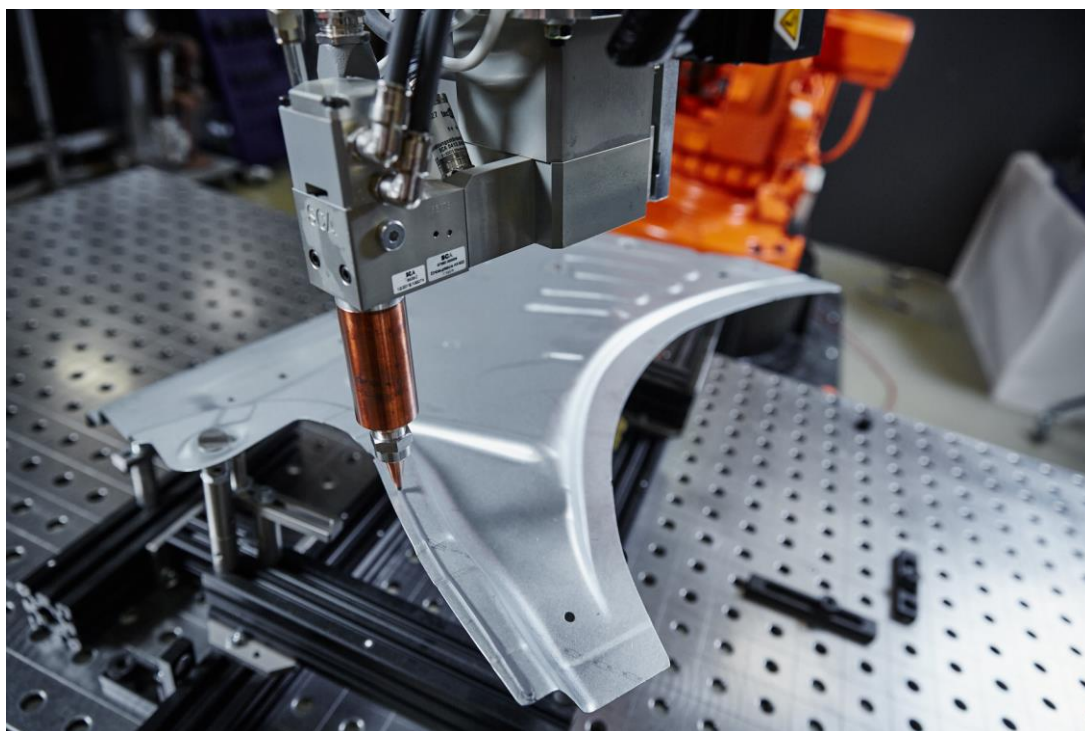


GOLF 2

Geometri Optimerad Lim Fogning med fokus på montering



Författare: Per-Johan Wahlborg

Datum 2019-05-15

Delprogram 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

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary.....	4
3 Bakgrund.....	5
4 Syfte, frågeställningar och metod.....	6
4.1 Syfte	6
4.2 Frågeställningar	7
4.3 Metod	7
5 Mål	8
6 Resultat och måluppfyllelse	9
6.1 Limgeometri och appliceringsteknik.....	9
6.2 Samverkan robot och applikator	10
6.3 Utökad simulering och optimering av limapplicering.....	10
6.4 Montering av komponenter	12
7 Verifiering och produktlika demonstrationer	14
8 Processövervakning av limapplicering	18
9 Spridning och publicering	19
9.1 Kunskaps- och resultatspridning	19
9.2 Publikationer.....	19
10 Slutsatser och fortsatt forskning	20
11 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	21

Bilaga 1: Litteraturstudie_Vision systems for glue bead inspection

1 Sammanfattning

Projektet som är en fortsättning tidigare projekt innebär en utökning av ansatsen som gjordes i FFI-projektet "Geometrioptimerad limfogning för hållbar produktion" (Dnr 2012-04600) som avslutades 2015, där grunden lagts för ett helt nytt sätt att programmera repetitiva och kvalitetssäkrade limsträngar genom en kombination av mycket avancerad simulering av limmets beteende baserat på nyutvecklade reologimodeller och en avancerad automatisk banplanering. För att nå ett helhetstänk kring geometrioptimerade limförband krävs dock en utökning riktad mot hantering av hel komponent innehållande flera strängar och montering av förbanden.

Multimaterialkombinationer i sammansatta produkter blir allt vanligare, för att optimera produktens egenskaper och optimera vikt. I dessa sammansatta konstruktioner av olika material är fogningsmetoderna viktiga och därmed hur kontakten sker mellan olika material. Limfogning är central för dessa framtidens lättviktsprodukter oavsett om den sker i kombination med mekanisk fogning eller ej. Det saknas ännu kostnadseffektiva metoder och teknik att för slutna förband bedöma indikationer på förändringar i fogens egenskaper och mäta utfallet på ett objektivt sätt. 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 mål var därför att vidareutveckla tekniken för geometrioptimerad limfogning med fokus på montering av hela komponenter för att nå ett hållbart systemtänk för simulering och robotapplicering av lim. Arbetet innebär att bättre knyta ihop teknikerna och nå en optimering av ingående parametrar, för att ge användaren enkla verktyg för geometrisk optimering av limsträngen även kopplat till vad som händer vid monteringen av komponenterna innebärande hantering av såväl monteringsituation, limgeometri som variation i komponenterna.

Projektet var indelat i 7 arbetspaket som förenar nya möjligheter i appliceringsteknik för limning med utvecklingen av virtuella verktyg för att nå ett industriellt implementerbart helhetstänk för geometrisk optimerad limapplicering.

Sammanläggningen av adheranterna i montering av komponenter har studerats och beskrivits. Kombinationen av limsträngens placering och sammanläggningens förflyttning av limmets placering i fogen är komplicerat och ställer stora krav på beräkningssimulering som inte finns idag. Kopplingen mellan hållfasthetskrav på färdigt förband med härdat lim och det faktiska monteringsresultatet samt placeringen av limsträngen måste utredas vidare.

Projektet har levererat en implementerbar teknik och metod för optimal limapplicering men också bidragit till att höja kunskapsnivån kring vikten av att skapa rätt förutsättningar så att limfogens egenskaper kan nyttjas maximalt i framtida produkter.

Hos de deltagande företagen har mjukvaran utvärderats och erfarenheterna paketerats i business case. Exempelvis har VCC idag cirka 100 meter lim i bilen och 52 robotar i produktion som applicerar olika former av lim.

Driftsättning och justering av dessa robotar är mycket tidskrävande, om man jämför med arbetet för en punktsvetsrobot.

Resultaten har rönt uppskattning vid de teknikspridningsaktiviteter som gjorts i form av white papers och konferensdeltagande med förslag på framtida internationellt samarbete.

2 Executive summary

"Geometry Optimised adhesive joining focus on assembly of components" in Swedish (Geometrioptimerad limfogning II fokus montering av komponenter) is a project within the Swedish research program FFI for Sustainable production. It has as its mission to develop technology and methods to get the right amount of adhesive on the right place. The drivers behind this are the overall strive to decrease weight in vehicles and moving machines to minimize the amount of CO₂ in the atmosphere.

The CO₂ hunt, forces development of new material combinations in products that got to be more efficient. This material combinations causes some new joining situations where old knowledge of joining components of the same material are overruled by material combinations that can't be welded or joined together with rigid joint methods that don't take the different behavior of the joint material in account. Using adhesive as a joining method is not a new technology, but the use of adhesive in the way that the new material conditions put the demands on the parts and products is a new thing.

The car industry has used adhesive bonding for over thirty years. It has mainly been used as a sealing material in welded or riveted joints where the forces in the joints between the materials should have been carried out by the spot welds or rivets. The adhesives strength has been looked at as some kind of bonus in the total strength of the joint. This are shown in the facts around the data of stress analyses with FEM where there are very little traces' of how to involve the strength of the adhesive in the structural analyses. Look at the thesis work (Effects of Cyclic Thermal Loadings on Distortion of Dissimilar Joined Materials) in the appendix A. There are almost no evidence of how to model the adhesion in the FEM solutions. Because of the history of joining technology the demands of which forces a joint should be able to wear there are no real design demands on the joint. The knowledge of how much stresses and in which directions it should work are based on the destructive testing that almost all car manufacturers uses to investigate that the joints are correct. One problem is that with the new materials and material combinations. The part price becomes much more expensive than with an all steel component. From around €5 to €20 per sheet metal part to €80 to €100 per multi material part, which means that destructive testing is not manageable any longer. This also means that process control to assure that the joining method delivers the joint that the designer intended is of most importance.

The process to create a more design directed requirements will take some time. In the mean while the knowledge around the process parameters to be controlled and monitored to be able to produce correct adhesive beads with placement control is of great importance.

The "GOLF II" project proceed from the GOLF-project and starts from state-of-the-art knowledge and technology of adhesive characterization, collision free path planning and advanced fluid simulation which were developed there. The project aimed to through the rheology status of the adhesive create optimized robot programs to fulfil coming requirements of placement, amount and compensation. To meet the effects of assembly parts that have joining surfaces that are not geometrical optimal due to the theoretical ideal to mount the meeting surfaces parallel in normal direction. The deviations could come from parts that are deviating from the nominal form, it is not held in its nominal shape during assembly or the shapes of the parts can't be assembled with all joints in normal direction. There will be sliding or tilting conditions during closing the gap between the parts. This has been studied in the GOLF-project in a comparable small study to investigate which forces the parts puts on the bead and which forces the bead reacts with, that can change the shape and imply stresses into the parts during fixation and curing. The study showed how complex the forces in the gap directs the effects on the adhesive and the parts which must be carried out in this project.

The rheology status of the adhesive has shown to control these phenomena as well as the application parameters during application. The rheology studies showed that the input viscosity depending on age and other factors creates a significant difference in the result depending on how much each equipment kneading the adhesive during processing. Since the studied adhesives are a shear thinning adhesive with some thixotropic behaviour there are a different and not always logical effects of aging the necessity of continuously rheology studies should be recommended. Today this is mainly done in the beginning of a car project if the supplier can't support you with this figures. But our studies show that even inside the process window, marked on the barrel, the differences are so big that the parameter settings must be changed during the production process. The effects are known by the process people, but we have a method to provide the production people with this information in advance. To develop the principal method developed in the project to a more general one we arranged a thesis work.

The data from the rheology studies as viscosity and shearing rate are used as input to the fluid simulation software used in the project. Our partner FCC (Fraunhofer Chalmers Centre for industrial mathematics) has integrated their own developed fluid dynamic software called IBOFlow. The path planning module for adhesive application we developed in the GOLF project. In GOLF II we took this rheology engine and developed it further to handle what happens with pseudoplastic material compression and expansion during the assembly process.

This have been tested in 4 different industrial cases and has shown that the simulator is robust enough to be able to show the different rheological behaviours and situations that real cases has. We have even gone out of the scope by testing gap fillers for battery assembly with god enough result to plan a new project. The dissemination in whitepapers and conferences have given very positive reactions with proposal of international collaborations.

3 Bakgrund

I FFI-projektet "Geometrioptimerad limfogning för hållbar produktion" (Dnr 2012-04600) som föregick detta projekt lades grunden för ett helt nytt sätt att programmera repetitiva och kvalitetssäkrade limsträngar genom en kombination av mycket avancerad simulering av limmets beteende baserat på nyutvecklade reologimodeller och en avancerad automatisk banplanering.

Bakgrunden till detta är att ett av de högst prioriterade områdena och strategiskt mest viktiga inom fordonsutvecklingen för att bl.a. uppnå de miljömålen, genom reducerad CO2 utsläpp, är att sänka vikt. För att optimera produktens egenskaper är trenden tydlig mot multimaterialkombinationer där styva svårformade material kombineras med veka lätta komponenter. För dessa framtidens lättviktsprodukter är limfogning central oavsett om den sker i kombination med mekanisk fogning eller ej. Det saknas ännu kostnadseffektiva metoder och teknik att för slutna förband bedöma indikationer på förändringar i fogens egenskaper och mäta utfallet på ett objektivet sätt. 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.

Hypotesprojektet "Objektiva utvärderingskriterier av fogegenskaper för hållbar produktion" (Dnr 2012-02503) där man med CT-röntgen undersökt möjligheterna att skapa objektiva utvärderingsredskap visar på teknikens potential men ännu saknas möjligheterna att i Sverige regelmässigt göra detta för hela produkter eller delsystem.

Redan idag har en bil från VCC ca 100 meter lim applicerat av ca 52 robotar. Limapplicering är en process som tar mycket tid i anspråk och som idag ur ett hållbarhetsperspektiv ger ett tveksamt resultat. Dels brottas man med långa inkörningstider med för stor materialåtgång av lim, dels att limmet hamnar på ställen där det inte skall vara men det viktigaste är att man

egentligen inte säkerställer att man får en optimal fog som garanterat klarar att bära den last eller egenskap som man avsett. Dessutom kompliceras problembilden ytterligare av att man ofta inte skapar en härdad limfog förrän i efterföljande process och innan dess finns uppenbar risk för washout/washoff-effekter. Med denna osäkerhet ökar risken för korrosionsangrepp och kvalitetsproblem i efterföljande processer. Undersökningar visar att ca 27 h per robot ägnas åt intrimning av limappliceringsprogrammen i ett samspel mellan VCC och utrustningsleverantören. Sammantaget ägnas då ca 1400 h per bilprojekt åt intrimning av limappliceringsprogram. Då limanvändningen är nödvändiga i framtida resurseffektiva produkter är det strategiskt att lösa de uppenbara industriella problem som redan finns men kommer att öka om inget görs.

Limsträngens geometri och hur limmets geometri egentligen bör vara utformad för att efter montering ge en optimal limfog har heller inte behandlats inom forskningen under de senaste åren, trots den industriella utvecklingen av nya appliceringssätt exempelvis E-swirl för högviskösa material. Historiskt finns det en del grundläggande arbete gjorda bl.a. inom Swerea IVF och då kopplat till materialdata och materialmodeller för härdförloppet i projektet "Kvalitetssäkrad härdning av limmade karosser" (Dnr 2006-00123). Man kan också se en trend att när man nu ska byta material från stål-stål där limmet i första hand haft en tätande funktion förändras kraven på fogen där limmet nu ska vara strukturbärande och bära väsentlig last och eventuellt ha en viss elasticitet för att fungera i de nya materialkombinationerna. Detta kommer också att påverka appliceringen av lim då man går från enkla strängar till att belägga utbredda områden, ytor. Detta skapar ett behov av att utreda framtida limgeometrier och mönster relaterat till applikationssätt (rund, flat, e-swirl, intermittent läggning etc) för att den tänkta limytan ska bära aktuell last och fogen uppnår tänkta egenskaper.

Det parallella projektet "Falsning av lättviktstrukturer" (Dnr 2014-03929) fokuserade samspelet mellan lim och falsoperationen och hur limmet då flyter ut för att skapa en tät fog och simuleringsteknik för detta vilket gör att man påbörjat arbetet kring limsträngens geometri och hur det påverkar möjligheten att skapa täta förband.

FFI-projektet "Geometrioptimerad limfogning för hållbar produktion" (Dnr 2012-04600) har fokuserat på teknik och metod för optimal limapplicering och har utvecklat teknik och ett arbetsflöde som innebär möjlighet att virtuellt simulera läggning av en rund limsträng samt med hjälp av en extern virtuell robotcontroller förfina resultatet av läggningen och optimera robotbana och applicering. Projektet har visat att för att kunna industrialiseras och skapa en effektiv optimeringsloop vilket är nödvändigt för att skapa bra repetitiva limfogar måste detta renodlas i en mjukvara där robotcontrollerns funktioner integreras mot applikatorns möjligheter att reglera tryck, flöde etc vilket utvecklats i detta projekt.

I det tidigare projektet identifierades också behov av simulering av montering av förband där lim och fästelement ingår. Reologibaserad monteringsmodellering kommer att ha en stor betydelse för framtida multimaterialprodukter där dolda geometrier måste kunna analyseras utan förstörande provning. Olika material i monteringen är olika tåliga för den kraft som måste appliceras vid själva sammanläggningen av artiklar. Att kunna simulera kraft och förflyttning mellan två ytor som ska monteras ihop är av största vikt.

4 Syfte, frågeställningar och metod

4.1 Syfte

Konkret har projektets syfte varit att:

- Utöka funktionaliteten till att kunna hantera flera limsträngar och hel komponent både vid limläggning och montering
- Skapa förutsättningarna för en geometrisk optimering av fog

- Förfina simuleringsberäkningarna i IPS för snabbare svar i de olika simuleringsmoderna.
- Skapa samverkan mellan robotkontrollerna och applikatorns funktionalitet för en mer optimal läggning, såväl limgeometri som robotrörelse
- Utöka funktionaliteten i IPS för att styra robot och applikator i samverkan
- Utveckla en mer automatisk optimeringsloop för att påverka parametrarna direkt istället för en manuell justering av parametrarna mellan körningarna.
- Studera limsträngens geometri, mönster och applikationssätts inverkan på struktur och hållfasthetsberäkningarna/bedömning av fog
- Utöka studie av den i GOLF I framtagna karaktäriseringsmetoden för olika limsystem, för att säkerställa dess generalitet.
- Utveckla teknik för att kunna simulera appliceringstekniken E-swirl
- Utredda möjligheterna för koppling till övervakningssystem

4.2 Frågeställningar

Centralt för projektet har varit att besvara om det går att optimera limmets placering i fogen utifrån:

- Fogens funktion på karossen och därifrån hållfasthetskraven på förbanden
- reologin hos limmet
- den geometriska placeringen av limmet på komponenten
- den förskjutning av limmet som sker under själva hopläggningen av fogen
- den förskjutning av limmet som sker under själva mekaniska låsningen av fogen

4.3 Metod

Metoden har varit att kombinera state-of-the-art-teknik för reologianalys som skapar indata till state-of-the-art teknologi för fluidsimering som skapar indata till state-of-the-art teknik för kollisionfri banplanering och programmering av robot. Fokus har varit att utveckla teknik och metodik samt systemlösningar för optimerad placering av lim i förband och fysiskt avprova det i en demomiljö samt beskriva business case om denna teknik finns att införa.

Karaktärisering av lim är ingen standarduppgift som limleverantörerna tillhandahåller. Den redan befintliga IBOFlow programvaran som kan simulera den typ av fluider (Pseudoplastiska) som lim utgör, kräver ett antal parametrar som en karakterisering av reologitillståndet kan leverera. För att ta fram data för detta har ett antal limstudier (mätningar) kombinerade med rena viskositetsstudier och viskoelastiska studier genomförts.

4.3.1 Exempel på provade lim;

SikaPower 533 MBX, ett 1-komponents värmehärdande epoxilim, RT och 50 resp. 55 °C

M98, ett 1-komponents värmehärdande gummilim, RT och 55 resp. 60 °C

M105, ett 1-komponents värmehärdande gummilim, RT och 37 °C. Svårtolkad troligen på grund av ingående glaskulor (max. 0,15 mm).

De lim vi använder oss har en grundviskositet som är relativt hög, 10^3 till 10^4 mPa·s.

För att bestämma dessa har den i GOLF1 projektet utvecklade karaktäriseringsmetoden tagits vidare och fungera nu mer generellt för olika reologitillstånd. Limmerna används under så olika temperaturer och tryck att en komplett karaktärisering av den pseudoplastiska vätskan måste till för att fungera som indata till IBOFlow. De traditionella viskositetsmätningarna fungerar bara för delar av hela karaktäriseringsområdet varför mätningar med flera tekniker måste utföras och plottas in i en Carreau modell kurva. Karakteriseringen kompletterades även med oscillerande frekvenssvop för att bestämma materialens viskoelastiska egenskaper.

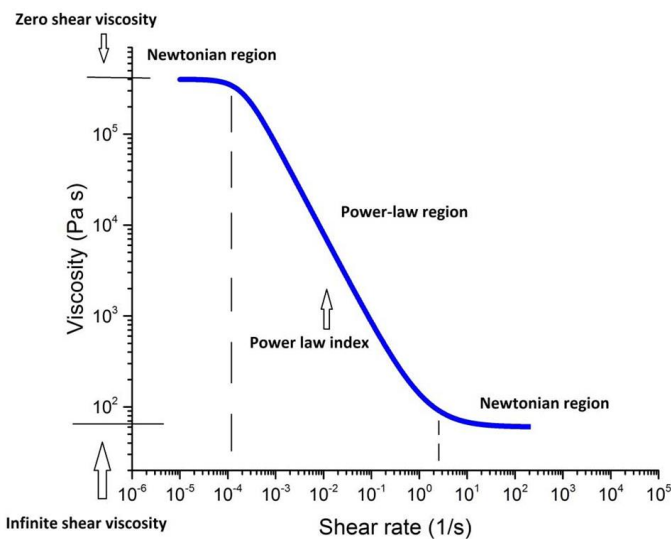
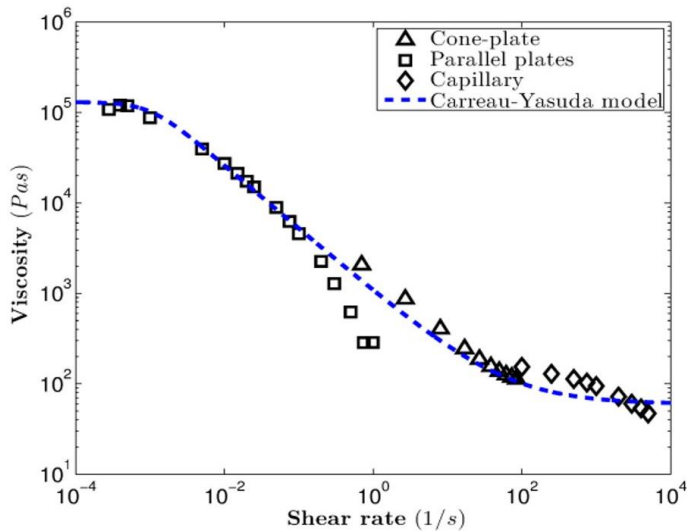


Bild 1: Anpassning av kurva enligt Carreau-modellen som indata till IBOFlow

Med denna anpassade kurva som input i den i IPS integrerade IBOFlow delen skapas möjligheter att utifrån reologi tillståndet på limmet simulera hur limmet appliceras respektive förflyttar sig beroende på de geometrier som trycker på limmet i fogen under montering.

5 Mål

Projektets mål har varit att vidareutveckla tekniken för geometrioptimerad limfogning med fokus på montering av hela komponenter för att nå ett hållbart systemtänk för simulering och robotapplicering av lim. Syftet har varit att vidareutveckla tekniken för geometrioptimerad limfogning med fokus på montering av hela komponenter och därmed:

- Öka kunskapen om limfogens utformning och utbredning kopplat till lastbärande förmåga på komponent
- Hur montering och monteringssekvensen påverkar komponentgeometri och fogutformningen
- Optimera limförband med avseende på geometri, lastfall och minimalt spill
- Möjlighet att uppnå detta genom simulering av hur limmet förflyttar sig vid montering och var limmet hamnar efter fogning
- Reducera omställningstid, uppstartstid, kassation och spill

6 Resultat och måluppfyllelse

6.1 Limgeometri och appliceringsteknik

För att kunna påverka funktionen i fogen har flera olika limsträngsgeometrier simulerats och avprovats fysiskt. Genom projektpartnern Atlas Copco har projektet haft tillgång till de mest relevanta appliceringsteknikerna. Dessa har analyserats och via grundliga reologistudier av både viskositet och viskoelastiska mätningar och skapat simuleringsmodeller för framförallt rundsträng och E-swirl applicering.

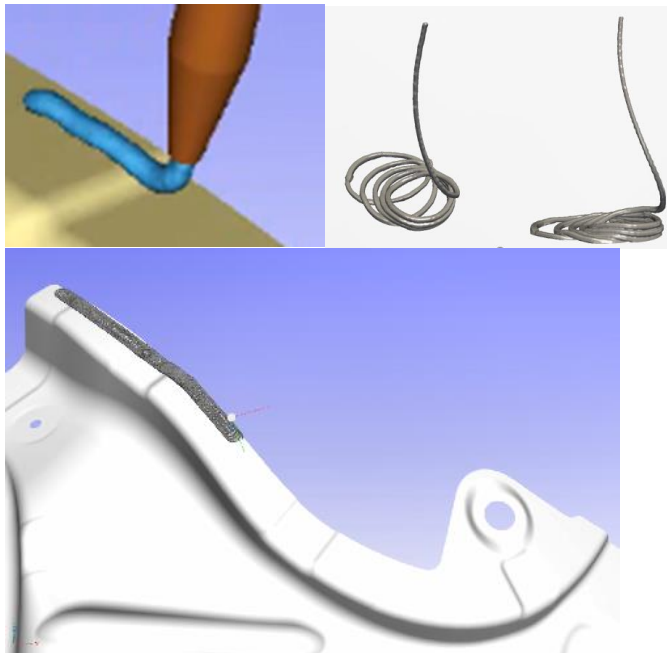


Bild 2: Exempel på olika stränggeometrier

E-swirl applicering som tagits fram av Atlas Copco för att effektivt applicera lim inför falsning har visat sig ha flera goda egenskaper, bland annat högre vidhäftning, som även är intressant för andra tillämpningar än falsning. Projektet har i samarbete med det parallella projektet "Falsning av lättviktstrukturer" Dnr (2014-03929) kunnat studera prestandan mellan rundsträng och E-swirl i ett stort antal falsade fogar. Projektet har även studerat sammanläggning av rund och E-swirl -strängar vid annan montering.

6.2 Samverkan robot och applikator

I grund och botten är robotstyrd limapplicering ett samspel mellan två styrsystem där synkronisering mellan robotrörelsen och flödet ur applikatoren måste synkroniseras så att mynningen på applikatoren har konstant hastighet som motsvarar flödet. På en komponentgeometri föreligger det idealtillståndet ganska sällan. Präglingar, formförändringar både i plan och i rymd på artikeln gör att robotens rörelseschema skapar fördröjningar, accelerationer och retardationer av applikatorspetsen som gör att styrningen av applikator-matningens flöde inte hänger med. Detta problem är välkänt och löses normalt nere vid appliceringsplatsen i cellen. Off-lineprogrammets zoner justeras efter praktiska tester så att accelerationer och retardationer anpassas efter flödet i applikatoren. Detta är en tidsödande operation som tar mycket resurs på alla limsträngar.

I projektet har FCC utvecklat två strategier för att fånga dessa fenomen. En där samkörning med ABBs robotcontroller i Robotstudio utnyttjas för att efterlikna ABB robotens beteende så mycket som möjligt och en där man själva tagit fram en mer generell virtuell robotcontroller som kan anpassas efter fler robottyper. Bägge är avprovade och testade inom projektet tillsammans med ABB, VCC och forskningsutförarna och ger fullgott resultat utifrån den status vi har på simuleringen av limflödet.

Detta möjliggör att vi i projektet kan göra den justering som idag görs vid appliceringspunkten i cellen/linen nu kan utföras virtuellt i den optimeringsloop som beskrivs nedan.



Bild 3. Schematisk beskrivning av simuleringsgången

6.3 Utökad simulering och optimering av limapplicering

I föregående GOLF I projekt togs en generell limkaraktäriseringsmetod fram. För att bättre passa till de metoder som FCC utvecklat för att i "IBOFlow" kunna simulera inte enbart viskositetsberoende limmer utan även viskoelastiska lim, har metoder för att beskriva Carreau-modellen i kurvform från reologimätningar med både traditionell platta-platta och platta-kon men också kompletterad med kapillärreometer för de höga skjuvhastigheterna.. Denna ger först och

främst den viskösa komponenten i limmets reologi men för att komplettera har mätningar för att ta fram data för har gjorts för ett antal lim.

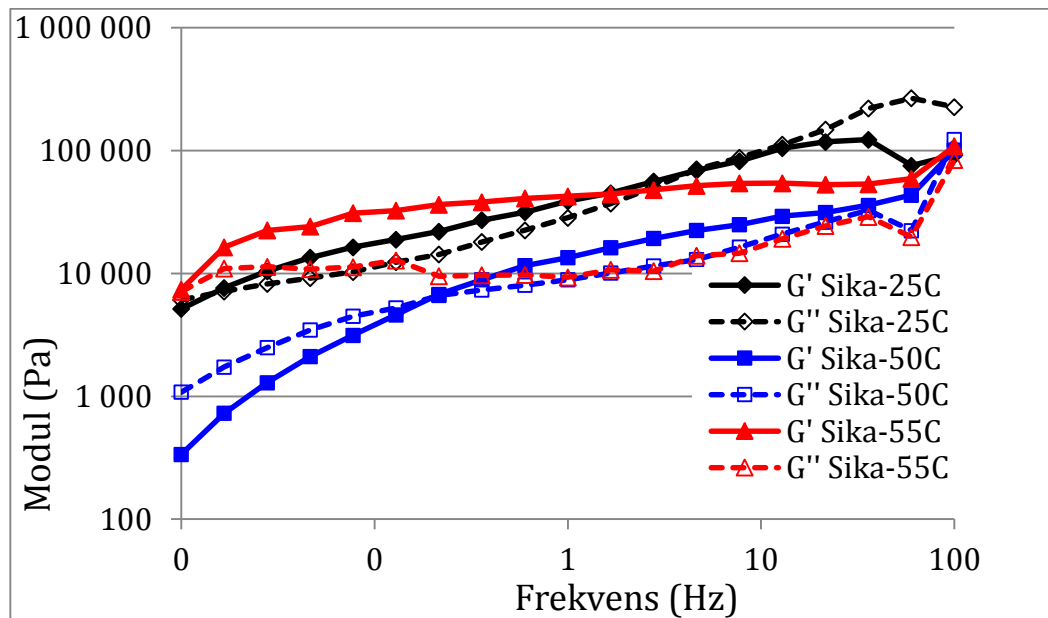
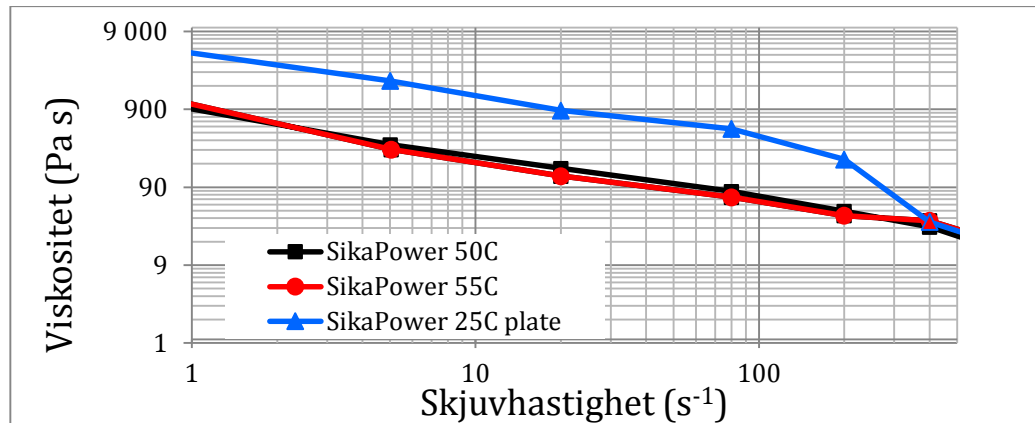


Bild 4: Mätningar på lim under olika temperaturer

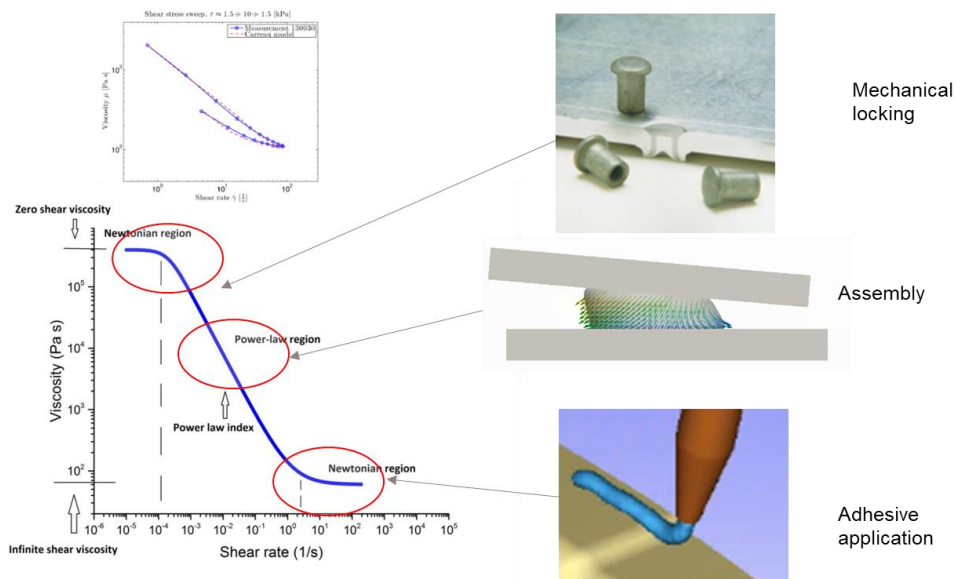


Bild 5 Exempel på fogning vid olika reologitillstånd

Detta har gjort att FCC genom avancerad kurvanpassning beskrivit de olika limmerna vid olika applicering och monteringsstillstånd och kunnat simulera dessa.

Karaktäriseringen skapar också kunskap om vilket tillstånd limmet har i sammanläggningsögonblicket vilket påverkar monteringskraft, risken för slipp och fixeringsgraden efter sammanläggningen. Dessa kunskaper ger behovet av fixturering/sammanhållning av de monterade komponenterna och eventuellt behov av mekanisk fogning under härdning.

För att möjliggöra optimering av den geometriska banan för roboten har beskrivningen av processkurvorna utökats med linjära och cirkulära segment samt zoner på viapunkter, vilket ger mer verklighetstroga robotrörelser anpassade till robotkontrollers. Algoritmer har utvecklats för att automatgenerera robotinstruktioner som nyttjar både linjära och cirkulära segment, samt skapar zoner för mjukare interpolering nära viapunkter. Med hjälp av automatisk banplanering och optimering kan ett robotprogram skapas som uppfyller krav på frigång, processvinklar och optimerad cykeltid.

6.4 Montering av komponenter

Artikelvariation är alltid ett problem vid montering. Avvikelse som genom kraft (klämmor mm.) formar det område som ska sammanfogas, skapar inbyggda spänningar som sen påverkar hela den sammansatta strukturen under produktens levnad. I de flesta fogningssituationer sker själva fixeringen efter det att eventuellt kraft positionerat fogen till sin fogningsposition t.ex. punktsvetsning. Vägen dit är mindre intressant.

Om man har lim eller tätningsmassa på den ena komponenten kommer däremot lanseringsvägen innan fixering att få betydelse för limmet/tätningsmassans funktion. Om limmet är strukturbärande kan resultatet av hur limmet klämts undan under själva sammanläggningen vara helt styrande för fogens lastbärande förmåga. Komponentens formavvikelse som påverkar fogens geometri och rörelse-riktningen vid sammanläggningen kommer båda att påverka var limmet är positionerat i det slutna förbandet under fixeringen.

Projektet har med utgångspunkt från limmets reologi påvisat vilka fenomen som uppstår när två fogytor möter och sluter sig mot varandra och var limmet med känd reologi tar vägen. De reaktionskrafter som uppstår i limmet och som trycker komponentens fogytor från varandra ska i teorin vara 180 grader. I verkligheten är det sällan som detta ideala tillstånd gäller utan pga. avvikelser på komponent och rörelseriktning får vi icke parallella reaktionskrafter.

Komponenterna i fogplanet av dessa reaktionskrafter kan flytta såväl lim som komponent och smeta ut limmet ojämnt och tillföra luftinneslutningar och ojämheter som underlättar "wash out" effekter vid efterföljande ytbehandling.

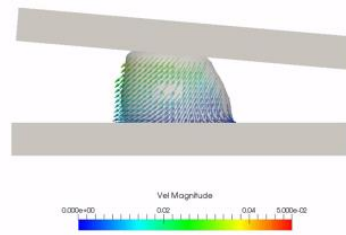


Bild 6. Reaktionskrafter i fog vid sammanläggning

Applikation av och montering med lim har i projektet simulerats genom strömningsberäkningar med finita volymmetoden i IBOFlow. Som utgångspunkt påbörjades utvecklingen av monteringsmodelleringen genom att simuleringar i tvådimensionella tvärsnitt, framförallt på grund av den låga beräkningskostnaden jämfört med tredimensionella simuleringar. På detta sätt kunde simuleringmetoden förfinas genom att olika inställningar och parametrar effektivt kunde justeras. En rad tredimensionella simuleringar har sedan också kunnat genomföras på delmängder av de fullskaliga industrifallen. Bidraget till den totala reaktionskraften från det simulerade området på respektive monterad komponent går att beräkna från simuleringresultatet. För beräkna den totala kraften för hela monteringssekvensen behövs dock hela monteringsområdet inkluderas i samma beräkningsvolym.

I de verifieringar som gjorts i projektet har de möjligheter till krafter, förskjutningar och andra reaktionsfenom som simuleringarna ger, öppnat upp för vilka möjligheter och utmaningar som kan adresseras med monteringsmodelleringen.



Bild 7: Olika fogtyper

Projektet har fokuserat på överlappningsfogar och falsfogar men utdata visar att möjligheten att kunna uppskatta händelser i dolda monteringar ger nya insikter i hur fogen ska utformas för att resultatet ska bli lyckat. I fogar med specialgeometri för att styra limmets placering och mängd ger simuleringen ovärderliga indata till fogdesign för ökad hållfasthet samt med virtuella underlag kunna diskutera fogdesignen och undvika felaktiga beslut. När limmets förskjutning kan beräknas kan kompensering för var limsträngen ska placeras så att limfogens utbredning och täckning i fogen blir optimal vid skjuvande montering av karossdetaljer.

Vid montering av kraftkänsliga artiklar måste man kunna också kunna bedöma hur och var krafterna byggs upp. Exempelvis vid batterimodulmontering i gapfillers där monteringskraften utvecklas momentant när fillersträngarna möts och expansionen under modulen flyttas från respektive sträng till hela gapfiller-volymen och expansionen vid kompressionen ska tas ut i periferin på gapfiller-volymen istället för mellan strängarna. Projektet har visat att simuleringsverktyget som utvecklats, kan simulera förloppet och rätt använt förutsäga när kraftpiken kommer och därigenom anpassa monteringshastigheten till kraftbehovet. I dagens montering sker detta oftast på ren erfarenhet och har kostat stora belopp vid misstag under batterimontering i Tyskland.

➤ **Pattern: 5 round beads $\varnothing = 10$ mm, $v = 0,66$ mm/s, Final distance: 2 mm, $\frac{1}{4}$ model**

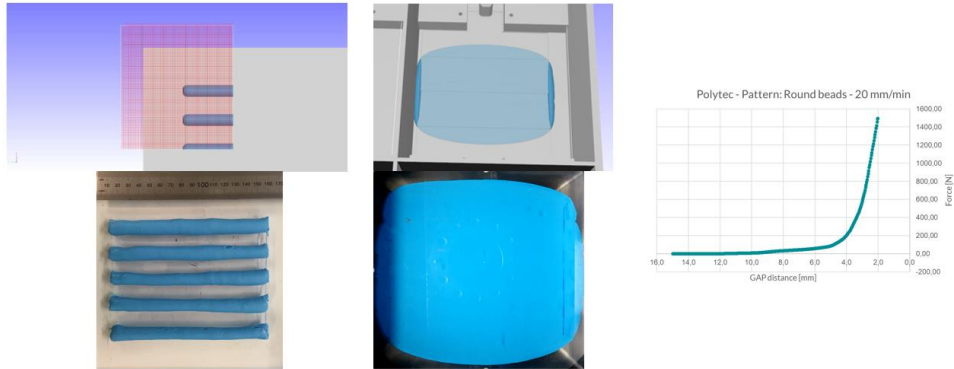


Bild 8: Jämförelse mellan simulerat och testat utfall

7 Verifiering och produktlika demonstrationer

Projektet hade som uppgift att studera sammanläggningsproblematiken och verifiera simuleringarna vilket gjorts i ett antal industriella case.

7.1.1 Montering av glas på ett instrumenthus hos KB Components

Instrumenthuset som ingår i en serie konceptuellt liknande hus limmas och monteras i en helt automatisk cell. Limmet är ett smältlim vilket egentligen är en smält termoplast som tillsätts som lim med fastapplikator och där ramen till instrumenthuset hålls och förflyttas med robot.

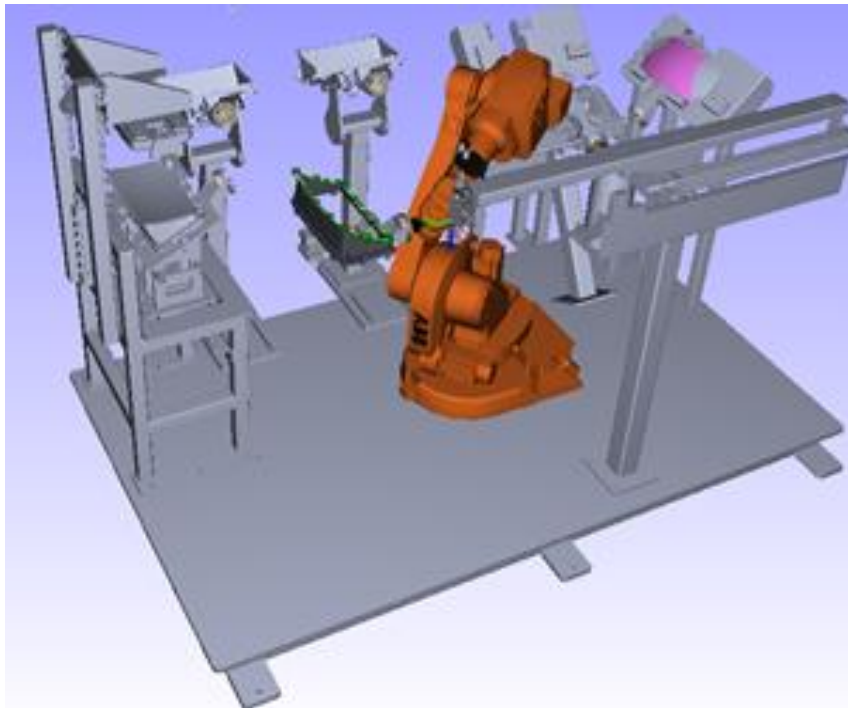


Bild 9: KBCs applikationscell

Svårigheten med detta montage är att smältlimmet är lågvisköst när det läggs ut på ytan i fogen. Appliceringen är temperaturkänslig då limmet kyls av då det träffar adheranten. Det gäller då att appliceringen är tillräckligt snabb för att strängen inte ska hinna stelna vid start och stoppunkten. Strängen måste hållas samman så att höjden på strängen möter glaset vid själva monteringen samtidigt som det inte får rinna iväg till ytor som inte ska limbeläggas. Svårigheten är att utforma fogen så att limmet håller form men också styra limmet under kompressionen så att fogen fylls men på ett kontrollerat sätt. I dag skattas volymen i tvärsnittet av foggeometrin och styrribbor och fickor placeras där man erfarenhetsmässigt tror att de gör mest nytta.

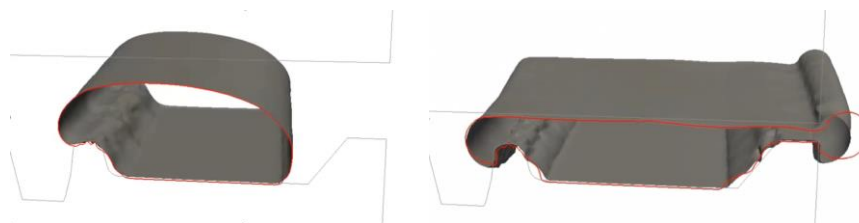


Bild 10: Visualisering av hur limmet flyttar sig

Projektet visade att genom att studera limmets placering och kompression borde ribbor och fickor placeras på vissa positioner för att uppnå den fog man strävar efter. Simuleringsmässigt kunde projektet då välja den design som skulle ge bäst resultat. Alternativet att ta fram verktyg och formspruta ramar, testa och förkasta när varje loop kostar 100 – 200 kkr är ett dyrt alternativ.

7.1.2 Simulering av limapplicering och montering av innerstruktur på en dörr till Volvo lastvagnar Umeå

Dörren är en del av dagens produktion som är planerad att förändras efter projektets slut men som både ur projektets mål och som framtida studie för VTC ger nyttiga insikter om vad som kan göras med avancerad simulering.

Projektet har haft tillgång till den kompletta line-modellen med robotar och fixturer.

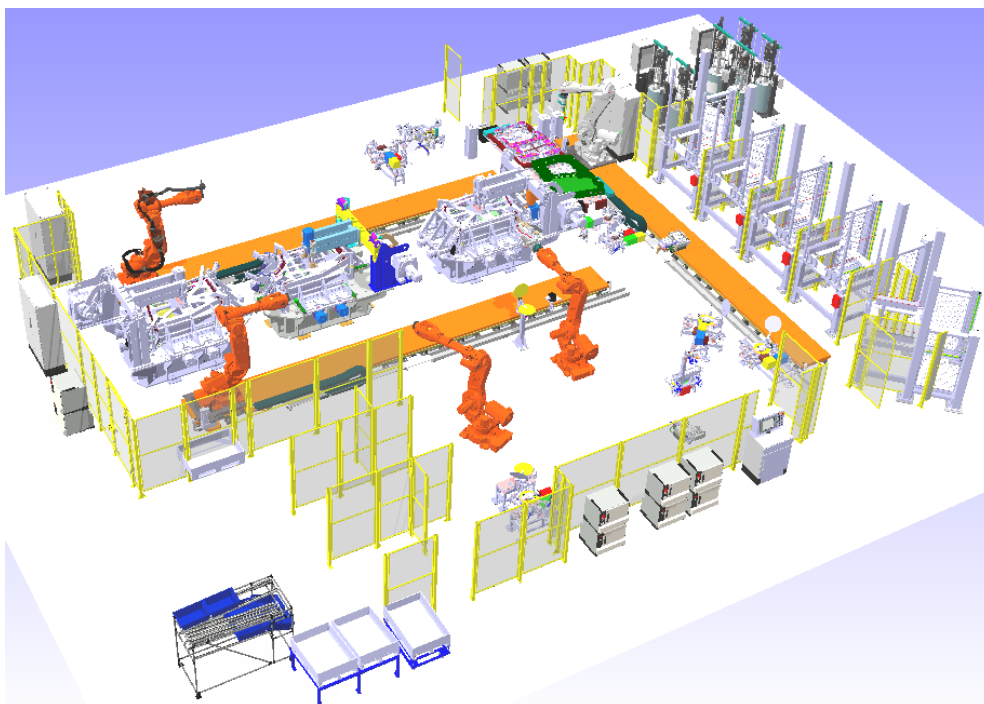
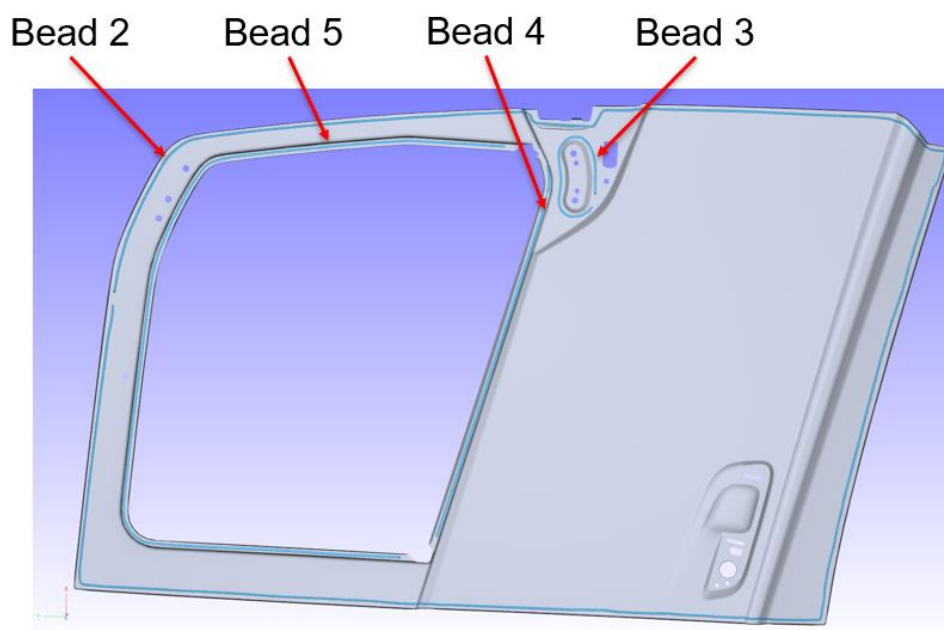


Bild 11: Modell av den cell vi fått tillgång till av Volvo AB

Modellen har gjorts rörlig i IPS och befintliga robotprogram har applicerats i simuleringsscenen. Efter avstämning med VTC och vissa kompletteringar har limsimulering med applicering och montering genomförts.



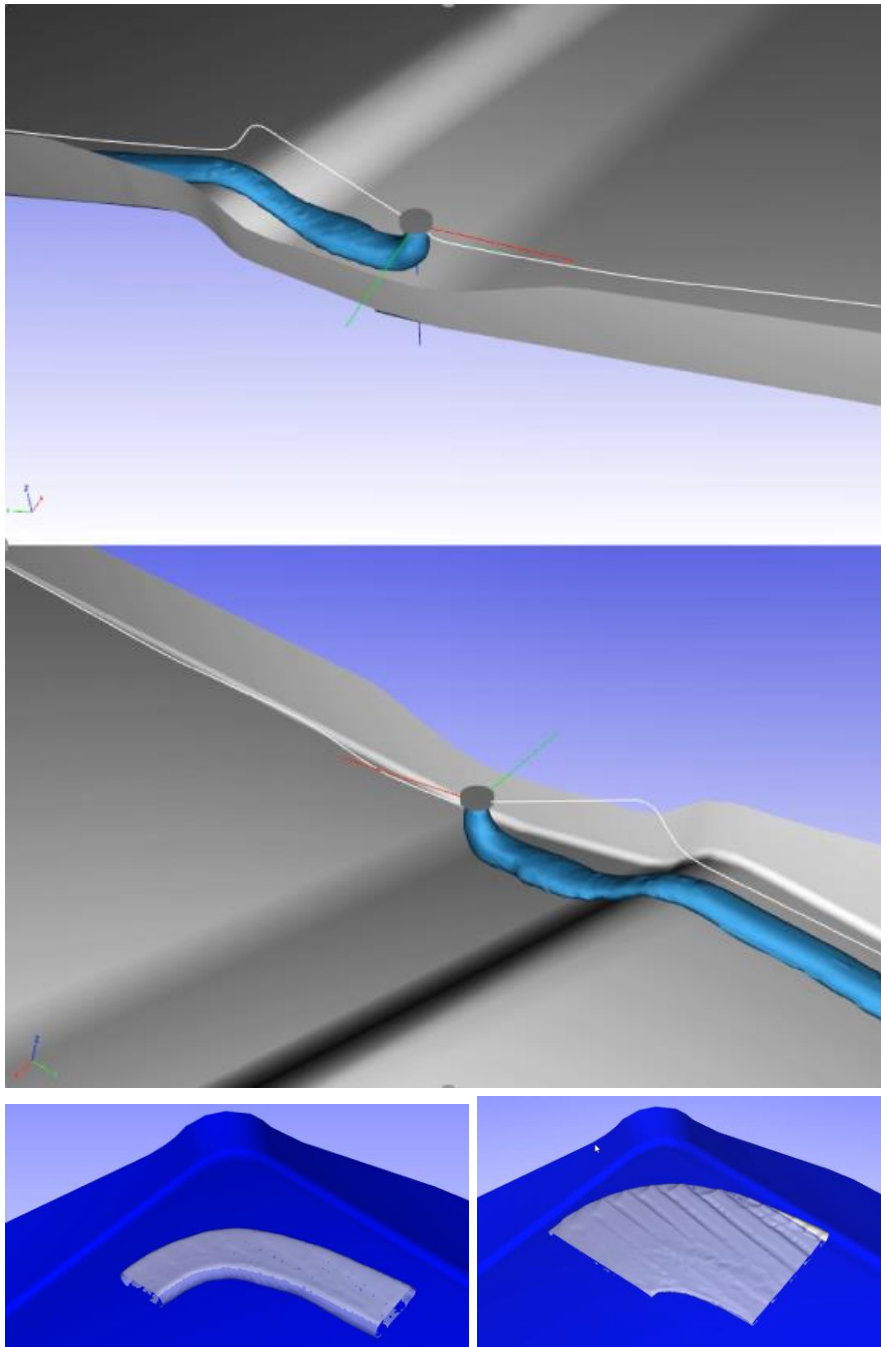


Bild 12: Exempel på limsträngar i olika situationer samt monterings-simulerings resultat

VTC har bekräftat att de fenomen som projektet simulerat finns i verkligheten och att möjligheter att justera dessa i IPS öppnar för förändring i det nya produktionsupplägget som ska göras om under kommande år.

7.1.3 Limutbredning vid montering av bakre golv på VCC

Balkstrukturen till bakre golv är en produktionsdetalj med en del utmanande limplaceringar. Monteringen sker med stora skjuvvinklar varför frågan är om kan man placera limmet så att limfogen fyller, baserat på simulering.

Modeller och robotprogram för limläggning och montering har projektet fått av VCC i IPS format. Simulering av limförskjutningen och slutposition har gjorts i projektet.

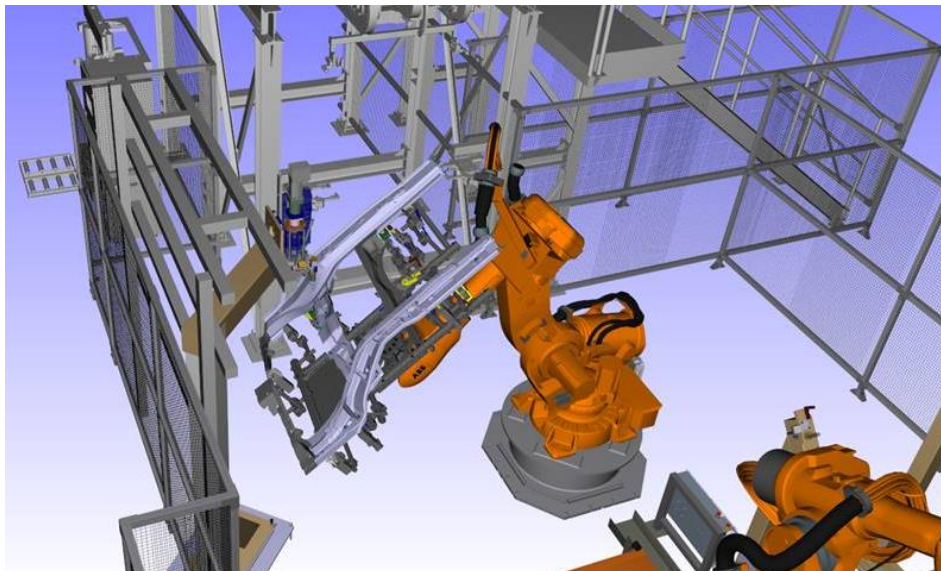


Bild 13: Cellen som simulerats i projektet

7.1.4 Limfördelning på innerpanel dörr hos IAC

Dörrpanelen ska beläggas med skin eller folie beroende på utförande. IAC har stora problem med översprut och måste därför maska eller torka bort lim som hamnat fel. Detta kostar mycket resurs och pengar. Kan limappliceringssimuleringen minska översprutet och därmed begränsa maskning och torkning? Simulering av limapplicering med profilmotoden där projektet kan påvisa positiva effekter.

IACs kund har inte godkänt publicering av bild på objektet.

8 Processövervakning av limapplicering

Projektet har gjort en genomgång av de mest förekommande processövervakningssystemen för limapplicering. Analysen redovisas i en separat rapport. Bilaga 1

Slutsatsen är att de system vi tittat på och använt samtliga kontrollerar limsträngens placering och form efter de värden som användaren matat in. Om den lagda limsträngen ligger rätt i förhållande till monteringsläget eller om kompenseringen för geometriutformningen på fogen är fel, svara de inte på. De tekniker som är vanligast är laserlinje där antalet laserlinjer och samplande mjukvara avgör om resultatet är 2D eller 3D. Vissa av systemen kan genom sin konstruktion mäta genom hörn där andra klarar av kontinuerliga strängar med viss kurvatur.

Olika system / strategier är tillgängliga för styrning av limsträngskvaliteten. Den enklaste består i att filma / analysera limsträngen efter avslutad applicering. Det enklaste sättet att göra det är att kontrollera strängens position / diameter med hjälp av kameror. Ofta krävs en extern konstant belysning.

Detta kan förbättras genom att förflytta en laser längs strängen och triangulera sin position. Denna metod är emellertid känslig för ljusmiljö och gör det svårt att uppskatta volymen av limmet som deponeras eftersom det bara beräknas från en 2D-bild.

För att förbättra detta möjliggör "2.5" -system, baserat på lasertriangulering och ihoplagda bilder för att beräkna volymen av applicerat lim. Detta tillvägagångssätt kan vara knepigt när det monteras på robot för att hålla koll på limsträngarna medan de appliceras, eftersom laserlinjen kan korsa sig själv i skarpa hörn eller i komplexa geometrier. Skuggeffekter kan också vara som problem medan omgivande delar kan maskera laserlinjen.

För att bli av med detta problem utvecklas mer komplexa sensorhuvuden för att få verklig 3D-analys. Konsekvensen är ökad komplexitet och pris samt lägre skanningsfrekvens. En annan möjlighet är att förlora viss upplösning för att få enkelhet genom att använda lysdioder istället för laser som ljuskälla. Känsligare sensorer används då, färgkänsliga istället för gråskalad CCD.

Mycket har hänt under de senaste åren när det gäller utveckling av mjukvaror och algoritmer. Två aspekter beaktas. Den första är ett kvalitetsverktyg som kan lagra plats eller typ av problem för att bygga statistik, vilket ger varje producerad del ett kvalitetscertifikat. Den andra är att förbättra användarvänligheten för kunden: Nya algoritmer kan minska mätningarnas känslighet för omgivande ljusförhållanden och, i kombination med förbättrad bearbetning, accelererar mät hastigheten utan att kompromissa med dess kvalitet.

9 Spridning och publicering

9.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	x	Metod för reologi baserad simulering av lim och dess betydelse för applicering och montering Visa på alternativa appliceringsmöjligheter
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	x	Projekt såsom PLUGG och FALS (Dnr 2014-03929) och HJT (Dnr 2017-04771)
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	x	Vidare utveckling av IPS mjukvaran hos FCC
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

9.2 Publikationer

Journalartikel:

A Lagrangian-Eulerian framework for simulation of transient viscoelastic fluid flow
S. Ingelsten, A. Mark, F. Edelvik. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Vol. 266, April 2019, pages 20-32. Online 12 February, 2019

Konferenser:

Annual European Rheology Conference, Sorrento, Italy, 2018

Annual European Rheology Conference, Copenhagen, Denmark, 2017

Konferensartiklar:

Simulating the dispensing of complex rheological fluids on arbitrary geometries using the immersed boundary method

S. Ingelsten, J. Göhl, A. Mark, F. Edelvik, Annual Transactions of the Nordic Rheology Society, Vol. 26, June 2018

A virtual framework for simulation of complex viscoelastic flows

S. Ingelsten, J. Göhl, A. Mark, F. Edelvik. In proceedings from 51st Conference on Manufacturing Systems - CIRP CMS 2018, Stockholm, May 2018, Procedia CIRP, 72:392-397, 2018.

Simulation of adhesive material using a novel viscoelastic stress method

S. Ingelsten, A. Mark, F. Edelvik, P-J Wahlborg. Annual Transactions of the Nordic Rheology Society, Vol. 25, April 2017

Simulating the dispensing of complex rheological fluids on arbitrary geometries using the immersed boundary method

Simon Ingelsten¹, Johan Göhl¹, Andreas Mark¹ and Fredrik Edelvik¹ FCC Nordic Rheology Conference Copenhagen 2019

Kund möte 8 -12 /5 2017 för Atlascopco Industrial systems i Bretten Tyskland 2 pass varje dag 30p /dragning på tyska och engelska.

Per-Johan Wahlborg RISE

Konferens "Joining of car body" Bad Nauheim 10 – 12 /4 2018

Per-Johan Wahlborg RISE

Katrineholm FFI konferens 24/5 2018

Per-Johan Wahlborg RISE

Automotive Engineering Expo 4-5/6 2019 Nürnberg "carbody process chain" co speaker till Andreas Kiefer Atlas Copco " Car Body Hybrid Joining Hybridization and Simulation Example Gap Filler"

Per-Johan Wahlborg RISE

10 Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet har uppnått de mål som sattes upp vid ansökan. Projektets resultat har dessutom visat sig ha mer generalitet än vad som utlovades i ansökan. De försök som gjorts under våren på batterimontering visar att de simuleringsverktyg som utvecklats även går att simulera pseudoplastiska material som ligger långt utanför de material (limmer) som normalt använts vid kaross och interiörmontering.

Forskningsdelen i projektet har först och främst löst de anpassningsfrågor som restes i GOLF 1 vad gäller reologiimplementering och robotstyrning samt de konsekvenser det skapar. "Med fokus på montering" har inneburit att ta de reologimodeller som tagits fram för själva appliceringen och anpassa dessa till den typ av kompression och fysisk förflyttning som den pseudoplastiska vätskan utsätts för i monteringsituationen. Detta har krävt en hel del teoribildning och försök för att kalibrera simuleringen med verkligheten på ett antal av de för företagen mest intressanta limtyperna såsom småtlim (KBC), M105 (VLV), 1840C, 1840G och Sikapower 533 för VCC.

Med hjälp av reologisimuleringen har projektet kunnat simulera var limmet hamnar under monteringen. Den klassiska "ideala" situationen med två planparallella ytor som möter varandra i normalens riktning inträffat nästa aldrig i verkligheten. På de industriella case som projektet fått tillgång till av partnererna framgår tydligt vikten av att veta var limmet hamnar efter sammanläggningen. Projektet har visat att detta är möjligt med verktyg som de som utvecklats i projektet att förutsäga detta i dolda monteringar där förstörande provning varit allenarådande för att se konsekvenserna. Projektet har i samarbetet med FALS-projektet (Dnr 2014-03929) kunnat undersöka både med ultraljudsmikroskopi och röntgen för att verifiera simuleringresultaten.

I samarbete med FALS-projektet har olika appliceringstekniker undersökts. Den för falslimning av SCA Schucker (Atlascopco) framtagana E-swirl tekniken har avprovats och projektet har kunnat ta fram en simuleringmodell för simulering och programmering av denna teknik. Appliceringssimuleringen har i casen visat sig vara robust för många olika pseudoplastiska fluider (smältlim, lim och gapfiller), efter avancerad karaktärisering och analys av respektive material. Monteringssimuleringen klarar också av många olika reologitillstånd men kräver mycket av beräkningskapacitet som idag måste manuellt anpassas till respektive geometri. Omvärlden har dock visat stort intresse för projektets resultat och flera inbjudningar till fortsatta projekt har framförts där frågan om IPR rättigheterna i projektavtalet måste beaktas då det varit från utomstående organisationer i framför allt Tyskland (Fraunhofer IFAM och AUDI).

Kunskapen om reologins mekaniska egenskaper på omgivningen utgör en fundamental grund för fortsatt forskning. I "Den Virtuella Målerifabriken - Simulering av Ugnshärdning" (Dnr: 2016-03371) kommer de simulerade temperaturförhållandena i ugnskammaren att vara indata till simulering av det mekaniska arbete som limmet gör under härdningsförloppet, först en värmeexpansion till härdat tillstånd sedan en termisk krymp av det härdade materialet med en annan termisk längdutvidgning än adherantmaterialet (stål, aluminium, fiberkomposit) skapat. Detta innefattas inte i det pågående ugnprojektet men blir en naturlig del i fortsatta projekt om olika fogars sluttillstånd efter härdning.

Monteringsproblematiken vid batteritillverkning framför allt kraftfördelning under monterning har under projektets gång blivit en fråga. På uppdrag av Atlas Copco gjordes en studie på om projektets utvecklade reologisimulator klarade så svåra pseudoplastiska material som gapfillers. Det visade sig att det går att simulera så svåra material men att det krävs en hel del handpåläggning för att klara skillnaden i beräkningsstorlek på volymselementen vid start och slut på beräkningen. Rätt hanterat fick vi fram kvalitativt mycket bra kraftkurvor jämfört med fysiska mätningar, kvantitativt finns det en del trimning att göra. Detta vill Atlas Copco gå vidare med i forskningsprojektform.

11 Deltagande parter och kontaktpersoner

Deltagare från företag och akademi var:

Volvo Cars AB	Oscar Andersson
Volvo Truck AB	Kent Stenberg
KB Components	Lennart Seger
IAC	Joakim Fransson
Aros Polymerteknik	Stefan Grönqvist
Atlascopco AB	Mikael Frick
Swerea IVF	Per-Johan Wahlborg
FCC	Fredrik Edelvik
Chalmers	Rikard Söderberg