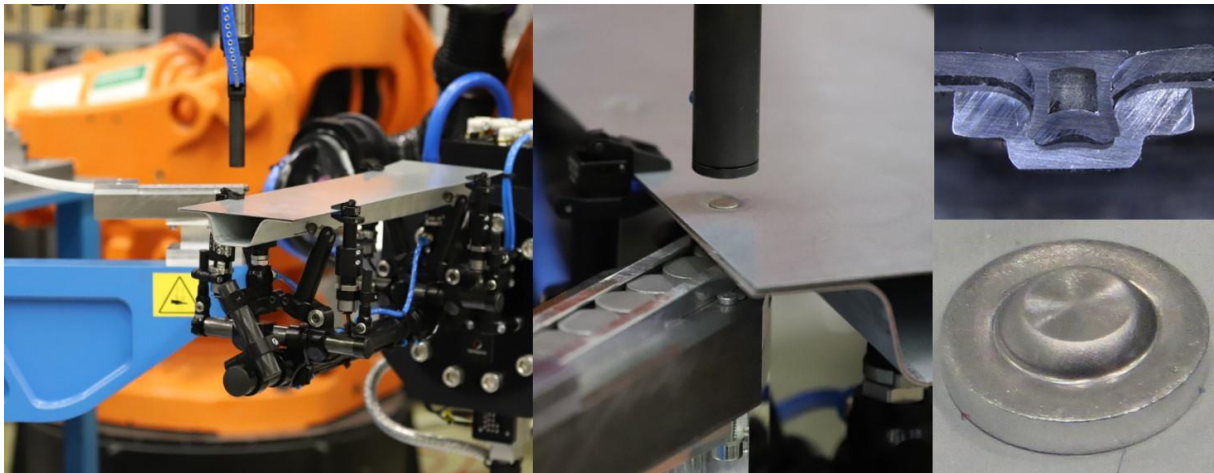


PLUGG II

- från koncept till industriell fogningsteknik

Publik rapport



Författare: Jan Skogsmo, Fredrik Wandebäck och Ola Albinsson
Datum: 2020-01-31
Projekt inom FFI - Hållbar Produktion



FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation



Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	4
3 Bakgrund.....	7
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	9
5 Mål	10
6 Resultat och måluppfyllelse	11
6.1 Resultat	11
7 Spridning och publicering	15
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	15
7.2 Publikationer.....	15
8 Slutsatser och fortsatt forskning	16
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	16

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

Stansnitning (SPR) av material som är för tunna och/eller har för dålig formbarhet för att låsa niten har gjorts möjligt genom att en extra bricka av ett formbart material har lagts till på dynsidan, dvs undersidan. Konceptet togs fram i det föregående projektet: PLUGG – Stansnitning av icke kompatibla material (Dnr 2013-02624).

I PLUGG II har detta koncept vidareutvecklats mot en industriellt implementerbar process. Fogningsmetoden har presenterats under beteckningen PER – Plug Element Riveting. PER öppnar upp nya möjligheter till rationell produktion av lättviktskonstruktioner av blandade material.

För att visa att PER kan användas för att lösa fogningsutmaningar för multimaterial användes ett objekt i form av en kolfiberförstärkning i en ståldörr. Denna limmades och fogades med PER. Volvo tog sedan detaljen vidare i produktionskedjan och utförde funktionsutvärdering, vilket utföll utan anmärkning.

För serieproduktion krävs att de använda processerna är automatiserade. SPR är väl lämpat för robotisering, antingen med robotburen SPR eller fast SPR med robohantering av komponenten. Motsvarande för PER kräver att brickan matas fram automatiskt. Ett system för automatisk brickmatning till fast PER har utvecklats och demonstrerats inom projektet. För att systemet ska klara industriella robusthetskrav behöver slutsteget modifieras med hållare och avkännare för brickan enligt beskrivning i Rapport 8. Detta utförs när en tillämpning har bestämts. För robotburen PER måste också matarslangen anpassas.

Vid fordonstillverkning används mycket stora kvantiteter fästelement av olika slag. För PER tillkommer brickan, vilken då bör tillverkas på ett rationellt, säkert och kostnadseffektivt sätt. Olika material, tillverkningsmetoder och utformning har utvärderats inom projektet. Vinnaren blev en bricka av aluminium med tjocklek 3 mm. Den visade sig klara en mängd olika applikationer och fungera bra i matningssystemet. För specifika ändamål kan andra dimensioner fungera bra men matningssystemet kan behöva anpassas. Leverantörer av brickan har identifierats.

Processparametrar har undersökts och optimerats för ett stort antal olika materialkombinationer. Förutsatt att materialstapeln inte är för tjock eller att något material är för hårt (fullhärdat borstål) för niten att penetrera så går i princip alla materialkombinationer att foga med PER. Mellanliggande lim har inte någon markant inverkan på processen utan verkar snarare som en smörjning. Det var också uppenbart att PER gör att deformationen fortskrider mycket långt innan fogen havererar. Det innebär att fogen äter mycket energi vid en kollision. Det kan därför vara befogat att använda PER också för materialkombinationer som kan fogas med konventionell SPR.

Produktionsmässigt är det attraktivt att sätta punktmässiga fogar i en löpande linje utefter till exempel en fläns. Det finns dock en risk att man påverkar slutliga toleranser genom att trycka iväg geometrin. Bättre kan vara att köra från mitten och utåt och helst varannan sida, vilket inte är speciellt attraktivt från produktionshänseende. Låsfogar för att fixera geometrin används ofta. Olika fogdelning, avstånd till flänskant och -radie samt nitordning har undersökts. För att utvärdera inverkan på geometrin har balkat skannats efter fogning och efter ugnshärdning av limmet, vilket sker vid härdning av ED-lack vid ca 180 °C. På grund av termisk expansion kan detta förstöra fogar och deformera komponenter. Det är med andra ord något som kan förhindra konstruktioner av multimaterial men det kan motverkas med rätt konstruktion och sammanfogning.

Inom fordonsindustrin är det ett uttalat krav att komponenter och processer ska kunna simuleras. Det som inte kan simuleras har mycket svårt att få genomslag. Det har därför lagts stor möda på att ta fram en förenklad simuleringsmodell för PER. Modeller som är komplexa med alltför krävande simulering är inte speciellt intressanta. För att komponenter och system ska kunna utvärderas används olika belastningsriktningar. I princip ju fler desto bättre. En utrustning och metodik för att utvärdera fogar i olika 5 olika belastningsriktningar, 0 – 30 – 60 - 90° samt fläk har

utvecklats och använts för olika materialkombinationer. Eftersom PER i stor utsträckning kan förväntas användas i hybridfogning tillsammans med lim har också limmade fogar utvärderats.

Demonstratorn ska visa på en fogningsprocess med potential att införas i serieproduktion av fordon och fordonskomponenter av materialkombinationer som inte går att foga med konventionell stansnitning (SPR).

Eftersom den planerade bältesbalken från Volvo Cars inte gick att uppbringa fysiskt, beslutades att använda en representativ komponent. Valet föll då på en lätt dubbelkrökt hattprofil med yttermått 500x130 mm. Denna togs fram av Lamera i Hybrixmaterial av både stålplåt och aluminium och även i konventionellt plåtmaterial av stål och aluminium. Hybrix™ är en plåtsandwich med limmade nylonfibrer mellan plåtarna.

Då nitprocessen vanligen används för hybridfogar med lim visar demonstratorn en fogningscell med en robot med gripper för att hantera komponenten, en limrobot för automatiserad limläggning, en robot med gripper för att lägga på locket på hattprofilen, samt nitutrustningen med frammatning av bricka.

Säkerhetsaspekter och tillgänglig utrustning medgav inte en helt automatiserad process. Den har utförts semiautomatiskt på ett sätt som lätt kan översättas till en helt automatisk process. Processen visas i en framtagen film och i form av en bildserie.

Demonstration av en produktionslik fogningscell på en industrirelevant komponent har fungerat tillfredställande. PER-processen kan tas vidare, med vissa modifieringar av slutsteget till brichållaren, till industriell implementering.

2 Executive summary in English

Background

For future generations of body structures, the entire automotive world is working on new concepts that include combinations of different new lightweight materials. The trend is similar in other industries, by optimizing material properties in different components to save weight. Lightweight structures are found in most different product areas.

In these structures of different materials, the joining methods are central. The disadvantage is that the new articulate materials and combinations are difficult and in many cases impossible to merge with today's well-known traditional joining technique.

Volvo Cars together with RISE IVF (formerly Swerea IVF) and others in the project consortium in the project "PLUGG - self-piercing riveting in non-compatible materials" (Dnr 2013-02624) showed a unique solution to join materials that had not previously been solved by punching. The method has been launched and presented under the name PER, Plug Element Riveting.

The method is based on adding a ductile plug in a SPR process that creates the conditions for producing a rivet joint. This creates a strong, stable and robust joint that provides unique opportunities to really utilize the different properties of the materials. Both thin sheet materials and composites can be joined with the technique. Even one of the most difficult material combinations, hard steel to composite proves to be able to be joined with the method with a very good result.

Aim and goal

The aim of this project is to develop an efficient process for the mechanical joining technology based on the PER method for hybrid joining of multi materials. The project will take the joining technique based on the PER method from the test stage in rigs and evaluation equipment to an applicable process technique including a demonstrator of how an automated process can look like.

The purpose is to develop a robust process for mechanical joining that can be combined with adhesive bonding of material combinations that exist around the corner, but which requires an efficient joining method to be able to be introduced in lightweight products.

Organisation

The 7 partners (see logos at first page) in the project consortium represented material and equipment suppliers, process owner (OEM), and research organisations. The project was organized in 8 different work packages with different partners involved. Project meetings and working group meetings were held regularly to keep the project running in the right direction.

Results

Self pierce riveting (SPR) of materials that are too thin or have too poor formability to lock the rivet has been made possible by the addition of an extra piece of a formable material (called the plug) on the die side, ie the underside. The concept was developed in the previous project, PLUGG - Punching of incompatible materials (Dnr 2013-02624). In PLUGG II, this concept has been further developed towards an industrially implementable process. The joining method has been presented under the designation PER - Plug Element Riveting. PER opens new opportunities for rational production of lightweight constructions of mixed materials.

To show that PER can be used to solve joining challenges for multimaterials, an object in the form of a carbon fibre reinforcement was used in a steel door. This was glued and joined with PER. Volvo then took the detail further into the production chain and performed a functional evaluation, which fell out with complete satisfaction.

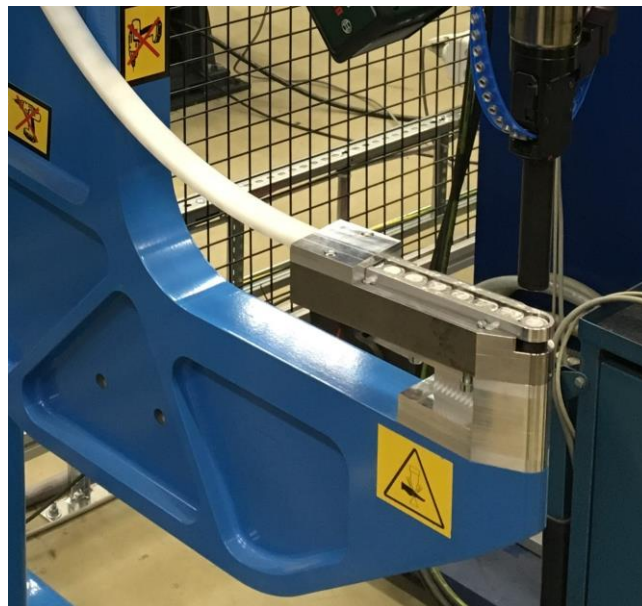


Bild 1: System for automatic plug feeding

For serial production, the processes used require automation. SPR is well suited for robotization, either with robot mounted SPR or fixed SPR with robot handling of the component.

Correspondingly the PER process requires the plug to be fed automatically. A system for automatic plug feeding to pedestal mounted PER was developed and demonstrated within the project. For the system to meet industrial robustness requirements, the final stage plug holder needs to be modified with holder and sensor for the plug as described in Report 8. This will be performed when an industrial application has been determined. For a robot mounted PER, the feed hose must also be adapted.

In vehicle manufacturing, very large quantities of fasteners of various kinds are used. For PER, the extra fastener is the plug (and of course the rivet), which should then be produced in a rational, robust and cost-effective way. Various materials, manufacturing methods and designs have been evaluated within the project. The winner became aluminium plug with a thickness of 3 mm. It proved to be capable of a variety of applications and works well in the feeding system. For specific purposes, other dimensions may work well, but the feeding system may need to be adapted. Potential suppliers of the plug for mass production have been identified.

Process parameters have been investigated and optimized for many different material combinations. Assuming that the material stack is not too thick or that any material is too hard (eg boron steel) for the rivet to penetrate, virtually all material combinations can be joined with PER. Intermediate adhesives have no significant effect on the process but rather act as a lubrication. It was also obvious that PER causes the deformation during strength tests to progress very far before the joint breaks. This means that the PER joint eats a lot of energy in the event of a collision. It may therefore be justified to use PER also for material combinations that can be joined with conventional SPR.

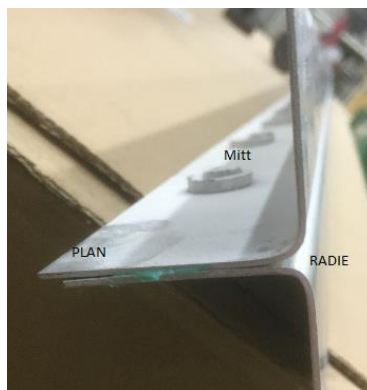


Bild 2: Study of PER placement and pitch

From a production point of view, it is attractive to put joints in a continuous line along, for example, a flange. There is, however, a risk of affecting final tolerances by pushing away the geometry. It may be better to set the joints from the center to the outside and preferably every other side, which is not particularly attractive from a production point of view. Lock joints to fix the geometry are often used. Various joint pitch (distance between joints), distances to the flange edge and radius and riveting order have been investigated. In order to evaluate the effect on the geometry, beams have been scanned after joining and then again after oven curing of the adhesive, which occurs when curing ED-paint at about 180 °C. Due to thermal expansion, this can destroy joints and deform components. This is something that can prevent the introduction of multimaterial components, but it can be counteracted with the right design and joining process.

In the automotive industry, it is a pronounced requirement that components and processes can be simulated. What cannot be simulated is very difficult to introduce. Therefore, great effort has been put into developing a simplified simulation model for PER. Complex models with demanding and time-consuming simulation are not particularly interesting.

Different load directions are used to evaluate components and systems. In principle, the more the better. An equipment and methodology for evaluating joints in different 5 different load directions, 0 - 30 - 60 - 90 ° and peel have been developed and used for different material combinations. Since PER can to a large extent be expected to be used in hybrid joining with adhesives, adhesive joints have also been evaluated.

The demonstrator show a PER joining process with the potential to be introduced in series production of vehicles and vehicle components of material combinations that cannot be joined with conventional SPR. Since the planned component from Volvo Cars could not be physically raised, it was decided to use a representative component. The choice then fell on a hat profile with a slight double curve with outer dimensions 500x130 mm. This was developed by Lamera in Hybrix material of both steel and aluminium and also in conventional steel material of aluminium and aluminium.

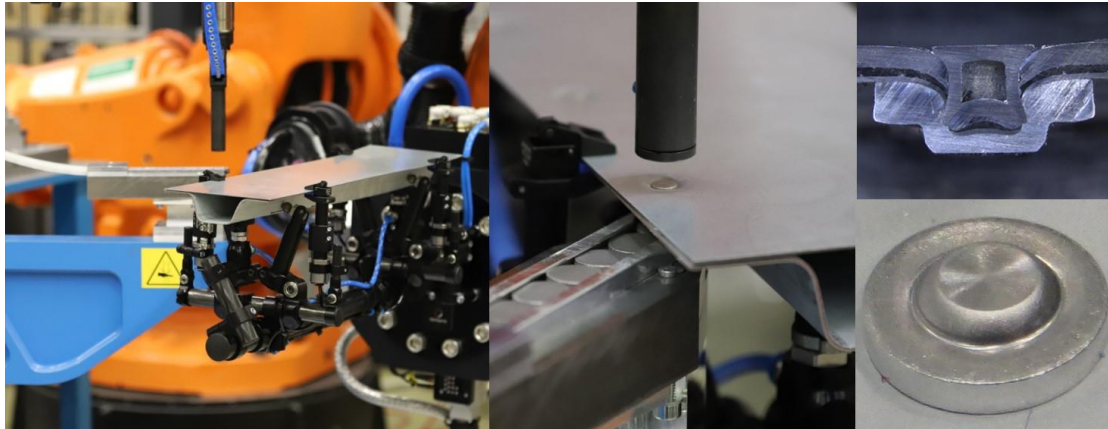


Bild 3 Demonstrator show an automated PER joining process

Hybrix™ is a sheet sandwich with glued nylon fibres between the sheets. Since the riveting process is commonly used for hybrid joints together with glue, the demonstrator shows a hybrid joining cell with a robot with gripper to handle the component, a robot for automated adhesive bonding, a robot with gripper for applying the lid to the hat profile, and the riveting equipment with the feed of the plug. Safety aspects and available equipment did not allow for a fully automated process. The process has been performed semi-automatically in a way that can easily be translated into a fully automatic process. The process is shown in a developed film and in the form of a series of pictures. Demonstration of a production-like joining cell on an industry-relevant component has thus worked satisfactorily. The PER process can be continued, with some modifications of the final stage to the plug holder, for industrial implementation.

3 Bakgrund

Till kommande generationer av karosstrukturer arbetar hela bilvärlden med nya koncept som innefattar blandningar av olika nya lättviktsmaterial. Trenden är likartad i andra branscher: genom att optimera materialegenskaper i olika komponenter försöker man spara vikt. Skälen kan dock skifta. Lättviktskonstruktioner förekommer inom de flesta produktområden. I dessa sammansatta konstruktioner av olika material är fogningsmetoderna centrala. Nackdelen är att man nu talar om helt nya artolika material och kombinationer som är svåra eller i många fall omöjliga att sammanfoga med dagens kända traditionella fogningstekniker.

Volvo Cars tillsammans med RISE IVF (fd Swerea IVF) och övriga i projektkonsortiet har i projektet "PLUGG - stansnitning av icke kompatibla material" (Dnr 2013-02624) visat en unik lösning, PER, Plug Element Riveting, att foga material som tidigare ej gått att lösa genom stansnitning. Metoden baseras på att tillföra en formbar bricka i SPR-processen (Self-Pierce Riveting) och skapa förutsättningarna att tillverka en nitfog i materialkombinationer som tidigare ej gått att lösa genom SPR. Därmed skapas en stark, stabil och robust fog som ger unika möjligheter att verkligen utnyttja materialens olika egenskaper. Såväl tunna plåtmaterial som komposit kan fogas med tekniken. Till och med en av de svåraste materialkombinationerna, hårt borstål till komposit visar sig kunna fogas med metoden med ett mycket gott resultat.

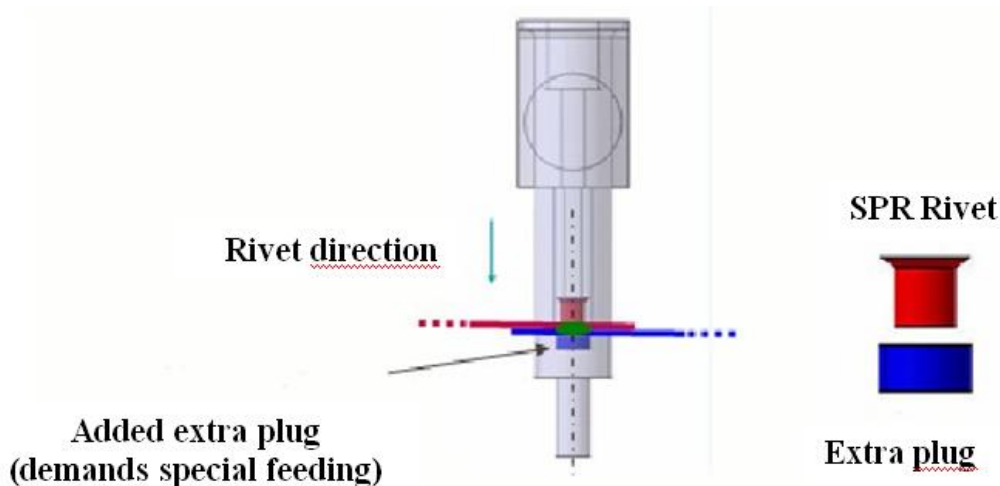


Bild 4 Principskiss för PER konceptet

Resultaten är påfallande mycket goda där nitförbandet har fungerat väl för i stort sett alla materialkombinationer som man från början satte upp. Vid statisk belastning sker materialbrott antingen i metallen eller i kompositen, vilket innebär att fogen är starkare än materialen. Förbanden äter påfallande mycket energi. Resultaten från statisk provning gjorde att projektet ansåg det viktigt att även göra höghastighetsprov, utmattningsprov och trepunktsböj, vilka alla utföll med mycket goda resultat. Metoden har bedömts ej vara patenterbar men ej heller lätt kopierbar men med stor potential för kommande produkter.

För att verifiera metodens användbarhet i kompositmaterial har det inledande PLUGG-projektet även genomfört sprick- och lamineringsanalys samt analys av spricktillväxt om sådan skulle uppstå. Samtliga sådana analyser har pekat på ett mycket gott resultat, naturligtvis kopplat till nitens utformning.

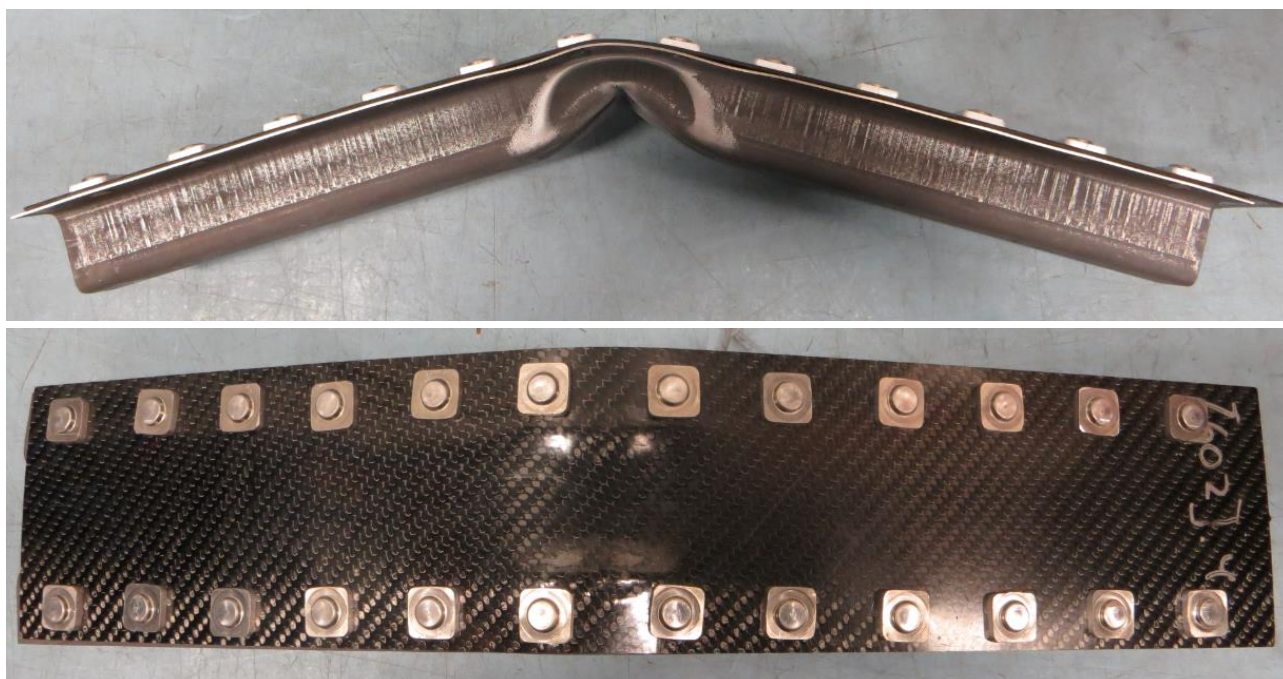


Bild 5. 3-punkts böjprovad Usiborbalk (borstål) med kompositlock fogat med pluggkonceptet

Bedömningen som projektkonsortiet gjort är att det första PLUGG-projektet tagit konceptet fram till TRL4 och visat på potentialen för tekniken. För att ta konceptet för fogningsmetoden vidare till en implementerbar process (TRL6/7) krävs en utveckling av ett maskinkoncept. Det ska vara applicerbar på flera stanssnitningsutrustningar och fogkonceptet ska verifieras på produktlika applikationer i en miljö som seriemässigt kan validera processen och dess robusthet.

Nitning och kanske framförallt självstansande nitning har varit starkt riktad mot fogning av tunn stålplåt och aluminium och i några enskilda fall även en mix av båda materialen. Många av de nya materialkombinationerna kommer sannolikt att kräva en kombination av mekanisk fogning och lim eller häftämne för att kunna ge en bra fog som förmår utnyttja materialens egenskaper. Stansnitning är mycket lämpligt att kombinera med lim på ett på ett produktionsmässigt och arbetsmiljövänligt sätt.

En snabb och effektiv mekanisk sammanfogningsmetod för icke formbara material har förutsättningarna att bidra till hållbarhetsmålen med:

- Minskad energianvändning
- Minskad produktionskostnad
- En arbetsmiljö- och ergonomiskt snällare process
- En sekundär effekt att bilens vikt kan reduceras genom att lätta material kan utnyttjas i nya produktområden då fogningstekniken finns

Konceptet PER med pluggbrickan har visat sig i det tidigare projektet PLUGG (Dnr 2013-02624) hålla, inte bara ur ett hållfasthetsperspektiv utan även som en möjlig process för att foga samman multimaterialkombinationer på ett nytt sätt.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Projektet syfte har varit att ta PER-konceptet från teststadiet till en tillämpar fogningsteknik redo att implementeras på verkliga produkter. För att nå dit måste dock ytterligare utveckling och validering ske, framförallt avseende på att nå en stabil repeterbar process validerad på produktlika applikationer samt att ge konstruktionsriktlinjer och dimensioneringsfaktorer. Detta har varit huvudsyftet i detta projekt. Genom att samarbeta kring några verklighetsbaserade produktkoncept och materialkombinationer kunna påvisa och demonstrera tekniken för en bredare publik och förbereda för en industriell tillämpning. Projektet innehåller egentligen två huvudspår, ett för att utveckla och validera processtekniken och ett för att kunna ge riktlinjer och förutsättningar för att kunna konstruera och producera produkter med PER-konceptet.

Projektet är unikt på det sättet att det kombinerar ett nytänk kring hur stanssnitningsprocessen kan utvecklas med redan befintlig etablerad fogningsteknik och utrustning. En stor fördel med det framtagna processkonceptet i PER är att det har potential att snabbt kunna införas i takt med att man byter material utan stora investeringar i ny utrustning.

Det viktigaste resultatet i projektet är att demonstrera och tekniskt validera en effektiv process för mekanisk fogningsteknik byggt på PER för hybridfogning i multimaterial. Detta för att säkerställa en effektiv, kapabel och hållbar process för sammanfogning som ökar möjligheten att skapa lätta och säkra fordon, medger nya innovativa designlösningar och är förberett för kommande kompositmaterial.

Viktigt är också att ha förberett för implementering av tekniken så att man kan börja tillämpa och använda PER-fogar i kommande produkter. Därför är framtagningen av processutrustning och konstruktionsriktlinjer samt dimensioneringsfaktorer centrala.

Sammanfattat är de viktigaste punkterna i projektet:

- att utveckla en process för PER
- att vidareutveckla pluggbrickan som fästelement
- att utveckla en prototyputrustning för matning av fästelementet plugg
- att ta fram konstruktionsriktlinjer och dimensioneringsfaktorer för pluggförband
- att demonstrera och teknisk validera pluggprocessen
- att demonstrera och validera fästelementet "plugg" i produktlik applikation
- att utveckla en förenklad beräknings- och simuleringsmodell för pluggförbandet
- att studera och utveckla pluggliknande applikationer

Metoden har varit att koncentrerat arbete kring några tänkta applikationer och materialkombinationer för att utifrån erfarenheterna i det ursprungliga projektet utveckla pluggbrickan till ett fästelement, tillverkad med rätt material, rätt korrosionsskydd och rätt utformning för att lätt kunna matas och positioneras i stansnitutrustningar. Matningsutrustning ska utvecklas och framtagning av en prototyputrustning har varit centralt för att kunna kopplas in i RISE IVFs demo/robotcell för att där kunna presentera, demonstrera och validera en automatiserad process.

5 Mål

Målet i detta projekt har varit att utveckla en effektiv process för mekanisk fogningsteknik byggd på pluggmetoden, PER (Plug Element Riveting) för hybridfogning i multimaterial. Projektet ska ta fogningstekniken PER från teststadiet i riggar och utvärderingsutrustningar till en tillämpar processteknik, inklusive en demonstrator för hur en fogningsutrustning för PER kan se ut. Syftet är att utveckla en robust process för mekanisk fogning som kan kombineras med limning av materialkombinationer som finns runt hörnet men som kräver en effektiv fogningsmetod för att kunna införas.

Arbetet är tänkt att förena och vidareutveckla olika framtagna delresultat och tekniker till ett väl fungerande fogningskoncept. Detta för att säkerställa en effektiv, kapabel och hållbar process för sammanfogning 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 målet om en hållbar produktion av lättviktsprodukter genom att tillhandahålla en snabb och effektiv mekanisk sammanfogningsmetod för icke formbara material i kommande multimaterialprodukter. Detta åstadkoms genom att i en vanlig stansnitningsprocess tillföra en formbar bricka (plugg) på dynsidan och kombinera detta med limapplicering. På detta sätt skapas förutsättningarna för en produktionsmässig fogning av framtida produkter med kombinationer av nya material och med en repeterbar appliceringsteknik som tar hänsyn materialkomplexiteten.
- till målet om en hållbar produktion genom en snabb och effektiv mekanisk sammanfogningsmetod för icke formbara material som har förutsättningar att bidra till hållbarhetsmålen med:
 - Minskad energianvändning
 - Minskad produktionskostnad
 - En arbetsmiljö- och ergonomiskt snällare process

- En sekundär effekt att fogningstekniken gör att bilens vikt kan reduceras genom att lätta material kan utnyttjas inom nya produktområden
- till att stärka svensk fordonsindustris konkurrenskraft genom att ha utvecklat ett hållbart koncept för en fogmetod som kan appliceras på kommande nya lättviktsmaterial. Projektet bidrar även till en konkurrenskraftig produktion i Sverige genom att införa metoder och teknik som kombinerar hög kunskapsnivå med avancerat materialutnyttjande och god erfarenhet av processteknik.
- till att tillvarata FoU resultaten från tidigare projekt och omsätta dessa för industriellt viktiga tillämpningar och därmed medverka till att konkreta produktionsförbättringar kan göras hos de deltagande företagen samt att ny kunskap kan implementeras industriellt.
- Projektet bidrar även till kunskapsuppbyggnaden kring stansnitning och nya möjligheter med ny nitteknik, limanvändning och limapplicering genom spridande av resultat genom work-shops, publicering av artiklar i tekniska tidskrifter, tekniska rapporter och guidelines. Resultaten från projektet förbereder för en bredare implementering av stansnitning med tillfört formligt material i fordonsindustrin men i förlängningen även till branscher där lättvikt och materialmixar är viktiga i produkter.

6 Resultat och måluppfyllelse

6.1 Resultat

Projektets resultat har visat ett koncept för en automatiserad process för PER och demonstrerat detta i en prototyputrustning applicerad på ett SPR-system. Arbetet har gett mycket värdefull kunskap och erfarenhet om dels vad som krävs för att PER-brickan ska fungera i stansnitningsprocessen, dels vad som krävs av en industriellt applicerbar matningsutrustning. Projektet har strävat efter att lägga basen för ett implementeringsarbete genom en kombination av fysiska tester som kan påvisa beteenden och beroenden som också ger kunskap om hur PER-förbanden kan användas i kommande produkter. En ledstjärna har varit att generera ny kunskap om förutsättningar, begränsningar och möjligheter med en automatiserad process för PER-konceptet som svensk fordonsindustri kan ta vidare till implementering.

Fogning av förstärkning i komposit med PER

För projektet var det centralt att utvärdera hur PER-konceptet (Plug Element Riveting) kan appliceras i verkliga produktkoncept, en produktdemonstrator, i detta fall en dörrstruktur i komposit. Konsortiet har valt en komponent, högtalarinfästning, som en representant för problemställningen att foga en kompositkomponent. Själva högtalarinfästningen är i kolfiber (SMC), som ska fogas samman med innerdörr av varmgalvaniserat stål. Detta stålmateriale är för tunt och kompositmaterialet är inte formligt för att det ska kunna fogas med konventionell stansnitning (SPR), men det kan fogas med den utvecklade PER-processen. Detta eftersom deformation och låsning av niten kan ske i Pluggbrickan som tillförs på dynsidan i stansprocessen. Då detta arbete skedde tidigt i projektet byggde det på manuellt arbete, en kombination med lim, stansmuttrar och PER. Processparametrar togs fram på provkupper. Innerdörren hölls i en fixtur och placerades manuellt. Fogningen fungerade utan anmärkning och med godkänt geometriutfall. Proving av färdig komponent på Volvo Cars gav också godkänt resultat. Demonstratorn med högtalarförstärkning i komposit mot innerdörr av galvaniserat stål fick därmed klart godkänt. Mer information finns i **Rapport Nr 1 Fogning av förstärkning i komposit med PER.**

PER-brickor

En central del i en industriell process för PER är pluggbrickans utformning och material. Pluggbrickan som fästelement ska ge en god funktion, vara så enkel som möjligt och ha en rationell tillverkningsmetod. För att ge kunskap om materialens och tillverkningsprocessernas inverkan på funktion och egenskaper genomfördes en mer omfattande studie av brickor och eventuell värmebehandling. I den aktuella studien beaktas påverkan av pluggbrickans tillverkningsprocesser och dess utformning och egenskaper vid och efter stansnitning. Fogens utformning och låsning utvärderades genom tvärsnitt för två olika dynor. Hållfasthet bedömdes med skjuvdragprov och olika brickor och processparametrar jämfördes. Studien visar att en optimering av processparametrar måste vara anpassad för materialet i brickan, annars blir det sämre låsning och reducerad hållfasthet. Hårdheten påverkar skallhöjd och låsning. Även dynans geometri påverkar låsningen i förbandet. Mer information finns att läsa i **Rapport Nr 2 Studie av brickor och värmebehandling**.

Kantstudie

I syfte att förbereda för konstruktion med PER-förband genomfördes en studie av hur ett flänsförband med PER beter sig i kombination med lim. I studien har provkropparna fogats för att se hur nära kanten ett PER-förband kan placeras, vad som händer med limmet och eventuell limutträngning samt om förbandet blir tätt, bild 1. Resultaten visar att det finns lim runt PER-förbandet efter nitning, dock finns det en viss risk beroende på viskositet och limegenskaper att det blir mycket tunt och därför inte vidhäftar till båda sidorna av substraten. Olika lim ger olika tjocklek för limmet, CC-måttet kommer att ha betydelse för limspalten, lim i treplåtsförband blir lite tjockare jämfört med tvåplåtsförband och att det skiljer mellan stål och aluminium där aluminium ger ett tjockare limförband. Tyvärr visar studien på svårigheten att göra en generell standard då varje lim och applikation beter sig olika. Mer information återfinns i **Rapport Nr 3 Kantstudie**.

Förenklade beräkningsmodeller

I syfte att underlätta användningen av PER-förband i framtida konstruktioner och ge underlag för design guidelines har ett spår i projektet varit att utveckla förenklade beräknings- och simuleringsmodeller för att kunna göra hållfasthets- och tekniska beräkningar av förbanden. Den utvecklade processsimuleringsmetoden bygger på resultaten från det tidigare PLUGG-projektet och inkluderar möjligheten att simulera SPR för multimaterialkombinationer inklusive ortotropiskt kompositmaterial. Förutom processsimulering av mekanisk låsning av nit och plåtar simuleras även restspänningar i fogarna. SPR simulering för kompositmaterial görs möjlig genom en separat representation av kompositmatrisen och fibrerna i simuleringsmodellen. Genom detta tillvägagångssätt bibehålls matrisens duktila beteende efter fiberkollaps. Detta möjliggör penetrering och förflyttning av matrisen på ett mer realistiskt sätt. Den generella användbarheten för den nya kompositmaterialmodellen har sedan framgångsrikt jämförts med experiment i flera olika multimaterialkonfigurationer.

Dessutom har modeller för att prediktera maximal fogstyrka och brottbeteende utvecklats. För detta ändamål omvandlar man geometrin för 2D-processsimuleringsmodellerna till 3D-simuleringsmodeller. Modellerna har sedan jämförts framgångsrikt med experimentellt härledda kraftförskjutningskurvor. Tillsammans med redan befintliga tillvägagångssätt för representation av SPR-fogar i krocksimuleringar eller utmattningsanalys kompletterar detta den numeriska utvecklingskedjan för multimaterialförband.

Som en del av projektet beslutades också att jämföra resultatet från KSII-tester med ENF-tester för att erbjuda en enklare, billigare och snabbare metod att ta fram data för förenklad modellering för SPR och PER. Arbetet med numerisk modellering av SPR-processen och försöken att utveckla en förenklad simuleringsmodell från experimentella data presenteras i **Rapport nr 5 Self-piercing-riveting, process simulation and simplified simulation models** med referenser till de testrapporter som tagits fram av VCC och HiS kring KSII och ENF-tester (**Rapport nr 4**).

En masteruppsats, med titeln "**Characterisation of Self-Piercing Riveting Joints under Different Loading Conditions for FE Simulations**" (**Rapport nr 6**) genomfördes i projektet. I denna avhandling utfördes omfattande arbete med att använda KSII för SPR och PER med testuppsättningen.

Matningssystem

En central del för en automatisk process för PER är brickans matningssystem. ESSVE Industry har i projektet utvecklat ett system för matning av brickan som bygger på deras erfarenhet av matning av fästelement. En prototyp har utvecklats och applicerats i Hybrid Joining Cell vid RISE IVF på den stationära SPR-utrustningen från Henrob/Atlas Copco. Då denna utrustning är stationär förflyttas alltså objektet för de olika nitpositionerna manuellt eller med robot. Många tester har gjorts och systemet har använts vid tillverkning av PER förband för att få erfarenheter för en vidareutveckling av ett system som är lämpligt för massproduktion.

Principen är en luftmatare som består av en vibrationsmatare, sorterings- och separationsenhet för att skjuta pluggen med luft genom kanaler och leverera till en hållare som applicerats på dynan av SPR-utrustningen. En hållarm köar upp brickor och håller en bricka i position för nitning. När sedan roboten förflyttar objektet, matas en ny bricka fram.

Erfarenheterna har visat på att en vidareutveckling krävs för att nå ett automatiserat system som är applicerbart i massproduktion. Det har varit mycket tydligt att systemet måste leverera en bra positionering av brickan med hög repeterbarhet och matarsystemet måste hålla brickan i ett stabilt läge under nitningen annars påverkas nitresultatet. Mer information finns i **Rapport nr 8 "Feeding System for PER Plug"** Prototypen av systemet har använts i demonstratorn av en automatiserad process för PER.

Ingjutning av PER-bricka i komposit

Ett av tillämpningsområden som finns för PER är fogning mot komposit och i detta sammanhang är det intressant att studera om det är möjligt att integrera PER-brickan redan i processen vid tillverkning av kompositdetaljen. En studie av hur en bricka kan gjutas in och placeras i verktyg har genomförts i syfte att verifiera en robust positionering, fastsättning och vidhäftning mot kompositmaterialet och en grundläggande analys av hur samspelet fungerar i ett formverktyg.

Vid ingjutningsstudien av PER-bricka i komposit har förstudier i ett pressgjutningsverktyg som togs fram i FFI-FALS använts. Därefter har hörnförstärkningsverktyget i LIGHTest 2-projektet använts, ett formverktyg som togs fram i FFI-SALLSA– Serietillverkning Av Lättviktsmaterial i LeverantörsSamverkan (Dnr 2015–03730). Hörnförstärknings-produkten innehåller totalt 4 st PER-brickor. Vid pressgjutningstesterna har presstrycket/presskraften, beroende på val av kompositmaterial och komposition, varierat från 180 till 360 tons tryck. Materialstacken av kompositmaterial utsätts för högt tryck/kompression vid slutning av pressgjutningsverktyget som med hög hastighet sprider ut och fyller formrummet mycket snabbt. Studien visar bland annat att utmaningen är att finna en hållbar och effektiv lösning för att säkra och bibehålla brickornas plats vid flytpressfasen då de utsätts för starka sidokrafter/materialflöde/skjuvningskrafter. Idag ser en temporär lösning till att säkra och hålla brickan i sin position men det finns ett behov av att ta fram en smidigare lösning. Mer information återfinns i **Rapport nr 7 Ingjutningsstudie av PER-bricka**.

Metodutveckling och karaktärisering av Hybrix

PER-konceptet möjliggör att nitprocessen kan appliceras på nya lättviktsmaterial. Ett sådant är Hybrix™ som är ett sandwichmaterial bestående av två plåtar med mellanliggande limmade nylonfibrer tillverkat av Lamera som är en av projektparterna. Detta material är synnerligen intressant ur lättviktsaspekter och även valts som ett material att användas i demonstratorn för processen. Därför har högskolan i Skövde tillsammans med Lamera gjort en metodutveckling och analyserat Hybrix™ mer detaljerat utifrån specialtillverkat material att karaktärisera detta materials styrka och även skapa indata som kan användas i simuleringar. Mer information finns i **Rapport nr 9 "CC Experiments Hybrix"**.

Demonstrator för en automatiserad process för PER

Huvudmålet för projektet har varit att visa ett koncept för en automatiserad process för PER och demonstrerat detta i produktionslik process på en industrirelevant komponent.

Initialt planerades att använda en så kallad bältesbalk från en av Volvo Cars kommande modeller men då detta inte gick att genomföra beslutades att använda en representativ komponent. Demonstratorkomponenten är därför en lätt dubbelkrökt hattprofil i Hybrixmaterial tillverkat av Lamera av både stålplåt och aluminium och även i konventionellt plåtmaterial av stål och aluminium. Hybrix™ är ett sandwichmaterial som består av två plåtar med mellanliggande limmade nylonfibrer. Detta material går inte att nita med konventionell stansnitning. Med PER blir detta möjligt för att demonstrera en potentiell industriell process. Mot hattprofilen fogades sedan lock i olika material.

För att processen ska vara produktionsmässig krävs ett automatiskt system med antingen robotburen PER-utrustning eller robohanterad komponent. Det krävs också att både nit och PER-bricka matas fram automatiskt. Det i projektet framtagna matningssystemet är anpassat för fast nitutrustning. Då nitprocessen vanligen används för hybridfogar tillsammans med lim visar demonstratorn en robot med gripper för att hantera komponenten och räcka fram den till de olika stationerna, en limrobot för automatiserad limläggning, en andra robot med gripper för att lägga på locket på hattprofilen, samt nitutrustningen med frammatning av bricka. Tillgänglig utrustning medgav inte en helt automatiserad process därför har den utförts semiautomatiskt på ett sätt som lätt kan översättas till en helt automatisk produktionsprocess.

Demonstration av en produktionslik fogningscell på en industrirelevant komponent har fungerat tillfredställande. PER-processen kan tas vidare, med vissa modifieringar av slutsteget till brickhållaren, till industriell implementering. Processen har dokumenterats i en film och mer information med bilder över delstegen i processen finns i **Rapport 10 "Demonstrator av lättviktsbalk i produktionslik process"**.

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	Detta är ett nytt område med stor potential till att kunna foga svåra materialkombinationer
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	PER kommer att vara intressant för projekt som omfattar mekanisk fogning/hybridfogning av lättvikts- och multimaterialkonstruktioner
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Öppnar nya möjligheter till konstruktion med nya materialkombinationer
Introduceras på marknaden	X	När en skarp tillämpning definierats ska det direkt kunna tas fram lämplig processutrustning
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut		

7.2 Publikationer

Projektet har arbetat med att avrapportera delresultat i rapportform. Projektet har resulterat i 10 tekniska rapporter:

Rapport nr1: Fogning av förstärkning i komposit med PER

Ola Albinsson, Jan Skogsmo, Fredrik Wandebäck, RISE IVF AB

Rapport Nr 2 Studie av brickor och värmebehandling

Andreas Reeb och Jan Skogsmo, RISE IVF AB

Rapport nr3: Kantstudie

Ola Albinsson RISE IVF AB

Rapport nr4: KS2 – Experiments at HiS and VCC test report

Ulf Stigh, Högskolan i Skövde respektive Per-Anders Eggertsen, VCC

Rapport nr5: SPR, process simulation and simplified simulation models

Michael Machens och Peter Ottosson, RISE IVF AB

Rapport nr6: Master Thesis - Characterisation of Self-Piercing Riveting Joints under Different Loading Conditions for FE Simulations

Yasmine Kechaou, WBK Institut für Produktionstechnik, Karlsruher Institut für Technologie

Rapport nr7: Ingjutningsstudie av PER-bricka

Jörgen Alexis och Fredrik Wandebäck, RISE IVF AB, Stefan Hansson, VCBC

Rapport nr8: Feeding System for PER Plug

Tobias Alfredsson, ESSVE AB

Rapport nr 9: CC-Experiments Hybrix

Ulf Stigh, Högskolan i Skövde

Rapport nr10: Demonstrator av lättviktsbalk i produktionslik process

Jan Skogsmo och Fredrik Wandebäck, RISE IVF AB

Examensarbete:

"Characterisation of Self-Piercing Riveting Joints under Different Loading Conditions for FE Simulations" utfört av Yasmine Kechaou vid WBK Institut für Produktionstechnik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

8 Slutsatser och fortsatt forskning

PER har utvecklats till en effektiv fogningsteknik för materialkombinationer som inte kan fogas med konventionell SPR. Den fungerar mycket bra för hybridfogning i kombination med lim för kommande lättviktskonstruktioner. Den är väl lämpad för industriell implementering.

För att uppfylla industrins krav på robusthet behöver slutsteget med brickhållaren modifieras och det behövs också en avkänning av att brickan är frammatad och rätt positionerad. För robotburen PER krävs framtagning av en annan typ av slang för frammatning av brickan.

Ett intressant område att utforska är att förapplicera brickan för att sedan kunna foga med en konventionell SPR utan brickmatning. Detta kan till exempel ske genom ingjutning av brickan i plast- eller kompositmaterial. Det kan också utföras genom att den limmas, smälts eller pressas fast på undersidan av materialet. Motsvarande kan också vara intressant för aluminiumgjutgods som ofta har för låg formbarhet för att kunna nitas säkert utan sprickbildning. För aluminiumgjutgods kan godstjockleken också ökas lokalt där niten ska sättas.

Konceptet med extra material för att kunna foga mekaniskt i kan tillämpas även för andra fogningsmetoder som exempelvis FDF/FDS (flow drill fastening/screwing).

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Problem och frågeställaren har varit Volvo Personvagnar. RISE IVF AB (tidigare Swerea IVF) har varit projektledare och koordinator. Övriga projektdeltagare i projektet har varit ESSVE, Lamera, Autokropolis Engineering, Atlas Copco Industrial Technique AB och Högskolan i Skövde.

Projektet har pågått under 3 år, med start 2016-10-01 och slut 2019-12-31.

Kontaktpersoner från projektkonsortiet.

- **RISE IVF**
Jan Skogsmo, Ola Albinsson, Fredrik Wandebäck, Andreas Reeb, Jörgen Alexis, Peter Ottosson och Per-Johan Wahlborg
- **VCC och VCBC**
Per Lindahl, Stefan Hansson, Fredrik Billskog, Oscar Andersson
- **ESSVE AB**
Sven-Göran Hall, Tobias Alfredsson, Anders Rosén
- **Lamera AB**
Bengt Nilsson och Ramin Mosfegh
- **Atlas Copco Industrial Technique AB**
Mikael Frick,
- **Autokropolis Engineering**
Johnny K Larsson
- **Högskolan i Skövde**
Ulf Stigh och Tobias Andersson

Kontaktpersoner Examensarbete.

Dr. Andreas Reeb, RISE IVF AB

