

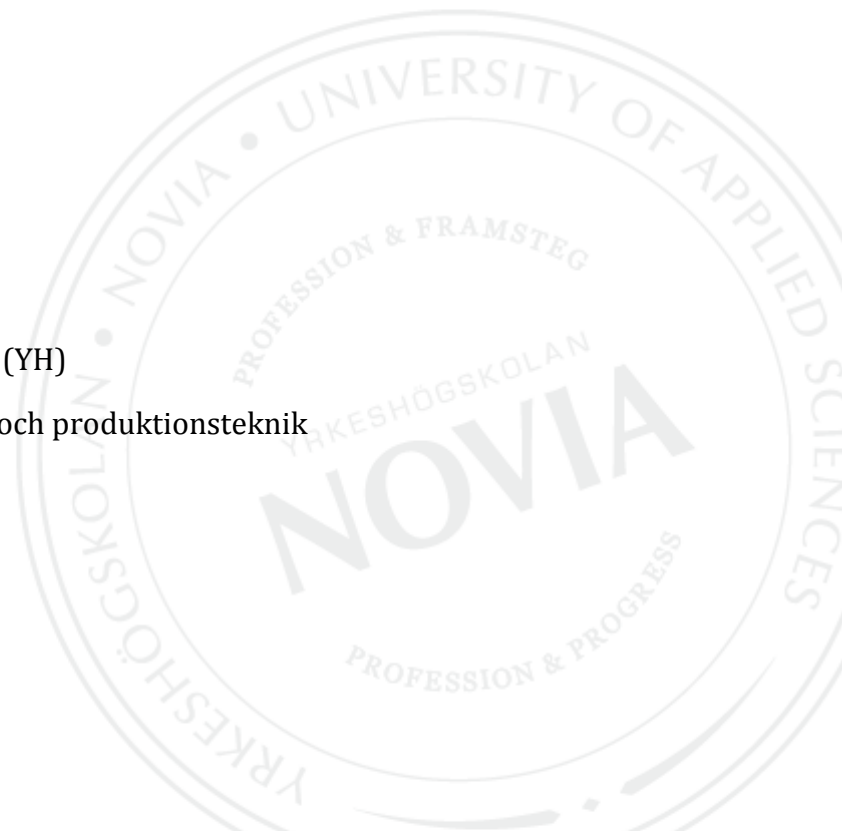
Studie av svetsmetoder för plastfilm

Kristoffer Klingenberg

Examensarbete för ingenjörsexamen (YH)

Utbildningsprogrammet för maskin- och produktionsteknik

Vasa 2016



EXAMENSARBETE

Författare: Kristoffer Klingenberg
Utbildningsprogram och ort: Maskin- och produktionsteknik, Vasa
Inriktningalternativ: Drift- och energiteknik
Handledare: Andreas Gammelgård, Stefan Backman

Titel: *Studie av svetsmetoder för plastfilm.*

Datum: 18.5.2015

Sidantal: 22

Bilagor: 2

Abstrakt

Uppdragsgivaren för detta examensarbete är Fluid-Bag som är ett företag som producerar 900 och 1000 liters plastcontainers ämnade för industrianvändning.

Syftet med examensarbetet är att utföra en studie av svetsmetoderna för plastfilm som används inom industrin idag och förbättra företagets kunskap i ämnet. Svetsmaskinen som används idag börjar vara föråldrad. Den producerar produkter av hög kvalitet men är långsam. Det finns teorier om att en ny, bättre svetsmetod kan leda till kortare svetstider och eventuellt en möjlighet att gå ner i folietjocklek. Företaget kommer möjligtvis att investera i en ny svetsmaskin och då vill man vara säkra på att rätt metod för själva svetsningen väljs.

Arbetets resultat fås genom att skicka plastprover till svetsmaskinstillverkare för analys och eventuell provsvetsning. De olika metoderna utvärderas enligt Fluid Bags krav.

Språk: svenska

Nyckelord: undersökning, plast, svetsning

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Kristoffer Klingenberg
Koulutusohjelma ja paikkakunta: Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto: Ylläpito- ja energiatekniikka
Ohjaajat: Andreas Gammelgård, Stefan Backman

Nimike: *Tutkimus muovikelman hitsaustekniikoista*

Päivämäärä: 18.5.2016 Sivumäärä: 22 Liitteet: 2

Tiivistelmä

Opinnäytetyön toimeksiantaja on yritys nimeltään Fluid-Bag. Fluid-Bag tuottaa 900 litran ja 1000 litran muovisäiliöitä teolliseen käyttöön.

Opinnäytetyön tarkoitus on parantaa yrityksen tietotaitoa tutkimalla muovikelman eri hitsaustekniikoita, joita käytetään teollisuusalalla nykypäivänä. Yrityksen nykypäivänä käyttämä hitsauskone kaipaa päivitystä. Nykyinen tuotanto on korkealaatuista mutta hidasta. Joidenkin teorioiden mukaan on olemassa uusi, parempi hitsaustekniikka, jonka avulla hitsausajat lyhenisivät ja kelmusta tulisi ohuempi. Yrityksellä on aikomus investoida uuteen hitsauskoneeseen ja siksi he haluavat varmistua oikeasta hitsaustekniikasta.

Opinnäytetyön tulos syntyi muovinäytteistä jotka lähetettiin hitsauskoneen valmistajalle analyysia ja mahdollista koehitsausta varten. Eri hitsaustekniikat arvosteltiin Fluid-Bagin vaatimusten mukaisesti.

Kieli: ruotsi Avainsanat: tutkimus, hitsaus, muovi

BACHELOR'S THESIS

Author: Kristoffer Klingenberg
Degree Program: Mechanical and production engineering, Vasa
Specialization: Operation and energy engineering
Supervisors: Andreas Gammelgård, Stefan Backman

Title: *Study of Welding Methods for Plastic Film.*

Date: 18.5.2016

Number of pages: 22

Appendices: 2

Abstract

This Bachelor's thesis was made on behalf of Fluid-Bag that is a company producing 900 and 1000 liter plastic bulk containers meant for industrial use.

The main purpose of the thesis is to study the welding methods for plastic film that are used in the industry today and to improve Fluid-Bags knowledge in the subject. The machine they use today is starting to be quite outdated. It produces products of high quality but is slow. There are theories in the company that a better welding method could lead to faster welding and maybe a possibility of decreasing the foil thickness. The company will possibly invest in a new welding machine and they want to be sure that they choose the right method for welding.

The results are achieved by sending plastic samples to welding machine producers and having them analyze the material according to their welding method. The test outcomes are then evaluated according to Fluid Bags requirements.

Language: swedish

Key words: study, welding, plastic

Innehållsförteckning

| | | |
|-----|--------------------------|----|
| 1 | Inledning..... | 1 |
| 1.1 | Bakgrund | 1 |
| 1.2 | Syfte | 2 |
| 1.3 | Avgränsningar | 2 |
| 1.4 | Problemformulering | 2 |
| 2 | Teori | 5 |
| 2.1 | Plaster | 5 |
| 2.2 | Polyeten – PE..... | 7 |
| 2.3 | Svetsning..... | 7 |
| 2.4 | Varmförsegling..... | 8 |
| 2.5 | Ultraljudssvetsning..... | 9 |
| 2.6 | Lasersvetsning..... | 11 |
| 3 | Metod | 16 |
| 4 | Resultat | 18 |
| 4.1 | Varmförsegling..... | 18 |
| 4.2 | Lasersvetsning..... | 19 |
| 4.3 | Ultraljudssvetsning..... | 20 |
| 5 | Diskussion | 21 |
| 6 | Källförteckning..... | 22 |

Figurförteckning

Figur 1. Fluid-Bags logo.

Figur 2. Fluid-Bag Multi (vänster) och Fluid-Bag Flexi (höger).

Figur 3. Indelning av syntetiska polymerer.

Figur 4. Ultraljudssvetsens delar.

Figur 5. Händelseförlopp vid lasersvetsning.

Figur 6. Kontursvetsning.

Figur 7. Simultansvetsning.

Figur 8. Kvasisimultansvetsning.

Figur 9. Masksvetsning.

Figur 10. Fluid-Bags fog (vänster) och Bmteks testfogar (höger).

Figur 11. Svetsfog som bränts p.g.a. aluminiumfolie.

Bilageförteckning

Bilaga 1. Projektplan.

Bilaga 2. Laser Beam Welding of Multilayer Film Parameter Summary.

1 Inledning

I kapitlet inledning förklaras orsaken till att arbetet utförs. Bakgrunden, målet och arbetets avgränsningar går igenom. Problemet formuleras.

1.1 Bakgrund

Fluid-Bag är ett privatägt företag med sitt huvudkontor i Jakobstad och ett dotterbolag i Chonburi, Thailand. Fluid-Bag fick sin början tidigt 1980-tal när man såg behovet för och började utveckla en lätt, flexibel behållare för transport och förvaring av vätskor för industrianvändning. Företaget grundades 1984 och påbörjade produktionen och har sedan dess utvecklats och lyckats fästa sig internationellt. Internationell uppmärksamhet fick företaget tidigt. Redan år 1986 blev Fluid-Bag tilldelat "Worldstar For Packaging" priset för den mest innovativa bulkvätskecontainern. Företaget har idag ca 60 anställda. Omsättningen år 2015 var ungefär 11 miljoner euro. Fluid-Bags senaste steg i utvecklingen var att öppna ett kontor i Cincinnati, USA. Detta för att, till en början, kunna hjälpa till med försäljning och service för att stärka Fluid-Bags närvaro i USA. Nämnvärda företag som använder fluid-bags är t.ex.: ExxonMobil, Bayer HealthCare och Wacker Silicones.



Figur 1. Fluid-Bags logo

Svetsmaskinen som används idag börjar vara föråldrad. Jämfört med resten av produktionen är svetsmaskinen produktionens största flaskhals. Den producerar produkter av hög kvalitet men är långsam. Det finns teorier om att en ny, bättre svetsmetod kan leda till kortare svetstider och eventuellt en möjlighet att gå ner i folietjocklek. Det finns planer att investera i en ny svetsmaskin. Det här examensarbetet är en del av det projektet eftersom man vid Fluid-Bag vill skaffa sig mera information om hur plastsvetsning ser ut på marknaden idag förrän man gör en

investering. Svetsmetoden har varit den samma sedan man började produktionen. Endast små optimeringar och förbättringar har skett.

I början av 2010 har det gjorts ett liknande examensarbete vid Fluid-Bag. Det arbetet undersökte lasersvetsning, ultraljudsvetsning och hur de kunde implementeras vid Fluid-Bag. Det skickades också iväg bitar av plast som används vid Fluid-Bag för att provsvetsas med ultraljudssvets men resultaten var dåliga. Man tycker nu vid företaget att det behövs en ny undersökning för att få en bredare bild av de möjligheter som finns och studera hur industrin har utvecklats.

1.2 Syfte

Arbetets syfte är att förbättra Fluid-Bags kunskap om svetsmetoder för plastfilm. Delsyftet är att utföra en studie av de olika svetsmetoderna för plastfilm som används inom industrin i dagsläget och utvärdera dem enligt Fluid-Bags krav på svetsning. Om det finns svetsmetoder som inte i dagsläget lämpar sig för användning vid Fluid-Bag men som kan fungera efter lite utveckling, kommer de också att lyftas fram i arbetet.

1.3 Avgränsningar

Det här examensarbetet kommer främst att undersöka svetsning av den yttre svetsfogen på behållaren. Fokus läggs på att hitta metoder som klarar av alla Fluid-Bags konfigurationer men om metoder som klarar av de vanligare och enklare konfigurationerna exceptionellt bra, men inte de svårare konfigurationerna, kommer även de att lyftas fram. I arbetet tas inga ekonomiska aspekter i beaktande varken för inhandling eller användning av svetsssystem.

1.4 Problemformulering

Fluid-Bag tillverkar omfattande, flexibla vätskebehållare i 900 och 1000 liters klassen. Behållaren består av en inre plastfilm och en yttre plastväv vars uppgift är att ta upp

de största belastningarna istället för den skörare inre plastfilmen. För fyllning och tömning finns på containerns undersida ett utloppsrör och på översidan en toppventil för fyllning. Det finns olika grovlekar och design på utloppsrören beroende på vätskans egenskaper.

Behållaren används för förvarning och transport av allt från livsmedel och läkemedel till reaktiva kemikalier och t.ex. smörjmedel eller silikon. Detta leder till att det ställs olika kemiska krav på den inre plastfolien som är i kontakt med vätskan och därför finns det många olika konfigurationer på den inre behållaren, noggrant utvalda för att behandla den förvarade vätskan så bra som möjligt. För tömning och fyllning av behållarna krävs tilläggsutrustning. Fluid-bag säljer även utrustning för detta.



Figur 2. Fluid-Bag Multi (vänster) och Fluid-Bag Flexi (höger)

Att välja en svetsmetod för Fluid-Bag är inte så enkelt som det kunde vara att välja en metod för tillverkning av t.ex. plastpåsar för bruk i köpcenter som endast har en konfiguration och en plastsort. Vid Fluid-Bag används många olika plasttyper i många olika konfigurationer. I en av de vanligaste kombinationerna finns en inre plastfolie bestående av en 5-skiktts folie med LLDPE på båda ytorna och EVOH-skikt i mitten. Den inre folien är i kontakt med vätskan och väljs efter dess egenskaper att bevara den. Utanför denna folie finns en 3-skikttsfolie bestående av bimodala LLDPE-material. Den

yttre foliens uppgift är att skydda den inre. Vid den värsta kombinationen av plaster ur svetsteknisk synpunkt har man en tredje folie mellan de två andra. Detta ger i värsta fall 6 olika plastfolier (totalt 740 μm) i fogen som ska svetsas ihop, inklusive 2 tunna aluminiumskikt (9 μm).

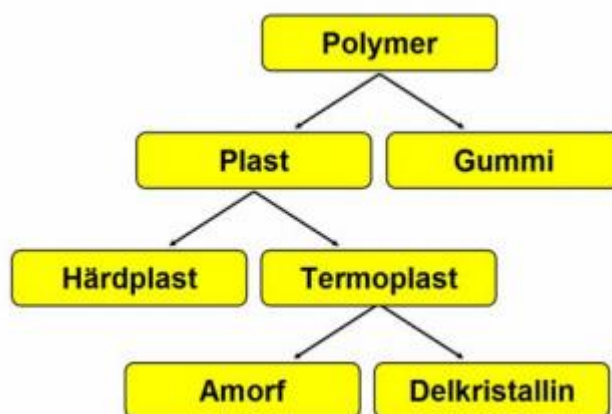
Själva svetsfogen skall hålla lika mycket eller mer än folien. När man gör dragprov skall folien intill svetsfogen gå av, inte själva svetsfogen. Svetsfogen skall vara helt vattentät, även under 700 mbar övertryck.

2 Teori

Detta kapitel behandlar plaster i allmänhet. Plastens uppbyggnad och egenskaper som är viktiga att beakta vid svetsning. Här studeras också funktionen hos de svetsmetoder för plast som tas upp i arbetet. Svetsmetoder som inte går att anpassa till plastfilm utelämnas.

2.1 Plaster

När man pratar om plaster menar man konstruktionsmaterial som baserar sig på polymerer, oftast med olika tillsatsämnen för att ge plasten de egenskaper man önskar. Det är vanligt att tillsatsämnen används som: stabilisatorer, smörjmedel, färgämnen, brandskyddstillsatser m.m. Polymerer är kemiska föreningar uppbyggda av långa kedjor av mindre, upprepande enheter. Polymerkedjor skiljer sig från vanliga kemiska molekyllkedjor därför att de är mycket längre. När man talar om polymerer som konstruktionsmaterial kallar man det i dagligt tal för plaster. Största delen av polymerer är syntetiskt tillverkade men naturliga polymerer kan också förekomma, som bärnsten och gummi. Syntetiska polymerer brukar delas in i några undergrupper. Polymer delas in i gummi och plast, plast består av hårdplast eller termoplast och termoplast är antingen amorf eller delkristallin. (Figur 3.)



Figur 3. Indeling av syntetiska polymerer.

Hårdplast har tvärbindingar mellan molekyllkedjorna. Tvärbindingar är så starka att de inte bryts när man värmer upp dem. Detta leder till att materialet inte kan smälta. Saker man i vardagen kommer i kontakt med som är gjort av hårdplast är t.ex.

kastrullhandtag, plastlaminat, tvåkomponentslim, plastbåtar, bilkarosser eller skosulor. Fördelar med hårdplaster är bl.a. att de går att få väldigt hårda och tål hög användningstemperatur. Nackdelar bl.a. lång bearbetningsprocess och svår att återvinna. (Bruder, 2014, s. 17-19)

Termoplaster skiljer sig från hårdplast eftersom de smälter när de värms upp, detta gör dem lätta att bearbeta. Här används de vanligaste bearbetningsmetoderna av plast som t.ex. formsprutning, extrudering, filmbåsning och formblåsning. Termoplast går att smälta om flera gånger. Detta gör att det är enkelt att återvinna produkter gjorda av termoplast. Det är inte ovanligt att basplasterna kan återvinnas upp till sju gånger. Detta gäller inte för konstruktionsplaster och avancerade plaster eftersom deras specialegenskaper snabbt påverkas vid återvinning. Om plaster inte lämpar sig för användning i en ny produkt kan man bränna plasten för att ta tillvara energiinnehållet (Bruder, 2014, s. 19)

Många polymerer är kristallina. Det innebär att deras molekylkedjor har en simpel och symmetrisk uppbyggnad. Polymerer som inte har en symmetrisk struktur är amorfa, det innebär att deras molekylkedjor är helt slumpvis och oregelbundet fästa i varandra. Ingen polymer kan kristallisera till 100%, ingen polymer har alltså en helt regelbunden struktur. Därför kallas ofta kristallina polymerer för delkristallina polymerer.

Amorfa termoplaster har ingen smältpunkt utan mjuknar sakta vid uppvärmning, likt glas, och kan varmformas. Istället för en smältpunkt anger man en glastransitionstemperatur där molekylkedjorna börjar röra på sig. Delkristallina plaster mjuknar inte på samma sätt. Delkristallina plaster har en smältpunkt där de övergår från fast till flytande form. (Klason & Kubát, 2001, S. 16-17)

2.2 Polyeten – PE

Runt om i världen tillverkas över 60 miljoner ton polyeten varje år. Polyeten är den vanligaste plasten. Polyeten eller PE som det oftast kallas är en delkristallin termoplast. Det finns olika sorters polyeten som delas in i grupper beroende på densitet och polymerkedjornas utseende. Bruder (2014, S. 21) delar in polyeten på följande vis:

- UHMWPE – Ultrahög molekylvikt (ultra high molecular weight)
- HDPE – Hög densitet (High density)
- MDPE – Medeldensitet (medium density)
- LLDPE – Linjär låg densitet (linear low density)
- LDPE – Låg densitet (Low density)
- PEX – Tvärbunden (Cross linked)

Polyeten har blivit den vanligaste volymplasten på grund av dess många positiva egenskaper. Den har låg densitet och är billig jämfört med andra plaster, lätt att få livsmedelsgodkänd, behåller elasticiteten ned till -50°C och har försumbar fuktabsorbation. På grund av dessa egenskaper är polyeten vanligt att använda till t.ex. förpackningsfilmer. (Bruder, 2014, S. 21)

2.3 Svetsning

Svetsning av plast blir aktuellt när formen på en produkt inte direkt kan uppnås under tillverkningens första skede utan måste tillverkas i flera delar. Ett antal olika sätt att sammanfoga plast används idag. För plastfilm finns endast två metoder som räknas som användbara: svetsning och limning. Limning undviks ofta för att undvika kemiska angrepp på plasten och för att det är svårt att åstadkomma jämna, bra limfogar. Enligt Klason och Kubát (2001, S. 286) bör limning undvikas vid förpackningsändamål eller i samband med livsmedelshantering.

Det finns ett antal olika svetsmetoder för plast men få av dem lämpar sig för svetsning av plastfilm. Gemensamt för alla metoder är att de värmer upp plasten till dess smältpunkt vid filmernas kontaktyta där det bildas en fog när filmerna stelnar under ihoppressning. Detta kräver alltså att detaljerna som svetsas består av termoplast för att de skall kunna smälta vid fogen. Hårdplast går inte att svetsa utan då måste man istället använda metoder som limning eller mekanisk fogning. (Bearbetning från a till ö, 2005)

2.4 Varmförsegling

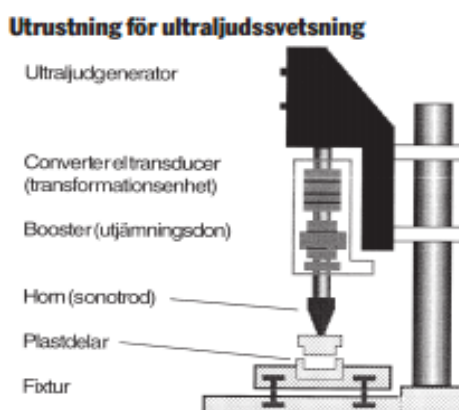
Varmförsegling är den vanligaste metoden för att sammanfoga plastfilm. Det finns två olika varianter av metoden: kontakt- och impulsmetoden. Vid kontaktmetoden placeras plastfilmen mellan två metallstänger, en ovanför och en under. Den undre stängan är oftast stationär och håller en konstant låg temperatur för att undvika förändringar i temperaturen som skulle uppstå om förseglingen genomfördes mot ett okontrollerat underlag. Förändringar i temperaturen på undersidan skulle leda till inkonsistenta fogresultat. Den övre stängan är oftast den som är rörlig och håller en hög temperatur. Stängernas temperaturer varierar beroende på plasten som svetsas. Temperaturen väljs så hög som möjligt så att plasten snabbt når sin smälttemperatur men inte så hög att plasten riskerar att nå sin sönderdelningstemperatur. Metallstängerna är inte i direktkontakt med plasten. Mellan stängerna och plasten finns ett tunt teflonlager för att undvika att plasten fastnar i stängerna efter att den värmts upp. Stängernas utformning varierar enligt hurdan svetsfog man söker. Det är vanligt att den övre stängens yta är täckt med silikongummi för att se till att trycket över svetsfogen blir jämt.

Vid impulsmetoden håller den heta metallstängan inte konstant värme utan får värmen från en eller en serie kraftiga strömstötter när stängan är i nedre läget och plastfilmen är under tryck. Detta ger en kortare kyltid än vid kontaktmetoden. Både uppvärmning och kylning sker under tryck. I vissa fall kan man föredra tvåsidig svetsning. Detta ger en jämnare temperaturprofil. (Bearbetning från a till ö, 2005)

2.5 Ultraljudssvetsning

Vid ultraljudssvetsning använder man sig av mekaniska svängningar med väldigt låg amplitud och så hög frekvens en och så liten våglängd att människor inte kan uppfatta ljudet. Frekvensen ligger mellan 20 kHz och 50 kHz och den högsta frekvensen som en ung människas öra kan uppfatta är 20 kHz. I de vanligaste systemen är detaljen som skall svetsas infäst av en undre stationär del och en övre del som tillför de högfrekventa vibrationerna. Där de två ytorna som skall sammanfogas rör i varandra uppstår friktion och kraftiga molekylrörelser vilket får plasten att smälta. Vibrationen upphör och detaljen kallnar under tryck och fogen stelnar.

En ultraljudssvets består av följande delar: En elektrisk tongenerator, en transducer, en booster och ett horn. Tongeneratoren är systemets kraftkälla och omvandlar 50-60 Hz växelström till elkraft med hög frekvens i området 20-40 kHz. Där efter omvandlar transducern energin till mekaniska svängningar i området 15-70 kHz. Som nämnts tidigare är det vanligaste området 20-40 kHz. Rörelsens amplitud vid 20 kHz ligger mellan 0,013 och 0,02 mm. Nästa steg är att vibrationerna förstärks i en booster och hornet. Boostern är en mellankoppling mellan transducern och hornet. Boostern är inte alltid nödvändig. Boostern behövs när hornets önskade form är sådan att de inte kan ge rätt amplitud på egen hand. Boostern är utformad så att den ökar eller minskar amplituden i hornet eller, om justeringar av amplituden inte behövs, bara fungera som en koppling.



Figur 4. Ultraljudssvetsens delar.

Hornet kommer i olika utformningar beroende på detaljen som svetsas. Standardhornen är anpassade till olika amplituder och materialbelastningar.

Standardhorn kommer oftast i rektangulära eller cylindriska former. Cylindriska standardhorn kan ha en inre diameter upp till 280 mm. Vid svetsning av formsprutgods eller liknande detaljer är svetsfogens utformning inte direkt beroende av formen på hornet. Vibrationerna leds genom den hårda plasten och friktion uppstår vid svetsfogen. Beroende på plasten är det mer eller mindre viktigt att avståndet mellan hornets kontaktyta och svetsfogen är så litet som möjligt och kortare än 6 mm. Det är, beroende på materialet, möjligt att svetsa i så kallade fjärrfält alltså när avståndet mellan hornets kontaktyta och svetsfogen är större än 6 mm. Svetsning i fjärrfält kräver en amorf plast eftersom de är lättare att svetsa än delkristallina plaster. Det är också viktigt att plasterna som svetsas ihop har närliggande smältpunkter.

Vid svetsning av plastfilm med ultraljud är svetsfogens utformning direkt beroende av hornets form. Det är vanligt att man använder ultraljudssvetsning för att utföra enklare svetsfogar på plastfilm som korta fogar, punktsvetsning eller mindre cirkulära fogar. Även större och mer komplexa fogar kan göras med specialutrustning. Man kan t.ex. svetsa en kontinuerlig fog i plastfilm genom att använda en serie roterande hjul som trycker filmen mot ett stationärt horn samtidigt som filmen rör sig. Med den här metoden kan man svetsa flera meter plastfilm per sekund.

Svetsning med ultraljud är vanligast och lättast att tillämpa vid formsprutade detaljer. Vanliga användningsområden är fordonsindustrin, vitvaror, leksaker, förpackningar m.m. Metoden är mycket ren, använder inga tillsatssämnen och är framför allt väldigt snabb. En standardmaskin kan sammanfoga 30 detaljer per minut och över 60 per minut vid mer automatiserade anläggningar. Vissa detaljer tar längre beroende på material och utformning men i allmänhet rör det sig om några sekunder per sammanfogning.

Det finns några hälsorisker vid användning av ultraljudssvetsning. Trots att frekvenserna ligger utanför det för människan hörbara området kan lägre resonansfrekvenser uppkomma. Detta kan leda till hörselskador, huvudvärk och illamående. Det föredras att systemet är ljudisolerat och att personalen använder hörselskydd. (Bearbetning från a till ö, 2005)

2.6 Lasersvetsning

Svetsning med laser är en rätt så ny teknik inom industrierna. Detta gör också att den utvecklas snabbast eftersom den fortfarande är rätt så outforskad. Lasersvetsning har blivit allt vanligare sedan slutet av 1990-talet. Många företag var till en början tveksamma till användning av lasrar. Delvis p.g.a. de höga inköspriserna för utrustningen men också för att de flesta företagen måste göra justeringar i sina material för att göra lasersvetsning möjlig. När man sedan såg på totalkostnaderna vid produktion märkte man att kostnaderna i många fall var lägre än vid användning av andra vanligare sammanfogningstekniker.

En laser fungerar på följande sätt. Man har två speglar, en reflekterar allt ljus, den andra släpper igenom en viss våglängd och reflekterar tillbaka resten in i systemet. Det är vid den spegeln som är delvis reflekterande som laserstrålen lämnar systemet. Mellan speglarna finns ett ljusfösterkande medium. Mediet är normalt en kristall eller en gas. Den sista komponenten är där energin kommer in i systemet, vanligtvis i form av en elektrisk ström eller ljus av en annan våglängd. Beroende på komponenterna i lasern får laserstrålen olika effekt och våglängd. (Silfast, 2004)

Fyra grundläggande krav för att genomförande av sammanfogning med laser skall vara möjlig:

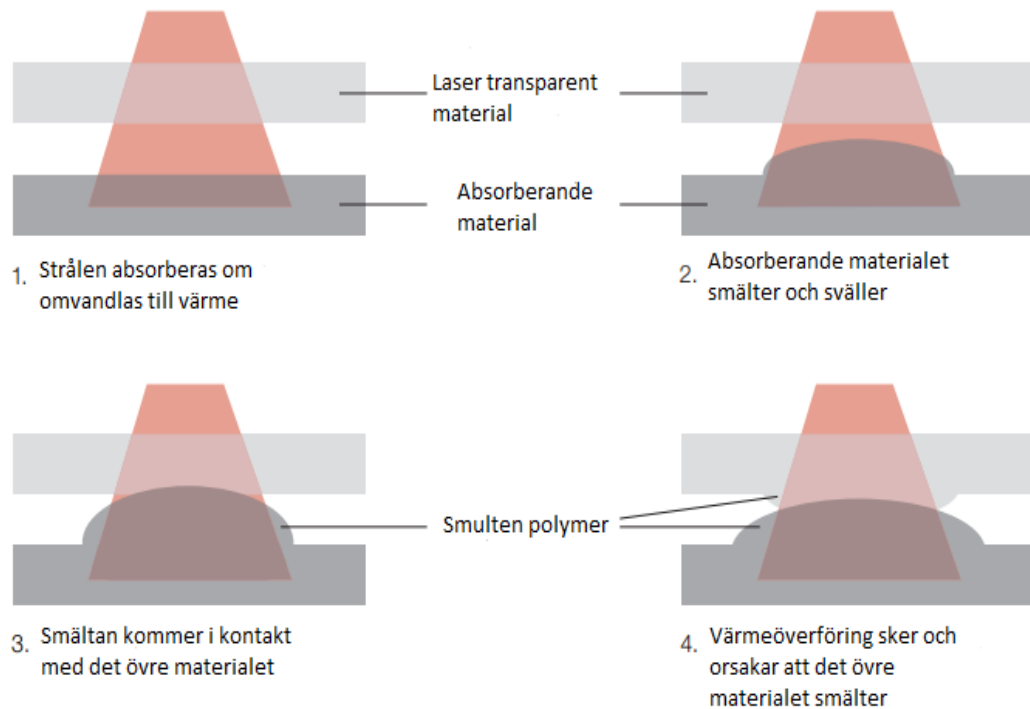
1. Lasertransparent övre lager

Den övre delen måste vara genomskinlig för att lasern skall kunna gå igenom (Fig 5). Att delen är genomskinlig betyder nödvändigtvis att den är transparent för det mänskliga ögat men den är transparent för laserns våglängd så att strålen kan gå genom delen ostört.

2. Ett laserabsorberande undre lager

Det undre lagret absorberar energin i laserstrålen och omvandlar den till värme vid fogområdet (Fig 5).

Det är vanligt att man använder tillsatsämnen i det undre lagret för att göra det laserabsorberande. Ett vanligt tillsatsämne är sot i väldigt små mängder (0,2-0,4 procent). Det finns många andra tillsatsämnen med olika egenskaper.



Figur 5. Händelseförlopp vid lasersvetsning.

3. Materialkompatibilitet

Det är viktigt att de polymerer som skall sammanfogas hör till samma plastgrupp eller de måste alltså ha liknande egenskaper som smältpunkt, värmeledningsförmåga m.m. Om plasterna är för olika kommer den ena delen att brännas eller brinna upp medan den andra delen förblir opåverkad.

4. Kontakt

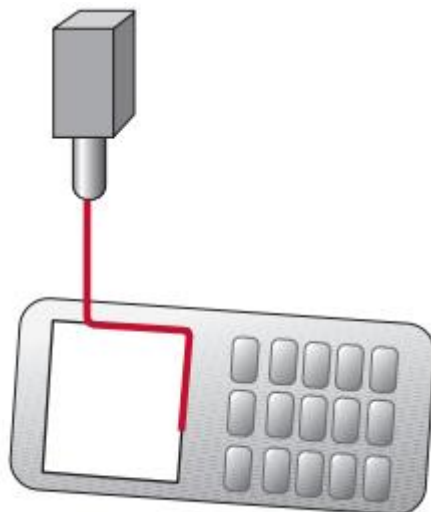
För att sammanfogningen skall lyckas måste den värme som bildas i den undre laserabsorberande delen kunna överföras till den övre delen. För att uppnå den här värmeöverföringen krävs att delarna är i kontakt med varandra.

Det finns ett antal olika tillvägagångssätt för att åstadkomma en svetsfog med den utformning man önskar. De olika metoderna är följande.

Kontursvetsning

Vid kontursvetsning (Fig. 6) rör sig antingen laserstrålen längs sömmen eller så rör sig delen som svetsas i förhållande till lasern för att uppnå formen på fogen. En fördel med

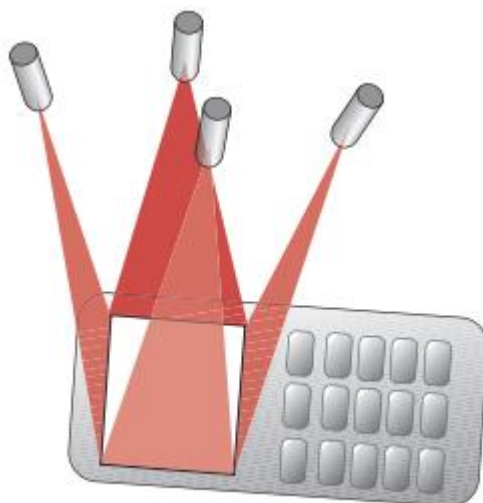
metoden är att den kan utföra komplexa former och är enkel att programmera om detaljen man svetsar byts ofta.



Figur 6. Kontursvetsning.

Simultansvetsning

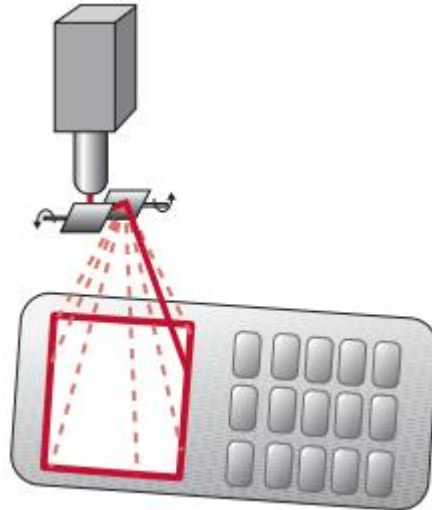
När man använder sig av simultansvetsning (Fig. 7) har man flera laserstrålar som är aktiva samtidigt och hela fogen svetsas samtidigt. Här är både laserstrålarna och komponenten som svetsas stationär. En fördel är att man uppnår väldigt korta svetsstider men man kan endast svetsa raka linjer och det kräver stora omställningar vid formändringar på svetsfogen.



Figur 7. Simultansvetsning.

Kvasisisimultansvetsning

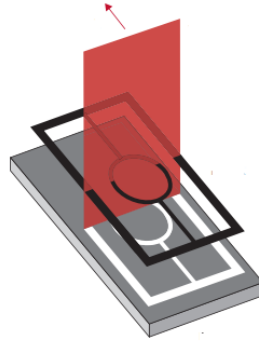
Kvasisisimultansvetsning (Fig. 8) är en kombination av kontursvetsning och simultansvetsning. Här använder man rörliga speglar för att styra laserstrålen längs fogen. Metoden går endast att tillämpa vid mindre detaljer (mindre än 200x200 mm). Svetstiderna är kortare än vid simultansvetsning men längre än vid kontursvetsning. Användningen av speglar för att styra strålen till fogen gör att det krävs högeffektiva lasrar för ändamålet.



Figur 8. Kvasisisimultansvetsning.

Masksvetsning

Vid masksvetsning (Fig. 9) finns en mask mellan lasern och detaljen som svetsas. En linjär laserstråle som rör sig från sida till sida på detaljen används. Masken blockerar strålen och gör att den når detaljen endast där man vill att svetsfogen uppstår. Man kan med en enda rörelse skapa båda raka och cirkulära fogar med olika bredder. Men bra masker kan man uppnå väldigt noggranna svetsfogar. Metoden används främst vid tillverkning av små komponenter som elektronik, microchips och sensorer. (Laser Welding of Engineering Plastics. 2013)



Figur 9. Masksvetsning.

Det finns två olika lasertyper som vanligen används vid svetsning, Nd:YAG och CO₂ lasrarna. Lasrarnas namn ges enligt vilket ljusförstärkande medium som används i respektive laser. Av de två lasrarna är det koldioxidlasern som är den vanligaste inom bearbetning. CO₂ laserns våglängd ligger vid 10,6 μm och 9,6 μm och är kapabel att uppnå effekter på över 100 kW. Laserns vanligaste användningsområden är vid materialbearbetning som svetsning, skärning m.m men används också inom sjukvården där den används för skärning och kauterisering. Fördelar med att använda laser i dessa områden är att man har en kraftig värmekälla som kan fokuseras på en väldigt litet område. Användningen av laser vid svetsning av plastfilm är ännu ett ganska outforskat område. (Silfast, 2004, s. 511)

3 Metod

I detta kapitel förklaras hur studien av svetsmetoder gjordes. Det förklaras vilka metoder som använts för att genomföra arbetet och hur informationen som behövts har samlats in.

Projektet påbörjades i november 2015 med ett möte vid Fluid-Bag. På mötet diskuterades arbetets syfte och målsättning. Det utsågs också en handledare från företagets sida. Tillsammans med företagets projektkoordinator framställdes en projektplan (Bilaga 1) som underliggande stöd för att påbörja arbetet. Efter mötet diskuterades, tillsammans med handledaren vid Fluid-Bag, olika förslag på hur informationssökningen kunde ske och var man kan hitta information om företag som sysslar med plastsvetsning eller annars är aktiva inom plastindustrin.

Arbetsgången skedde enligt projektplanen:

1. FB behov / utmaningar idag
2. Målbild
3. Kartläggning av tekniker / metoder
4. Utvärdering av möjliga metoder
5. Test
6. Rekommendation

Under arbetets gång gjordes justeringar i arbetsordningen och ibland började nästa punkt behandlas före den föregående var avslutad. Detta för att underlätta arbetsflödet och undvika onödiga fördröjningar.

Första steget på projektet var att ta kontakt med Peter Wikblad som är expert på plast vid företaget. Han gav information om vilka sorters plastfoliekombinationer som används i tillverkningen och kraven på svetsfogen. Han berättade också om vilka som var problemen vid svetsning och om försök som tidigare gjorts med ultraljudssvetsning i produktionen. Dagens svetsmetod diskuterades också. Det fanns nu en klar bild av svårigheterna som förekommer och kraven på svetsmetoderna.

Nästa steg var att skapa en uppfattning om vilka svetsmetoder som går att använda för plastfilm. Detta gjordes genom att studera vilka företag som hade visat upp sina produkter på förra årets k-mässa. K-mässan är en av världens största mässor för plast och gummi som ordnas i Tyskland vartannat år. Till mässan kommer företag från hela

världen för att visa upp sina produkter. De visar upp allt från råmaterial och tillverkning av plaster och gummi till bearbetning och finslipning av produkter. Via k-mässans hemsida gjordes sökningar för att hitta företag som tillverkade svetsmaskiner för plastfolie och det konstaterades att de vanligaste metoderna var varmförsegling, ultraljudssvetsning och lasersvetsning.

Efter att svetsmetoderna som skulle studeras hade valts började informationssökningen. I början av projektet gjordes ett antagande att man skulle kunna studera litteratur och därigenom kunna avgöra var de olika svetsmetoderna lämpar sig och om de kunde uppfylla företagets krav för foliesvetsning. Det visade sig dock att den litteratur som fanns endast behandlade svetsning av formsprutade detaljer och inte svetsning av plastfilm. Planen ändrades och istället skickades mail till tillverkare av svetsmaskiner för att på det sättet få information om hur deras svetsmetoder lämpar sig för svetsning av fluidbags produkter. Genom kontakt med företagen fick information om krav på platen för att deras metoder skulle kunna användas, olika varianter på metoderna och efter att ha förklarat hur Fluid-Bags produkt är uppbyggd gavs ett utlåtande om de trodde att deras metoder kunde tillämpas. Här var det vanligt att företagen sade att det var möjligt men att de ville gå vidare genom att göra tester i praktiken. Mejlen som skickades ut för att få kontakt med företag i branschen ändrade utseende helt under undersökningens gång. I början förklarades noga att undersökningen var en del av ett examensarbete för att bygga upp företagets kunskap inom området. Detta tillvägagångssätt ledde till att man fick få svar från företagen som kontaktats. Mejlens utformning ändrades och i de senare mejlen frågade bara kort att man det fanns intresse att göra tester om deras svetsmetoder kunde vara till nytta för företaget.

Sista steget i undersökningen var att skicka ut exemplar av de vanligaste plastkombinationerna som används vid Fluid-Bag till tillverkare av de svetsmetoder som verkade mest lovande, varmförsegling och lasersvetsning. Företagen undersökte materialen och utförde provsvetsningar. Mejlkontakt hölls under testens gång för att försöka uppnå så bra resultat som möjligt.

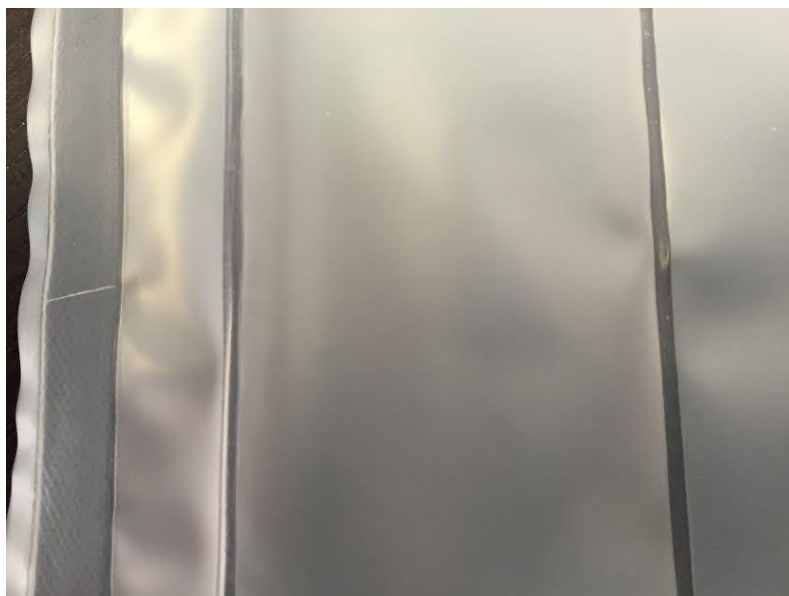
4 Resultat

Här presenteras de resultat som uppnåtts vid undersökning och de tester som gjorts av varmförsegling, ultraljud- och lasersvetsning.

4.1 Varmförsegling

Varmförsegling som är den metod som används idag är den metod som är minst känslig för materialtyper. Metoden är lätt att tillämpa för alla plastkombinationer som används vid företaget idag och man kan vara säker på att eventuella nya produkter som börjar produceras vid företaget går att svetsa med varmförsegling. Svetsmetoden går att tillämpa på den yttre svetsfogen men det är också möjligt att svetsa ventilerna för utloppsrör och påfyllning.

Det finns många möjliga förbättringar när man ser på tekniken som används idag. Vid tester i samarbete med Bmtek användes utrustning där de värmeledande stängerna konstruerats för att leda bort värmen från stängerna och in i materialet så snabbt som möjligt. Stängerna värms upp med korta kraftiga strömstötter, blir heta och leder värmen in i plasten för att sedan själva svalna. Detta leder både till kortare svets- och kyltider.



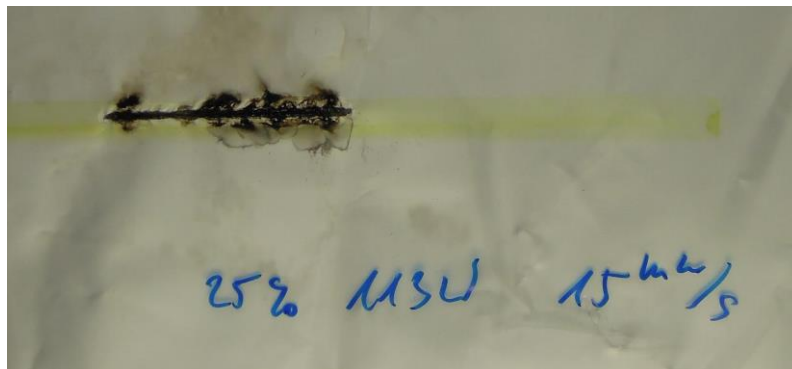
Figur 10. Fluid-Bags fog (vänster) och Bmteks testfogar (höger).

Med varmförsegling visade det sig att det inte är svårt att svetsa varken de vanligare plastkombinationerna eller de mer svårsvetsade varianterna som innehåller ett tunt

aluminiumskikt. Bmtek som utförde testerna hade inte tidigare varit i kontakt med Fluid-Bags materialkombinationer men klarade redan i de första testerna att svetsa hållbara fogar. Man kan se (Figur 10) att Bmteks fogar är mycket smalare än Fluid-Bags egna. Detta beror dels på att man använt smalare stänger men också att man har svetsande stänger på både över och undersidan vilken leder till att man får bättre fogprofil. Att ha stänger som svetsar från båda sidorna med hög värmeledningsförmåga leder till att Bmtek gör en fog på under en sekund jämfört med Fluid-Bags nuvarande metod som behöver över 10 sekunder för en fog. Efter de första testerna verkar det som att Bmteks fogar håller lika bra som Fluid-Bags trots de smalare fogarna och den kortare svetstiden.

4.2 Lasersvetsning

Plast skickades till företaget TechnoScriptum för analys och provsvetsning och de visade att all plast som inte innehöll aluminiumfolien var 90-100 % transparenta för Nd:Yag laserns våglängder. Aluminiumfolien reflekterar lasern. När man försöker svetsa plastkombinationer innehållande aluminiumfolien svetsas folierna före aluminiumfolien ihop men ingen värmeökning sker på andra sidan aluminiumfolien. Om man ökar effekten sker fortfarande ingen värmebildning på andra sidan aluminiumfolien och den plasten bränns på sidan där värmebildning sker (Figur 11).



Figur 11. Svetsfog som bränts p.g.a. aluminiumfolie.

De foliekombinationerna som är transparenta är möjliga att svetsa om man använder sig av tillsatsämnen som fungerar som absorbent. Företaget TechnoScriptum använder sig av ett tillsatsämne som heter Clearweld som är utvecklat för användning vid lasersvetsning av lasertransparenta material. Vid testerna användes en fiberpenna för att applicera Clearweld mellan varje lager plastfilm men vid behov av automation är

det möjligt att applicera i sprayform. Lasern som användes vid svetsningen var en Nd:YAG-laser med 1064 nm våglängd. Systemets högsta svetshastighet var 15 mm/s och hastigheter mellan 10 mm/s och 15 mm/s och laser effekter mellan 50 W och 90 W användes vid testerna. Svetsfogarna som skapades var ungefär 1,5 mm breda och av bra kvalitet. I rapporten (Bilaga 2) som Dr. -Ing. Rolf Klein vid TechnoScriptum sammanställde efter testerna av Fluid-Bags material nämns i slutet att det kan vara möjligt att skapa bra fogar utan behov av tillsatsämnen med hjälp av CO₂-laser. CO₂ lasrar har en våglängd på 10,6 µm det gör att energin effektivt absorberas av plaster och möjliggör svetsning i m/s av enkla plastfilmer (ett lager). Om man vill tillämpa tekniken för svetsning av flera plastfilmer på varandra som i Fluid-Bags fall krävs vidare testning och utveckling av system anpassade för företagets produkter.

Exemplar av ventilerna som svetsas fast i övre och undre delen av behållarna skickades inte med för analys men eftersom plastfilmen konstaterades vara transparent kan man notera att det också är möjligt att svetsa ihop filmen med ventilerna. Om ventilernas material inte är absorberbart för laserns våglängd är det möjligt att skapa bra fogar även utan tillsatsämnen.

4.3 Ultraljudssvetsning

Undersökningen om tillämpning av ultraljudssvetsning vid svetsning av Fluid-Bags produkter avslutades ganska tidigt i projektet. Redan i de första mailen som skickades ut kom respons från företag som redan tidigare var bekanta men Fluid-Bag. De sade direkt att det inte lönade sig att lägga mer tid på undersökningen av ultraljudssvetsning. Produkten har visat sig vara problematisk att svetsa och tekniken har inte utvecklats tillräckligt för att veta om det vore möjligt att producera stora serier förrän utförliga praktiska test har utförts och att den svetssteknik som används vid företaget idag är den bästa enligt dem.

Företag som inte tidigare var bekanta med produkten introducerades till studien. Även de ansåg projektet vara besvärligt och rekommenderade inte en fortsatt undersökning. Även om de var villiga att utföra test i praktiken valdes de att inte utföras p.g.a tidsbrist. De största problemen är de långa svetsfogarna och problem med resonanser som man inte kan upptäcka utan praktiska test.

5 Diskussion

I början av projektet underskattade jag hur tidskrävande själva undersökningen skulle vara och hur svårt det skulle visa sig vara att hitta personer eller företag som var beredda att samarbeta för att nå de resultat jag strävade efter. Det var inte förrän mycket sent i projektet som jag hittade en person med erfarenhet av lasersvetsning som var villig att hjälpa till med undersökningen. Detta ledde till att svetsning med CO₂-lasrar aldrig har testats i praktiken. De andra svetsmetoderna var lättare att hitta information om och det fanns flera företag som var verksamma inom områdena.

Arbetets syfte var att undersöka vilka svetsmetoder för plastfilm som används inom industrin i dagsläget och hur de kunde tillämpas vid Fluid-Bag. Syftet uppnåddes och man kan konstatera att varmförsegling i dagsläget är det bästa alternativet för företaget. Om det vore så att Fluid-Bags produkt i framtiden skulle ändra, minska på antalet olika produkter och övergå till att ha endast en plastfolie skulle lasersvetsning vara ett mer genomförbart men fortfarande inte nödvändigt alternativ. Varmförsegling skulle fortfarande vara den metod som är enklast att tillämpa och som inte har några sådana negativa faktorer som gör att man ens har ett behov att överväga andra metoder.

Det enda jag ångrar när jag ser tillbaka på projektet är att det inte fanns mer tid att undersöka lasersvetsning. Även om jag fick den information som behövdes för studien tycker jag att lasersvetsning är ett intressant område och gärna skulle ha fördjupat mig i det. Jag upplever att jag lärt mig mycket under arbetets gång. Tekniska saker om plastsvetsning och hur jag själv arbetar i längre projekt. Jag har haft stor nytta av att jag själv tidigare jobbat på företaget och på det sättet visste mycket om företaget och produkten sedan tidigare. Jag har fått all den hjälp jag har krävt från handledare och experter på företaget.

6 Källförteckning

Bruder, U., 2014. *Värt att veta om plast*. u.o.

Silfast, W., 2004. *Laser Fundamentals*. (2. uppl.) Cambridge: Cambridge university press.

Klason, C. & Kubát, J., 2005. *Plaster. materialval och materialdata*. (5. uppl.) Stockholm: Teknikföretagen.

Laser Welding of Engineering Plastics. 2013. [Online]

<http://product-finder.basf.com/group/corporate/product-finder/en/literature-document:/Brand+Ultradur-Brochure--Laser+Welding+of+Engineering+Plastics-English.pdf> [hämtat: 13.2.2016].

Bearbetning från a till ö. 2005. [Online]

<http://www.plastnet.se/wp-content/uploads/2014/05/SAMMANFOGNING1.pdf> [hämtat: 9.1.2016].

Bilaga 1

Projektplan



Laser Beam Welding of Multilayer Film Parameter Summary 1 6th May 2016

Contact:

Kristoffer Klingenberg
Fluid-Bag Ltd.
Bottenviksvägen 54-56
FI-68600 Jakobstad
FINLAND
Tel.: +358 50 4146920

Item:

1. Preface
2. Evaluation of laser transparency
3. Evaluation of laser beam welding
4. Summary and outlook

Preface:

Fluid-Bag is currently investigating if it would be possible to apply laser welding to Fluid-Bags production line instead of the old and quite slow welding system currently in use. The basics of laser welding are known as well as that Clearweld products can aid in welding laser transparent materials, acting as an absorbent.

The bulk container is used for transporting and handling fluids ranging from cosmetics and food to lubricants and chemicals. The size of the containers range is from 900-1000 liters. There are an inner foil that's in contact with the fluid and an outer foil that acts as a gas barrier. Some configurations even have a third layer. This means that at least there are 4 foils at the joint that is to be welded together.

The containers are currently placed on a flat surface and welded using thermal contact welding. The weld is octagonal and the total length is around 6.8 m, this makes one side 0.8 m.

There are many different combinations of foils; most of them have a PE base with some additives depending on the customer needs.

Questions are:

- What happens if you have a couple layers of plastic film and the top layer is laser absorbent?
- Would it be possible to still successfully create a joint if the layers are thin enough?

Mr. Kristoffer Klingenberg sent several multilayer film samples for initial process evaluation.

Evaluation of laser transparency:

Measuring of transparency of the given samples was carried out using a fiber coupled USB spectrometer as shown in Figure 1.

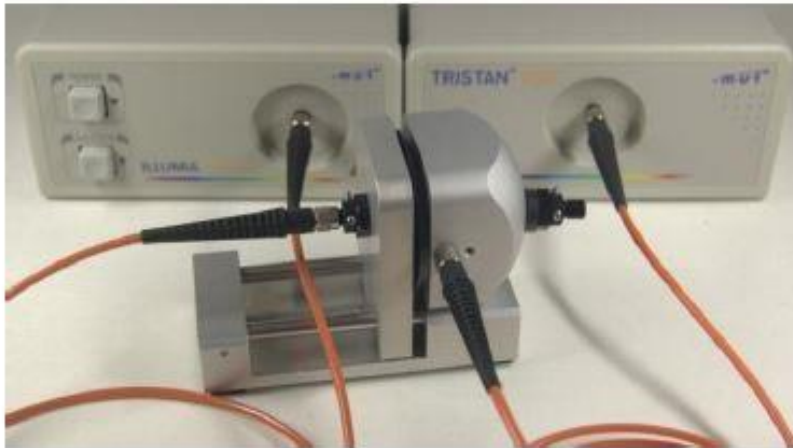


Fig. 1: Fiber coupled USB spectrometer with sample holder

The measurements are made in a spectral range from 900 nm to 980 nm. Figure 2 shows the samples used for the measurements. Results of the measurement are given in Figure 3 to 5. The transparent blue multilayer film and the colorless multilayer film are transparent to the light in the given spectral range while the silver colored multilayer film is blocking the light by the silver layer. The outer and inner layers of this sample are still transparent to the radiation.



Fig. 2: Multilayer-film samples for transmission measurement

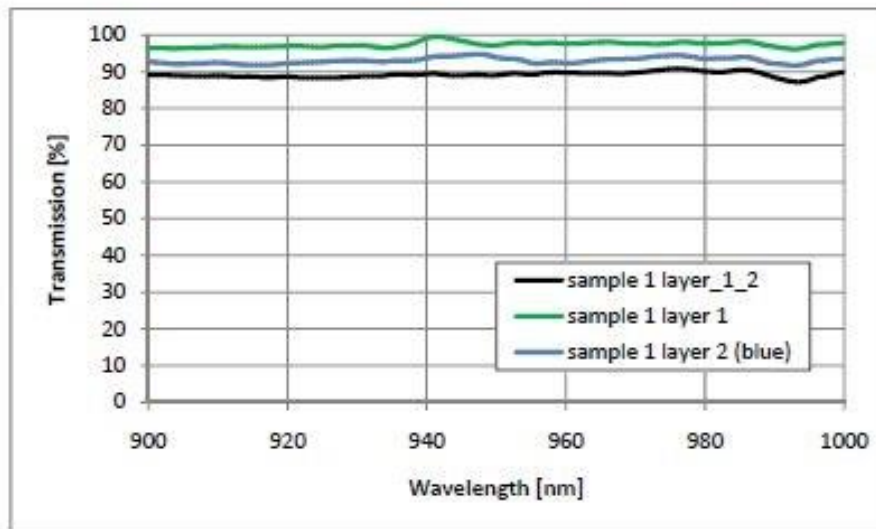


Fig. 3: Spectral transparency of blue colored multilayer sample 1

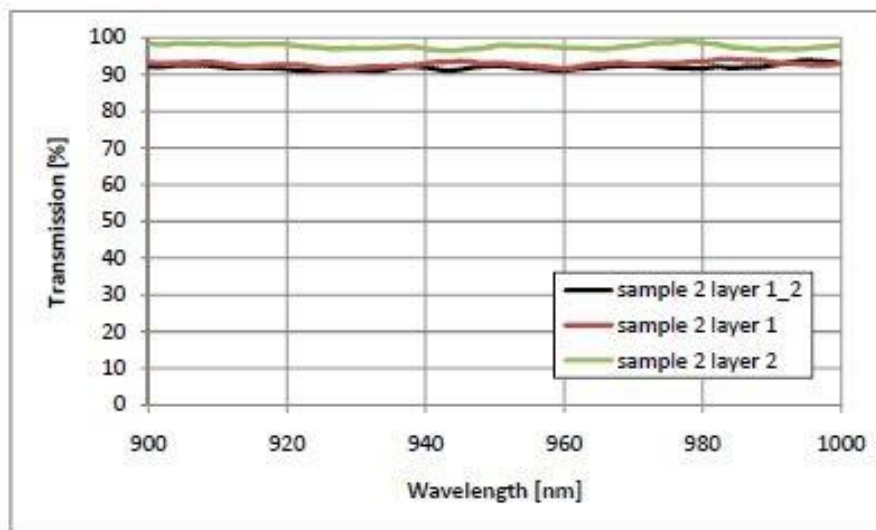


Fig. 4: Spectral transparency of uncolored multilayer sample 2

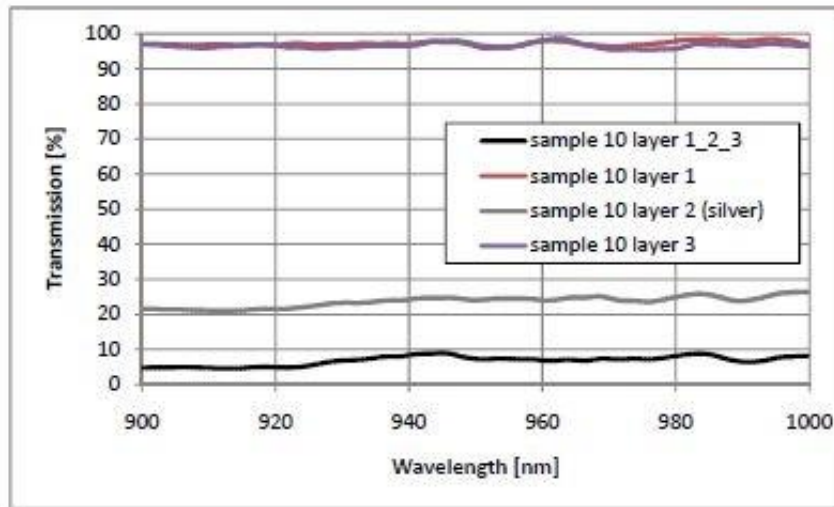


Fig. 5: Spectral transparency of silver colored multilayer sample 10

The absorption properties of the multilayer film samples will be matched to the laser welding by using Clearweld Coating. Example for the functionality of the coating for the welding process is given in Figure 5.

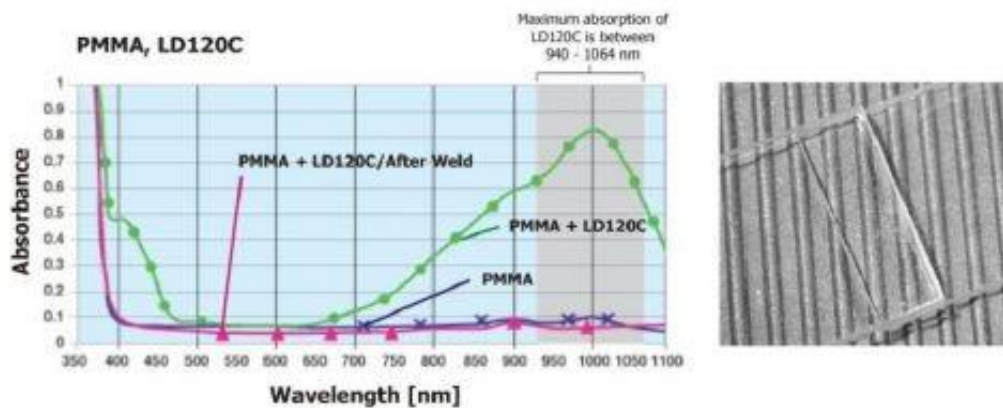


Fig. 5: Use of Clearweld Coating as example for laser welding transparent colorless joints, left absorption spectra of natural PMMA and coated PMMA before and after laser welding, right laser welded coated PMMA sample

Evaluation of laser beam welding:

Evaluation of laser beam welding process on the given multilayer film samples was carried out using a diode pumped Nd:YAG-laser with 1,064 nm wavelength. The laser system has a limited maximum processing speed of 15 mm/s (0.9 m/min). For clamping the films during the welding process a glass plate was used. The laser radiation was transmitted through the glass plate to the film sample. The film sample for itself was positioned on an aluminum plate.

For preparation of the multilayer film samples for the laser welding each film layer on the interface to the next layer was manually coated using Clearweld Coating LD920C. For manual application of the coating a fiber pen was used. Welding tests were carried out with varying laser power (from 50 W to 90 W) at 10 mm/s and 15 mm/s processing speed. Achieved weld quality was tested by manually pull apart of the welded joint (good weld: the film layers cannot be separated without destroying at the seam).

Figure 6 and 7 shows welding results on blue colored and visual transparent multilayer film samples. At the given speed of 15 mm/s both multilayer types can be successfully welded using the through transmission welding (TTLW) process for plastics. The applied laser power on both multilayer types was 68 W with beam diameter of approximately 1.5 mm.

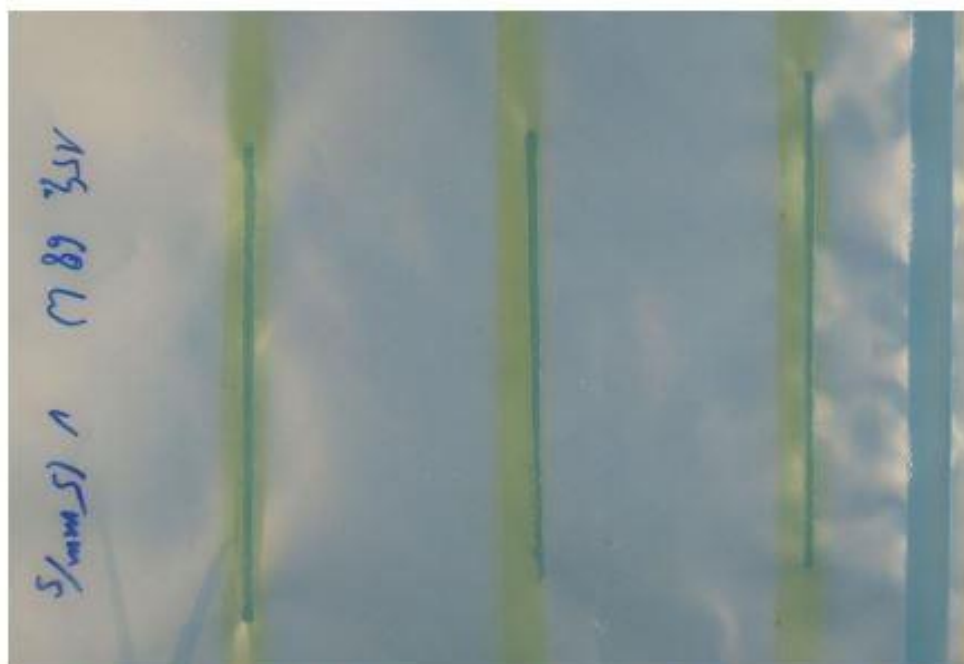


Fig. 6: Welding results at 15 mm/s feed rate for blue colored samples



Fig. 7: Welding results at 15 mm/s feed rate visual transparent samples

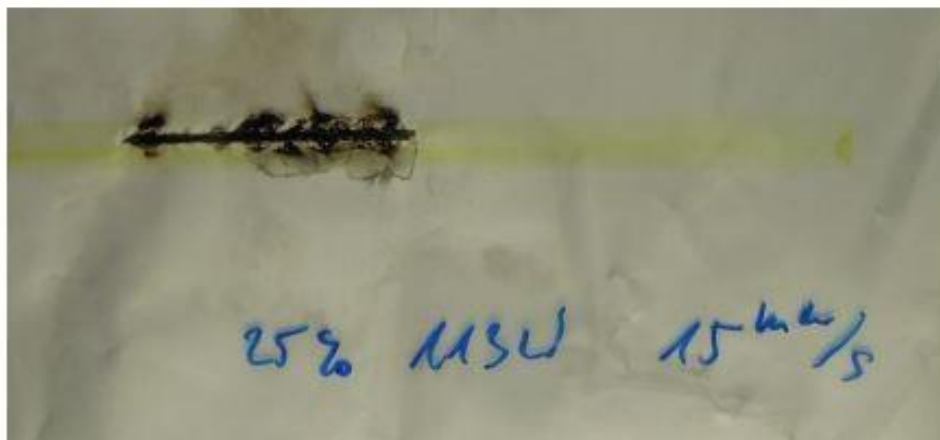


Fig. 8: Welding result at 15 mm/s feed rate for silver colored samples

Figure 8 shows a welding result on silver colored multilayer sample. Welding trials by 68 W laser power results only in a joint between the first transparent and the silver layer without creating a joint on the layers below the silver layer. Increasing the laser power causes burning of the film but didn't increase the welding depth on the sample. The typical through transmission welding process is not applicable for this type of multilayer film.

Summary and outlook:

The evaluation results on the blue colored and visual transparent multilayer film samples demonstrate the applicability of TTLW on these samples. The evaluation was done under simple processing conditions with low processing speed limited by the available laser system. The process can be optimized by adapted clamping conditions and using higher feeding speed. Suggestion for process adaption would be using a fixed laser beam and a feeding system for the multilayer film like a sewing machine (see Figure 9). The laser radiation can be applied as TTLW process as well as directing the focused laser radiation into the slit, created by the multilayer film parts which will be welded as shown in Figure 10.



Fig. 9: Prototype of a sewing machine with integrated laser for welding of fabrics

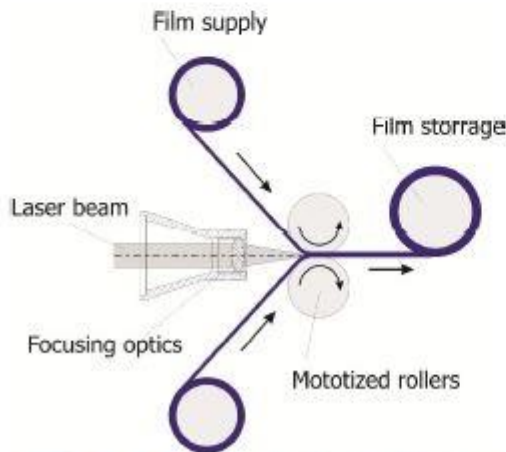


Fig. 10: Schematic of slit laser beam welding of multilayer film

In principle by application of laser power around 300 W, welding speed of several hundred mm/s should be achievable.

By using a laser welding geometry as given in Figure 10, the laser beam welding of silver colored multilayer films potentially can be made, but must be tested.

By using NIR-laser sources (Diode lasers, fibre laser or Nd:YAG-lasers) each layer of the multilayer film on the interface to the next layer has to be prepared by Clearweld Coating application as separate processing step before laser beam welding. This can be done automated by using devices like inkjet-nozzle or ultrasonic spray nozzle for coating application. The width of the coating line should be adapted to the used laser beam width to achieve a colorless transparent weld joint at the end with adapted weld processing parameters.

Alternatively by using the process geometry of Figure 10 the multilayer film can be potentially welded with CO₂-laser radiation without the need of a coating process on each film layer. The CO₂-laser radiation (wavelength 10.6 μm) is very effective absorbed by plastic materials and enables high welding speeds up to m/s at laser power of some hundred Watts on single layer plastic films. Adaption to the given multilayer films needs to be developed and tested.

Sgd. Dr.-Ing. Rolf Klein