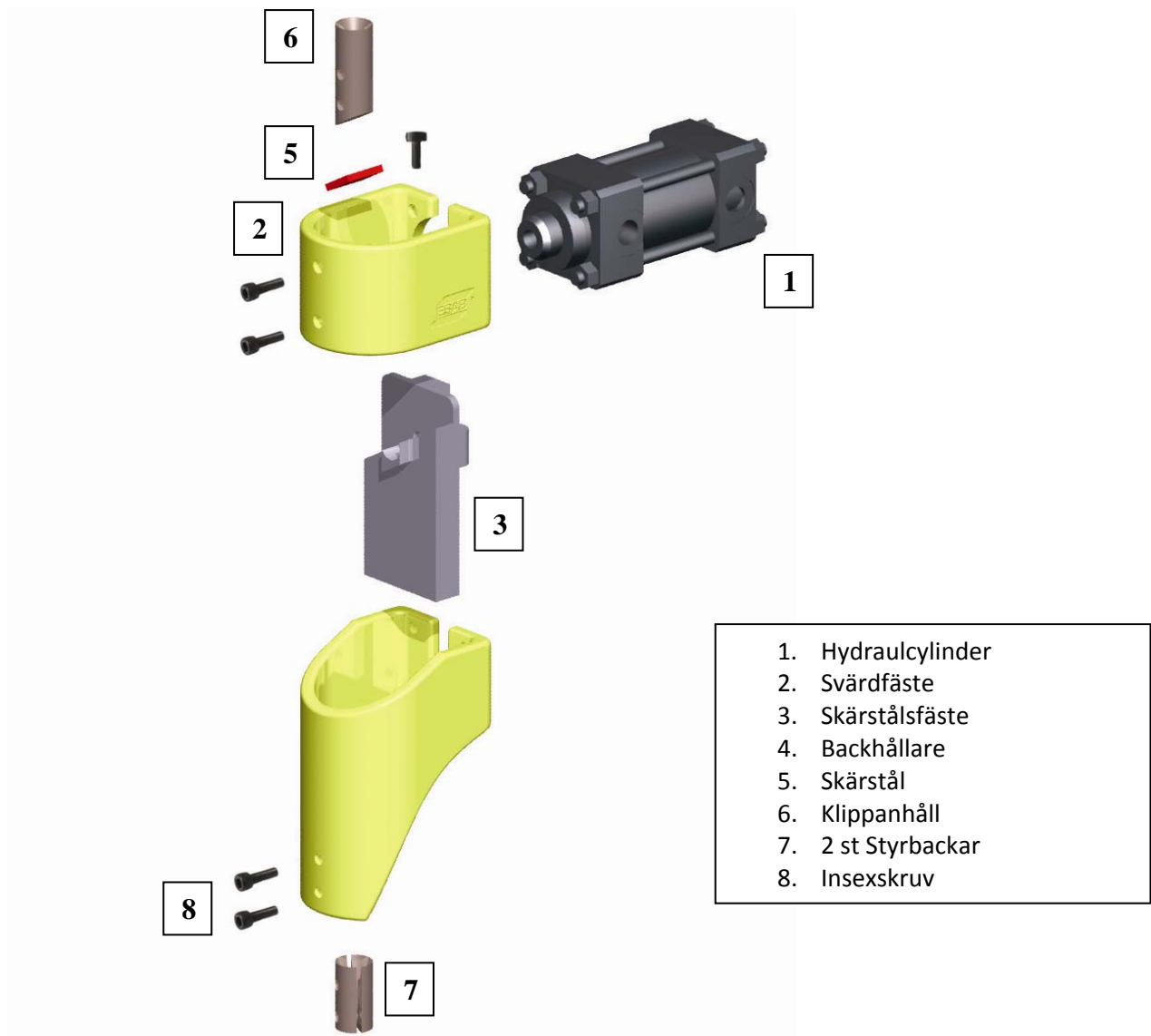
Drivningen av cylindern sker via en hydraulpump, Figur 24, som lämpligen placeras uppe på svetskranen. Eftersom kolven är enkelverkande och enbart skall förflyttas till sina ändlägen är styrprocessen relativt enkel. Hydraulpumpen drivs av el och startar då den får en signal av operatören.

När pumpen sätts på börjar cylinder röra sig utåt. Hydraulpumpen är utrustad med en tryckgivare som vid förutbestämt tryck slår av pumpen igen. När svetstråden klipps blir trycket högt i cylindern men inte så högt att pumpen stängs av. Efter det att svetstråden är avkapad och cylindern hamnar i sitt ändläge stiger trycket till den högsta nivån och pumpen stängs av. Då släpps trycket på hydraulvätskan och den integrerade fjädern drar tillbaka kolven in i cylindern. Hydraulpumpen är sedan avstängd till dess att den får en signal från operatören att det är dags att utföra operationen på nytt.



Figur 24 Hydraulpump

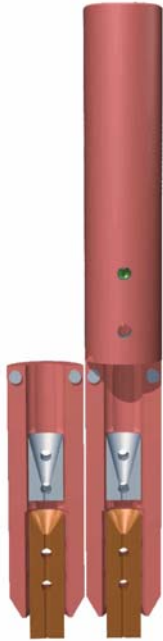
5.3 Komponenter



Figur 25 Sprängskiss av klippmodulens komponenter

Klippmodulen består av 8 komponenter samt tillhörande infästingsskruvar. Komponent ett till och med fem monteras först ihop med varandra varpå hela modulen monteras på svärdet. Cylindern[1] skruvas först ihop med Svärdfästet[2] med cylinderns 4 muttrar. Steg 2 är att sätta fästa skärstålsfästet[3] på cylinderns kolv, genom att skärstålsfästet förs in mellan svärdfästet och skruvas fast i kolvens centrumhål. Backhållaren[4] och skärstålet[5] monteras därefter fast i skärstålsfästet.

Svärdets lösa del, som håller en av kontaktbackarna, se Figur 26, skruvas fast i backhållaren. Styrbackarna monteras fast över kontaktbackarna och är till för att styra svetstråden till rätt position i kontaktbackarna eftersom den annars tenderar att böja av, se avsnitt 4.7 - Testning. Den ena styrbacken fästs, med skruv, direkt på svärdets fasta del medan den andra fästs på den lösa kontaktbackshållaren. Klippanhållet monteras fast inne i svärdet genom att man trär det underifrån upp i svärdet och skruvar fast det på rätt anvisad höjd.

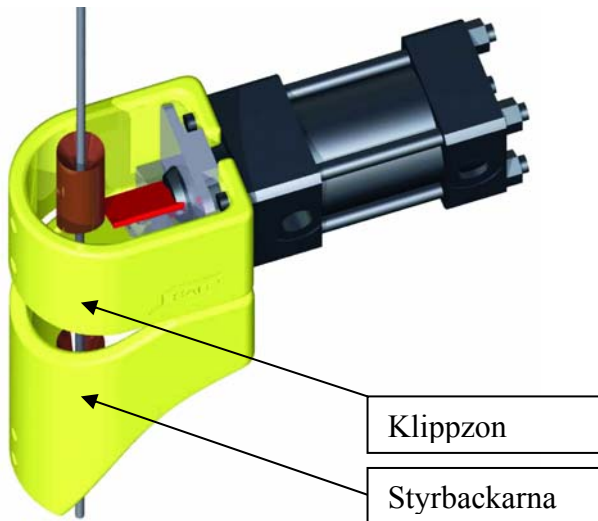


Figur 26 Löstagbar del av svärd

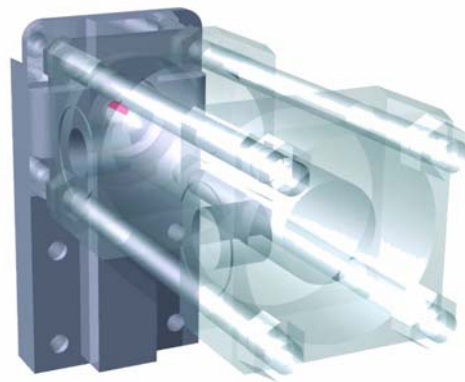
Sista steget är att montera fast hela klippmodulen på svärdet. För att positionera modulen korrekt, träs den underifrån och upp på svärdet. Vid rätt höjd skruvas den fast i 2 hål och därefter är monteringen klar.

Figur 27 visar hela klippmodulen med samtliga komponenter på rätt plats.

Figur 28 visar hydraulcylindern (transparent) monterad på skärstålfästet samt skärstålet bakifrån.



Figur 27 Klippmodul utan svärd



Figur 28 Hydraulcylinder monterad på ett skärstålfäste

5.4 Funktion

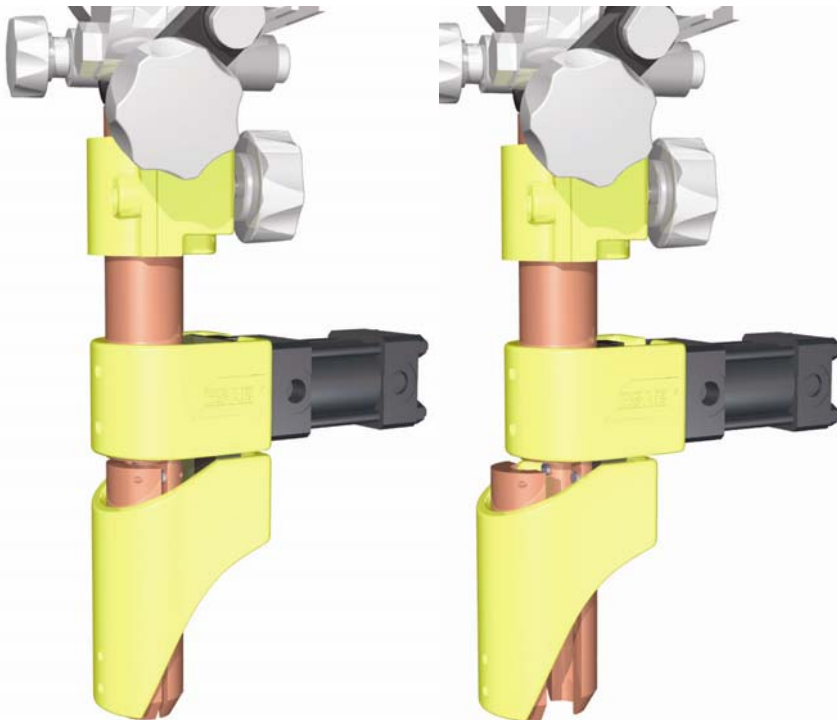
När klippning ska ske matar hydraulcylindern [1] fram skärstålet [5] och svetstråden klipps av mot anhållet. Som tidigare nämnts, är vinkeln på skärstålet och anhållet 30 grader, vilket gör att en spetsig svetstråd bildas efter avslutad klippning. För att det inte ska vara risk att skärstålet skall spricka under klippningen, får det stöd från skärstålsfästet genom en integrerad platta.

Backhållaren, som i sin tur håller kontaktbacken, är fäst vid hydraulkolven och kontaktbackarna går därför isär då kolven börjar röra sig utåt. Skärstålet och kontaktbacken rör sig i samma riktning och med samma hastighet eftersom de sitter ihop, vilket gör att svetstråden, då den är avklippt, kan falla rakt ut ur svärdet.

När svetstråden har fallit ur svärdet körs hydraulkolven tillbaka till sitt ursprungsläge. Svetstråden får åter fri väg genom svärdet, då skärstålet inte längre ligger i vägen. Kontaktbackarna är, i detta läge, stängda med rätt kontaktryck, genererat av hydraulcylindern, och med hjälp av styrbackarna styrs svetstråden ned i de stängda backarna för att slutligen komma ut genom nedre delen av svärdet och bilda ett stick-out som kan tändas på nytt.

5.5 Klippcykeln

Nedan följer en beskrivning av de moment som ingår i klippcykeln.



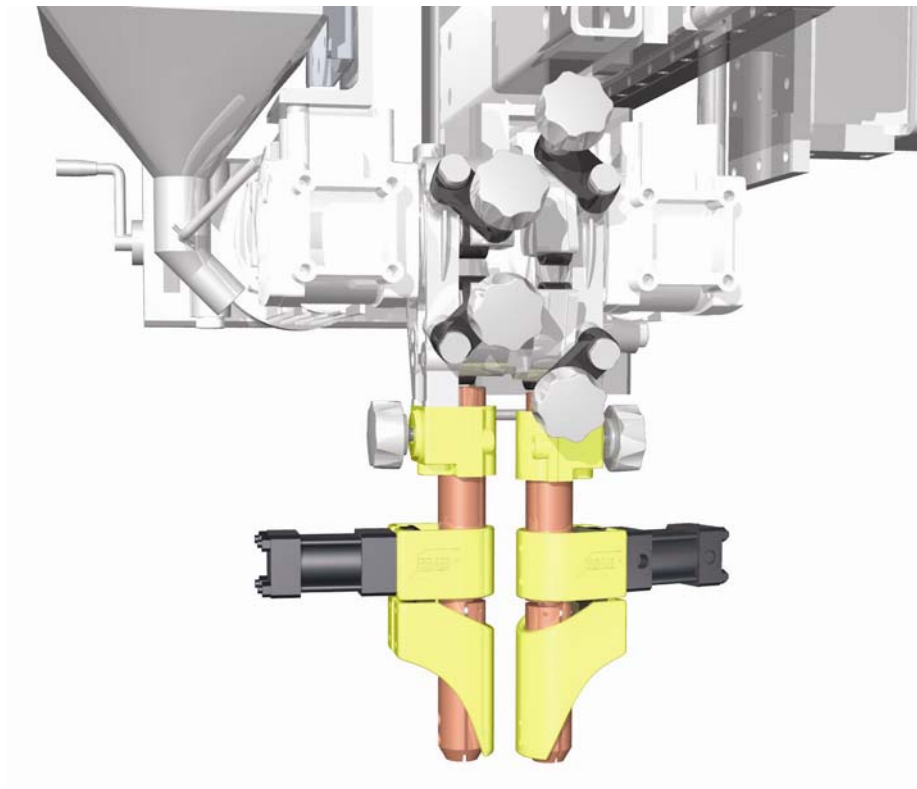
Figur 29 Klippmodulen med stängda respektive öppna kontaktbackar

1. Före klippning måste svetshuvudet förflyttas tjugo centimeter uppåt och trettio centimeter i sidled. Detta görs för att trådbiten skall få plats att falla ut och inte riskera att hamna nere i svetsfogen. Förflyttningen styrs av operatören från kontrollpanelen.
2. Svetsaren ger signal att svetstråden skall klippas via ett knapptryck.

3. Hydraulpumpen startar och klippningen påbörjas.
4. Svetstråden klipps av och faller ut ur svärdet då kontaktbackarna är öppna.
5. När hydraulkolven når sitt ändläge blir trycket i systemet högt och hydraulpumpen slås av, vilket leder till att vätsketrycket blir noll.
6. Den inbyggda fjädern i hydraulcilindern drar tillbaka kolven och kontaktbackarna stängs. Fjäders genererar rätt kontaktbackstryck.
7. Svetstråden matas därefter ner i kontaktbackarna. Styrbackarna positionerar tråden så att den kommer i rätt läge ner i kontaktbackarnas spår.
8. Svetstråden matas fram till önskat stick-out och svetshuvudet förflyttas åter till svetsfogen.
9. Svetsprocessen startas på nytt.

5.6 Kravuppfyllnad

Autocut A6 uppfyller alla de krav och många av de önskemål, som satts upp i kravspecifikationen, Appendix H. Då kapningsmodulen sitter en bit upp på svärdet begränsar den inte stick-outen eller svärdets åtkomlighet. Kraften genereras av hydraulik, vilket gör att den med god marginal klarar att generera den kraft som krävs för att klippa av den hårdaste av svetstrådarna; rostfri 4 mm svetstråd. Kravet på att en spets ska bildas vid klippningen är uppfylls tack vare att skäret är monterat med trettio graders vinkel. Klippmodulen är utformad så att den bara tar stor plats åt ett håll, varpå det inte är några problem att använda den även i tandemutförande.



Figur 30 Två klippmoduler monterade på tandemhuvud

5.7 Operatörens arbetssituation

Eftersom Autocut A6 är avsedd att kapa svetstråden på distans förbättrar den svetsarens arbetsmiljö avsevärt då den tar bort ett av de stora moment som i dagsläget fortfarande behöver utföras för hand. Nu kan istället svetsoperatören utföra även detta moment vid kontrollpanelen på golvnivå och behöver därför aldrig befinna sig vid själva ljusbågen för att klippa svetstråden. Autocut A6 gör därför hela svetsprocessen snabbare, vilket är positivt ur ett ekonomiskt perspektiv.

Vad gäller säkerheten för operatören medför den nya kapningsmodulen stora förbättringar. Istället för att denne skall klättra upp på hög höjd och klippa svetstråden, vilket oftast sker utan säkerhetslina och sele, kan operatören nu styra hela processen från marknivå med minskad risk för sin egen säkerhet. Hantering på golvnivå ger också ergonomiska fördelar då svetsaren slipper stå och klippa svetstråden i obekväma ställningar såsom med händerna över huvudet, genom att sträcka sig in på otillgängliga områden för att nå svetstråden eller att sitta på knä på det hårda svetsobjektet. Den allmänna säkerheten förbättras också då operatören inte behöver befinna sig lika nära svetsprocessen.

5.8 Materialval

Målet med detta avsnitt är att redogöra för valet av material för de ingående delarna i klippmodulen. Svetshuvudet och modulen skall kunna användas både in- och utomhus under hela året. Det material som väljs kommer därför, förutom de krav som ställs vad gäller exempelvis värme och krafttålighet, även ha krav på sig gällande vind-, väder- och soltålighet. Klimatet som produkten kommer att vistas i är varierande då ESABs produkter säljs och används världen över från torrt och varmt till kallt och fuktigt klimat.

För att kunna bestämma lämpligt material specificeras funktions- och miljökrav som sedan läggs in i CES för att hitta material som klarar av kraven på samtliga parametrar. Vad gäller sträckgräns, brottseghet, hårdhet, styrka och styvhet ville man ha så högt värde som möjligt, medan miljöbelastningen och kostnaden skulle vara låg.

I modulen behövs tre typer av material; ett material till svärdfästet och backhållaren som är starkt och hållfast där parametrar som elasticitetsmodul och brottseghet är extra viktiga (Material 1), materialet till styrbackarna måste även vara extra tåligt mot värme och samtidigt ha hög brottseghet (Material 2), medan det tredje materialet, för klippanhållet och skäret skall ha extra hög hårdhet och elasticitetsmodul (Material 3).

5.8.1 Materialkrav

Funktionskrav

Sträckgräns – får inte deformeras

Brottseghet – får inte bilda sprickor

Hårdhet – får inte deformeras av yttryck

Styrka – motståndskraftig mot plastisk deformation

Styvhet – motståndskraftig mot elastisk deformation

Miljökrav

Temperatur – får inte ändra egenskaper pga temperatur (-20 till 300 grader Celcius)

Vatten – korrosion- och vattenresistent

UV-ljus – får inte ändra egenskaper pga UV-ljus

Målet för materialvalet är att minimera kostnaden och miljöpåverkan, vilket sker genom att välja ett material med lämpliga egenskaper.

5.8.2 Urvalsresultat, materialval

De material som blev kvar efter gallring i CES, se Appendix P, var:

- Högkolhaltiga stål
- Medelkolhaltiga stål
- Lågkolhaltiga stål
- Låglegerade stål

För vidare beskrivning av materialen, se Appendix Q.

5.8.3 Teknisk specifikation, materialval

Tabell 1 - Materialparametrar

	Låglegerat stål	Lågkolstål	Medelkolstål	Högkolstål
Pris (kr/kg)	7.21	5.54	5.79	6.17
E-modul (N/mm ²)	205	200	200	200
Sträckgräns (N/mm ²)	400	250	305	400
Förlängning (%)	3	26	4	7
Hårdhet Vickers (HV)	140	108	120	160
Brottseghet (MPa x m ^{1/2})	14	41	12	27
Max. användningstemp (°C)	500	350	370	350
EI/term. Ledning	Bra	Bra	Bra	Bra
Återvinningsbarhet	Ja	Ja	Ja	Ja
Ekologiskt fotavtryck (kg CO ₂ /kg)	2.3	2.8	2.8	2.8

Grön = bäst

Röd = sämst

5.8.4 Materialförslag

Material 1 = låglegerat stål: För material 1 är E-modul och brottseghet de viktigaste parametrarna. I tabellen syns att låglegerat stål har den bästa elasticitetsmodulen samtidigt som det har näst bäst brottseghet. Här är det jämnt mellan det låglegerade och det medelkolhaltiga stålet, men eftersom huvuddelen av konstruktionen skall vara av material 1 spelar det ekologiska fotavtrycket en avgörande roll, till det låglegerade stålets fördel.

Förslag på material 1

SSAB Domex 500 MC till svärdfäste.

Material 2 = låglegerat stål: För material 2 är servicetemperatur och brottseghet viktigast.

Även här är det låglegerade stålet näst bäst på brottsegheten, samtidigt som det har den högsta maximala användningstemperaturen.

Förslag på material 2

SSAB Domex 315 MC till backhållare.

Material 3 = Höghaltigt stål: Vid val av material 3 är hårdhet och E-modul de avgörande parametrarna. Här kan man se att högkolhaltigt stål har den högsta hårdheten och den näst högsta elasticitetsmodulen.

Förslag på material 3

SSAB Toolox 44 till skär, styrbackar och mothåll.

5.8.5 Vidare beskrivning av valda material

SSAB Domex kallformningsstål

Domex kallformningsstål används typiskt till kallformade och svetsade detaljer inom bil- och verkstadsindustrin där kraven på minimerad vikt, ökad lastkapacitet och säkerhet är stora.

Domex 500MC

Sträckgräns min. $R_{eh} = 500 \text{ N/mm}^2$

Brottgräns min.-max. $R_m = 550-700 \text{ N/mm}^2$

Minsta rekommenderade bockradie, $t > 6 \text{ mm}$: $1,0 \times t$

Domex 315MC

Sträckgräns min. $R_{eh} = 315 \text{ N/mm}^2$

Brottgräns min.-max. $R_m = 390-510 \text{ N/mm}^2$

Minsta rekommenderade bockradie, $t > 6 \text{ mm}$: $0,4 \times t$

SSAB Toolox 44 verktygsstål

Toolox 44 är ett härdat verktygsstål med väldigt låga restspänningar. Trots en hårdhet på 45 HRC är det väldigt lättbearbetat och har ingen direkt konkurrent på marknaden.

Toolox 44

Hårdhet: HBW 410 - 475

5.8.6 Miljö - Ytbehandling

Eftersom val av ytbehandling inte påverkar produktens prestanda nämnvärt, har gruppen beslutat sig för att välja ytbehandling främst med avseende på miljöpåverkan, och i andra hand pris. De två huvudalternativen i LCA-analysen var att förzinka stålet till de delar som behövde ytbehandling, eller att lackera dem. Genom LCA:n ser man tydligt att den uppskattade miljöpåverkan är betydligt större för ett förzinkat stål, jämfört med ett obehandlat stål som sedan lackeras. En gissning är också att lackering är den metod av de två som är billigast att genomföra, eftersom det kräver mindre utrustning och arbete.

5.8.7 Formgivning

Vad gäller formgivningen av kapningsmodulen har denna gjorts så kompakt som möjligt för att inte hindra övrig svetsutrustning och svetsprocessen i stort. Ser man sedan till designuttrycket har detta gjorts diskret för att smälta in med övrig utrustning, vilket var en önskan från ESABs sida.

Formen och den totala storleken på produkten har ursprungligen kommit av begränsningar som de delar som modulen måste innehålla såsom hydraulcylinder, skär och backhållare. Målet har varit att hålla dessa delar så små som möjligt och sedan formge och kombinera ihop dem för att skapa ett harmoniskt helhetsuttryck.

Efter att ha gjort ett preliminärt materialval gick det att utföra mer exakta hållfasthetsberäkningar för dimensionering. Dessa beräkningar återfinns i Appendix O och gav de mått som krävdes med aktuella material. Jämförelse mellan beräknade dimensioner och tillgängligt utrymme bekräftade det preliminära materialvalet, samtidigt som det gav underlag för CAD-modellering.

5.9 DFA och DFM

För att produkten ska bli så enkel som möjligt har antalet komponenter minimerats. Klippmodulen har anpassats för att kunna fästas på det befintliga svärdet, med vissa omkonstruktioner för infästning och kapning. De komponenter som är unika för produkten är relativt enkla i formen, vilket håller ner tillverkningskostnaderna. Hydraulcylindern som används är en standardkomponent och köps in externt. Montering är enkel och kräver inga specialverktyg. Styrbackar och klippmothåll monterar enkelt var för sig på svärdet. Cylindern monterar slutligen ihop med de övriga komponenterna och fästes på svärdet.

Vad gäller håltagning i svärdet krävs stor precision eftersom toleranserna för klippspalten är små för att erhålla minimalt klippmotstånd. Detta gäller infästningen för svärdhållare och klippmothåll.

5.10 Underhåll och service

Den service som klippmodulen behöver är att man med jämna intervall byter skäret. Skäret sitter lättåtkomligt vid kolven och kan enkelt bytas. Det enda som, vid byte, behöver lossas är själva skruven som håller fast skäret vid resten av kapningsmodulen. Även klippmothållet slits efter hand och måste då bytas, vilket dock inte sker lika ofta som byte av skärstål och således inte blir den faktor som bestämmer servicetiden för kapningsmodulen. Att byta klippmothållet är lite mer tidskrävande än att byta skärstålet, eftersom man måste skruva bort delar av kapningsmodulen för tillräcklig åtkomst. Mothållet lossas enkelt från dess 2 infästningsskruvar och kan bytas ut mot en ny.

Hydraulkolven är självsmörjad och den enda del som är rörlig. Det innebär att det inte finns några kontaktytor som behöver smörjas kontinuerligt. Klippmodulen är enkel att underhålla men en rekommendation är att man vid byte av skärstål ändå ser över så att alla komponenter sitter fast och även att man blåser av svärdet med tryckluft med jämna mellanrum.

5.11 Kostnadsberäkning

En enklare kostnadsberäkning har utförts som innefattar klippmodulen och hydraulpumpen till cylindern, men det elektriska styrsystemet är inte medräknat i detta pris. En del ingrepp på det befintliga svärdet måste göras för att klippmodulen skall kunna fästas, kostnaden för dessa ingrepp har dock försumrats då de har antagits vara väldigt låga vid nyproduktion av svärd. Observera att om klippmodulen ska fästas på en begagnad svets måste svärdet då bytas och kostnaden blir högre. Infästningskomponenter i form av skruvar, muttrar och brickor har försumrats då dessa komponenter är mycket billiga i jämförelse med övriga detaljer. Hydraulcylindern och pumpen är komponenter från LALMEK ABs produktsortiment och de har uppgett pris på dessa vid köp av 50 stycken. Beräkningen har gjorts för en årlig produktion av 100 stycken. Övriga priser på komponenterna i tabellen nedan har uppskattats i samarbete med Gustav Holmqvist på Chalmers institution för material- och tillverkningsteknik. Observera att monteringskostnad inte är inräknad i denna kalkyl.

Tabell 2 Kostnadsuppskattning

	Komponent	Pris
1	Hydraulkolv	850 kr
2	Svärdfäste	60 kr
3	Skärstålsfäste	50 kr
4	Backhållare	80 kr
5	Skärstål	20 kr
6	Klippmothåll	70 kr
7	Styrbackar 2 st	100 kr
	Hydraulpump	4500 kr
	Summa	5730 kr

Då priskalkylen är grovt uppskattad kan man räkna med ett pris på 5500-6000 kr som riktvärde för att ge en inblick i vad produkten kan komma att kosta ur tillverkningssynpunkt.

5.12 Miljö

Under hållbarhetsanalysen analyserades produktens miljöpåverkan. Det område som prioriterades att arbeta vidare med var att utvärdera materialvalet ur miljösynpunkt. Detta gjordes med hjälp av en LCA analys, se Appendix R. Vid val av material var miljöaspekten en parameter av många som vägdes samman och ledde fram till det slutliga valet. Förutom att en LCA-analys gjordes för materialet, bidrog hållbarhetsanalysen även till ett antal kriterier som var vägledande i utvecklingsarbetet. Se nedan:

- Ej innehålla skadliga/toxiska material
- Ej innehålla material med en stor negativ miljöpåverkan
- Leva upp till lagar, bestämmelser samt ESABs miljöstandard
- Inte förbruka energi då produkten ej används
- Tillverkas av så få materialsorter som möjligt

6. Diskussion

Nedanstående diskussionsavsnitt har delats upp i delar beroende på område som diskuteras.

6.1 Arbetets gång

Vid datainsamlingen på de olika studiebesöken var det inledningsvis svårt att få en generell bild av problemet och vilka begränsningar som fanns, på grund av att olika brukare hade gjort egna hemmasnickrade speciallösningar på extratillbehör som monterats på svetshuvudet för att passa just deras produktion. Det bestämdes att produkten ska passa till ESABs alla A6-svetshuvuden. För att den slutliga lösningen ska passa olika kunders skilda behov, var det önskvärt att produkten blev liten, så att den inte sitter i vägen för specialtillbehör såsom kamera, lampa, damsugare och laser.

Många av de krav som ställdes på produkten upplevdes som begränsande och gav inte mycket till utrymme att arbeta med. Efter att ha pratat med Göran Brännare vid institutionen för produkt och produktionsutveckling på Chalmers, ströks en del krav till en början, innan delredovisningen, och gjordes om till önskemål. Under projektets gång diskuterades även hur stora krav det skulle ställas på klippkraften. Från Laxås konstruktionsavdelning kom det en synpunkt om att det var för hårt krav att den modul som skulle tas fram skulle kunna kapa rostfri svetstråd med en diameter på 4 mm då man som mest brukar använda svetstråd i rostfritt stål med en diameter på 3 mm. Konstruktörerna sade sig vara oroliga för att för högt ställda krav kunde bidra till att det inte blev någon lösning över huvud taget. Efter konsultation med Arne bestämdes dock att ha kvar kravet på 4 mm rostfri svetstråd för att kunna täcka in behovet från så många kunder som möjligt. Den kraft som krävs för att skjuva av svetstråden räknades ut och en tillverkare av hydraulcylindrar, som hade en produkt i sortimentet som uppfyllde gällande krav, letades upp.

6.2 Olika aspekter

Här diskuteras olika aspekter och områden om varit centrala under utvecklingsarbetet av klippmodulen.

6.2.1 Ekonomiskt perspektiv

Vid utveckling av klippmodulen har funktion och prestanda prioriterats högre än pris. Val av utformning och tillverkningsmetod har gjorts utifrån ett antagande om en upplaga på ett hundratal om året. Förhoppningen är att ESABs svetssystem kommer att bli än mer attraktiva på marknaden när klippmodulen lanseras. Klippmodulen är anpassad till ESABs egna A6-svetshuvud. Klippmodulen kan antingen säljas som tillbehör eller ingå i ett paketpris vid inköp av nytt svetshuvud.

Hittills har ingen konkurrent serietillverkat någon automatisk klipputrustning. Om ESAB blir först att lansera en sådan produkt kommer det förmodligen att vara ett bra konkurrensmedel. Även kunderna har mycket att vinna med att investera i en automatisk trådklipp. Svetsoperationen blir mer tidseffektiv eftersom svetstråden klipps på några få sekunder direkt efter avslutad svetsfog. Det är även möjligt att klippa tråden medan svetshuvudet flyttas till nästa svetsfog.

6.2.2 Miljöperspektiv

En LCA syftar till att möjliggöra jämförelse mellan olika alternativa produkter, det är väldigt svårt att säga något konkret utifrån endast ett LCA-tal, eftersom det är så många faktorer som spelar in. Detta gör att det är bra att göra en analys när man har en första variant av en produkt färdig, eftersom man då kan jämföra kommande versioner med denna för att säkerställa att man arbetar i rätt riktning vad gäller miljöarbete. Det finns en risk annars att tro att man gör förbättringar till exempel genom materialval samtidigt som det kan visa sig med en LCA att tillverkningsprocesserna är mycket mer miljöbelastande eller energikrävande.

En industrisvets drar mycket energi, det ligger utom detta projekt att hitta lösningar för att minska på den totala elförbrukningen. Vid val av material har hänsyn tagits till miljöaspekter. I förhållande till den mängd el som går åt under en svets livstid, har energiåtgång för t.ex. tillverkning av trådklippningsverktyget marginell betydelse.

Den trådstump som klipps av vid klipp med Autocut A6 är lite längre än vad som normalt klipps av vid manuell klippning. Den ökande materialåtgången innebär ökad miljöpåverkan, men den kan anses försumbar i sammanhanget.

6.2.3 Materialval

I slutet av projektet togs ett materialförslag fram. Det togs sedan beslut om att inte gå djupare i arbetet med materialen, då det från ESABs sida är prioriterat att ta fram en fungerande klippmodul efter uppställda krav snarare än att i detta tidiga skede hitta det mest optimala materialet. ESAB kommer även, med utgångspunkt från det materialförslag som presenteras, inleda testning av den nya modulen med föreslaget material och sedan göra materialförändringar i takt med de problem som kommer upp. Kenneth Hamberg, docent på avancerad och oförstörande prövning på Chalmers, rekommenderade dock att ta fram ett så exakt materialval som möjligt då detta underlättar i den efterföljande testningen, som enligt honom annars har en tendens att bli både dyr och tidskrävande. En medelväg valdes.

Materialen som tagits fram är rimliga med avseende på tillverkningsbarhet, pris och tillgänglighet. Ser man till vanliga användningsområden stämmer de väl in med den aktuella applikationen. Positivt är också att alla materialen har bra värden både vad det gäller återvinningsbarhet och ekologiskt fotavtryck, se Appendix N.

Det föreligger en viss risk för korrosion av stålet men den är inte större för den aktuella produkten än för övriga komponenter i svetsen och svetsen kommer därför att kunna hanteras på samma sätt som tidigare.

Material 3, till mothållet, kan behöva beläggas med en yta för att förhindra elektrisk överföring mellan materialet och svetstråden under drift, detta är dock något som kommer i ett senare utvecklingsskede när en prototyp tillverkats och tester med densamma har påbörjats.

Ett problem som kan uppstå på grund av att metall ingår i modulen är att svetsprocessen kan påverkas av magnetism från modulen. Detta är något som inte går att avgöra med säkerhet utan att ett test med prototyp genomförs och är därför viktig aspekt att undersöka vid en vidareutveckling av produkten.

Efter konsultation med Arne Lagerkvist framkom också att det kan vara aktuellt att material 2 som skall finnas i delen närmast svetsfogen skall ha lägre hållfasthet än de andra materialen då den skall kunna gå sönder om hela apparaten t.ex. kör fast i svetsfogen och där klippmodulen annars riskerar att dra sönder hela svetsen. Detta blir en typ av säkerhetsåtgärd som gör att man efter en olycka enbart behöver byta ut en liten del av svetsen, vilket blir mer kostnadseffektivt. Ett annat alternativ är att använda material 1 även i dessa delar för att erhålla eventuell mängdrabatt.

6.2.4 ESABs identitet

Ett krav som sattes under projektets gång var att produkten skulle följa ESABs designriktlinjer. Det visade sig sedan att ESAB inte hade några designriktlinjer. De direktiv som getts av ESAB var att göra en modul som smälte in bra i den övriga utrustningen. De riktlinjer som projektgruppen haft har varit att arbeta utefter ESABs moduluppbyggnad, att utgå från aktuella standarddimensioner, att arbeta utifrån den kantighet som ESABs maskiner uttrycker och att inte ha alltför mjuka linjer eller friformsytor.

6.2.5 Drivning

Valet av drivning var långt ifrån självklart. Till en början hade ESAB tydliga riktlinjer om att de ville ha en mekanisk lösning som inte tillförde en mängd nya kringssystem på svetshuvudet, samtidigt som det inte heller fick ta någon plats. Eftersom pneumatik finns tillgängligt i svetsmiljön idag var detta önskvärt att använda för drivning av klippmodulen. Under det fortsatta utvecklingsarbetet insågs att det skulle krävas så stor kraftöverföring för att kapa svetstråden att en pneumatik lösning inte var möjlig. Att använda hydraulik var då en möjlig lösning. En del säljare och tekniker var skeptiska till att använda hydraulik, eftersom om hydraulvätska skulle läcka ner i svetsfogen skulle det förstöra svetsparametrarna och önskad kvalitet skulle inte uppnås. Vidare arbete visade dock att av de alternativ som jämfördes var hydraulisk drivning det system som innebar den absolut lägsta komplexitetsgraden, samtidigt som det var den mest platsbesparande. Vid ett möte med två av ESABs konstruktörer i Laxå, Gunnar Bohlin och Sievert Karlsson, visade det sig att de inte såg några större problem med hydraulik. De ställde sig snarare positiva till det sätt ett sådant val sparar plats. De två konstruktörerna var dock skeptiska till att använda synkroniserad mekanisk styrning. Detta gjorde att valet till slut föll på en hydraulisk lösning då det visade sig enkelt att anpassa det valda konceptet till hydrauldrift.

Under utveckling av koncept tre undersöktes fördelar och nackdelar för drift med en respektive två hydraulcylindrar. Ur prestandasynpunkt fungerar konceptet med en cylinder väl så bra, detta konstaterades vid konsultation med konstruktörer från ESAB. Modellerna ritades upp i CAD-program och utrymmet runt modulerna undersöktes. Att använda en cylinder innebär en platsbesparing i längsled, samtidigt som den tar mer plats i riktning vinkelrätt mot längsledet. Då utrymmet i längsled oftast är mer kritiskt, bedömdes lösningen som drevs av en hydraulcylinder vara bättre ur platsbyggnadsseende. Denna lösning är gör det också möjligt att fästa modulen på tandemhuvud.

6.3 Marknadsacceptans

Under besöket på EWP framkom att det varit svårt för ESAB att införa den kameraövervakade svetsen då svetsoperatörerna inte litade fullt på att denna svets svetsade lika bra som den gamla, samt att den skulle underlätta deras arbete, vilket den i själva verket gör. Efter en tid när några kört svetsen ökade den dock i popularitet och nu är det fler som vill använda den kameraövervakade än den manuella. Slutsatsen som projektgruppen drar av detta är att svetsbranschen är en bransch som inte är så öppen för nya idéer och att det kommer ta tid innan nyinförda produkter blir accepterade av brukarna, vilket kommer ske först när de bevisat att de är bättre än sina föregångare. Vad gäller den utvecklade kapningsmodulen kommer det även ta tid för denna att bli accepterad på marknaden, vilket ses som relativt vanligt i denna bransch med tanke på omständigheterna. Det viktigaste här är att den nya kapningsmodulen kan bevisa att den är bättre och enklare än om svetsaren skulle klippa svetstråden manuellt eller som också sker, starta med skrapstart och sedan kommer resten att ge sig med tiden.

Beroende på ESABs önskemål kan klippmodulen antingen lanseras i paket vid köp av en ny svets, eller också säljas separat till kunder som vill uppgradera sin svets. Då Autocut A6 inte kräver några större ingrepp på dagens svets, leder detta till att klippmodulen relativt enkelt kan säljas separat och monteras på äldre svetsar. Enda förutsättningen är att svärdet byts ut och att hydraulik ansluts.

6.4 Kvalitetskontroll

Den skrapstart som används i viss utsträckning idag, ger ofta en felaktig svetsstart som behöver åtgärdas. Med automatisk klippning undviks skrapstart och svetsfogen får därmed högre kvalitet. Vad gäller manuell klippning av svetstråden ger denna likvärdigt resultat med kapningen med den nya kapningsmodulen, men fördelen med den sistnämnda är att svetsaren slipper klättra upp till svetshuvudet och klippa manuellt, vilket är en stor förbättring gällande svetsarens arbetsmiljö.

En annan viktig fråga är hur man vet om svetstråden verkligen klippts av. Detta kan lösas antingen med den redan existerande kameraövervakningen, där en svetstråd på ca 1.5-2 dm borde synas på skärmen när den ramlar loss ur svetshuvudet och alltså fungerar som ett bevis på att kapningsmodulen verkligen har klippt.

Den sneda ytan som skall åstadkommas på svetstråden sker automatiskt med den nya kapningsmodulen genom att skärstålet är vinklat så att den alltid klipper i en bestämd vinkel; 30 grader. Detta kommer således att bli mer exakt än vid manuell kapning av svetstråden där vinkeln på tråden varierar beroende på hur svetsaren väljer att klippa.

6.5 Fel som kan uppstå

Ett fel som kan uppstå då svetstråden ska klippas, är att den del på svärdet som öppnas stöter emot svetsobjektet eller något annat som råkar vara i vägen. Detta kan undvikas genom att man gör den del som håller fast den rörliga delen av svärdet i ett mindre hållfast material som ger sig först vid allt för stor kraftpåverkan. Men denna del kan vara en liten och tämligen billig del, som byts ut, istället för om hela svetshuvudet skulle haverera och behöva bytas.

Ett annat fel som kan uppstå är att den mänskliga faktorn löser ut kapningsmekanismen under pågående svetsning. Det kan få förödande konsekvenser då svetstråden kommer trycka sönder

klippmodulen. Lösningen på problem kan vara att trådklippningsmodulen är fränkopplad under svetsningens gång.

6.6 Tillförlitlighet

Eftersom ingen prototyp kunnat tillverkas inom ramarna för projektet är funktionen väldigt svår att utvärdera. I konstruktionsprojekt ser man ofta brister på lösningar vid testning som varit svåra att förutse under den teoretiska fasen av arbetet. Detta gäller till exempel slitaget på klippdelarna, utformningen av dessa är väldigt beroende av hur mycket de påverkas och vad man har för önskad livslängd. Slitaget på kontaktbackarna är också något som behöver utvärderas vidare. Detta kommer att öka, men hur mycket det påverkar svetsprocessen är svårt att avgöra utan utförliga tester.

6.7 Vidareutveckling

Nästa naturliga steg i arbetsprocessen vore att tillverka en funktionsmodell för att göra de praktiska tester som inte funnits rum för att göra i detta projekt. Detta gäller till exempel inpassning, om den behöver förändras storleksmässigt på något håll för att inte vara i vägen vid montering/demontering av andra delar eller tillbehör. Andra saker som behöver göras är att utvärdera verktygen och utförligt undersöka deras livslängd för att kunna ge gränser för när de bör bytas etc.

Utöver dessa saker behöver ett enklare styrsystem konstrueras för hydrauliken för att möjliggöra fjärrstyrning av kapningsmodulen från kontrollpanelen och automatisk mätning av stick-outen.

6.8 Resultat

Processen har lett fram till ett resultat som löser problemet med att klippa av svetstråden på distans. Produkten svarar på de krav som uppdragsgivaren ställde på lösningen. Även många av de önskemål som fastställdes uppfylls nu med Autocut A6.

Förhoppningen är att Autocut A6 kommer att vidareutvecklas inom ESAB och att detta leder till att det kommer ut en automatisk klippmodul på marknaden.

7. Rekommendation

Konceptet som har tagits fram är uppbyggd av moduler och använder sig av så många färdiga komponenter som det finns möjlighet till. Detta gör att det kommer behövas titta mer på olika företag som tillverkar dessa komponenter för att fastställa leveranssäkerhet till ett bra pris.

Konstruktionen har fastslagits med hjälp av lämpliga hållfasthetsberäkningar och programvaror för materialval. Detta säkerställer teoretiskt funktionen, men för att försäkra sig om att den även fungerar i praktiken bör tester utföras på en verklig modell, då teorin kan skilja sig från verkligheten beroende på vilka förenklingar man tvingats göra. Dessa tester visar även om den verkligen klarar av den hårda verkstadsmiljön den kommer att utsättas för på ett bättre sätt än vad datorsimuleringar och beräkningar gör.

Kraften mellan kontaktbackarna behöver testas för att fastställa att de håller 250 N och inte varierar alltför mycket, så att svetsprocessen påverkas. På grund av att det alltid kommer ligga ett tryck på kontaktbackarna kommer det även vara nödvändigt att ytterligare testa slitaget på dem när svetstråd skall matas genom för att se hur det påverkar livslängden hos backarna, och eventuellt hur det påverkar svetsresultatet. Konstruktionen som var tänkt att fästa i det redan befintliga hålen behöver även utvärderas så den blir stabil och inte för vek.

Vidare undersökningar bör utföras för att kunna konstatera om de material som valts är lämpliga, eller om nya material behöver väljas för att ge en bättre säkerhet mot de ställda kraven.

Förbättringar av CAD-filerna bör göras för att ge ett bättre konstruktionsunderlag då de nuvarande är gjorda i ett program för ytmodellering för att användas som presentationsunderlag av konceptet och därför inte har de exakta mått och toleranser som krävs för produktion.

Ytterligare undersökningar av vinkeln på skärstålet bör göras så att tändningen av ljusbågen blir optimal utifrån svetsning med singel-/twindrift, då man vill att tändning ska ske först med bara den ena svetstråden, eller med en reducerad tvärsnittsarea.

För att uppnå bästa möjliga klippresultat bör klippspalten undersökas vidare vid olika kombinationer av singel-/twindrift och trådtjocklek.

Placeringen av hydraulslangarna måste undersökas för att se var det är smartast att fästa dem så att det inte finns risk att läckage kan uppstå när man svetsar. Dessutom kan det vara värt att noggrannare undersöka placeringen av hydraulpumpen, som i nuläget är på kranen, med tanke på slangarnas längd och placering.

Svetsprocessen idag är känslig för stora magnetiska fält vilket medför att detta bör analyseras, då ett viktigt krav är att svetsprocessen inte får påverkas av klippverktyget.

8. Slutsats

I syftet nämndes att genom framtagning av ett automatiskt verktyg för trådkapning skall konkurrenskraftiga fördelar kunna skapas och svetsprocessen förbättras. Detta anser gruppen sig ha uppnått med den lösning som tagits fram, både i form av att kunna ge ESAB en produkt väldigt få företag har och vars pris inte är oresonligt hög tack vare ett modultänkande och användande av standardkomponenter, tillsammans med en DFMA-analys.

Tillverkningsmetoderna för att ta fram modulen, bockning, borrning mm. är valda för att passa en relativt liten serie.

Under utvecklingen har miljötänkandet funnits med som en reflektionspunkt och vid val av material har miljöaspekter vägts in.

Autocut A6 har utvecklats med avseende att passa till befintliga komponenter på A6-svetshuvudet. Vissa mindre utvecklingar av svärdet har övervägts för att uppfylla krav på bland annat funktionalitet och robusthet. För övrigt är klippmodulen kompatibel med dagens komponenter. Vid val av material, skruvar, tillverkning och form mm. har det prioriterats att använda standarder och gå efter de traditioner som idag finns på ESAB. Detta för att produkten ska passa in i ESABs produktsortiment och för att använda den kompetens och de resurser som finns på företaget.

Processen att svetsa med pulverbågsvets anses ha effektiviserats genom att momentet, att klippa av svetstråden, tar kortare tid samt att operatören kunnat tas bort från svetshuvudet. Detta leder även till att säkerheten för operatören har höjts när svetsaren inte längre behöver klättra på stegar eller vara nära farliga delar. Kapningen av svetstråden har blivit mer kvalitetssäker eftersom man vet att tråden klipps av med samma vinkel på skäret varje gång. Detta ger att det går lika lätt att tända svetsbågen varje gång en ny svetsning skall påbörjas.

9. Källförteckning

Böcker

Hågeryd, Björklund & Lenner, *Modern Produktionsteknik, del 1*, Liber AB, 2002
Karlebo Handbok, Utgåva 14, Liber utbildning, 1992
Handbok och formelsamling i Hållfasthetslära, Vetenskap och konst, 1998
Mägi & Melkersson, *Lärobok i maskinelement*, Göteborg 2007
Lundh, *Grundläggande hållfasthetslära*, Vetenskap och konst, Stockholm 2000
M.F. Ashby, *Materials Selection in Mechanical Design*, 3rd edition, Elsevier, 2005
M.F. Ashby & K. Johnson, *Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design*, Elsevier, 2002
Berglund, *Livscykelanalys med EPS-metoden, Miljöhänsyn vid konstruktionsarbete*, CTH Inst. för Maskin- och fordonskonstruktion, 1996
Torpe, *Design för hållbar utveckling*, Raster förlag, 2008

Informationsblad

Svetsning och skärning – risker och åtgärder, säkerhetsinformation, ESAB, 2009

Materialdatabaser

CES

Internetsidor

ESAB: <http://www.esab.se/se/se/education/processes-saw.cfm>, 20090429
SSAB: <http://www.ssab.com/sv/Produkter-och-Losningar/Produkter/>, 20090506
Gettyimages: <http://www.gettyimages.com>, 20090204
Google bildsökning: <http://images.google.se>, 20090204

Bilder

Foto, alla utom Figur 23 och Figur 24: Projektgruppen
Figur 23 & Figur 24: LALMEK: <http://www.lalmek.se> 20090515
Alla övriga bilder: Projektgruppen

Konsultation, Chalmers

Roger Lundén, professor på institutionen för tillämpad mekanik, 20090406
Göran Brännare, universitetslektor på institutionen för produktutveckling, 20090406
Kenneth Hamberg, docent i avancerad oförstörande provning, 20090424
Mats Norell, universitetslektor i yt- och mikrostrukturteknik, 20090505
Gustav Holmqvist, tekniklektor på institutionen för material och tillverkningsteknik, 20090505
Per Öhl, tekniklektor på institutionen för material och tillverkningsteknik, 20090505

Konsultation, ESAB

Billy Hög- Export Manager, Sales Support

Per Ivarsson - Export Manager, Engineering Sales

Arne Lagerkvist- Industrial Design Engineer, Global Industrial Design

Kari Lahti- Director, Engineering Sales

Anders Lord- Export Manager, Engineering Sales

Peter Söderberg- Export Manager, Engineering Sales

Björn Thor- Global Industrial Design Manager, Global Industrial Design, samtliga 20090304

Gunnar Bohlin, Manager Engineering Design

Sievert Karlsson, Mechanical Design Engineer, båda 20090323

Personlig intervju, ESAB

Ulf Andrén, Welding Technician, Laxå, 20090216

Mailkontakter

Jerry Magnusson, verksamhetsansvarig (salesmanager), Axson Teknik AB, 20090209

Christer Börjesson, svetssäljare, Motoman, 20090209

Jörgen Eriksson, försäljningsansvarig i mellansverige, Kemppi, 20090209

Lars OGRELIUS, säljare i mellan- och norra sverige, Abicor Binzel AB, 20090210

Tommy Eriksson, VD, Oerlicon, 20090211

J.Y Shim, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. Robot & Systems Marketing Dept, 20090216

Martin Kubenka, Group Product Manager for Stainless SAW, ESAB, 20090323

Maria Bergenstrahle, IWE, MBA, MSc Mechanical and Material Engineering

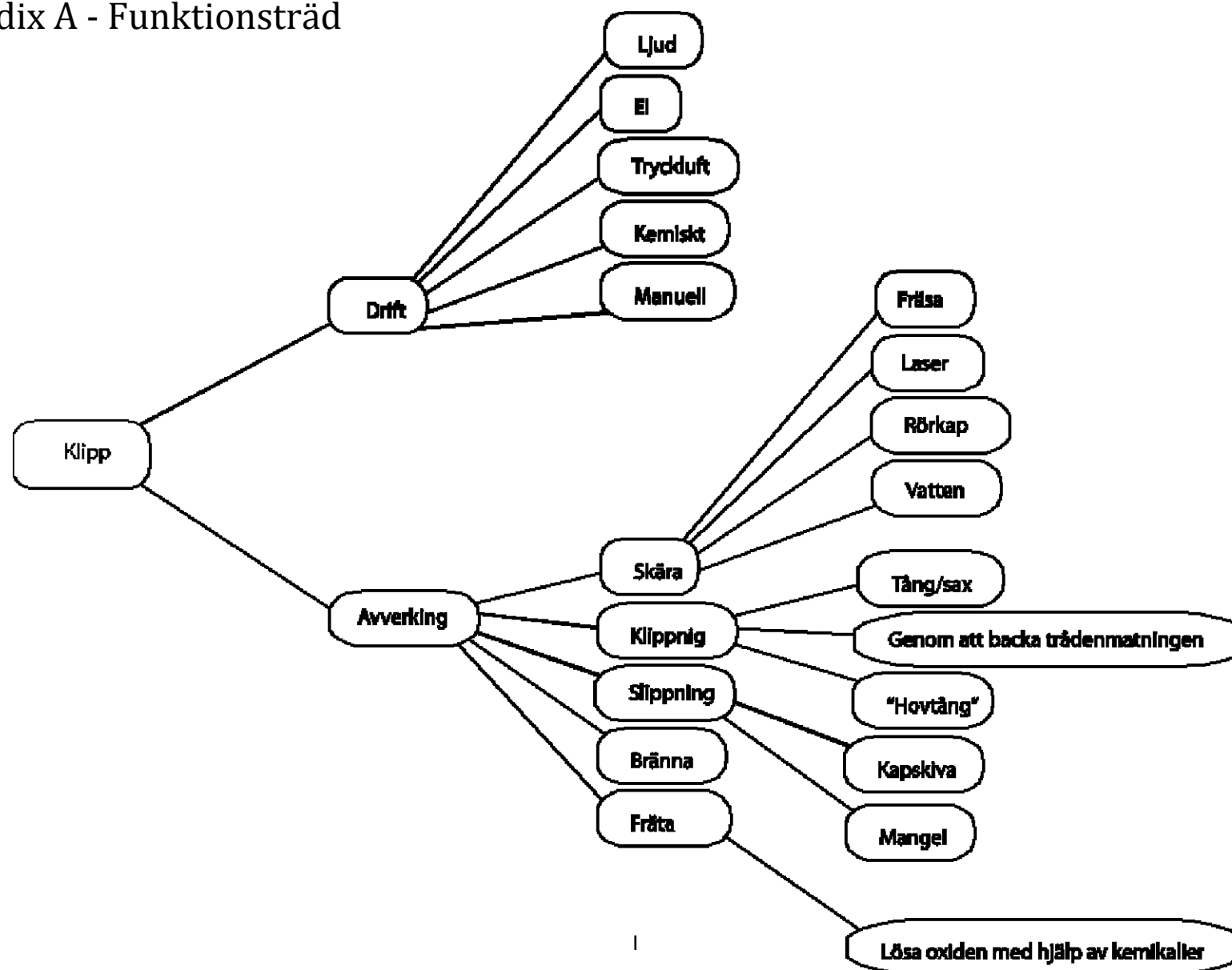
Global Product Manager Non and Low alloyed Solid wire MAG/TIG, ESAB, 20090323

Martin Gehring, Global Consumables Products, Group Product Line Manager - Fluxes and Sub Arc Wire, ESAB, 20090325

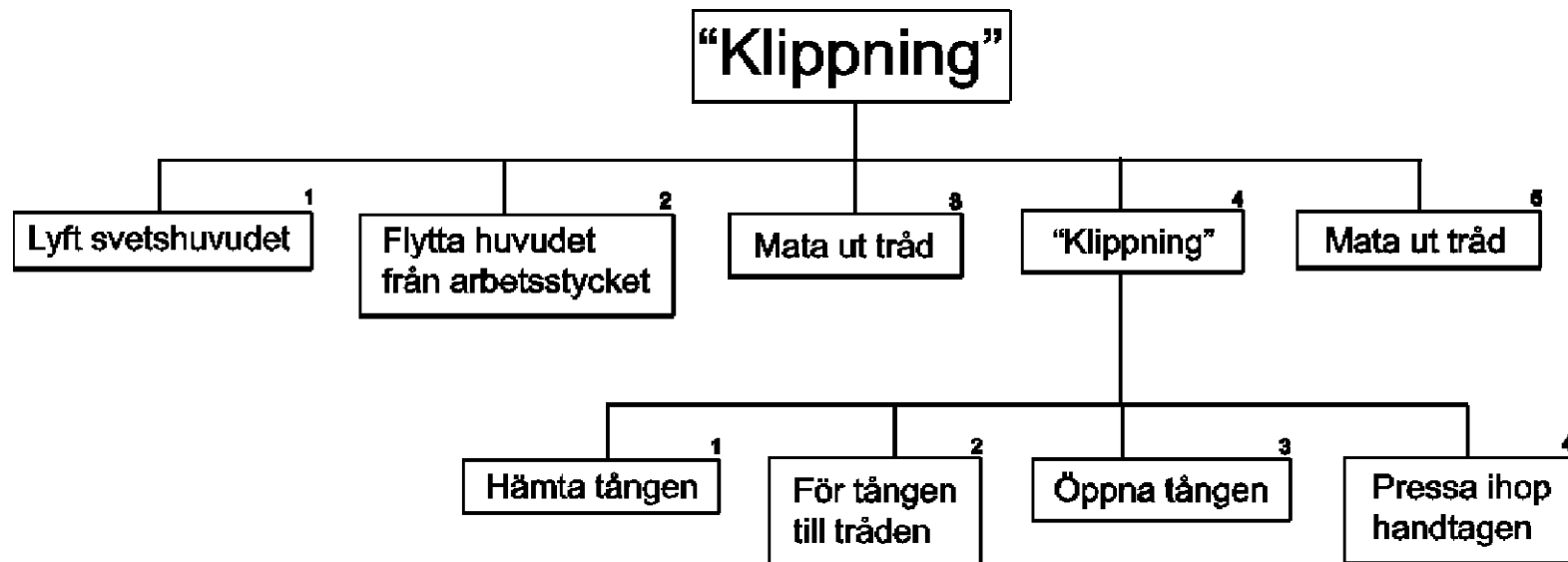
Gunnar Bohlin, Manager Engineering Design, ESAB, 20090327

Lars-Arne Larsson, VD, LALMEK Verkstad AB, 20090506

Appendix A - Funktionsträd



Appendix B - HTA



Appendix C - Expressionboard



Appendix D - Frågor vid intervju

Vad har gjorts på området ”klippa tråd” tidigare?
Finns det någon automatisk kapning av svetstråd på den globala marknaden idag?
Konkurrenser?

Diskutera/fråga

Lämplig plats för klippmodul
Bortförel av klipprest
Bortförel av eventuella ”spån” från kapning
Är det lämpligt att använda magnet för att samla upp spån? (stör det magnetfält?)
Hur länge håller ett skär?
Kapningsmetoder

Frågor till operatörer

Vilka svetsmoment utförs manuellt idag? Övervakning, ta bort slag, klippa av svetstråd?
Används/ finns kameraövervakning?
Hur tar man bort slag idag?
Hur ofta klipps svetstråden?
Hur tas fluxpulvret bort? Med sug? Automatiskt?
Är dagens kameraövervakning tillräcklig för manövrering på distans? (Varför inte?)
Vill du ha en knapp för att starta klippningen? Var vill du ha den? Fjärrstyrd? I anslutning till andra befintliga knappar?
Vilket upplever du vara det största problemet med dagens svets?
Hur tycker du att det är att klippa av svetstråden?
Hur stort problem tycker du att trådklippningen är?
Hur anser du att problemet med trådklippning skulle kunna lösas?
Har ni alltid klippt svetstråden på samma sätt som idag? Har ni testat något annat sätt?
Vad skulle en automatiserad klippning betyda för dig? För och nackdelar?

Checklista för observation

Hur är ljudmiljön? Går det att höra när trådbitar faller? Går det att höra klipp ljud?
Titta på hur spillbitar kan samlas upp.
Titta på möjliga platser för klippmodul. Fästning. Hålbild.
Titta på möjligheter för att ta bort spån från trådkapning.
Hur sitter backarna ihop?
Hur går det till att komma till svetstråden vid manuell klippning?
Hur lång tid tar det att klippa svetstråden idag? Hur lång tid är det från stopp till start?
Observera arbetsställningar.
Hur går det till att serva svetsen?

Appendix E - Existerande trådkapningsmaskiner



Appendix F - Produktidentitet



Appendix H - Kravspecifikation

Krav

Kapningsprocessen skall ej påverka den färdiga svetsfogen.

Produkten skall kunna klippa tråddiameter upp till 4 mm.

Produkten skall klara Twin-drift.

Trådens höjd mellan fluxkåpan till arbetsmaterialet måste kunna regleras 20-50 mm.

Kapningsprocessen skall skapa en spets på svetstråden.

Produkten skall dimensionsmässigt kunna passa tandemhuvud.

Önskemål

Produkten bör vara enkel att anpassa till rätt trådtjocklek.

Produkten bör ej påverka svetsinställningar vid användning.

Produkten bör klara gällande maxvikt 20 kg.

Produkten bör klara av normal svetstemperatur.

Produkten bör vara konstruerad i en modulär design.

Produkten bör tåla oöm hantering.

Kapdelar bör ha en livslängd på 10 år i industrimiljö eller kunna bytas ut.

Användande bör ej innebära fara för omgivning och operatör.

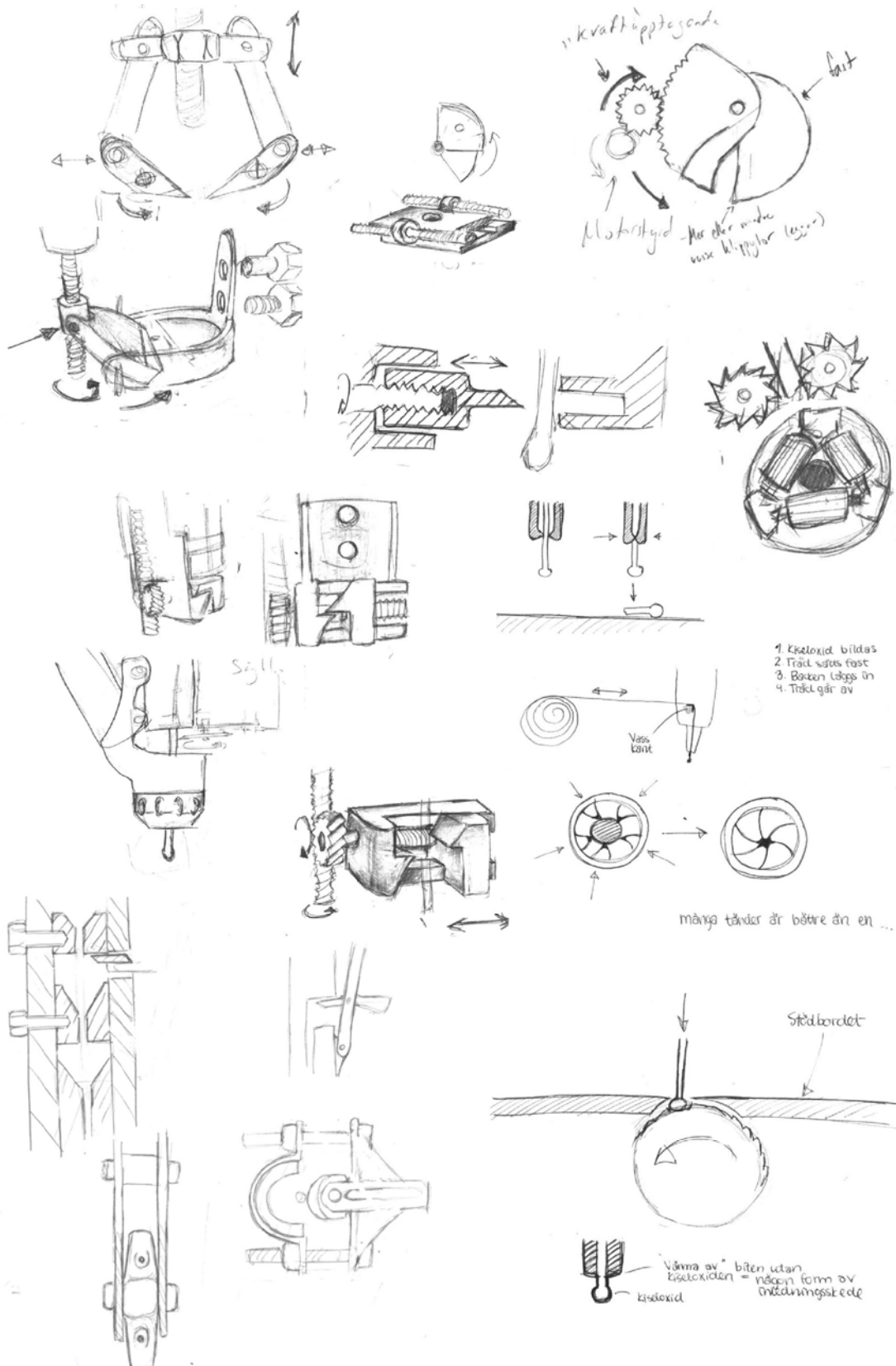
Monteringen av produkten bör kunna göras så att lösningen blir isolerad från originalprodukten och en strömförande.

Montering bör kunna ske utan ingrepp på originalprodukten.

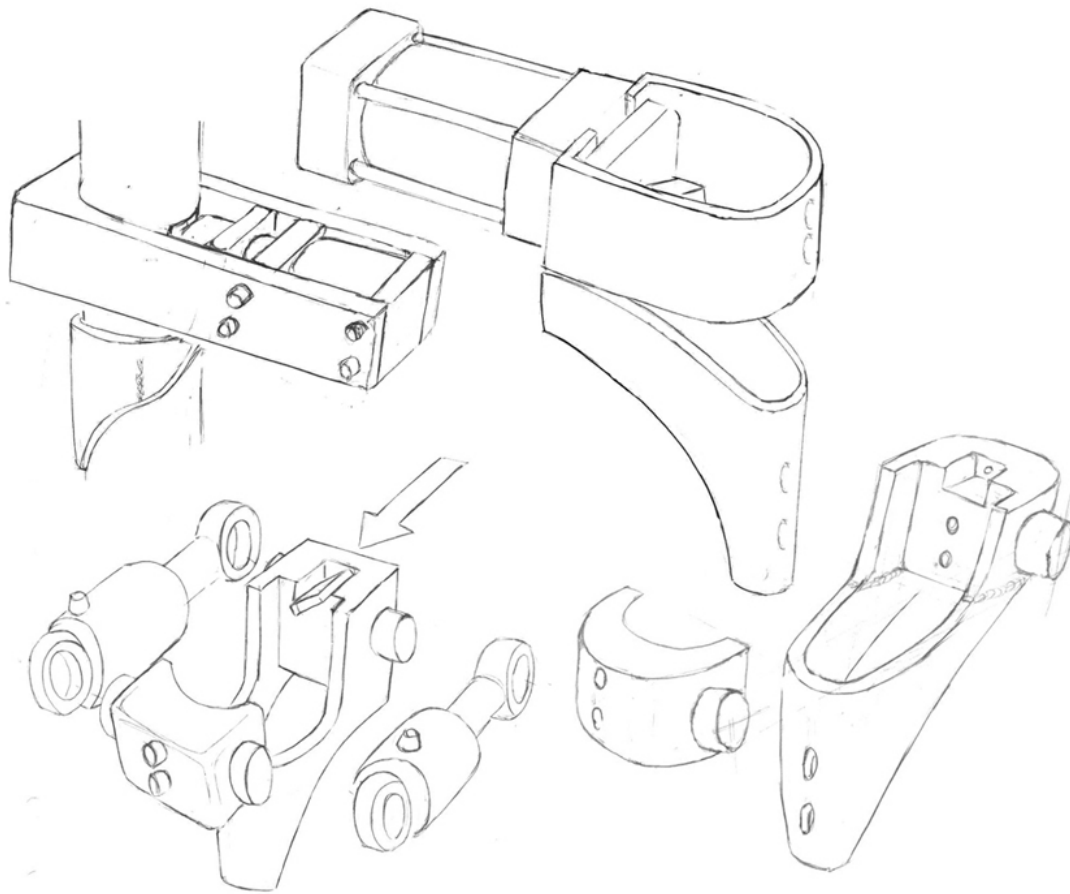
Kapprocessen bör ej ta längre tid än 30 sek.

Kapningen bör kunna ske medan svetshuvudet rör sig.

Appendix I - Tidiga skisser



Appendix J - Senare skisser



Appendix K - Pughmatris

Krav/Önskemål	Vikt	Ovanför backar	Integrerat i backar	Under backar	Värmslinga	"Pennvässare"	Frammatat verktyg	"TIG:a av" mha elektricitet	Backa av mot skärstål
Kapningen skall ej ta längre än 30 sek	8	1	1	1	1	1	1	1	1
Kapningen skall kunna ske medan svetshuvudet rör sig	4	1	1	1	1	1	1	1	1
Produkten skall klara tråddiameter upp till 4 mm	20	1	1	1	1	1	1	1	1
Produkten skall klara Twin-drift	19	1	1	1	1	0	1	0	1
Produkten skall ej påverka svetsinställningar vid användning	16	1	1	0	1	1	1	1	1
Kapningsprocessen skall ej påverka svetsfogen	22	1	1	1	1	1	1	1	1
Kapningsprocessen skall skapa spets (ca 45°)	17	1	1	1	1	1	1	0	0
Produkten skall vara enkel att anpassa till rätt trådtjocklek	13	1	1	1	1	1	1	1	1
Utsticket måste kunna regleras (20-50 mm)	17	1	1	0	1	1	1	1	1
Produkten skall klara gällande maxvikt*	9	1	1	1	1	1	1	1	1
Produktens skall dimensionsmässigt kunna passa tandemhuvud	15	1	1	0	0	0	1	0	1
Produkten skall vara en separat modul	3	1	1	1	1	1	1	1	1
Montering skall kunna ske utan för stora ingrepp på originalprodukten	3	1	0	0	1	1	1	0	1
Produkten skall vara elektriskt isolerad från svetshuvudet	1	1	0	0	0	1	1	0	1
Användande skall ej innebära fara för omgivning och operatör	10	1	1	1	1	1	1	1	1
Kapdelar skall ha en livslängd på 10 år i industrimiljö, eller kunna bytas	8	1	1	1	1	1	1	1	1
Produkten skall tåla oöm hantering	2	1	1	1	0	1	1	0	1
Summa		187	183	135	169	153	187	130	170

*Se viktkrav från ESAB gällande olika placeringar

Appendix L - Morfologisk matris

		Klippa innan backar	Kapa efter backar Fastmonterat verktyg	Backning mot skärstål	Kapa efter fram- matat verktyg	
Krav	1	Kapningsprocessen skall ej påverka den färdiga svetsfogen	1	1	1	1
	2	Produkten skall kunna klippa tråddiameter upp till 4 mm	1	1	1*	1
	3	Produkten skall klara Twin-drift	1	1	1	1
	4	Trådens höjd mellan fluxkåpan till arbetsmaterialet skall kunna regleras 20-50 mm	1	1	1	1
	5	Kapningsprocessen skall skapa en spets på svetstråden	1	1	0	1
	6	Produktens skall dimensionsmässigt kunna passa tandemhuvud	1	1	1	1
Önskemål	7	Produkten bör vara enkel att anpassa till rätt trådtjocklek	0	1	1	1
	8	Produkten bör ej påverka svetsinställningar vid användning	1	1	0	1
	9	Produkten bör klara en maxvikt på 20 kg	1	1	1	1
	10	Produkten bör klara av normal svetstemp	1	1	1	1
	11	Produkten bör vara konstruerad i en modulär design	1	1	1	1
	12	Produkten bör tåla oöm hantering	1	1	1	0
	13	Kapdelar bör ha en livslängd på 10 år i industrimiljö, eller kunna bytas ut.	1	1	1	1
	14	Användande bör ej innebära fara för omgivning och operatör	1	0	1	0
	15	Monteringen bör kunna göras så att lösningen blir isolerad från originalprodukten och ej strömförande	1	1	1	1
	16	Montering bör kunna ske utan ingrepp på originalprodukten	0	0	0	1
	17	Kapprocessen bör ej ta längre tid än 30 sek	1	1	1	1
	18	Kapningen bör kunna ske medan svetshuvudet rör sig	1	1	1	1

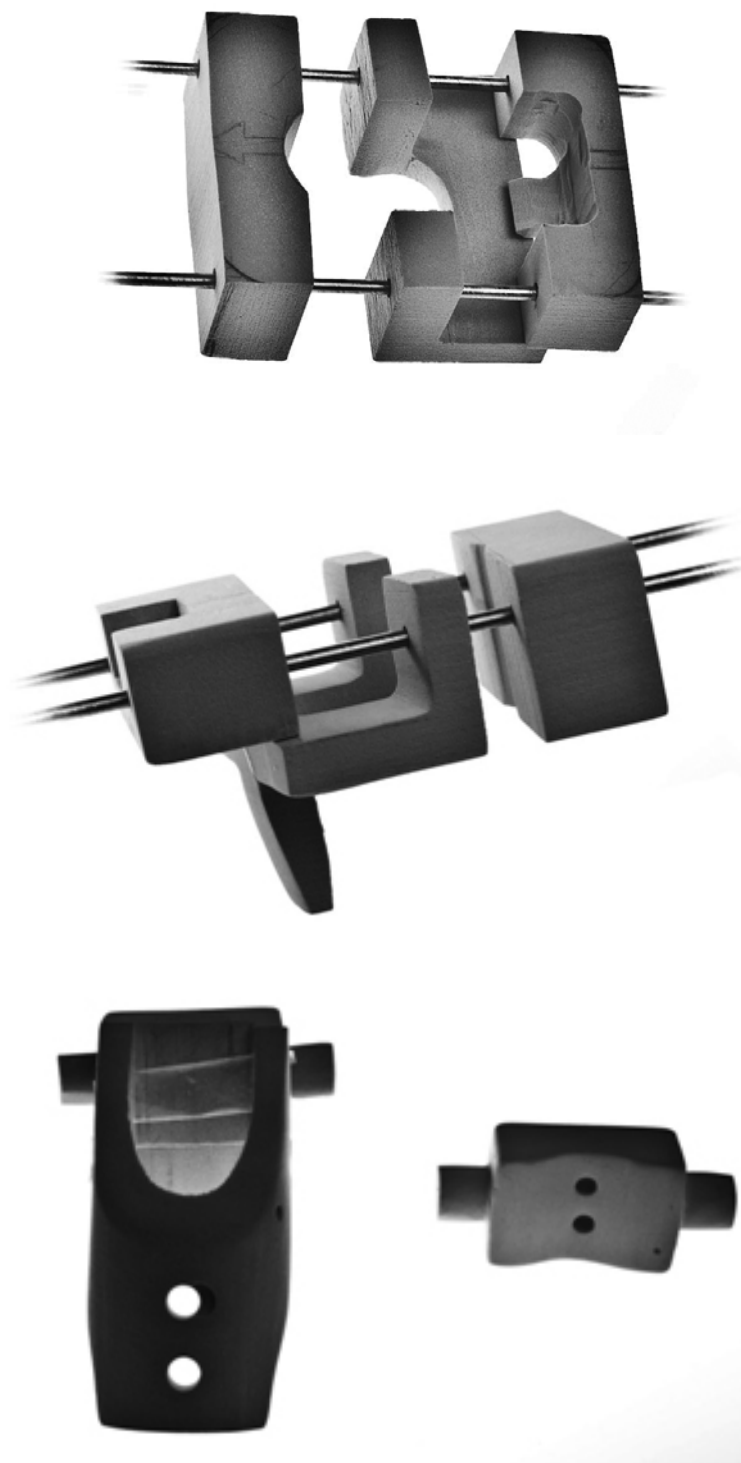
*=verktyget tar bort slagget och kapar inte svetstråden

Bäst

Sämst

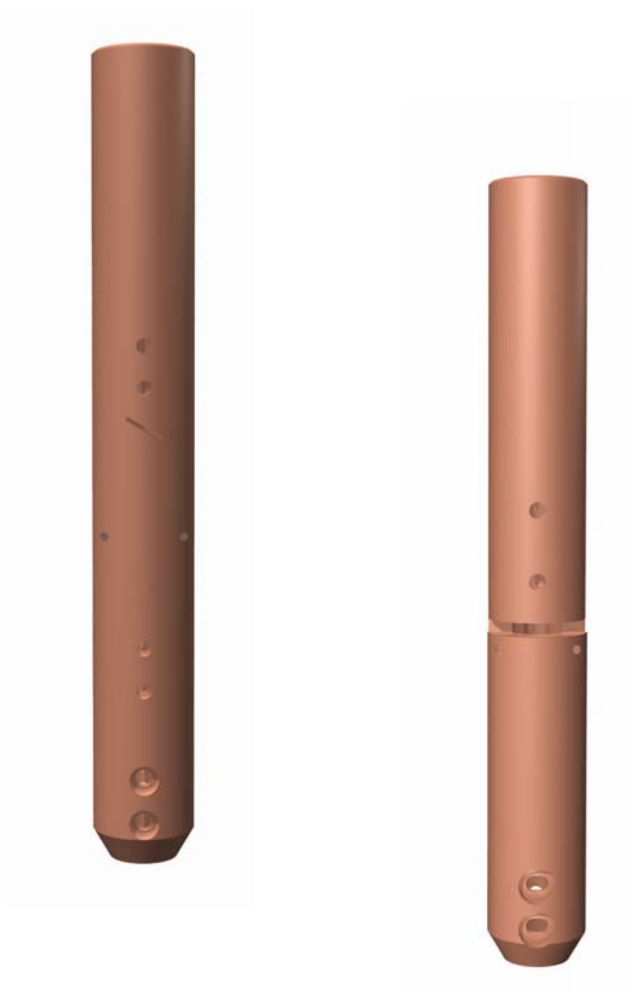
Appendix M - Skissmodeller

Nedan visas modeller av klippmodulen i tidiga stadier.



Appendix N - Hålbild

Nedanstående bilder visar den tänkta hålbilden som blir på svärdet för att den nya klippmodulen skall kunna monteras.



Appendix O - Konstruktionsberäkningar

Bestämning av godstjocklek

Den kraft som krävs för att klippa en 4 mm icke rostfri svetsstråd

$$F_{C, vanlig} = R_{m, vanlig} \times A \times 0,8 = 600 \times (2 \times 2 \times \pi) \times 0,8 = 6000N$$

Den kraft som krävs för att klippa en 4 mm rostfri svetsstråd

$$F_{C, rostfri} = R_{m, rostfri} \times A \times 0,8 = 1100 \times (2 \times 2 \times \pi) \times 0,8 = 11000N$$

Den maximala kraften som hydraulkolven kan generera är 15700 N

Sträckgräns: $\sigma_s = 280$ MPa

Säkerhetsfaktor: 4

$$A = \frac{F}{\sigma_s}$$

$$A = 4 \times \frac{15700}{280} = 224 \text{ mm}^2$$

Beräkning av godstjocklek, t

Det kritiska tvärsnittet är vid infästningen i svärdet. Skruvhålsdiameter $d=6$ mm (2 st), godshöjden är 50mm.

$$A = t \times (50 - 2 \times 6)$$

$$t \approx 6 \text{ mm}$$

Godstjockleken bestäms till 6 mm

Vridmoment på hydraulcilindern

Vridmomentet som hydraulcilindern kan ta upp är 50 N/m

Det genererade momentet från kontaktbackstrycket

Avstånd mellan kontaktbackarnas och cylinderns centrum är 130 mm

Tryckkraften mellan kontaktbackarna är 250 N

$$M_{Kolv} = 0,13 \times 250 = 32,5 \text{ N/m}$$

Hydraulcilindern klarar av momentet med god säkerhetsmarginal

Appendix Q - Beskrivning av materialkandidaterna

Kandidat 1 - Högkolhaltiga stål

Högkolhaltiga stål (0,5-1,7% kol) härdas vid släckning – en kvalitet som ger en hög nivå av kontroll över egenskaperna. Härdbarheten indikerar till vilken grad materialet kan härdas i tjocka snitt; vanliga kolstål har låg härdbarhet – fler legeringselement används för att öka den (se låglegerade stål).

Högkolhaltiga stål får en hårdhet som är tillräckligt hög för att de skall kunna användas som skärverktyg, mejslar och vajrar.

Sammansättning

Fe/0,7 – 1,7%C

Typiska användningsområden

Skärverktyg, högpresterande lager, vevstakar och axlar, fjädrar, knivar och saxar, järnvägsräls.

Kandidat 2 - Medelkolhaltiga stål

Medelkolhaltiga stål (0,25 – 0,7% kol) härdas på samma sätt som högkolhaltiga, och används i enorma mängder till järnvägsräls, men det finns många andra användningsområden med lägre volymer.

Sammansättning

Fe/0,3 - 0,7%C

Typiska användningsområden

Allmän konstruktion, allmän mekanik, verktyg, axlar, växlar, lager, knivar och saxar.

Kandidat 3 - Lågkolhaltiga stål

Lågkolhaltiga stål har minst kolinnehåll, mindre än 0,25%. De är relativt mjuka och lätta att valsa till olika former. Lågkolhaltiga stål räknas som ett av de billigaste konstruktionsmaterial som finns.

Sammansättning

Fe/0.02 - 0.3%C

Typiska användningsområden

Lågkolhaltiga stål har så brett användningsområde att det är väldigt svårt att lista dem. Armering av betong, stålbalkar, takplåtar och karosspaneler på bilar är ett urval av de områden där de vanligtvis används.

Kandidat 4 - Låglegerade stål

Krom-molybdenstål såsom AIS 4140 används till flygplansrör och andra delar med höga krav på styrka. Krom-vanadinstål används till vev- och propelleraxlar samt kvalitetsverktyg. Stål som legeras för detta syfte kallas låglegerade stål, och denna egenskap kallas härdbarhet. Låglegerade stål går att värmebehandla, vilket ej går med kolstål, vilket gör att de är lämpliga för applikationer där hårdhet och styrka är viktiga egenskaper. De har hög slitstyrka, högre seghet och är starkare vid högre temperaturer än vanliga kolstål. Legerade stål med ett kolinnehåll på 0,30 – 0,37% används för medelmåttig styrka och hög seghet; 0,40 – 0,42% för högre styrka och god seghet; 0,45 – 0,50% för hög hårdhet och styrka med medelmåttig seghet; 0,50 – 0,62% för hårdhet (fjäder- och verktygsstål) och 1% för hög hårdhet och slitstyrka (kul- och rullager).

Sammansättning Fe/<1.0 C/<2.5 Cr/<2.5 Ni/<2.5 Mo/<2.5 V

Typiska användningsområden

Fjädrar, verktyg, kullager, rullar, vevaxlar, växlar, vevstakar, knivar och saxar samt tryckkärl.

Appendix R - LCA

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	X
1	Material & Processes	Pre-Use			Use			Post-Use															Sum
2		Production			Life			Landfill			Combustion (Reuse of Energy)			Reuse - Component			Reuse - Material			Reuse, other option			
3	Units	Spec. env. ind.	Amount [kg]	Index [ELU]	Spec. env. ind.	Amount [kg]	Index [ELU]	Spec. env. ind.	Amount [kg]	Index [ELU]	Spec. env. ind.	Amount [kg]	Index [ELU]	Spec. env. ind.	Amount [kg]	Index [ELU]	Spec. env. ind.	Amount [kg]	Index [ELU]	Spec. env. ind.	Amount [kg]	Index [ELU]	Index [ELU]
		[ELU/kg]			[ELU/kg]			[ELU/kg]			[ELU/kg]			[ELU/kg]			[ELU/kg]			[ELU/kg]			
4	Material:																						
5	Stålpåt (untreated)	0,29	0,065	0,019		-		0	0,003	0		-		-0,29	0,00	0,00	-0,29	0,05	-0,01		-		0,004
6	Stålpåt (galvanized)	0,92	0,952	0,875		-		0	0,048	0		-		-0,92	0,05	-0,04	-0,92	0,71	-0,66		-		0,18
7	Steel, sheet (untreated)	0,29	1,0163	0,2947				0	0,2033	0		-		-0,29	0,05	-0,01	-0,29	0,76	-0,22				0,06
8	Paint (ELU/m2)	0,01	0,1	0,001				0	0,02	0		-		-0,01	0,05	0,00		-					0,00
9																							
10	Life:																						
11	Electricity (ELU/MJ)	0	-	0	0,0092	254	2,3368		-			-		-			-				-		
12																							
13	Processes:																						
14	Sheet metal working	0,043	1,0163	0,0437		-			-			-		-			-				-		0,0437
15																							
16	SUM			0,3394			2,3368			0			0			-0,01			-0,22				2,44