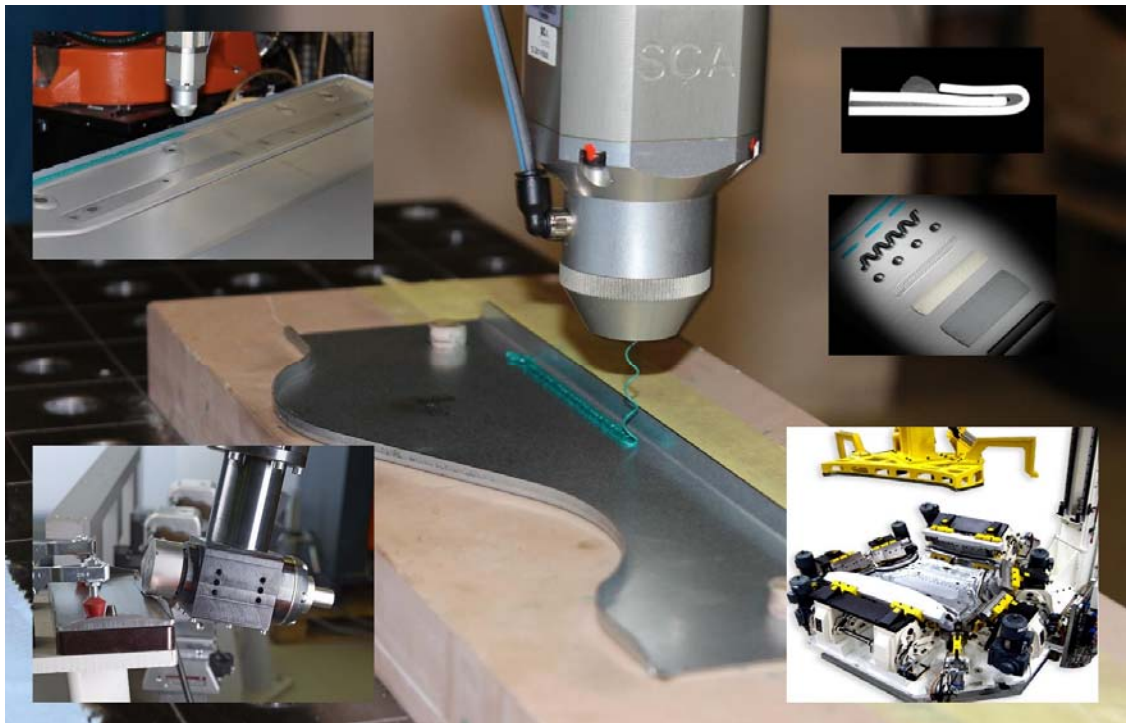


FALS

Falsning Av LättviktStrukturer

Slutrapport



Författare: Fredrik Wandebäck, Swerea IVF AB
Datum: 2017-06-26
Projekt inom Hållbar Produktion

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1# Sammanfattning	3#
2# Executive summary in English.....	5#
3# Bakgrund.....	10#
4# Syfte, forskningsfrågor och metod	11#
5# Mål	12#
6# Resultat och måluppfyllelse	12#
6.1#Resultat	12#
6.2#Måluppfyllelse.....	19#
7# Spridning och publicering	22#
7.1#Kunskaps- och resultatspridning.....	22#
7.2#Publikationer.....	23#
8# Slutsatser och fortsatt forskning	25#
9# Deltagande parter och kontaktpersoner	26#

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & Miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Multimaterialkombinationer i sammansatta produkter blir allt vanligare, för att optimera produktens egenskaper och optimera vikt. I dessa sammansatta konstruktioner av olika material är fogningsmetoderna centrala och därmed hur kontakten sker mellan olika material. Det finns i dag krav på att hitta processlösningar för de nya materialkombinationerna som kommer i bl.a. dörrar, huvar och bakluckor, där exempelvis fiberkompositer ska sammanfogas med stål och längre fram i aluminium.

Falsning som idag används på produkter där man har samma materialslag ses som en av metoderna med potential att foga samman dessa olika material i framtida lättviktsstrukturer. Falsning kombineras med limning för att låsa komponenterna mot varandra och skapa täta förband för att också förhindra korrosion.

Projektets hypotes har varit att dagens problem med största sannolikhet är en kombination av limmets viskositet, limgeometrin och återfjädringseffekter i formningsprocessen och att genom att strukturera och vetenskapligt studera limsträngsgeometrin och appliceringsmetod i kombination med formningen av falsförbandet kan en kvalitetsförbättring åstadkommas som gör att korrosionsproblem undviks.

Projektet riktar sig medvetet mot framtidens materialkombinationer för lättviktsstrukturer men utgår från dagens situation och material. Genom att strukturera och analysera samspelet mellan formningen av materialen och limmernas beteende adressera dagens och morgondagens problem genom att förena nya tekniker och möjligheter för limapplicering med den erfarenhet av falsformningsprocesserna som de svenska fordonsföretagen byggt upp och tillämpar för dagens materialkombinationer.

Kunskapsmässigt har detta projekt samlat ledande aktörer inom falsning, limning, materialkunskap (plåt, lim, komposit), simulering, banplanering och geometrisäkring för att tillsammans förflytta teknikfronten framåt framförallt i samspelet mellan virtuell teknik och fysisk applicering av lim i falsförband.

Projektets resultat har visat att falsning är en användbar metod för fogning av lättviktstrukturer i multimaterial men samtidigt har det också påvisat hur komplext sambandet mellan falsningen, limmets geometri och limappliceringen verkligen är och hur svårt det är att verkligen skapa ett tätt förband. Projektet har därför strävat efter att lägga basen för ett optimeringsarbete genom en kombination av fysiska tester som kan påvisa beteenden och beroenden och en utveckling av virtuella verktyg som kan användas för att på ett bättre sätt styra appliceringen av lim och prediktera vad som kan hända i produkter med svåra geometriska förutsättningar och kombinationer av material.

För att kunna studera detta på en stringent och repeterbart sätt har speciella provkroppar utvecklats och tillverkats i stor mängd. Projektets fokus har varit just samspelet mellan falsningen som en formande process, limmets geometri, position och appliceringsmetodik samt hur limmet beter sig under falsningen både för sk TableTop falsning och rullfalsning. Dessutom tillkommer komponenternas geometri, positionering och geometriska variation. Alla detta påverkar resultatet att ge täta förband med lagom utträngning och en konstant limspalt som ger optimala förutsättningar för vidhäftning. Tendensen är dessutom att man får allt svårare geometriska förutsättningar av designtekniska skäl.

Studierna har genomförts både med rundsträng och ny appliceringsteknik, e-swirl, med olika falsförutsättningar. Parallellt med detta utvecklades effektiva metoder för analys av den stora mängd prover som studierna gett upphov till där en kombination av SAM-analys (Scanning Acoustic Microscope) och öppning av förbanden kombinerats.

Förutsättningarna för att använda nya material såsom fiberkomposit har utretts såväl genom grundläggande utredning av förutsättningarna, simulering av effekter som fysiska tester. Simuleringsutveckling har skett för att kunna prediktera ett förbands täthet och hur limmet beter sig under falsningen utifrån dess reologi och geometri. Denna utveckling har både haft som syfte att kunna simulera förloppet för att på verkliga produkter kunna förutse vad som kommer att hända och ge input till designutformning, falsprocess och limapplicering men också att kunna få en realistisk bild av hur limmet beter sig med olika förutsättningar.

Projektet har kontinuerligt arbetat med att avrapportera resultat och erfarenheter i presentationsform som sedan omformats till tekniska rapporter. Totalt 16 st tekniska rapporter finns från projektet.

Projektet har på ett metodiskt arbetsätt påvisat falsresultatet med avseende på limpositionering, limmängd och appliceringsteknik. Projektet kommer vara en språngbräda för att fordonsföretagen kunna utveckla sin produktion på ett hållbart sett både ur ett ekonomiskt och miljöperspektiv.

2 Executive summary in English

Multi Material Combinations of complex products is becoming more and more common, to optimize product characteristics and optimize weight. In these complex structures of different materials, joining methods are central and thus the contact between different materials. Today there is a requirement to find engineering solutions for the new material combinations in, doors, hoods and trunk lids, where for instance fiber composites will be joined with steel and later in aluminum. Hemming that is currently used on products which have the same type of material is seen as one of the methods with the potential to join these materials in future lightweight structures. Hemming is combined with adhesive to lock the components to one another and create sealed joints to also prevent corrosion. Today's situation is far from optimal from several different aspects. Firstly there is the forming and springback effects in the hemming process and then the application of adhesive and get a bead geometry, positioned at the right place that provides a sealed joint. Moreover, one has also to solve the positioning problem in the line until the adhesive has hardened and the structure is locked.

Sealed joints with "optimal" conditions for the adhesive bond is a requirement for the new material combinations if one is to avoid costly production problems and complaints in the aftermarket. The area of hemming has been identified both nationally and internationally for the next car projects as a complex area in great need to be analyzed more deeply to get the basic knowledge of how the new application methods for adhesives can interact with the forming operation.

Today's hemmed joints are not always sealed and contain a large amount of air bubbles. Sealed hemmed joints are a challenge that requires a combination of adhesive viscosity, adhesive geometry, application method and right hemming parameters to minimize the effect of springback and material behavior.

The aim of the project has been to create a stable, reliable and verified concept for hemming of lightweight structures in multi-material, including virtual tools to determine sealed joints. This also ensures the quality costs since corrosion will not occur and thus facilitated the introduction of new lightweight materials.

The project's goal is aimed at the overall goal of reduced CO₂ emissions by addressing a methodology for bonding new lighter multi-material combinations that allow the introduction of new lightweight materials. Although the project is targeted towards future material combinations for lightweight structures it has also addressed the current problems by combining new technologies and opportunities for adhesive application with the knowledge and experience that exists around hemming.

To model and simulate the application process is in itself a major challenge. The adhesive is a non-Newtonian fluid whose rheology needs to be modeled, further the process is characterized by multiphase process, multi-scale phenomena and large variable geometries. How the adhesive bead geometry and the geometry of the adhesive really should be designed to provide an optimum bond line has not been treated in research in recent years, despite the industrial development of the new method of application, for example, E-swirl for high viscosity materials.

The focus of the project has been sealed hemmed joints and by combining new results from process optimization of the hemming with an "optimal" adhesive application and locking of the structures create a new process concept prepared for the introduction of multi materials. This includes studying the impact on the inner structure material, viscosity and rheology of the adhesive, the addition of additives in the adhesive and alternative design solutions to create better locking and optimal adhesive joints, and to further understand the complexity of the area and create good preparation tools.

Central to the project has been to study the influence of different parameters on the goal of creating sealed joints. The impact of both adhesive parameters and hemming parameters has been studied and analyzed in order to also prepare for combinations of materials where crevice and galvanic separation becomes critical. The results of the project have shown that hemming is a useful method for joining lightweight structures in multi materials, but at the same time it has also shown how complex the relation between the hemming, the adhesive geometry and the adhesive application really is and how hard it is to really create a tight bonding. The project has therefore strived to lay the foundation for an optimization work through a combination of physical tests that can demonstrate behaviors and dependencies and a development of virtual tools that can be used to better control the application of adhesive and predict what can happen in products with difficult geometric conditions and combinations of materials.

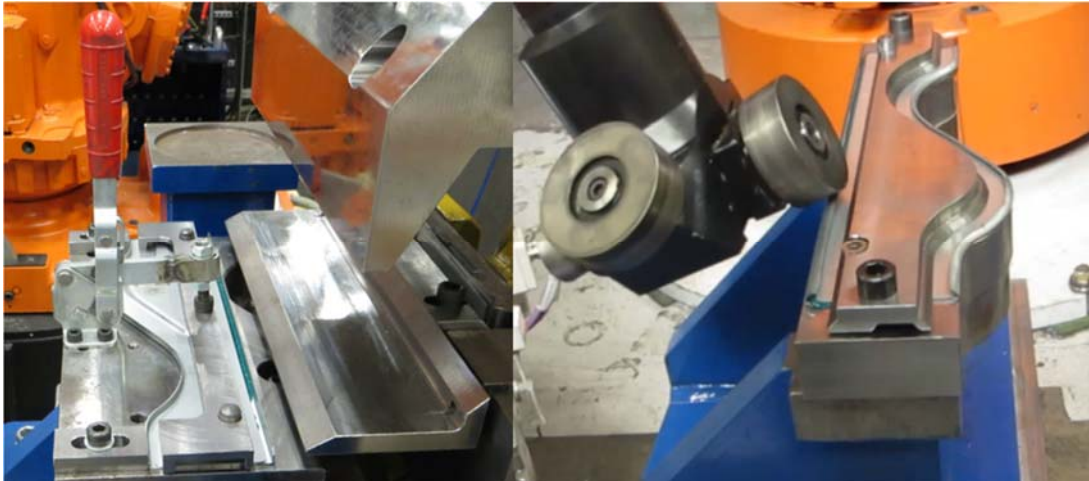


Bild 1 Both TableTop and roller hemming has been used in the project

One of the first tasks in the project has been to establish a test environment and to develop product like specimens that could be used to in a realistic way study what really happens in the different hemming processes. Two principle concept for test bodies has been developed and used, to study the degree of filling and what happens when hemming and to study the impact of the glass balls in the adhesive for interlocking before curing.

In order to provide similar adhesive strings that provide a repeatable result in manual application, a method was developed to create both round and flat beads. This application method gave a very stable and repeatable result. To check the reliability of the method, comparative measurements were made using a robot-applied string, where the method showed very good results. This application method where used in the first studies to compare adhesives, position and bead geometry, the effects of electro coating, corrosion and also in the study of glass balls.

Table Top hemming has been done at the Swerea IVF plant with equipment from VCC and roller hemming has been done at NEVS. The study of the interlocking before curing has been done in the Volvo Truck plant in Umeå where both steel and aluminum been used and both Table Top and roller hemming has been used. All adhesive application with robot has been done at Swerea IVF with equipment from SCA Schucker.

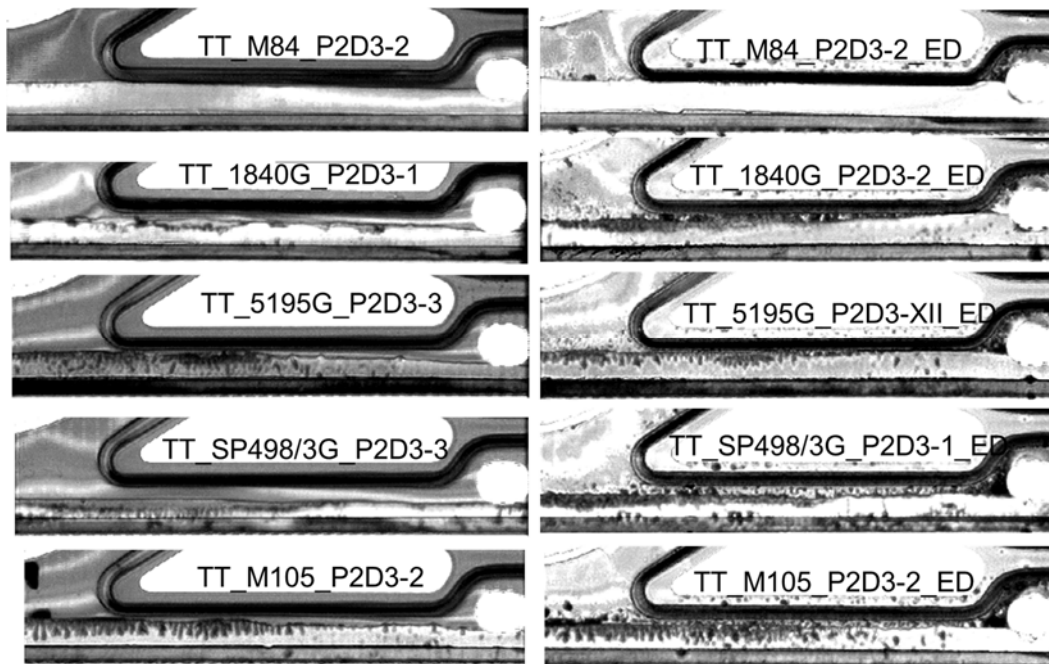


Bild 2 Comparison of different adhesives before and after electro coating, analyzed in SAM (Scanning Acoustic Microscope)

In view of the large number of tests and test bodies, it was essential to find good evaluation methods. Therefore, effective methods of analysis of the test bodies was developed in which a combination of SAM (Scanning Acoustic Microscope) and opening of the test bodies were combined.

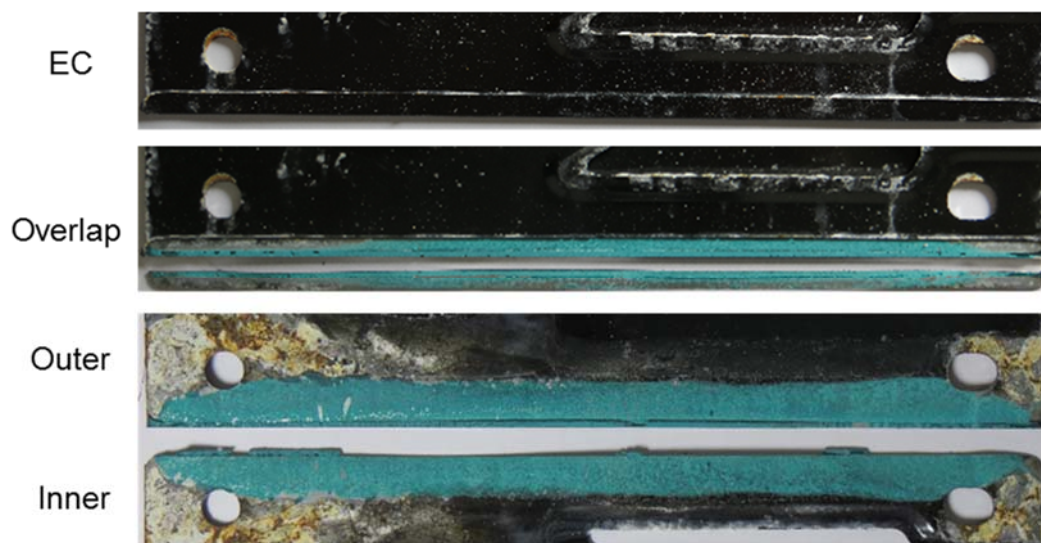


Bild 3 Hemmed and electro coated test bodies with BM1840G after corrosion test

After the first studies of the basic behavior and comparison of adhesives, robot application has been used to study the impact of the hemming parameters and the influence of positioning of the inner structure. In this analysis, adhesive bead and adhesive positions have been kept constant and the analysis has been based on studying differences in degree of filling due to variation of the components, partly of different inner structures and their position, partly by the size of the overlap.

Parallel to the test activities, one part of the project has worked with the aim to develop process guidelines and methodology adaptation when polymer composite materials are used in the hemming process. This includes recommendations of suitable composite manufacturing methods; specification of the material systems to be used in the project; design aspects and material property requirements. New methodology for testing out-of-plane properties of composite laminates has been developed. A Finite Element Analysis of the hemming process applied to fibre-reinforced plastics is performed. The analysis highlights the main differences between faces when the inner structure is replaced from a sheet metal to a composite one. Through some parallel activities in other projects, inner structures in SMC has been produced and included in the adhesive application and hemming tests.

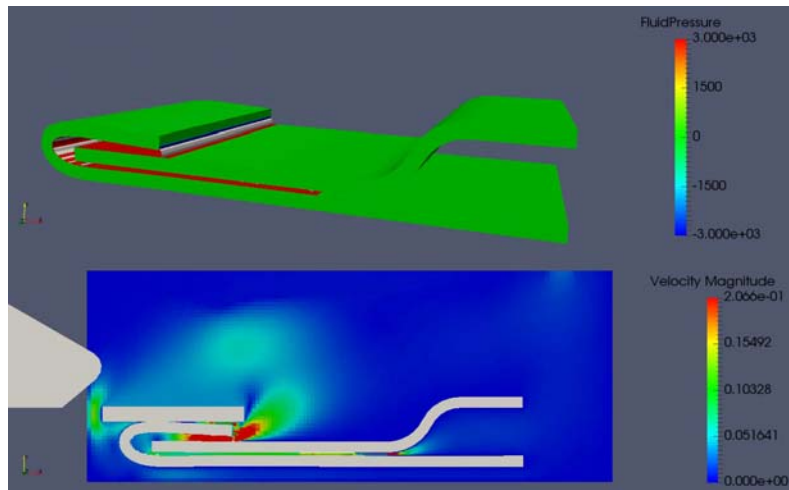


Bild 4 Simulation development in IPS

As already mentioned one part of the project has been to develop virtual tools to simulate what happens with the adhesive in the hemming process and determine sealed joints. The project has used and further developed FCC's software IPS for math-based virtual product development as a research platform and demonstration of project results.

The CFD solver IBOFlow and the structural dynamics code LaStFEM was extended with developments for the simulation of hemming with adhesives. On the IBOFlow side, this included improving handling of the volume-of-fluid surface in narrow channels. On the LaStFEM side, this included development on new constitutive models, improved finite elements, a framework for analytical rigid objects and robust contact handling with friction. The developments also included refinements of the fluid-structure interaction with adaptive time stepping and increased robustness. LaStFEM was validated on a selected set of problems from literature related to hemming without adhesives. Fluid-structure interaction simulations for a table-top case was performed and evaluated with experiments, focusing on the adhesive placement and final form.

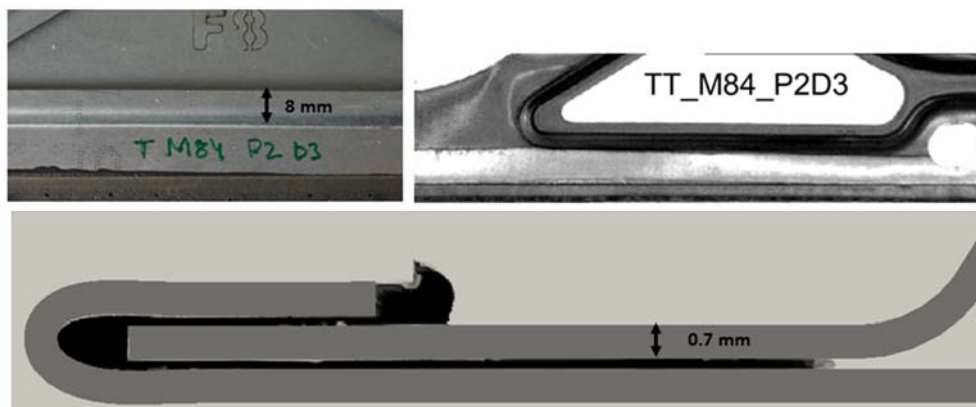


Bild 5 Simulation for a table-top case compared and evaluated

Finally new application technique, e-swirl has been evaluated and compared both in similar test using the test bodies and in real products. E-swirl creates a bead that is laid with a small diameter rotary nozzle typically 0.4-0.8 mm. This creates a widened string where the adhesive is placed in circles on each other, see picture 7. In order to create knowledge of this new application technology, quite extensive studies have been made in the project surrounding the e-swirl application technology. The project has thus been able to compare results from today's application with round strings with the new e-swirl technology. Even the hemming parameters and the influence of the components position and size have been studied for e-swirl application. The results of all studies show how complex the relationships are and that it is very important not to generalize too much. At the same time, the results show the potential of the new application technology, and the general conclusions about e-swirl show that both adhesive amount, sensitivity to process disturbances, programming time and accessibility are affected positively if you learn to master the technology.



Bild 6 New application technique, e-swirl has been evaluated

The project has been working to report results and experience in presentation form communicated to the partners, which has now been converted into technical reports. A total of 16 technical reports are available from the project. All technical reports are public except Report No. 13 which concerns the product specific tests. This report is only available to project participants but the general conclusions has been integrated in report nr 9 about e-swirl tests and comparison with the today's situation.

3 Bakgrund

Multimaterialkombinationer i sammansatta produkter blir allt vanligare, för att optimera produktens egenskaper och optimera vikt. I dessa sammansatta konstruktioner av olika material är fogningsmetoderna centrala och därmed hur kontakten sker mellan olika material. Det finns idag krav på att hitta processlösningar för de nya materialkombinationerna som kommer i bl.a. dörrar, huvar och bakluckor, där exempelvis fiberkompositer ska sammanfogas med stål och längre fram i aluminium.

Falsning som idag används på produkter där man har samma materialslag ses som en av metoderna med potential att foga samman dessa olika material i framtida lättviktsstrukturer. Falsning kombineras med limning för att låsa komponenterna mot varandra och skapa täta förband för att också förhindra korrosion.

Dagens situation är långt ifrån optimal ur flera olika aspekter. Dels brottas man med formnings- och återfjädringseffekter i själva falsoperationen dels har man appliceringen av lim och att få en limgeometri, placerad på rätt ställe som ger ett tätt förband. Dessutom måste man lösa fixeringsproblemen i linan fram till att limmet har härdat och låst strukturen.

Täta förband med "optimala" förhållanden för limfogen är ett krav för de kommande materialkombinationerna om man ska undvika dyra produktionsstörningar och reklamationer på eftermarknaden.

För slutna förband saknas idag metoder för att bedöma indikationer på förändringar i fogens egenskaper. Vid slutkontroll kan bara konstateras om den fungerar eller inte, oftast genom förstörande provning. Detta gör att det är extremt viktigt att alla steg i limprocessen kan ske med god kontroll och under optimala förhållanden annars försämras limfogens möjligheter att bära last eller uppnå den tätande och ljuddämpande egenskap som var avsedd.

Projektets hypotes har varit att dagens problem med största sannolikhet är en kombination av limmets viskositet, limgeometrin och återfjädringseffekter i formningsprocessen och att genom att strukturera och vetenskapligt studera limsträngsgeometrin och appliceringsmetod i kombination med formningen av falsförbandet kan en kvalitetsförbättring åstadkommas som gör att korrosionsproblem undviks.

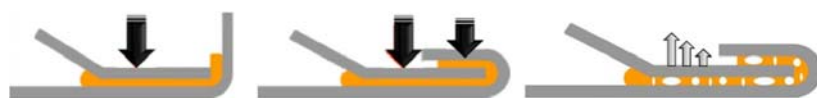


Bild 7 Täta falsförband är en utmaning som kräver en kombination av limmets viskositet, limgeometri, appliceringsmetod och rätt falsparametrar för att minimera inverkan av återfjädringseffekter.

Området falsning har identifierats både nationellt och internationellt inför kommande bilprojekt som ett komplext område i stort behov av att analyseras djupare då grundläggande kunskap saknas om hur nya appliceringsmetoder för lim kan samverka med formningsoperationen. Det har därför varit angeläget att starta denna forskning kombinerat med virtuell utveckling.

Projektet riktar sig medvetet mot framtidens materialkombinationer för lättviktsstrukturer men utgår från dagens situation och material. Genom att strukturera analyserat samspelet mellan formningen av materialen och limmernas beteende adressera dagens och morgondagens problem genom att förena nya tekniker och möjligheter för limapplicering med den erfarenhet av falsformningsprocesserna som de svenska fordonsföretagen byggt upp och tillämpar för dagens materialkombinationer.

Kunskapsmässigt har detta projekt samlat ledande aktörer inom falsning, limning, materialkunskap (plåt, lim, komposit), simulering, banplanering och geometrisäkring för att tillsammans förflytta teknikfronten framåt framförallt i samspelet mellan virtuell teknik och fysisk applicering av lim i falsförband.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Arbetet är tänkt att förena och vidareutveckla olika framtagna delresultat och tekniker till ett väl fungerande fogningskoncept för falsning av lättviktsstrukturer i multimaterial. Fokus i projektet har därför varit täta falsförband och genom att förena nya resultat från processoptimering av falsningen med en "optimal" limapplicering och låsning av strukturerna skapa ett nytt processkoncept förberett för introduktionen av multimaterial. Här ingår även att studera påverkan på innerstrukturmaterialalet, viskositet och reologi för limmet, inblandning av tillsatsmaterial i limmet och alternativa konstruktionslösningar för att skapa bättre låsning och optimal limfog, samt att med hjälp av simuleringsutvecklingen ytterligare förstå områdets komplexitet och skapa bra beredningsverktyg.

Centralt för projektet har varit att studera olika parametrars inverkan på målet att skapa täta falsförband. Såväl limparametrars som falsparametrars inverkan skulle studeras och analyseras i syfte att även förbereda för kombinationer av material där täthet och galvanisk separation blir kritiskt. Som beskrivits i ansökan tar projektet FALS forskningsmässigt avstamp i tidigare och parallella projekt kring limapplicering och simuleringsutveckling som utgår från de reologiska egenskaperna och att på bättre sätt kunna styra och optimera limappliceringen.

De centrala forskningsfrågorna för FALS ligger just i samspelet mellan falsningen som en formande process, limmets geometri, position och appliceringsmetodik samt hur limmet beter sig under falsningen både för sk TableTop falsning och rullfalsning. Dessutom tillkommer komponenternas geometri, positionering och geometriska variation. Alla detta påverkar resultatet att ge täta förband med lagom utträngning och en konstant limspalt som ger optimala förutsättningar för vidhäftning. Tendensen är dessutom att man får allt svårare geometriska förutsättningar av designtekniska skäl.

För att kunna studera detta på en stringent och repeterbart sätt har speciella provkroppar utvecklats och tillverkats i stor mängd. Kritiskt i detta arbete är att åstadkomma likadana limsträngar som ger ett repeterbart resultat vid manuell läggning, därför utvecklades en metod att med hjälp av tejpling av ytterstrukturen och limskrapor skapa både rundsträng och flatsträng. Detta var nödvändigt för att kunna jämföra olika lims egenskaper och beteende vid falsningen.

När sedan dessa inledande studier avslutats övergicks till robotapplicerad limläggning för att kunna jämföra repeterbara strängar både med rundsträng och ny appliceringsteknik, e-swirl, i studier med olika falsförutsättningar. Parallellt med detta utvecklades effektiva metoder för analys av den stora mängd prover som studierna gett upphov till där en kombination av SAM-analys (Scanning Acoustic Microscope) och öppning av förbanden kombinerats. Förutsättningarna för att använda nya material såsom fiberkomposit har utretts såväl genom grundläggande utredning av förutsättningarna, simulering av effekter som fysiska tester. Simuleringsutveckling har skett för att kunna prediktera ett förbands täthet och hur limmet beter sig under falsningen utifrån dess reologi och geometri. Denna utveckling har både haft som syfte att kunna simulera förloppet för att på verkliga produkter kunna förutse vad som kommer att hända och ge input till designutformning, falsprocess och limapplicering men också att kunna få en realistisk bild av hur limmet beter sig med olika förutsättningar.

5 Mål

Det övergripande målet med FALS-projektet var att skapa ett stabilt, tillförlitligt och verifierat koncept för falsningsprocessen av lättviktsstrukturer i multimaterial samt virtuella verktyg för att prediktera ett förbands täthet. Detta för att säkerställa en effektiv, kapabel och hållbar process för falsning som ökar möjligheten att skapa lätta men säkra fordon, medger nya innovativa designlösningar och är förberett för kommande kompositmaterial.

Sett till programmets mål bidrar projektet till att stärka svensk fordonsindustris konkurrenskraft genom att utveckla ett hållbart koncept för en fogmetod som kan appliceras på de kommande nya lättviktsmaterialen. Projektet bidrar även till en konkurrenskraftig produktion i Sverige genom att införa metoder och teknik som kombinerar hög kunskapsnivå med mycket avancerade metoder för virtuell teknik och avancerad matematik i en industriellt viktig applikation. Projektet tillvaratar FoU resultaten från tidigare projekt och omsätter dessa för en industriellt viktig tillämpning och medverkar därmed till att konkreta produktionsförbättringar kan göras hos de deltagande företagen och att ny kunskap kan implementeras i industrin.

Relativt programmet tar projektet sikte på de övergripande målen om en högre produktivitet i tillverkningsberedningen och i produktionsprocesserna med en jämn och stabil process förberedd för introduktionen av nya materialkombinationer. Projektet syftar även till en minskad miljöpåverkan och att bidra till reducerat diffust CO₂-utsläpp, genom att ha skapat en process som gör att nya material kan fogas på ett robust sätt. Detta gör att de nya materialen kan introduceras med täta och kvalitetssäkrade falsfogar vilket är en förutsättning för att korrosion inte ska uppstå i framtida produkter där falsade fogar ingår.

För de mer produktrelaterade målen för programmet 2015-2020 tar projektet sikte på att förbättra tillverkningsprocesserna och ge en ökad flexibilitet, men också att utveckla virtuella verktyg för simulering och optimering av processerna med ökad produktivitet i beredningsprocessen. Ett delmål som också kopplar mot de övergripande FFI-målen är att stärka forskningssamarbetet mellan industrin, Swerea SICOMP, FCC och Swerea IVF genom samverkande områdeskompetens i form av materialkunskap (komposit, metall, lim), avancerad simuleringsteknik, fogningsteknik, mätteknik och processteknik. Det skapar många nya förutsättningar för att korsbefrukta pågående verksamheter och skapa en stark forskningskonstellation som kan kopplas mot andra industribranscher.

6 Resultat och måluppfyllelse

6.1 Resultat

Projektets resultat har visat att falsning är en användbar metod för fogning av lättviktstrukturer i multimaterial men samtidigt har det också påvisat hur komplext sambandet mellan falsningen, limmets geometri och limappliceringen verkligen är och hur svårt det är att verkligen skapa ett tätt förband. Projektet har därför strävat efter att lägga basen för ett optimeringsarbete genom en kombination av fysiska tester som kan påvisa beteenden och beroenden och en utveckling av virtuella verktyg som kan användas för att på ett bättre sätt styra appliceringen av lim och prediktera vad som kan hända i produkter med svåra geometriska förutsättningar och kombinationer av material.

Kravspecifikation och utmaning för falslim

Kravspecifikationen för falsning är komplex då det ställer krav både på limmet, limappliceringen och konstruktionen på falsförbandet. Det är viktigt att limmet har god vidhäftning till de två ingående materialen för då kommer förbandets styrka avgöras av limmets inneboende styrka. Beroende på hur appliceringen av limmet görs, med rund eller swirl, så kommer resultatet bli olika. Enligt standarden så är det viktigt var någonstans man fyller förbandet med lim. Detta kan variera från tillverkare till tillverkare hur man väljer att skapa en fylld fog. Se Bild 8.

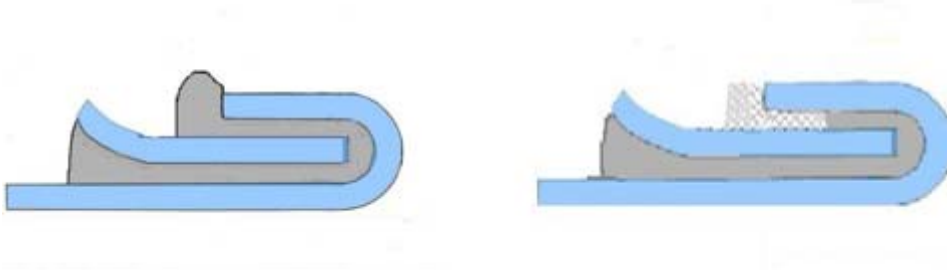


Bild 8 Definitionen av en fylld och en semifylld fals kan variera mellan olika bitillverkare

Om man "överfyller" förbandet så finns det risk att man "kladdar" ned falsverktygen i produktion. Det är dessutom viktigt att man inte får porer eller luftinneslutningar i limfogen, då dessa kan försämma ED-teckningen mellan limmet och lacken vilket då kan vara en källa för korrosionsangrepp. Mer detaljerad information om resultaten återfinns i rapport nr 2

Framtagning av provkroppar.

Projektet har i huvudsak arbetat med 2 principiella koncept för provkroppar dels för att studera fyllnadsgrad och vad som händer vid falsning samt för att studera glaskulornas inverkan på låsningen innan härdning.

Projektets har vidareutvecklat en av provkropparna (provkropp1) som funnits hos Volvo Personvagnar i Olofström för falsning för att efterlikna en verklig produkt och även kunna analysera effekter av ED-behandling samt positionering och variation av falsparametrar. Totalt har det för provkropp 1 tillverkats:

- ca 1400 ytterstrukturer i stål
- ca 1300 innerstrukturer i stål
- ca 1200 ytterstrukturer i aluminium
- ca 1800 innerstrukturer i aluminium

För olika studier har dess sedan kombinerats för att ge rätt förutsättningar.

För att kunna studera glaskulornas inverkan på låsningen innan härdningen har en provkropp framställts baserat på tidigare erfarenheter från projektet SimLim, provkropp2. Denna har gjorts både i stål och i aluminium. Mer detaljerad information om resultaten återfinns i rapport nr 2.

Metod för manuell preparering och limning av provkroppar

För att åstadkomma likadana limsträngar som ger ett repeterbart resultat vid manuell läggning utvecklades en metod att med hjälp av tejpling av ytterstrukturen och limskrapor skapa både rundsträng och flatsträng. Skraporna modellerades parametrisk och kunde sedan enkelt 3D-printas så att flexibiliteten att ändra var mycket hög. Denna appliceringsmetod gav ett mycket stabilt och repeterbart resultat. För att kontrollera metodens tillförlitlighet gjordes jämförande mätningar med en robotapplicerad sträng där metoden uppvisade mycket goda resultat. Detta var en viktig förutsättning då projektmedlemmarna vill att resultaten dels ska visa vad som verkligen händer dels att resultaten ska vara överförbara till de verkliga appliceringssituationerna. Mer detaljerad information om resultaten återfinns i rapport nr 2.

Utvärderingsmetoder

Inledningsvis i projektet konstaterades att med tanke på det stora antalet tester och provkroppar var det väsentligt att hitta bra utvärderingsmetoder. Fokus har varit att först och främst kunna bedöma fyllnadsgrad både i överviket och mellan inner och ytterstruktur.

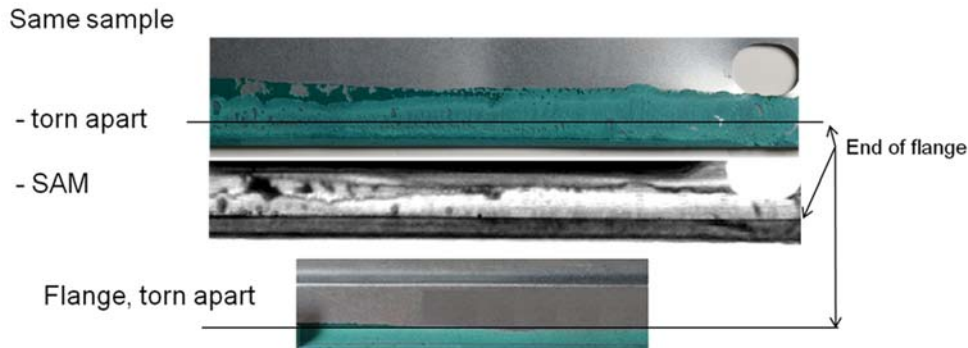


Bild 9 Jämförelse mellan isärtagen provkropp och SAM-analys

Inledande test gjordes med att använda Swerea IVFs ultraljudsmikroskop Sonoscan C-sam D6000. Provkropparna har efter att ha härdats i ugn placerats i ett vattenbad och sedan skannats med en ultraljudsprob. De första försöken visade direkt att utträngningen mellan inner och ytterstruktur var relativt enkelt att se. Dock var det svårt att med säkerhet kunna se resultat i själva överviket. Därför beslöts att pröva med att försiktigt fräsa bort den yttersta delen av falsradien så att provkropparna sedan skulle kunna öppnas. Visserligen tar detta en del tid men det visade sig fungera utmärkt. Mer detaljerad information om resultaten återfinns i rapport nr 2.

Applicering av falslim

Den första limstudien i FALS-projektet fokuserar betydelsen av limsträngens geometri och position. Två lim har använts i denna studie, ett gummibaserat lim M84 och ett epoxybaserat lim BM 1840 G. Samtidigt gjordes också en första jämförelse mellan falsmetoderna TableTop och rullfalsning. Studien är en bas för fortsatt arbete dels i att bestämma i vilken position och med vilka limmängder som måste användas för att kunna se och analysera effekter dels för att avpröva utvärderingsmetoder och metodik. Resultaten visar hur komplext sambanden är och att det är mycket viktigt att inte generalisera för mycket. Olika lim har olika egenskaper och beter sig därför annorlunda i de olika situationerna. Det är därför viktigt att om man försöker optimera förbandens täthet att man gör det med rätt förutsättningar, rätt lim och med aktuell metod, för såväl komponentens geometri, limgeometri, limmängd och positionering måste stämma med falsmetoden. Dessutom tillkommer variation i alla parametrar, och det måste man vara medveten om. Mer detaljerad information om resultaten återfinns i rapport nr 3.

Jämförelse av falslim

En viktig analys i projektet var att jämföra olika falslims beteende och hur de fyller falsen. I denna analys har alltså limmängd och position hålls konstanta och analysen gått ut på att studera skillnader i fyllnadsgrad beroende av limmets egenskaper. Analys har gjorts direkt efter falsning och härdning, efter ED-lackering och slutligen efter korrosionsprov enligt standard VCS 1027,33759.

De lim som jämförts har varit:

- Bostik Elastosol M84
- DOW Betamate1840G
- Henkel Teroson RB 5195G
- Sika SikaPower SP498/3G
- Bostik Elastosol M105

Detta kompletterades sedan med en mindre jämförelse med Bostik Elastosol M91, då detta används som referenslim på Volvo Lastvagnar och projektet hade tillgång till detta. Mer detaljerad information om resultaten återfinns i rapport nr 4. För jämförelse bör man även studera den separata vidhäftningsstudien som gjorts vid VCC och som redovisas i rapport nr 6 "Lap Shear Test of Adhesives".

Jämförelse av falslim vid rullfalsning av stål och aluminium

Beteendet för två olika lim, BM1840G och M84 har jämförts för likadana provkroppar i stål och aluminium som sedan rullfalsats. Studien visar inte på några stora skillnader i beteende av limmerna. Det verkar som stålprovkroppen uppvisar mer "grantoppsmönster" med lim BM1840G på stålprovkroppen jämfört aluminiumprovkroppen. För lim M84 verkar det inte uppvisas någon skillnad mellan stål och aluminiumprovkroppen. Det verkar inte bli någon skillnad mellan de metalliska materialen med avseende på limpositionering och limsträngsdiametern. Mer detaljerad information om resultaten återfinns i rapport nr 5.

Avsikten var att göra denna jämförelse även för TableTop falsning men då det inledande resultatet inte påvisade någon skillnad i beteendet och fyllnaden av provkropparna nedprioriterades detta, då mervärdet av arbetet ansågs tveksamt.

Vidhäftning

För att få en mer komplett bild av limmens olika egenskaper genomfördes en vidhäftningsstudie vid VCC. Sex olika lim testades i skjuvprov och brottmoden studerades. Limmen testades både på zinkbelagt stål och aluminium samt i kombination med tre olika oljor. Hälften av proverna testades efter exponering av fuktigt klimat enligt VCS 1027, 33759. Exponeringstiden för stål är 4 veckor och för aluminium 8 veckor. Mer detaljerad information om resultaten återfinns i rapport nr 6.

Falsparametrars inverkan på fyllnadsgrad

Projektet har ju betonat vikten av att studera såväl limparametrarnas inverkan som falsparametrarnas inverkan på fyllnadsgraden. Därför var det också viktigt att se hur dessa kunde analyseras med hjälp av de provkroppar som utvecklats enligt konceptet som finns beskrivet i rapport nr 2. I denna analys har alltså limmängd och limposition hålls konstanta och analysen gått ut på att studera skillnader i fyllnadsgrad beroende av variation av det ingående materialet, dels av olika innerstrukturer och deras position dels av falsövertvikets storlek. Både TableTop falsning och rullfalsning har använts i studien. Appliceringen av lim har skett i Swerea IVFs robotcell. Analys har gjorts direkt efter falsning och härdning på samma sätt som i tidigare studier. Resultaten visar att det finns en mycket stark koppling mellan innerstrukturens position, limsträngens position och fyllnadsgraden. Mer detaljerad information om resultaten återfinns i rapport nr 7.

Glaskulors inverkan på låsning innan härdning

En del av projektet har fokuserat låsning innan härdning och hur tillsatsmaterial som glaskulor påverkar detta. Studien går ut på att studera om tillsatser av små glaskulor i limmet kan förbättra limspalten mellan plåtarna samt låsa/fixera inner och ytterplåtarnas läge i förhållande till varandra från det att dom falsats till härdning. Testet utfördes genom att applicera två olika limtyper med olika mängd glaskulor på testpaneler av stål och aluminium. Två olika limmer användes, Bostic Elastosol M105 och DOW Epoxi 1840G. Varje lim hade tre olika mängder med glaskulor inblandat i limmet. M105 med 0, 2, 5 % och 1840G med 0, 5, 10 %. Limmet applicerades manuellt enligt utvecklad metodik på provkropp2. Panelerna falsades och placerades i en dragprovare för att undersöka draghållfastheten för det ohärdade limmet i falsförbandet. På en del av testpanelerna gjordes också snittprover för att undersöka limspalten. Resultatet visar att glaskulorna låser till viss del vid falsning i stål/stål men inte med aluminium/aluminium eller aluminium/stål. Testerna har visat att rätt tryck för att få en bra spalt i kombination med bra låsning är viktigt och detta bör utredas vidare men att det också måste utredas vidare vilken spalt som är optimal för olika lim. Mer detaljerad information om resultaten återfinns i rapport nr 8.

Applicering av falslim med e-swirl

En teknik som prövas av flera biltillverkare just nu är att istället för att lägga en rundsträng, lägga en sk swirl, dvs en sträng som läggs med ett roterande munstycke med liten diameter typiskt 0.4-0.8 mm. Detta skapar en utbredd sträng där limmet lagts i cirklar på varandra, se Bild 10.

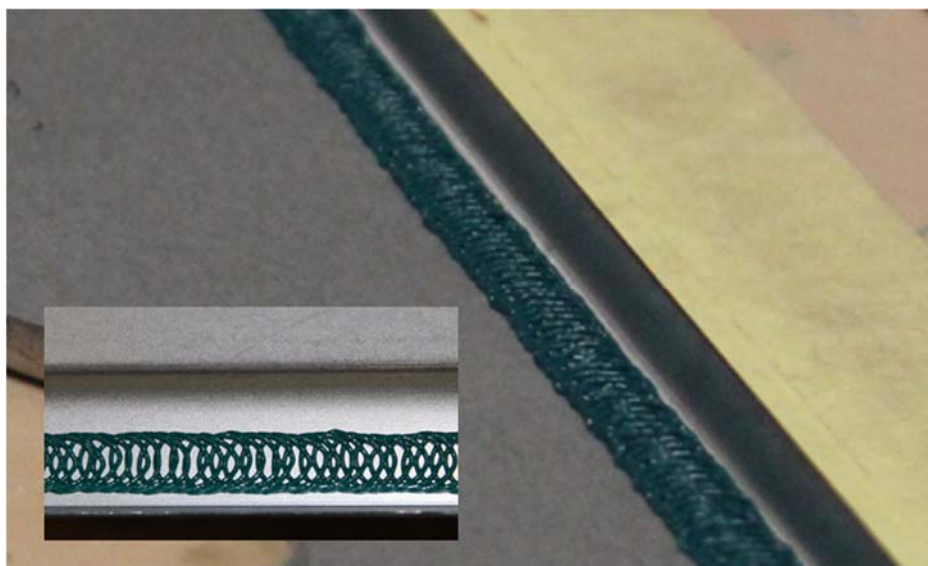


Bild 10 Applicering med e-swirl ger en utbredd sträng där limmet lagts i cirklar i appliceringsriktningen.

Appliceringsmässigt placeras munstycket en bit ovanför detaljen och genom att munstycket roteras skapas nästan som en cylinder där limmet trycks ner mot ytan av rotationen. För att skapa kunskap om denna nya appliceringsteknik har ganska omfattande studier gjorts i projektet kring den nya appliceringstekniken e-swirl. Projektet har på så sätt kunnat jämföra resultat från dagens applicering med rundsträng med den nya e-swirl tekniken. Även falsparametrarnas inverkan har studerats för e-swirl applicering. Resultaten av alla studier visar hur komplext sambanden är och att det mycket viktigt att inte generalisera för mycket. Samtidigt påvisar resultaten potentialen i den nya appliceringstekniken och de generella slutsatserna kring e-swirl visar att såväl mängd lim, känslighet för processtörningar som programmeringstid och åtkomlighet påverkas positivt om man lär sig behärska tekniken.

Appliceringsmässigt placeras munstycket som sagt en bit ovanför detaljen och genom att munstycket roteras skapas nästan som en cylinder där limmet trycks ner mot ytan av rotationen. Hur tät den swirlade strängen blir är en kombination av munstycksdiameter, volymflöde, robothastighet och varvtal. Ju högre varvtal desto smalare blir strängen. Avståndet till ytan rekommenderas vara ca 30 mm men i och med att det är en cylinder och inte en kon så är utrustning ganska okänslig för höjdledsvariation. Detta ökar naturligtvis processfönstret och möjligheten att få ett konstant och bra resultat.

Totalt har ca 200 provkroppar använts i e-swirl studierna. Minimum 3 provkroppar per parameter-opsättning har analyserats för att se att resultaten repeterar. Alla analyser är gjorda enligt de metoder som beskrivits i rapporten "Kravspecifikation, provkroppar och utvärderingsmetoder" (Nr 2 i FALS-serien) där också provkropparna finns beskrivna mer i detalj.



Bild 11 E-swirl

Appliceringen blir snabbare och mindre känslig när man applicerar med e-swirl jämfört med en rundsträng. Detta beror på att när man applicera med e-swirl behöver man inte följa kurvaturerna på detaljen på samma sätt och man kan tillåta sig att ha varierat avstånd mellan limnozzel och detalj. Detta förenklar appliceringsprogrammeringen samt underlättar åtkomligheten för limläggningen när man använder e-swirl. Alla tester som gjorts visar att e-swirl ger ett jämnare resultat som är okänsligt både för höjledsvariation och avvikelse vinkelmässigt från normalt mot ytan.

Produktstudier baserat på dessa studier redovisas i en separat rapport, Rapport nr 13 "Verifiering av falsresultat på produkter" som enbart är tillgänglig för projektdeltagarna. Generella erfarenheter från dessa vävs dock in i rapport nr 9 Applicering av falslim med E-swirl.

Karaktärisering av falslim med glaskulor

Allt viktigare i förbanden är att limmet ska vara strukturbärande och inte enbart en tätande massa men för denna tillämpning är det av avgörande betydelse att limmet ges möjlighet att uppnå en tillräckligt hög strukturell styrka i sammansättningen. För att säkerställa detta och åstadkomma en kvalitetsförbättring drivs tesen och utvecklingen att applikationsprocessen kan simuleras med hjälp av simuleringsprogrammet IPS, Industrial Path Solutions. För simuleringen, krävs en uppsättning reologiska parametrar som är relaterade till det skjuvförtunnande beteendet. Ett examensarbete utfördes därför i samarbete med FFI-projektet "GOLF – Geometrioptimerad limfogning för hållbar produktion" för att dels avprova den utvecklade metodiken för karaktärisering dels att utöka studierna riktat mot falslim som dessutom ofta innehåller glaskulor för att säkerställa limspalten och förbättra låsningen av detaljerna innan härdning. De reologiska data som krävs för simuleringen analyserades, tillsammans med effekten av åldrande undersöktes för två epoxilim och ett gummilim med hjälp av två olika typer av reometrar, nämligen en rotationsreometer och en kapillärreometer. Dessutom studerades effekten på det reologiska beteendet av glaskulor som fyllnadsmaterial. Resultaten från detta arbete användes sedan i den reologiska modell som utvecklats i IPS och som är basen för att kunna studera limmets beteende i falsoperationerna. Mer detaljerad information om resultaten återfinns i rapport nr 1.

Simuleringsutveckling

Projektet har utnyttjat FCCs mjukvara IPS för matematik-baserad virtuell produktutveckling som forskningsplattform och för demonstration av projektresultat. Aktiv samverkan har skett med projektet "Geometrioptimerad limfogning för hållbar produktion", vad gäller vidareutvecklingen av reologimodeller och strömningssimulering. Specifikt för falsningen så innebar arbetet att utvidga CFD lösaren i IBOFlow och koden i LaStFEM med specifik utveckling som krävdes för att kunna hantera simuleringen av falsningen ihop med limmet.

Arbetet har utgått från case beskrivna i forskningslitteraturen för att verifiera formningsresultat innan man startade att integrera samspelet med limmets beteende. Successivt har man sedan arbetat mot att formningmässigt hantera det som händer i den Table Top maskin som projektet haft tillgång till för att sedan även inkludera samspelet med lim och hur detta beter sig under själva falsförloppet. Slutligen har den reologibaserade simulering jämförts med de fysiska prov som projektet genomfört. En svårighet har varit den relativrörelse som skett i falsmaskinen mellan innerstruktur och ytterstruktur på grund av mängden lim som samlas i "nosen". Resultaten är mycket lovande men behöver utvecklas vidare för att kunna användas i produkt- och processutvecklingen. Mer detaljerad information om resultaten återfinns i rapport nr 15 Simulation Development.

Falsning av komposit

En del av projektet har fokuserat komposit och då framförallt att innerstrukturen skulle kunna vara av en fiberkomposit. Arbetet startade med att reda ut förutsättningarna för att använda nya material såsom fiberkomposit och detta inkluderar rekommendationer av lämpliga tillverkningsmetoder och specifikation av materialsystem som kan användas. Detta finns sammanfattat i rapport nr 10 Composite material specification and guidelines for metal to composite hem flange joining. I arbetet konstaterades att man behövde utveckla testmetoderna för att framförallt kunna bedöma kompositen tvärs fibrerna sk out-of-plane. Ett examensarbete genomfördes och återfinns som rapport nr 11 An investigation of out-of-plane testing of uni-weave non-crimp-fabric carbon/epoxy composites. För att ytterligare förstå vad som kan hända under falsningen genomfördes även en finita elementanalys av falsprocessen applicerad på fiberförstärkt komposit. Analysen belyser de viktigaste skillnaderna som möter en när den inre strukturen är ersatt från en plåt till en komposit. Resultatet återfinns i rapport nr 12 Finite element analysis of the hemming process for composite materials. Slutligen genomfördes några enkla tester av falsning av provkroppar som tillverkats i SMC material då projektet kunde utnyttja parallella aktiviteter för att få fram några sådana provbitar. Dessa enkla test visar dock behovet av att på ett stringent och systematiskt sätt analysera vad som verkligen händer då en innerstruktur i komposit ska falsas. Ytterligare forskning krävs. Resultaten från de enkla proverna återfinns i rapport nr 16 Falsning av innerstrukturer i komposit.

Verifiering av falsresultat på produkter

Projektet har avslutningsvis även velat överföra och testa vunnna kunskaper och erfarenheter till verkliga produkter och jämföra med dagens appliceringsteknik. Dessa tester har skett i samarbete mellan de deltagande företagen och med lite olika inriktning beroende på företagets önskemål och möjliga produkter att testa på. Eftersom projektet ville ha möjlighet att jämföra resultat mellan rundsträng och e-swirl så har all limapplicering skett i Swerea IVFs limcell med BM 1840G. Det har naturligtvis gjort att NEVS och Volvo Lastvagnar inte riktigt kunnat jämföra med dagens produktion men detta var den bästa kompromiss som gav mesta möjliga resultat under de omständigheter som råder. 5 olika produkter har körts, vara och en med sin problematik och möjlighet till jämförelser. Projektet har haft tillgång till 10 st artiklar av varje som transporterats till Swerea IVF för limapplicering på ytterstruktur och sedan transporterats tillbaka till respektive företag, NEVS i Trollhättan, VCC i Olofström och Volvo Lastvagnar i Umeå.

För dessa produktstudier "gissades" inställningar utifrån dagens limapplicering och de erfarenheter som provkropparna gett då ingen optimeringsloop kunde genomföras på grund av de långa transportererna. Var och en av dessa produkter innebar olika utmaningar vid limappliceringen där framförallt olika e-swirl inställningar har jämförts med rundsträng. Utmaningarna bestod bland annat i trånga sektioner, näst intill vertikal applicering, stora omriktningar, uppehåll i limsträng etc. Appliceringsmässigt kan man konstatera att e-swirl ger generellt sätt ett stabilare resultat som är mindre känsligt för avvikelser i komponenternas geometri och rent åtkomlighetsmässigt är betydligt enklare att hantera. I projektets fall kördes med enkla upplägg och i vissa fall komponenter i try-out stadie varför komponentvariationen var relativt stor vilket innebar störningar framförallt för rundsträng. Analys efter härdning och uppbyggnad har skett av företagen själva och ett generellt resultat av detta är att de e-swirlade artiklarna uppvisar en högre vidhäftning även om inte heller dessa har optimal vidhäftning. Detta har inte kunnat beläggas ytterligare men tendensen är tydlig. Frågan får alltså kvarstå till fortsatt forskning att belägga om detta gäller generellt eller ej.

Kompletterande OFP metoder för utvärdering av falsfogar

I utvärdering av falsade fogar har i huvudsak en OFP metod använts. Swerea IVF förfogar över ett ultraljudsmikroskop Sonoscan C-sam D6000 med 10µm upplösning som använts för att inspektera utfallet av de olika parametrar som kan varieras i en fog. Ultraljudsmikroskopet ger mycket bra uppfattning av limmets tillstånd i form av utbredning och distorsioner såsom porer eller vikar. Men storleken på bassängen och att man måste ha studieobjektet nedsänkt i vatten

samt att det måste vara plant begränsar denna metods användning på verkliga karossdetaljer utan att man sågar ur kuponger.

Därför har projektet även studerat alternativa metoder som kan komma till användning i produktion. Behovet av att kunna kontrollera utfallet av lim och mekaniskbindning i en hybridfog blir viktigare ju fler hybridfogar som används i jakten på vikt. Önskemålet att kunna kontrollera och mäta de egenskaper som bestämmer den mekaniska hållfastheten såsom vidhäftning, vidhäftande yta, tjocklek på lim, det mekaniska fugelementets faktiska utfall mfl. utan att mekaniskt ta isär eller klippa ut provkroppar ökar. De system som projektet tittat på ligger i tekniska framkanten och har en del kvar till kommersiell tillgänglighet med något undantag.

Denna undersökning har skett genom studiebesök hos organisationer som Fraunhofer IZFP och besök på Control show i Stuttgart, Världens största mässa för mätsystem och kontrollsystem. Genomgången och fakta redovisas från det material som vi fått av respektive organisation som besökts. Man har inte inom projektet avprovat någon utrustning förutom den som regelmässigt använts på Swerea IVF men tester av den luftburna ultraljudsutrustningen från NetCo kommer att göras efter denna rapport skrivits då den tekniken i uppvisade alldeles i slutet av projektet mycket goda resultat på provkroppar som sänts till företaget. Mer detaljerad information om resultaten återfinns i rapport nr 14

6.2 Måluppfyllelse

Projektets övergripande mål att skapa ett stabilt, tillförlitligt och verifierat koncept för falsningsprocessen av lättviktsstrukturer i multimaterial samt virtuella verktyg för att prediktera ett förbands täthet inte helt har kunnat uppnås, vilket kanske hade varit att förvänta för mycket med tanke på komplexiteten i frågeställningarna. Dock har projektet FALS lagt en grund som rönt stor uppmärksamhet dels på grund av angreppssättet med att studera och analysera både formnings och geometriaspekter i de olika falsningsmetoderna och limaspekter i samverkan med dessa, dels på grund av projektets omfattande provning på såväl produktlika provkroppar som verkliga produkter.

Kombinationen av kompetenser i projektet har öppnat för att resultaten kan förflytta fronten framåt för falsning som fogmetod i nya materialkombinationer framför allt med inriktning på:

- guidelines för limapplicering
- optimerad limgeometri utifrån falsteknik
- kunskap om limmets samverkan med falsprocessen för att skapa täta förband
- möjlig anpassning av innerstruktur för att förbättra täthet och limfog
- falsningsoperationens inverkan på innerstruktur i form av komposit

Visst kan man konstatera att projektet FALS inte nått fullt ut på att optimera limgeometrin och hur olika geometriska limfällor skulle kunna konstrueras eftersom det krävs ett fortsatt arbete med verkliga produkter och svåra geometrier för att nå dit men detta arbete kan nu ske med helt andra förutsättningar och stöd av reologibaserad simulering.

I ansökan till projektet FALS utlovades att kunna påvisa viktiga forskningsresultat var och en i absoluta teknikfronten framförallt för:

- simulering och virtuell verifiering av täta limförband
- anpassat programverktyg för limapplicering
- industriellt avprovad teknik och metodik för limapplicering och täta falsförband

Detta ser vi nu är en verklighet. Genom de reologibaserade simuleringsmetoderna som FALS-projektet och det parallella GOLF-projektet utvecklar öppnas nya möjligheter att verkligen studera och realistisk simulera vad som händer i denna typ av förband. Som beskrivits redan i ansökan så flyttas den internationella kunskapsfronten ytterligare framåt och svensk fordonsindustri kan få ett försprång i att vara först med ett fungerande koncept för falsning av de nya

materialkombinationer som är i antågande. Visst återstår en hel del arbete men genom dessa projekts resultat så kan detta ske med stöd av nya metoder och samverkande simuleringsteknik.

För uppsatta milstolpar i ansökan har följande uppfyllts:

- M1 Projektavtal undertecknat
- M2 Etablerad miljö för falsprovning
- M3 Etablerad miljö för limapplicering
- M4 Falsparametrar för utvärdering
- M5 Appliceringsmetoder för falsutvärdering
- M6 Anpassad simuleringsmodell för utträngning/täthet av lim vid falsning
- M7 Konstruktionsanvisning för innerstruktur i fiberkomposit framtagen
- M8 Sammanställning och överlämning av delresultat från AP1-4
- M9.1 Provkropp för falsning med lim
- M9.2 Provkropp för korrosionsprovning
- M10.1 Dokumenterad utvärdering av provkropp för falsning med lim
- M10.2 Dokumenterad utvärdering av provkropp för korrosionsprovning.
- M11 Utvärderade OFP metoder för falskvalitet
- M12 Förberett för industriell avtestning i MRL6
- M14.1 Avrapportering till VINNOVA Lägesrapport(er)
- M14.2 Avrapportering till VINNOVA Slutrapport

En av de uppsatta milstolparna har ej genomförts ännu.

M13 Öppen work-shop för resultatredovisning.

Då projektet haft en mycket intensiv period på slutet med produkttester har man beslutat att den öppna workshopen ska genomföras till hösten. Den är planerad till den 19 september 2017 på Swerea IVF.

Samtliga leveranser som finns beskrivna i ansökan för respektive delprojekt har genomförts men med vissa små förändringar. Endast en delleveranserna har inte kunnat genomföras **L5.4**, "Rapport om geometri- och fogningskonsekvenser i falsförband orsakad av termisk påverkan". Denna studie har utgått dels på grund av de andra studiernas omfattning dels att man konstaterat genom andra parallella aktiviteter att studien kräver en större omfattning än vad som kunnat rymmas inom projektet.

Leveransen "Konstruktionsanvisningar och standardkomplettering för limapplicering för falsad fog" är en pågående aktivitet på respektive bilföretag som nu fått betydligt mer kunskap att basera förändringarna på.

Precis som utlovat i projektansökan kom projektet i korthet att:

- Bygga upp en kompetensbas om falsprocessens samverkan med lim för att skapa täta falsförband för lättviktsstrukturer i multimaterial
- Undersöka falsmetoder i kombination med lim och tätningsmaterial för tunna multimaterialprodukter.
- Avprova appliceringstekniker för lim för att inte bygga in luftfickor och optimera limutträngning
- Utveckla simuleringsteknik och beredningsverktyg för lim och falsförband.
- Undersöka hållfasthet och långtidsegenskaper av falsförband
- Analysera korrosionseffekter för framtagen falsmetodik.
- Analysera geometriaspekter och klampningspåverkan vid falsning för komponenter med variation
- Förbereda för implementering i kommande produkter av falsfogning för lättviktsstrukturer i multimaterial

Några av projektets högt uppsatta mål har inte kunnat realiseras på grund av resursbrist och begränsad tid.

I ansökan finns dessa beskrivna som

- *Ta fram processfönster för falsfogning för tunna material, hårda aluminiumlegeringar samt fiberkompositer.* Detta kräver ett mer omfattande arbete med verkliga produkter då utfallet är geometriberoende och starkt kopplat till de olika materialens olika formegenskaper och samverkan med limegenskaperna. Grunden är lagd men processfönstret relaterar till specifika produkter och materialkombinationer som projektet inte haft tillgång till.
- *Analysera geometriaspekter då frågan om värmexpansion är viktig då olika material blandas.* Frågan kring värmexpansion och olika materials värmeutvidgning samt hur detta påverkar ett kombinerat falsförband har bedömts vara alltför omfattande för att rymmas i detta projekt. Den är dock väldigt viktig i ett fortsatt arbete, eftersom falsprocessen ofta leder till att limmet inte härdas förrän i de efterföljande processerna och ugnarna.
- *Genomföra en riskanalys för valda falsfogningskoncept.* Detta relaterar till ett efterföljande produktutvecklingsarbete och bör ske i samband med detta för att inte hamna på en alltför generell nivå. Ytterligare prover och analyser av verkliga produktcase krävs innan detta kan genomföras med ett realistiskt resultat

Trots att projektet inte nått ända fram och att man konstaterar att falsning är en mycket komplex operation med många påverkande faktorer så anser projektkonsortiet att man kommit mycket långt och genererat mycket ny kunskap samt dokumenterat detta. Fortsatt forskning krävs men nu finns en bas att gå vidare från framförallt på samspelet mellan limmets beteende och den formande operationen. Genom denna genererade kunskap kan nu det egna standardiseringsarbetet intensifieras och ny appliceringsteknik och metodik utvärderas ytterligare mot införande i produkt- och produktionsutvecklingen. Ytterligare forskning krävs dock för att verkligen nå optimala täta förband i kommande materialkombinationer med en stabil tillverkningsprocess.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatsspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Resultaten har under projekttiden främst spridits inom projektkonsortiet. Detta genom kontinuerliga arbetsmöten och presentationer av resultat. En större öppen avrapportering är planerad under hösten 2017 för de projektdeltagande företag och andra utanför projektet. Projektet har spridit kunskap om att konceptet att kunna använda ny appliceringsteknik av lim och dessa resultat förs vidare in i andra projekt, exempelvis GOLFI. Projektet har haft ett examensarbete som avrapporterats på Chalmers och öppet för deltagande projektpartners.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Konceptet har väckt uppmärksamhet hos projektdeltagande företag och även hos andra fordonsföretag och deras underleverantörer. Detta gör att det finns en önskan om att ta konceptet vidare mot en implementering. dvs lyfta från detta projekts avslut vid MRL-nivå 4/5 till en MRL-nivå 6-7. I FALS projektet har simuleringsansatsen varit att styra mot att kunna simulera ett förbands täthet., Trots detta projekts mycket goda resultat återstår ännu en hel del innan denna typ av simulering kan ske fullt ut i produkt- och processutvecklingen. Arbetet kommer att byggas på ytterligare bla inom GOLF II projektet så att även applicering med e-swirl kan simuleras
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Konceptet med E-swirl i kombination med de två olika falsmetoderna Taple-top och Rullfalsning kommer företagen gå vidare med för att ta fram produktutvecklingsprojekt för framtida implementering.
Introduceras på marknaden	x	Fordonstillverkarna vill ha ett robust system för limapplicering som minskar störningar i produktion. Projektresultat från FALS kan läras ut och på så sätt introduceras på marknaden. Som ringar på vatten har det i projektets slutfas tagits kontakts av utrustningsutvecklare av falsutrustning, tillverkare från Tyskland.
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut		Nej

7.2 Publikationer

Projektet har arbetat med att avrapportera resultat och erfarenheter i presentationsform som sedan omformats till tekniska rapporter. Totalt 16 st tekniska rapporter finns från projektet.

Rapport nr 1: Master Thesis Rheological characterization of adhesives for use in modeling of adhesive application in simulation software IPS

Johan Eklund

Rapport nr 2: Kravspecifikation, provkroppar och utvärderingsmetoder

Ola Albinsson, Fredrik Wandebäck, Swerea IVF

Rapport nr 3: Applicering av falslim

Ola Albinsson, Fredrik Wandebäck, Swerea IVF

Rapport nr 4: Jämförelse av falslim

Ola Albinsson, Fredrik Wandebäck, Swerea IVF

Rapport nr 5: Jämförelse av falslim vid rullfalsning av stål och aluminium

Ola Albinsson, Fredrik Wandebäck, Swerea IVF

Rapport nr 6: Lap Shear Test of Adhesives

Jonas Horkeby, Volvo Cars

Rapport nr 7: Falsparametrars inverkan på fyllnadsgrad

Ola Albinsson, Fredrik Wandebäck, Swerea IVF

Rapport nr 8: Analys och utvärdering av låsmekanism från glaskulor i limmet före härdning, Kent Stenberg VLV

Ola Albinsson, Fredrik Wandebäck, Swerea IVF

Rapport nr 9: Applicering av falslim med E-swirl

Ola Albinsson, Fredrik Wandebäck, Swerea IVF

Rapport nr 10: Composite material specification and guidelines for metal to composite hem flange joining

Erik Marklund, Swerea SICOMP

Rapport nr 11: Master Thesis: An investigation of out-of-plane testing of uni-weave non-crimp-fabric carbon/epoxy composite

Gennaro Gatto

Rapport nr 12: Finite element analysis of the hemming process for composite materials

Renaud Gutkin, Swerea SICOMP

Rapport nr 13: Verifiering av falsresultat på produkter

Jörgen Alexis, VCC, Dan Svensson NEVS, Kent Stenberg VLV, Fredrik Wandebäck, Swerea IVF

Rapport nr 14: Kompletterande OFP metoder för utvärdering av falsfogar

Per-Johan Wahlborg, Swerea IVF

Rapport nr 15: Simulation development, FCC

Christoffer Cromvik, FCC

Rapport nr 16: Falsning av innerstrukturer i komposit

Ola Albinsson, Fredrik Wandebäck, Swerea IVF, Erik Marklund Swerea SICOMP

Alla tekniska rapporter är publika utom rapport nr 13 som endast finns tillgänglig för projektdeltagare. Dock har erfarenheterna från dess studier sammanfattats i rapport nr 9 Applicering av falslim med e-swirl. De tekniska rapporterna finns som bilaga till denna slutrapport. Rapporterna kan beställas via Swerea IVF.

Resultat som Projekt FALS tagits fram har presenterats på nationella och internationella konferenser där resultat nått ut till inhemska och Europeiska fordonstillverkare.

- FFI konferens Katrineholm maj 2015.
- Atlas Copco / SCA Schucker projektresultat Work Shop Dretten- Tyskland nov- 2015
- SCA Schucker Customer Days Workshop. April 19-22 – 2016
- Kreativum Kreativt Tekniskt Centrum Blekinge, 9 november 2016

En avslutande öppen workshop där de tekniska resultaten från FALS-projektet kommer att presenteras är planerad till den 19 september på Swerea IVF.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Visst kan man konstatera att projektet FALS inte nått fullt ut på att optimera limgeometrin eftersom det bland annat krävs ett fortsatt arbete med verkliga produkter och svåra geometrier för att nå dit men detta arbete kan nu ske med helt andra förutsättningar och stöd av reologibaserad simulering. Projektmedlemmarna är stolta och eniga om att ett mycket viktigt arbete är gjort i projektet som dels slagit fast och dokumenterat redan känd kunskap dels genererat mycket ny kunskap som måste förvaltas vidare. En viktig lärdom från detta projekt är att komplexiteten i falsning av nya materialkombinationer inte bör underskattas, då redan kombinationen stål/stål uppvisar en oerhörd komplexitet.

Fortsatt forskning krävs och projektkonsortiet avser nu att samla tankarna kring de framtagna resultaten och hur man på bästa sätt bör gå fram.

Identifierade forskningsområden är

- Optimal limspalt i olika materialkombinationer
- Limfällor som hjälper till att skapa kontrollerad limspalt i materialkombinationer
- Låsning av inner/ytterstruktur innan härdning i nya materialkombinationer
- Vidhäftnings- och hållfasthetsaspekter vid limapplicering med rundsträng kontra e-swirl
- Falsoperationens påverkan på en innerstruktur i komposit
- Tryckstyrd rullfalsning
- Geometriaspekter relaterade till värmeexpansion
- Processfönster för falsfogning för tunna material, hårda aluminiumlegeringar samt fiberkompositer
- Kvarstående synliga effekter av limdragning eller falsning

Ett tydligt behov är limspaltens geometriska kvalitet efter falsning och hur detta kan åstadkommas. Projektet FALS har fokuserat fyllnadsgrad då det är det mest uppenbara problemet idag men när man nu tittar närmare in i problematiken så kan man konstatera att limspalten varken är jämn eller optimal sett ur vidhäftningssynpunkt och att den ska bära last. Det saknas kunskap om hur falsformen bör se ut i olika materialkombinationer och produkter. Detta är intressant inte bara ur limspaltens utseende utan också ur produktens funktion och ytterstrukturens påverkan på innerstrukturen vid falsningsoperationen. Ett stort behov är att studera hur limfällor i olika material kan konstrueras och tillverkas för att hjälpa till att få en optimal limspalt och god vidhäftning. Här kan den nu utvecklade reologibaserade simuleringen användas. Då utveckling pågår att även simulera e-swirl applicering inom det parallella projektet GOLF II kommer även förutsättningarna att finnas att inkludera denna typ av limsträng i ett sådant arbete.

Ett konstaterande som projektmedlemmarna gjort är som sagt att ett mycket viktigt och omfattande arbete är gjort för att falsning av lättviktsstrukturer ska kunna ske på ett kontrollerat sätt men att det är en bit kvar innan man kan säga att ett stabil, tillförlitligt och verifierat koncept för falsningsprocessen av lättviktsstrukturer i multimaterial finns att implementera.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Projektledare och koordinator för FALS-projektet har varit Swerea IVF och övriga parter har varit Volvo Personvagnar AB, Volvo Lastvagnar AB, National Electric Vehicle Sweden AB, SCA Schucker GmbH, Fraunhofer Chalmers Centre for Industrial Mathematics och Swerea SICOMP.

Projektperiod är sammantaget 33 månader och projektet startades 2014-10-01 med projektslut 2017-06-30

Kontaktpersoner från projektkonsortiet.

- **Swerea IVF**
Fredrik Wandebäck, Ola Albinsson, Per-Johan Wahlborg, Johan Åkerman
- **Volvo Personvagnar AB**
Jörgen Alexis, Stefan Hansson, Per Lindahl
- **Volvo Lastvagnar AB**
Kent Stenberg
- **National Electric Vehicle Sweden AB**
Dan Svensson, Lars Melin
- **SCA Schucker GmbH**
Per-Hugo Öreskans, Özgür Gel, Mikael, Frick, Robin Römmele
- **Fraunhofer Chalmers Centre for Industrial Mathematics**
Fredrik Edelvik, Christoffer Cromvik, Johan S. Carlson
- **Swerea SICOMP**
Erik Marklund

