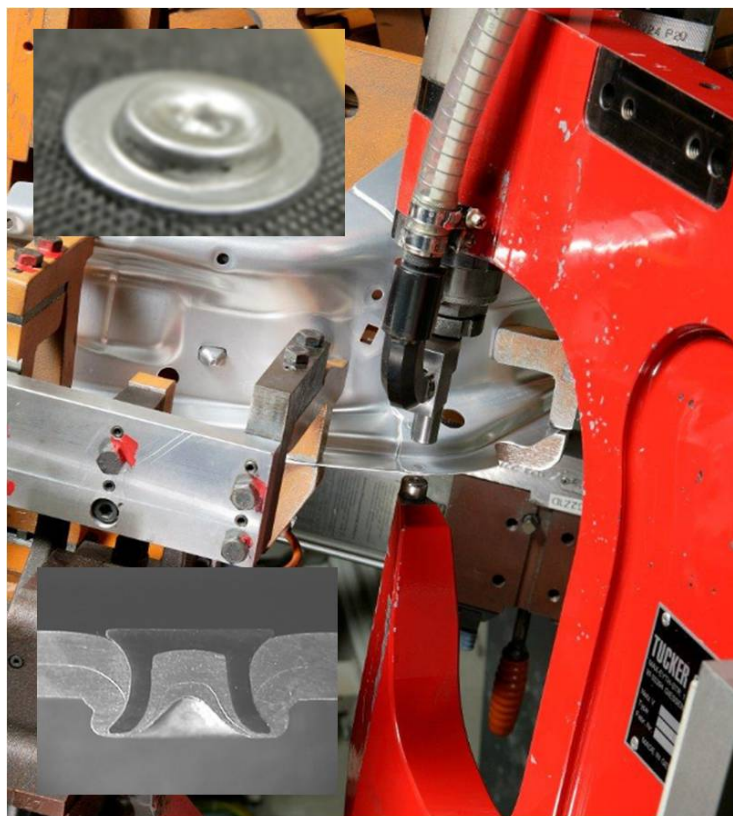


Slutrapport FFI-projekt PLUGG

"Stansnitning av icke kompatibla material"

Diarier nr: 2013-02624



Författare Ola Albinsson
Datum 2015-05-31
Delprogram Hållbar produktionsteknik

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary.....	4
3 Bakgrund.....	7
4 Syfte, frågeställningar och metod.....	8
5 Mål	8
6 Resultat och måluppfyllelse	10
6.1 Resultat	10
6.2 Måluppfyllelse.....	25
6.3 Kunskaps- och resultatspridning	26
6.4 Publikationer.....	27
7 Slutsatser och fortsatt forskning	28
8 Deltagande parter och kontaktpersoner	30

1 Sammanfattning

Projektet siktade på att ta fram ett koncept för stansnitning i materialkombinationer som inte ska gå att foga samman med stansnit. Detta med hjälp av det sk. Plugg-Konceptet. I projektets initialskede så identifierades det materialkombinationer så som stål, borstål, kolfiber aluminium. Dessa materialkombinationer fogades samman med nitar utifrån vad expertisen i projektet ansåg vara lämpliga. Materialet i pluggbrickan valdes ut efter försök utefter vilket material (legering) som kunde ge den bästa låsningen.

Dessa nitade materialkombinationerna testades med statisk provning både i skjuv och dragbelastning. Det uppseende från dessa resultat är att nit/pluggförbandet tvingar provet att ta last i skjuvmod jämfört med ett traditionellt nitat eller svetsat förband. Det uppseendeväckande var att energiupptaget blev mångdubbelt större då nit/pluggförbandet ej havererar utan begränsningen var ingående materialegenskaper.

Dessa resultat gjorde att projektet valde att gå vidare med höghastighets-prov och intressant nog blev brotten liknande för hög hastighet (upp till 50km/h).

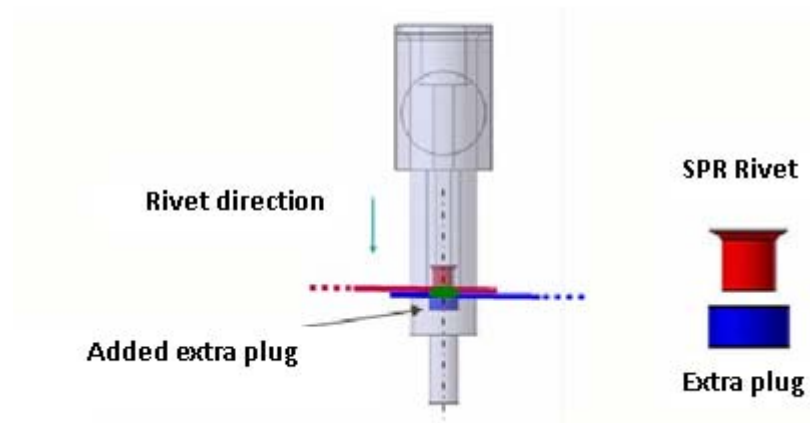
Projektet har i slutskedet gjort en utmattningsstudie av nit/pluggförbanden och jämfört med referensen punktsvets som är dagens standardfogmetod för stålkarosfordon. Resultaten visar att utmattningsegenskaperna ökar högst avsevärt om man väljer nit/pluggförbandet jämfört med referensen svetsning.

För att kunna optimera nitutformning av förbandet har parameterstudie gjorts som visar vilka variabler som påverkar nitgeometrins responsvariabler. Dessutom har skadeprediktering hos fiberkomposit vid applicering av nit genomförts med hjälp av simulering och fysiska prov. Dessa visar på en förvånansvärt bra resultat. Slutligen har även korrosionsstudier genomförts för att kunna undvika galvanisk korrosion när material med olika elektropotential fogas.

Samtliga genomförda test och prov har kunnat genomföras med ett mycket gott resultat vilket inte bara visar att pluggkonceptet håller utan det visar på en mycket stor potential för en effektiv fogmetod som kan bära last i svåra materialkombinationer.

2 Executive summary

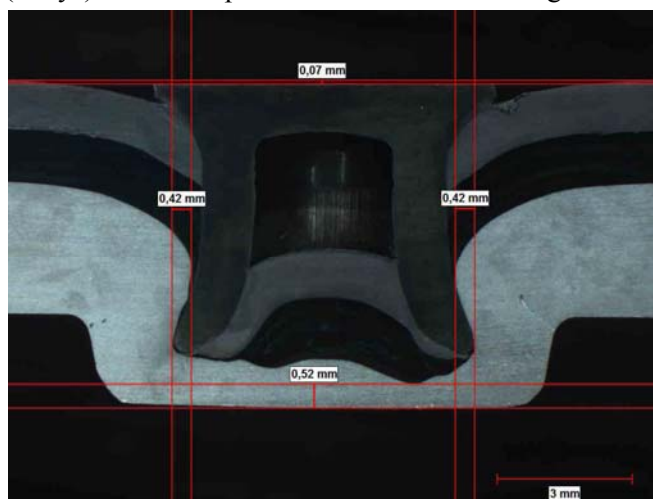
The project aimed to develop a concept for self-piercing riveting in material combinations that are not recommended to join together with self-piercing riveting. This is by using the so called “Plugg-concept”.



Picture 1: Principle for the Plugg-Concept.

In the initial phase of the project was material combinations identified as steel, boron steel, carbon fiber aluminum. The combinations of materials were joined together with self-piercing rivets on the basis of what expertise of the project considered appropriate.

The material of the “plugg coin” was selected after trials and tests of the materials (alloys) that could provide the best interlocking.



Picture 2: Right interlocking between the rivet and the Plugg-coin.

These riveted material combinations were tested by static test, both shear and cross loading. The result from these tests showed that the rivet / plugg joint forces the sample to take more load in shear mode compared to a traditional riveted or welded joints. The energy absorption was higher with the plugg-concept compared to traditional self piercing riveting and spot welding. The limitation was the material properties on in the specimens and not the rivet / plugg joint. These interesting result resulted in go ahead with the high-speed tests (up to 50km / h). The plugg/rivet joint show same kind of behavior in the high speed tests as in static tests.



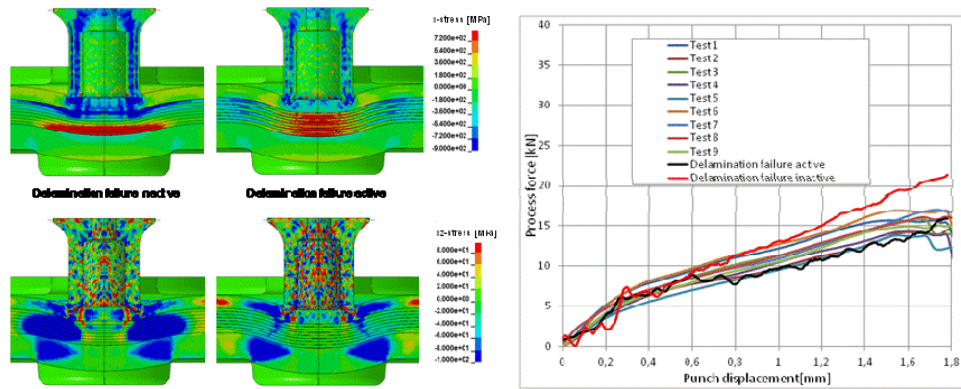
Picture 3: The high speed test was followed by the project partners with great interest.

In the final phase of the project was fatigue study done. This to compare rivet / plug with the reference spot welding. Spot welding is today standard joining method for steel-body vehicles. The results shows that the fatigue properties increase considerably with rivet / plug – concept compared to the reference, spot welding.



Picture 4: Test specimen that has lost the stiffness caused by cracks round the spot welds.

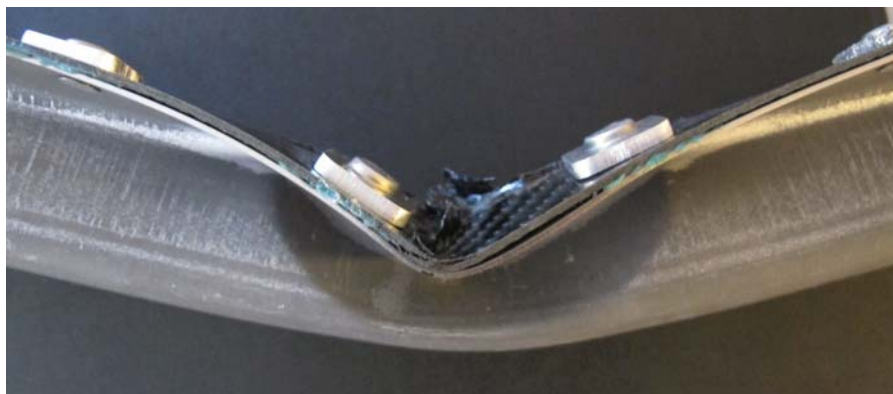
In order to optimize the design for a certain rivet regarding which material it will work in was a parameter study done. The study identified which variables affect the rivet geometry response variables.



Picture 5: Influence of delamination failure on stress state and process forces

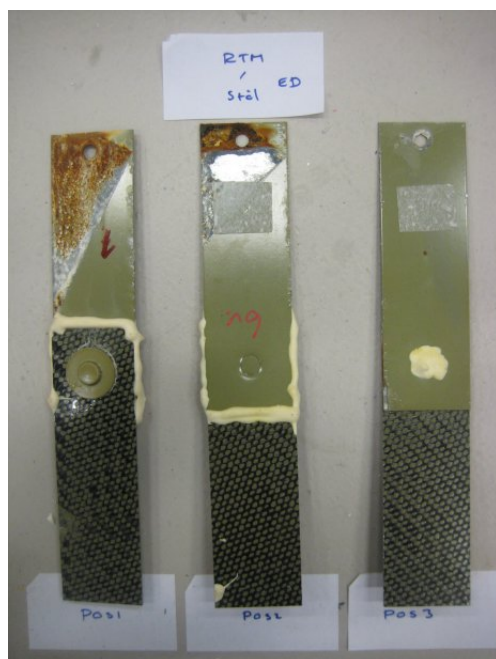
In order to see if the rivet damage the fiber composite when it is applied was crack propagation simulations made. These simulation was verified with physical testing. The most surprising result is that seems to be possible to apply a rivet in carbon fiber without is cause cracks in the matrix material.

The project has also develop a method to soft Boron steel with laser. This means that a small area is soften just where the rivet will be applied. This open up to join, for instance, NCF (Non Crimp Fiber) to full hardened Boron steel with self pricing rivet if the Plugg-concept is used. This can open up to reducing weight for vehicles and reduce the CO2 emissions



Picture 6: Beam of Boron Steel /carbon fiber joined with the plugg-concept.

When material with different electro potential is joined is it a incitement for galvanic corrosion. There for is it of importance that the Plugg-coin and the ingoing material in the joint are separated. This can be done with adhesives, tapes or polymer coating.



Picture 7: Test to investigate where corrosion appear in the multi material joint.

All of the tests and trials that have been carried out in the project have shown very good results. The plugg-concept has a great potential to be an effective joining method that can carry high loads in difficult material combinations.

3 Bakgrund

Lättviktskonstruktioner förekommer inom de flesta olika produktområden, och inte minst inom transportindustrin har behovet aktualiserats i takt med framväxten av regelverk, lagkrav och åtaganden från olika intresseorganisationer inom t.ex. billindustrin. För Volvo Personvagnars del, produktutvecklare av personbilskarosser i världsklass, är lättviktskonstruktioner mer eller mindre en överlevnadsförutsättning, samtidigt som det erbjuder kunderna nya bränslesnåla och miljövänliga bilprodukter. Även för bilföretagens underleverantörer och andra branscher och produktområden (ex flyg, släpvagnspåbyggare, husvagnar, dörrinsatser, skåp, möbler etc) är nya lättare material och deras integration i produkterna en alltmer viktig fråga. I dessa sammansatta konstruktioner av olika material är fogningsmetoderna centrala. Kunskapen om säkerhet och tillförlitlighet är baserad på komponenter av samma material som fogas med kända fogningsmetoder.

Nitning och kanske framförallt självstansande nitning har varit starkt riktad enbart gällande fogning av typ tunn stålplåt och aluminium och i några enskilda fall även en mix av båda materialen.

Till nästa generationer av karosstrukturer arbetar alla internationella biltillverkare med nya koncept som innefattar blandningar av olika nya lättviktsmaterial. Vår bedömning är att tysk bilindustri leder denna utveckling men att alla letar optimala lösningar för sina respektive förutsättningar. Nackdelen med integrationen av nya exempelvis kompositbaserade material och tunna material, är att man nu talar om helt nya artolika material och kombinationerna är svåra eller i många fall omöjliga att sammanfoga med dagens kända traditionella fogningsteknik. Därför är trenden uppenbar att det kommer krävas utveckling av dagens sammanfogningstekniker, exempelvis självstansade nitutrustningar (SPR). Självstansande nit är ingen ny teknik men med hjälp av att process-förutsättningarna ändras t ex med el-servobaserade system och tillsatsmaterial ges nya möjligheter. VCBC som är produktionsbolag åt ett flertal fordonstillverkare, inklusive VCC och VLV ser det som strategiskt att vidareutveckla

fogningsmetoderna och fogningskompetensen för att successivt kunna bidra i OEMernas övergång till nya materialkombinationer och därmed stärka svensk konkurrenskraft.

Många av de nya materialkombinationerna kommer sannolikt att kräva en kombination av mekanisk positionering och utnyttjande av lim eller häftämne för att kunna ge en bra fog som förmår utnyttja materialens egenskaper. Här är stansnitning ett strålande exempel där lim kan integreras på ett arbetsmiljövänligt sätt.

4 Syfte, frågeställningar och metod

Projektet "PLUGG - Stansnitning av icke kompatibla material" är ett projekt inom FFI - Hållbar Produktion, finansierat av VINNOVA.

Projektets mål är att utveckla en mekanisk sammanfogningsmetod för icke formbara material i kommande multimaterialprodukter. Tanken är att skapa ett kombinationsförband genom att i en vanlig stansnitningsprocess tillföra en formbar bricka (plugg) på dynsidan och kombinera detta med limapplicering. Detta möjliggörs av den nya tekniken med el-servoverktyg vilket gör att man kan optimera själva nitprocessen genom materialen.

Syftet är att utveckla en robust process för mekanisk fogning av materialkombinationer som finns runt hörnet men som kräver en effektiv fogningsmetod för att kunna införas. Viktigt här är lastfördelningen mellan nit och lim i fogen vid olika temperaturer för de olika materialen. Då metoden inte är termisk och då nitningen ska ske med el-servoverktyg finns stor potential i att skapa multimaterialfogar med minimal energiåtgång och arbetsmiljöpåverkan i produktion.

5 Mål

Projektets mål

Projektets mål är att utveckla en mekanisk sammanfogningsmetod för icke formbara material i kommande multimaterialprodukter. Tanken är att skapa ett kombinationsförband genom att i en vanlig stansnitningsprocess tillföra en formbar bricka (plugg) på dynsidan och kombinera detta med limapplicering. Detta möjliggörs av den nya tekniken med el-servoverktyg vilket gör att man kan optimera själva nitprocessen genom materialen.



Bild 8: Principen för Pluggkonceptet. Här för ett stål Träförband.

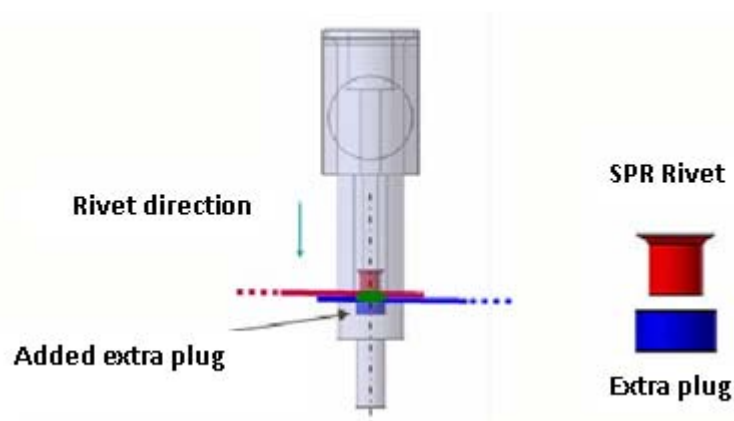


Bild 9: Principen för Plugg-konceptet.

Genom att använda el-servostyrd nitrustning kan processparametrar som tid, kraft och läge justeras utefter nitoperationen vilket möjliggör en bästa tänkbar låsning mellan nit och plugg och därmed låsning av mellanliggande material. Då metoden inte är termisk och då nitningen ska ske med el-servoverktyg finns stor potential i att skapa multimaterialfogar med minimal energiåtgång och arbetsmiljöpåverkan i produktion genom undvikande av upphettning och nedbrytning av oljor och lim/tättningsmedel.

En sådan kombinationsmetod med plugg skulle medföra att man kan använda befintliga utrustningar för stansnitning i kommande materialkombinationer där icke formbara material ingår i förbandet.

Projektet kommer inrikta sig på stansnitning med plugg i materialkombinationerna polymer/metall samt biomaterial/metall. Projektet kommer att adressera såväl fogning av strukturbärande komponenter som fogning av andra komponenter i olika kombinationer av kompositmaterial, inte endast kolfiber. Av särskilt intresse är svårfogade materialkombinationerna som är under utveckling. Produkter där denna foglösning med stansnit och plugg är aktuell är dörrar, golv och hjulhus mm.

Syftet med projektet är dels att utveckla metoden och tekniken för att kunna genomföra stansnitning med plugg dels att öka kunskapen om hur detta kan förbättras och optimeras mot de kommande materialkombinationerna och hur samspelet mellan positionerande och låsande nitning kan samverka optimalt med lim.

Bidrag till FFI-programets mål.

Framtida regelverk för CO₂-utsläpp sätter nya krav på alla tillverkare att avsevärt minska bilens CO₂-utsläpp. Detta innebär att både karossen och exteriöra delar som dörrar, motorhuvar, mm måste bidra till att radikalt minska totalvikten på bilen. Samtidigt kvarstår eller ökar kraven på säkerhet, komfort och prestanda. För att närma sig dessa nya miljömål är större användning av tunnare höghållfasta stål kostnadseffektiva, men i många fall är potentialen ännu större med lättare material såsom högpresterande aluminium och komposit.

- Det första och främsta bidraget till målet om en hållbar produktion av lättviktsprodukter är genom att tillhandahålla en snabb och effektiv mekanisk sammanfogningsmetod för icke formbara material i kommande multimaterialprodukter genom att i en vanlig stansnitningsprocess tillföra en formbar bricka (plugg) på dysnsidan och kombinera detta med limapplicering. På detta sätt skapas förutsättningarna för en fogning i framtida produkter med kombination av nya material och med en repeterbar appliceringsteknik som tar hänsyn materialkomplexiteten.

- 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
- Projektet bidrar även till konkurrenskraftig produktion i Sverige genom att införa metoder och teknik som kombinerar hög kunskapsnivå med avancerade metoder för simulering och optimering i förhållande till materialaspekter i en industriellt viktig applikation för fogning av kommande multimaterialprodukter.
- Projektet tillvaratar FoU resultaten från tidigare projekt och omsätter dessa för industriellt viktig tillämpning och medverkar därmed till att konkreta produktionsförbättringar kan göras hos de deltagande företagen och att ny kunskap kan implementeras i industriell tillämpning.
- Projektet bidrar till att stärka forskningsmiljön och forskningssamarbetet mellan Swerea, akademi, fordonsföretag och dess underleverantörer kring fogning av multimaterialkomponenter, geometrisäkring, simulering av kombinationsfogar samt fysisk verifiering.

Projektet bidrar även till kunskapsuppbyggnaden kring nitning 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 formbart 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 att konceptet fungerar med att använda stansnitning, som är en välkänd fogmetod, i nya materialkombinationer. Detta kommer att öka behovet att ta konceptet vidare till en högre TRL-Nivå efter detta projektavslut. Detta för att sedan kunna avlämna en utvecklad process som svensk fordonsindustri kan ta vidare till implementering. Effekten av detta projekt är att svensk fordonsindustri kommit ett steg närmare att ställa om till det kommande paradigmskifte för Multimaterialkonstruktion som kommer att resultera i lättare fordon och i mindre CO₂ utsläpp.

6.1.1 Framtagning av materialmatrix

Materialen som ingick i screeningstudien skulle avspegla material som kan komma att behöva fogas samman med bla.a stansnitning i framtiden.

Dessa materialkombinationer skulle innehålla minst ett material i "stackningen" som inte är kompatibel med stansnitning i dagsläget. Det kan röra sig om material som är

- icke formbart, dvs inte kan forma sig i stansdynan för att kunna låsa niten.
- spröda material ex fiberkompositier där matrismaterialet orsakar delaminering.

- tunna material som inte uppfyller tumreglerna för stansnitning.
- m.m.

Grundidén i projektet är att för de icke kompatibla materialen som det i dag saknas givna fogningsmetoder för testa hypotesen med att tillföra en formbar plugg på den så kallade dynsidan så ska dessa kunna fogas med stansnitning.

Materialen som projektet Plugg kom att studera var följande material.

Material	Applikationer
Aluminium	Huvar, Dörrar påhångsdetaljer
Stål	Huvar, Dörrar, påhångsdetaljer
Borstål (USIBOR)	Sidostolpar krockbalkar
NCF	Golvstrukturer, Strukturbärande större plana komponenter.
SMC	Högtalarinfästning, Innerstrukturer dörrar, Innerstrukturer huvar
Woven RTM	Tak. Synliga ytor som kräver hög finish

Tabell 1 Material utifrån applikationer

Materialen i projektet kunde efter inventering delas in i kompositer, icke formbara metalliska material och tunna metalliska material.

6.1.2 Screening av möjliga nitar till Materialmatris

Utifrån de redan upprättade materialkombinationerna och projektexpertis av ett första val av nit och dyna har projektgruppen upprättat följande materialmatris.

Stanssida	Dynsida	Nit	Dyna	Plugg	Maxkraft	Vikt
DP600 1.0mm	NCF 1.0 mm NCF 2.0 mm NCF 3.0 mm RTM 1.25 mm SMC 1.0 mm DP600 1.0 mm DP1000 1.0 mm	C5.3x7.0 H4 C5.3x7.5 H4 P5.3x8.0 H4 C5.3x7.5 H4 C5.3x7.0 H4 C5.3x5.0 H4 C5.3x8.0 H4	T005 T005 T034 T005 T005 M260150 T005	Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm - Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm	44.0 kN 48.7 kN 40.0 kN 47.8 kN 45.2 kN 34.0 kN	47.5 g 54.1 g 59.9 g 50.4 g 48.8 g 76.5 g 78.5 g
DP1000 1.0 mm	NCF 1.0 mm NCF 2.0 mm NCF 3.0 mm RTM 1.25 mm SMC 1.0 mm DP1000 1.0 mm	C5.3x7.0 H4 C5.3x7.5 H4 P5.3x8.0 H4 C5.3x7.5 H4 C5.3x7.5 H4 HSS5.5x5.0 H5	T005 T005 T034 T005 T034 m260130	Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm -	49.0 kN 51.1 kN 42.0 kN 52.0 kN 45.0 kN	46.2 g 52.1 g 58.3 g 47.5 g 48.4 g 73.0 g
USIBOR Soft 1.0 mm	NCF 2.0 mm RTM 1.25 mm SMC 1.0 mm USIBOR Soft 1.0 mm	C5.3x7.5 H4 C5.3x7.5 H4 C5.3x7.0 H4 HSS5.5x5.0 H5	T005 T005 T005 m260150	Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm -	51.2 kN	51.5 g 48.4 g 49.6 g 75.2 g
Al 6000 1.0 mm	NCF 1.0 mm NCF 2.0 mm NCF 3.0 mm RTM 1.25 mm SMC 1.0 mm Al 6000 1.0 mm	C5.3x7.0 H4 C5.3x7.5 H4 P5.3x8.0 H4 C5.3x7.0 H4 C5.3x7.5 H4 C5.3x5.0 H4	T005 T005 T034 T005 T005 m260214	Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm -	44.0 kN 44.4 kN 45.7 kN 44.0 kN 48.6 kN 54.0 kN	21.6 g 27.4 g 33.6 g 23.2 g 23.5 g 24.3 g
Al 6000 1.5 mm	NCF 1.0 mm NCF 2.0 mm NCF 3.0 mm RTM 1.25 mm SMC 1.0 mm Al 6000 1.5 mm	C5.3x7.5 H4 C5.3x7.5 H4 C5.3x10.0 H2 C5.3x7.0 H4 P5.3x8.0 H4 C5.3x6.0 H4	T005 T005 T005 T005 T034 m260061	Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm -	47.3 kN 46.0 kN 59.3 kN 41.0 kN 47.0 kN 43.0 kN	29.3 g 35.2 g 41.3 g 31.1 g 31.6 g 39.4 g
Thin Steel 0.57 mm	NCF 1.0 mm NCF 2.0 mm NCF 3.0 mm RTM 1.25 mm SMC 1.0 mm Thin Steel 0.57 mm	C5.3x7.0 H4 C5.3x7.0 H4 C5.3x10.0 H4 C5.3x7.0 H4 C5.3x7.0 H4 C5.3x6.0 H2	T005 T005 T034 T005 T005 T021	Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm	45.0 kN 44.0 kN 45.8 kN 42.8 kN 44.0 kN 50 kN	31.8 g 37.5 g 43.8 g 33.0 g 34.1 g 46.7 g
NCF1.0mm	NCF 1.0 mm DP 1000 1.0 mm	C5.3x7.0 H4 C5.3x7.0 H4	T005 T038	Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm	46.0 kN 59.0 kN	16.6 g 46.6 g
NCF 2.0 mm	NCF 2.0 mm	C5.3x7.5 H4	T005	Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm	44.6 kN	28.4 g
NCF 3.0 mm	NCF 3.0 mm	C5.3x10.0 H2	T005	Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm	55.0 kN	40.5 g
RTM 1.25	RTM 1.25 mm	C5.3x7.5 H4	T005	Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm	48.5 kN	20.5 g
SMC 1.0 mm	SMC 1.0 mm Thin Steel 0.57 mm	C5.3x6.0 H0 C5.3x6.0 H2	T005 T005	Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm Al 5000 ∅ 22 mm t 2.2 mm	35.7 kN 39.0 kN	21.1 g 33.8 g

Tabell 2: Testmatris för material/nit/Dyna Kraft samt pluggbricka.

6.1.3 Statisk Provning av /Plugg förband

För den statiska provningen valdes överlappsförband för provning i skjuv och drag. För att säkerställa att få en god repeterbarhet togs det fram fixturer för att kunna producera provkroppar. Detta resulterade i att i provningen visade sig att spridningen inom varje testserie vara mycket liten.

Testning har skett enligt VCC standard 5531:619, VCC standard 8531:29 och ISO CD 16237.



Bilder 10 och 11: Fixtur för skjuv och överlappsprov samt fixturer för runda och 4-kantiga pluggar.

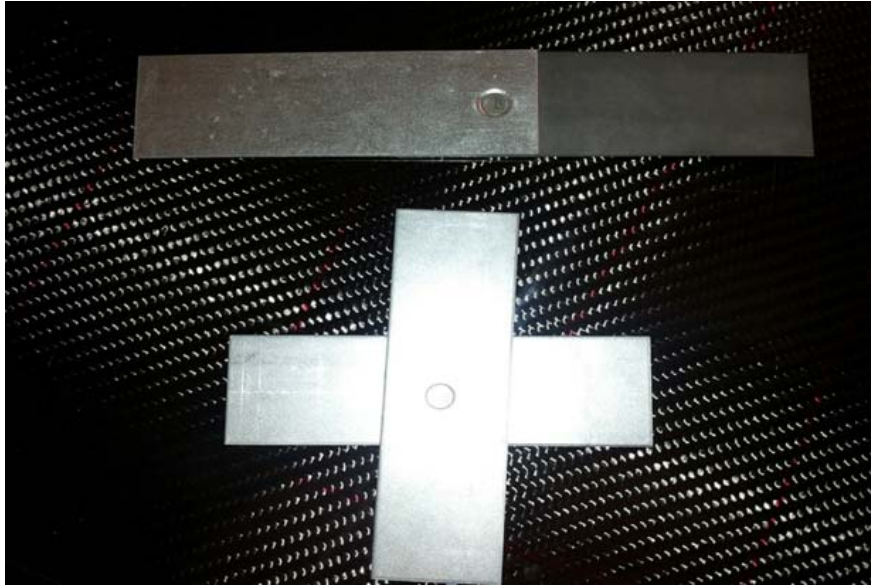


Bild 12: Provkroppar för skjuv och drag.

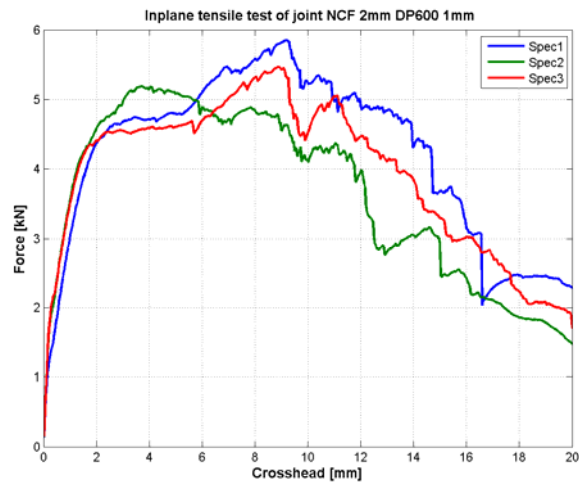


Diagram 1: Dragprov diagram för Stanssida: DP600 1.0 mm- Dynsida: NCF 2.0 mm

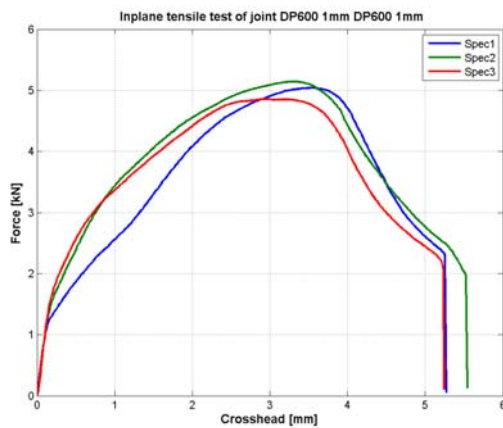


Diagram 2: Dragprov diagram DP600 1.0 mm- Dynsida: DP600 1.0 mm

Resultat visar från den statiska provningen att vid användning av nit/plugg förband så tvingas förbandet att gå i skjuv och pga den goda låsningen av niten i pluggbrickan förhindras förbandet att gå till fläk. Detta får till följd att det som blir begränsande hållfasthetsmässigt är ingående material. Nit/plugg förbandet kommer att "äta" sig genom det svagaste materialet.

Jämför i ovanstående diagram ser man att i nit/pluggförbandet håller förbandet last upp mot 15 mm medan för enbart ett nitat förband så håller lasten i 5mm.

Tydligt är att nit/pluggförbandet får ett större energiupptag jämfört med bara ett nitförband. Jämför ovanstående dragprovkurvor.

I stort sett alla materialkombinationer i den uppställda testmatrisen får en fullgod låsning i nit/pluggförbanden som gör att brotten sker i materialen inte i själva nit/pluggförbandet.

6.1.4 Höghastighets provning av /Plugg förband

Då det kom fram intressanta resultat från den statiska provning som indikerade ett högt energiupptag i konceptförbandet nit/plugg utfördes en "höghastighetsstudie" där samma typ av provkropp som användes i de statiska försöken. Proven utsattes för en draghastighet motsvarande 14 m/s (50km/h).

Kombinationen som valdes att studeras i denna höghastighetsstudie var de två stålvarianterna 1 mm DP600 och 1 mm DP100 dessa mot 2 mm tjockt NCF.

Provresultat visar att förbandet nit/plugg håller sig intakt och begränsningen blir ingående material som nit/pluggförbandet skär sig genom.

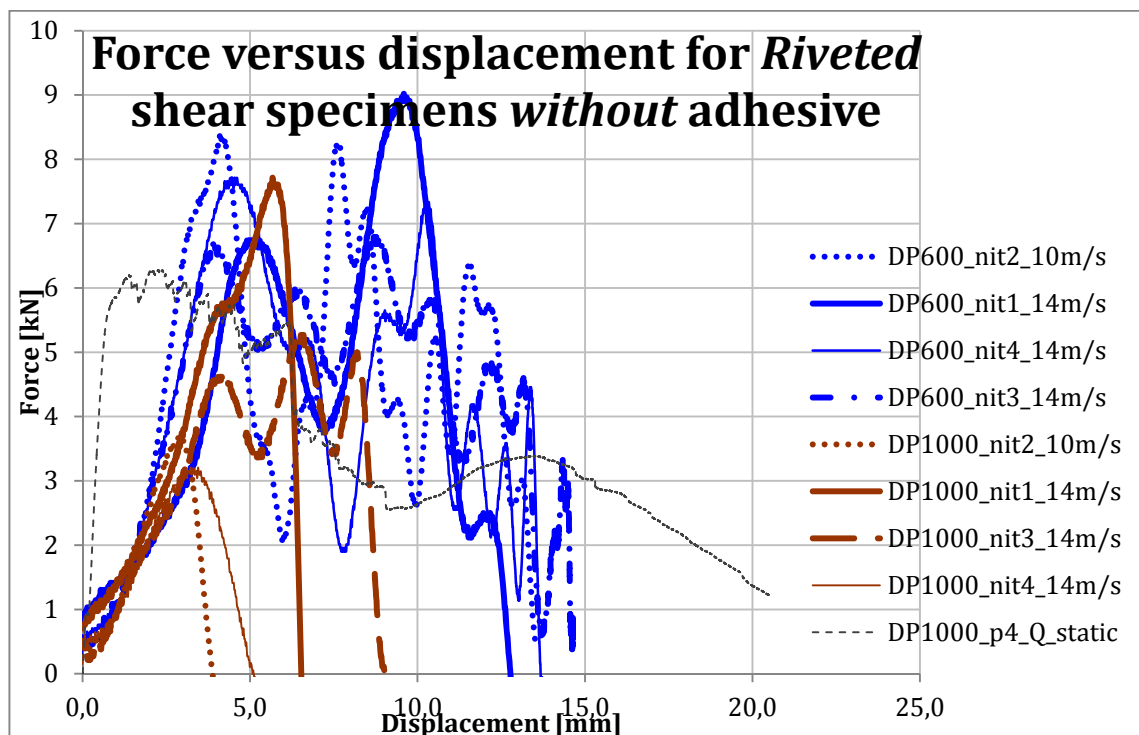


Diagram 3: Höghastighetsprovning av Nit/plugg förband av stål och Kolfiberkomposit

Det gjordes även en studie där nit/pluggförbandet kompletterades med lim. Att kombinera nit/plugg tillsammans med lim är ett troligt scenario i framtida produkter. Då lim och nit/plugg förbandet kan komplettera varandra. I dessa limmade och

nit/pluggade-förband så ökade styrkan trefaldigt. Dock blev det ett annat brottmod då limmet delaminerar NCF:en pga. sin goda vidhäftning till ingående testade material.

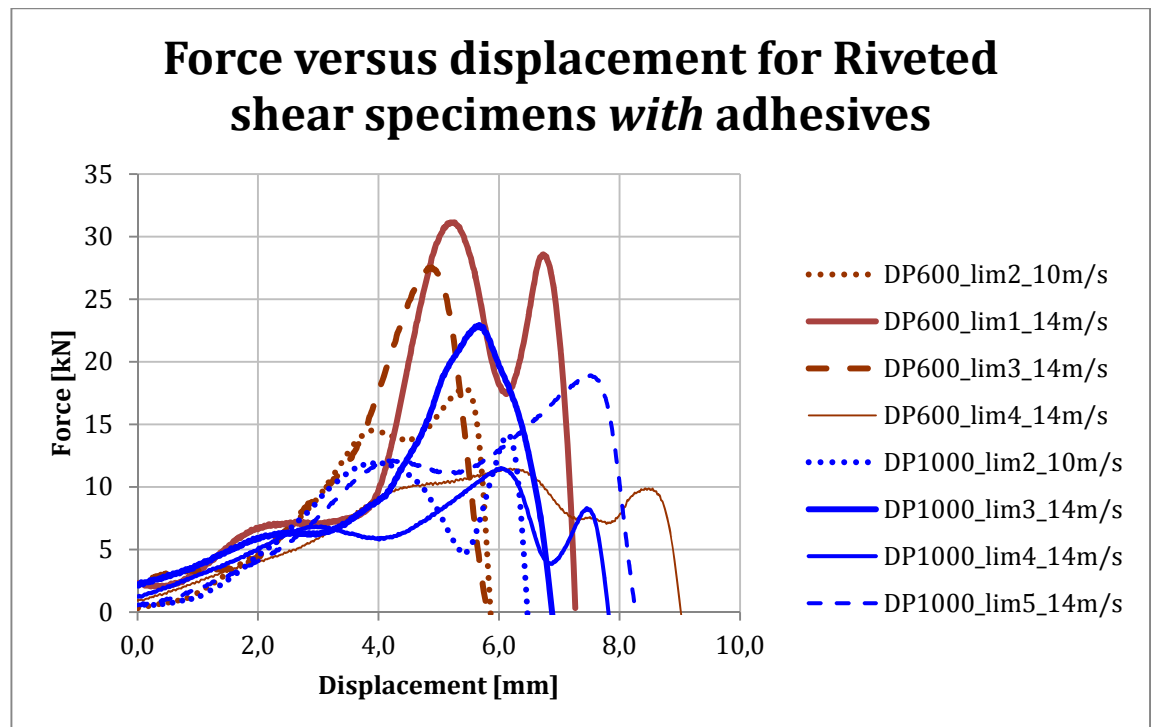


Diagram 4: Höghastighetsprovning av Nit/plugg + limförband av stål och Kolfiberkomposit

6.1.5 3-Punktsböj av /Plugg förband i produktlikapplikation

I projektet valdes det att studera "Softning" av Borstål, DP1500, detta för att möjliggöra nitning i detta material. Resultat från softningsprocessen summeras under rubriken "Softning av Borstål och dess geometripåverkan på komponent".

Deltagande projektpartners utförde en hållfasthetsstudie där det valdes att 3-punktsprova hattprofiler. Dessa provkroppar bestod av två delar. En hatt i Borstål ,DP1500, och locket i kolfiber eller aluminium. Fogningen var ett nit/pluggförband med olika delning, CC 40 och 80mm.



Bild 13: Försöksupställning av 3-punktstestning av hattprofil.

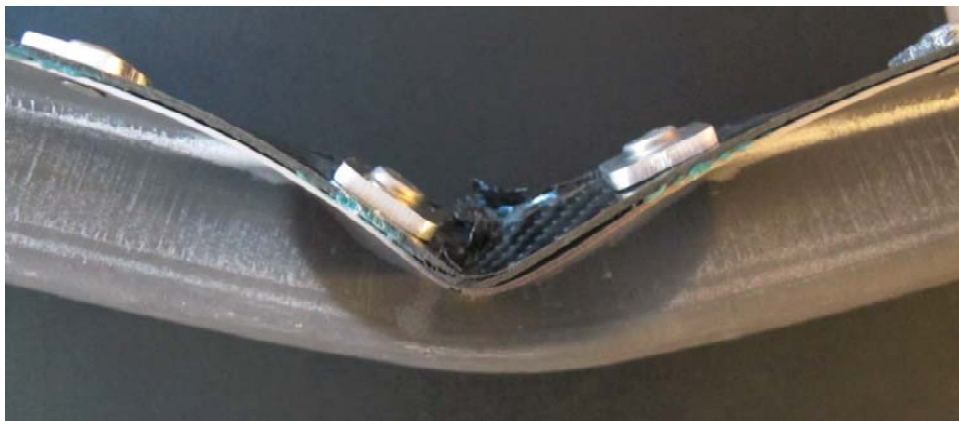


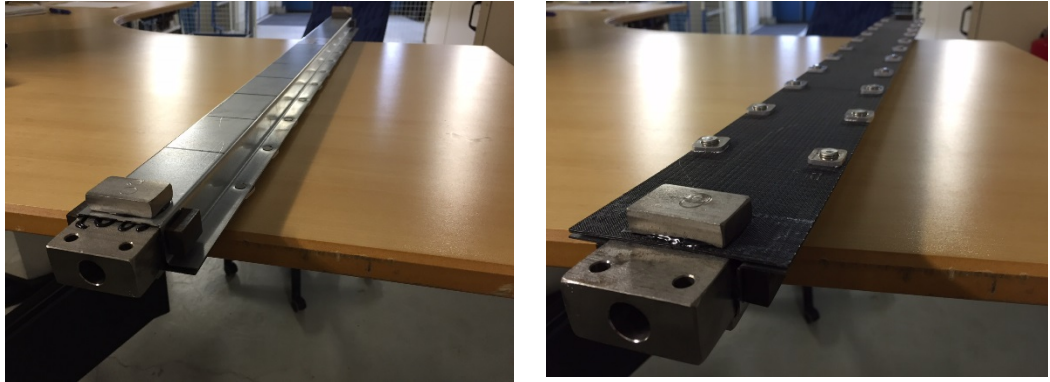
Bild 14: Närbild av hur balken deformerats efter belastning.

Nit/plugg förbanden höll sig intakta under provningen. Provbalkarna vek sig på samma vis oberoende nitdelning.

6.1.6 Utmattning av Nit/Plugg förband i produktlikapplikation

Provning av stål- och kompositbalkars vridstyvhet har genomförts i en utmattningsrigg på ytbehandlingscentrum, på Volvo Car Corporation i Torslanda. Provkropparna, med en längd på 1000 mm, är hattprofilbalkar och är sammanfogade med punktsvets respektive stansnit med pluggbricka. Kompositbalkarna har ”hatt” i stål samt lock i kompositmaterial och är sammanfogade med stansnit och pluggbricka med 80 mm delning mellan fogpunkterna.

Varje provkropp har körts 2 100 000 cykler i utmattningsriggen, eller tills dess att balken gått sönder, och med en last på antingen +/- 45 Nm, +/- 35 Nm eller +/- 100 Nm.



Bilder 15 och 16: Utmattningsprovkropp bestående av hatt 1mm i stål, DP600, samt med 2mm NCF (kolfiberkomposit).

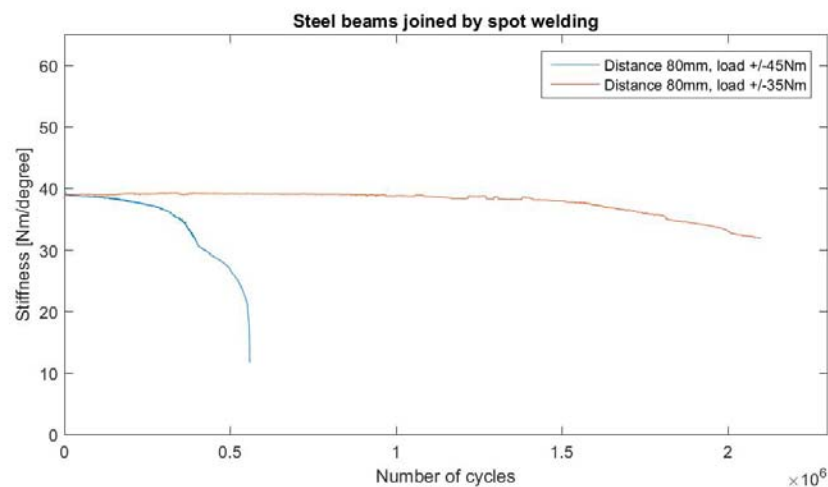


Diagram 5: Svetsad stål balk vridstyvhet plottade mot antalet cykler.

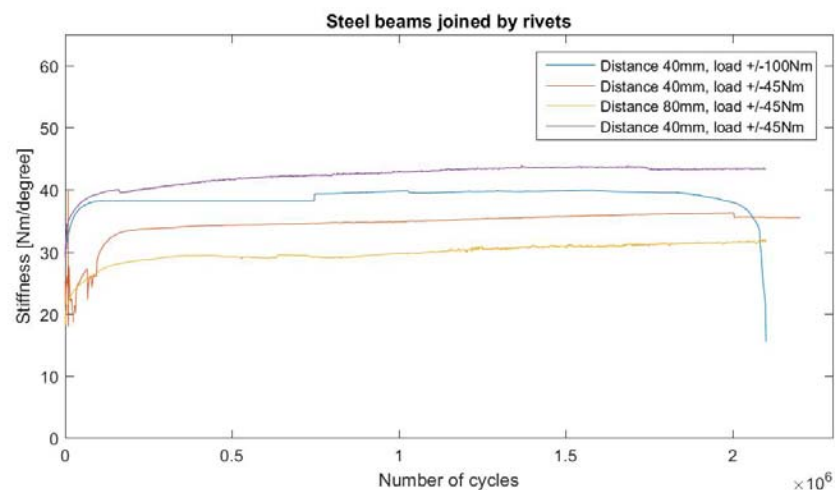


Diagram 6: Nit/pluggade stål balkars vridstyvhet plottade mot antalet cykler.

6.1.7 Korrosionsutvärdering

Konceptidén bygger på att kombinera icke kompatibla materialkombinationer som skall fogas samman med stansnit. Materialkombinationerna är inte bara svåra att forma i själva nitprocessen utan de har även helt olika elektropotentialer vilket kommer vara en utmaning för att undvika galvanisk korrosion i dessa nit/pluggade förband.

Det finns tre vägar för fukt att komma in i förbandet och orsaka korrosion.

1. Mellan pluggbrickan och förbandsmaterialet på den sk dynsidan.
2. Mellan nitskallen och förbandsmaterialet på den sk stansstidan
- 3 Mellan de två materialen som fogas samman.

Det är mellan de två materialen som korrosionsutbredningen kommer vara som störst. Därför är det viktigt att ha en separator i form av exempelvis lim mellan material som har helt olika elektropotentialer.

Om förbandet kommer beläggas med ElektroDoppfärg (ED-färg) kommer denna täta i viss mån mellan nitskalle och stanssidans material samt mellan plugg och dynsidans material.

Resultaten från studien har givit input för att ta frågan om korrosion vidare hur detta ska beaktas i multimaterialförband. Exempelvis hur kan fästelement beläggas för att undvika en galvanisk korrosion?

I studien kunde ingen korrosionspåverkan på själva niten påvisas.

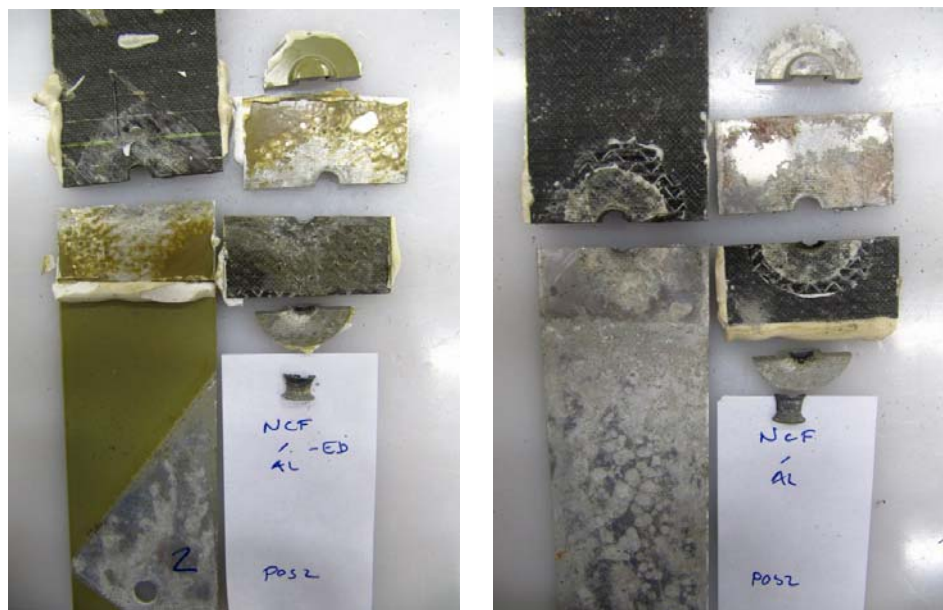


Bild 17 och 18: Till vänster har förbandet genomgått ED-behandling . Till höger har förbandet ej ED-Behandlats. Se skillnad i korrosionsangrepp på metallen när förbandet ej har ED-behandlats.

6.1.8 Softning av Borstål och dess geometripåverkan på komponent.

I initialskedet av projektet var tanken att studera en ny typ av nit som skulle fungera att slå genom fullhärdat borstål. Dock fick denna idé stryka på foten då niten ej fanns i tillräcklig mängd för att kunna utvärderas. Projektet valde då gå mot idén att "Softa" borstålet för att kunna slå en stansnit genom. Projektet tog fram softnings parametrar för laser för att kunna nå en hårdhet som möjliggjorde stansnitning i fullhärdat Borstål.

Viktigt är att nitningen sker precis i den softade punkten annars kommer stansniten att kantra och dess ben kommer inte fläkas ut på ett kontrollerat sett och en slutlig låsning mellan nit/plugg kommer blir då undermålig.



Bild 19: Nit som kantrar och skapar obefintlig låsning i pluggbrickan.

Projektet studerade var det är mest effektivt och troligt en lasersoftning skall ske i en produktionslinje. Då laserutrustning är dyr och kräver mycket kringutrustning som skydd och därmed är kostsam förslås det att softning sker i samband med exempelvis laserrenskärning.

Dock bör det betänkas att den softade punkten får någon markering i samband med softningen detta för att garantera att niten slås i denna punkt och inte utanför.

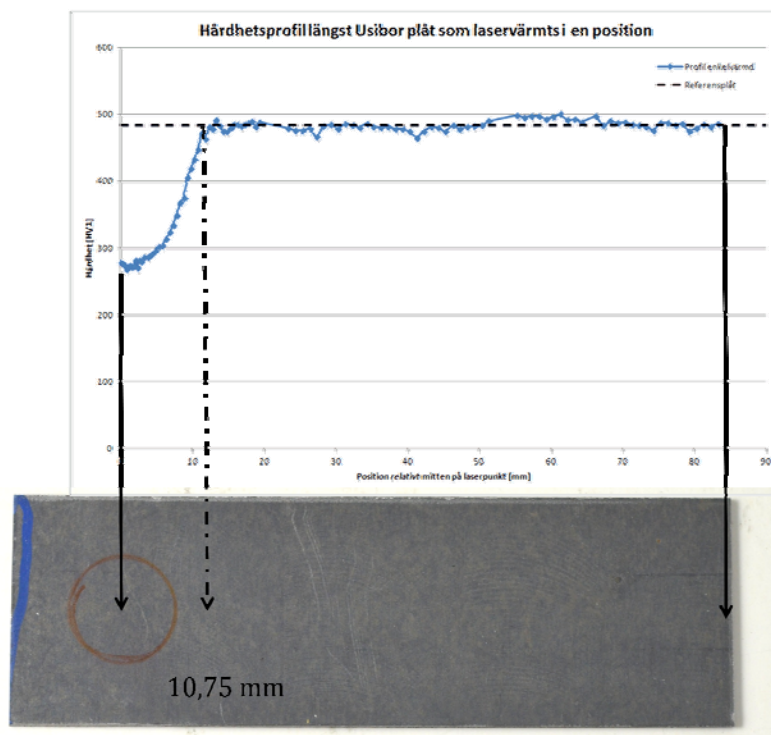


Bild 20: Hårdhet i enkelpunktad Borstålskupong

Projektet kunde konstatera att en punktvis avhårdning ger möjlighet att stansnita i fullhårdat Borstålsmaterial och att den avhårdade zonen är mycket begränsad. Genom att sätta en laserpunkt i materialet avhårdas det och man uppnår en hårdhet som är jämförbar med vanligt formbart stål.

Förslaget från projektet var då att detta skulle utredas i samklang med ett initierat examensarbete med inriktning på att se om man med simuleringsverktyget RD&T kan optimera en sekvens som ger minsta möjliga globala geometripåverkan på en detalj. Detta examensarbete återfinns som en av bilagorna i rapporten.

Arbetet med att förutse geometripåverkan på detalj med hjälp av RD&T resulterade i ett papper och konferensbidrag på 6th CIRP Conference on Assembly Technologies

Generated with ATOS Professional V7.5 SR2

swerea|IVF

A-pillar nr:6 Deviation before and after laser treatment

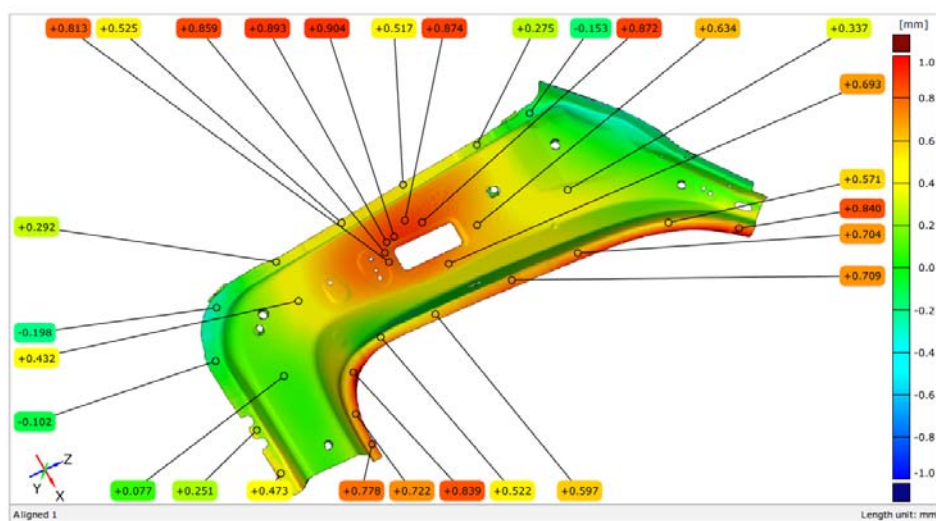


Bild 21: Färgkodning av geometriavvikelse efter lasersoftning (före-efter)

6.1.9 Simulering Optimering av nit

Studien visar att numeriska simulering av stansningsprocessen kan göras för olika materialkombinationer.

Jämförelse mellan experimentella resultat och simulerade resultat visar rimlig noggrannhet för en förutsägelse av inställningen processen för stansnit både vad gäller nitkraft och förutsägelse av en delaminering av kompositen.

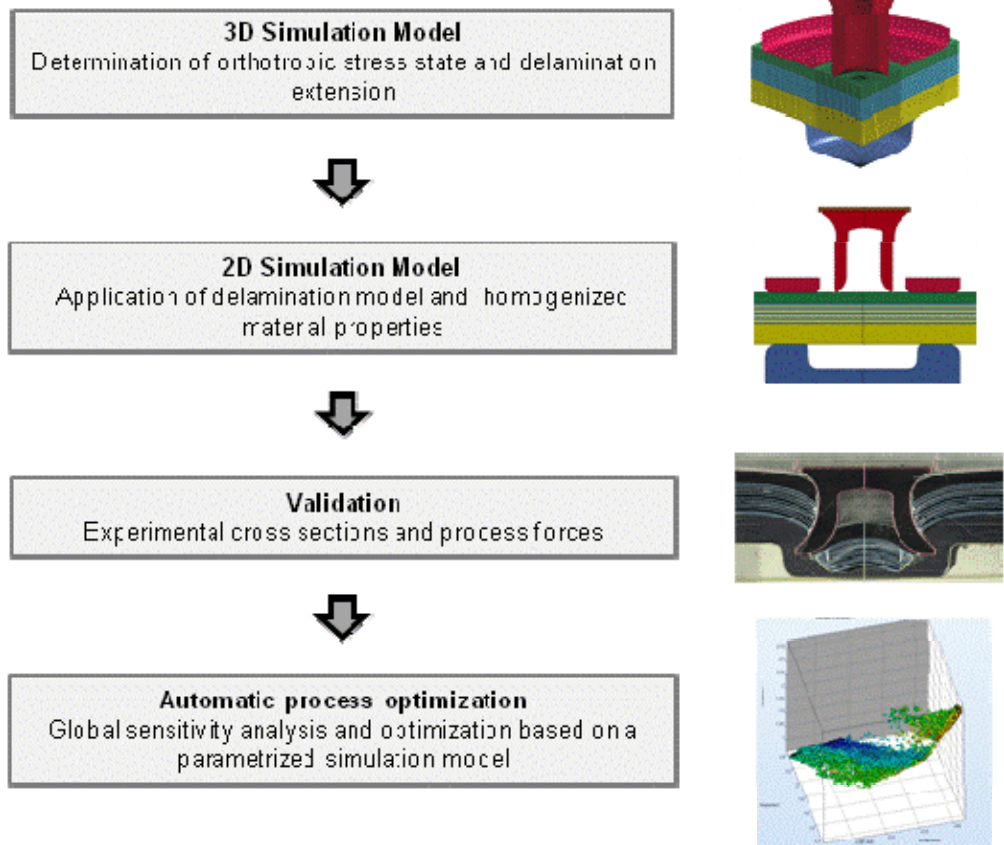


Bild 22: Beskrivning av sekventiell simuleringsprocess för optimering av Stansnit.

Optimering av stansnitningsprocessen kräver definitioner av olika geometriska konstruktionsvariabler och lämpliga responsvariabler, som sedan kan resultera i en optimerad design för nit för givet material. Syftet är att hitta värden för konstruktionsvariabler som minimerar svarsfunktionen. Sammanlagt valdes åtta olika designvariabler som parametriserades med formvariabler i Hypermesh. Alla designvariabler begränsas av övre och nedre gränser, men kan varieras godtyckligt inom detta område.

Responsvariablerna finns markerade i nedanstående bild till vänster.

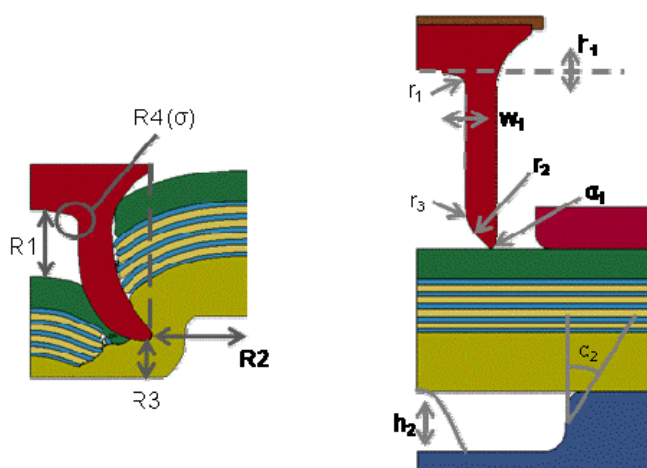


Bild 23. Responsvariabler och parametriserade designvariabler.

6.1.10 Pluggutformning

Projektet har studerat hur pluggutformning, dvs pluggbrickan, kan se ut och hur detta påverkar processen och det slutliga hållfasthetsresultatet.

Efter att testa olika material och legeringar visade resultat hur viktigt det är att ha ett duktilt material i pluggbrickan som kan skapa en bra låsning mellan nit och pluggbricka.

Tjockleken på pluggbrickan kommer påverka hur väl låsningen blir till nitbenen. Tjockleken på pluggbrickan påverkar materialets förmåga att flyta ut i dynan under själva stansnitningsoperationen.

Projektet har studerat utformningen av brickan och diskuterat dess form ur processbarheten. FMEA visar att det troligtvis är att föredra en kantig bricka istället för rund då dessa kantiga brickor kan matas säkrare och robustare fram till dess position i nitögonblicket.

Resultat visar att tillverkningsmetod av brickan kan påverka det slutliga nitresultatet. dvs om niten laserskurits eller stansats fram. Värmen från dessa operationer kan påverka pluggmaterialet och i vissa fall fås en härdande effekt som gör att niten inte kan låsa i den önskade duktila brickan

Vidareutveckling av pluggbrickan måste ske i ett efterföljande projekt som har siktet inställt på applikation (Produkt) och en förstående implementering. I detta projekt har dock konceptet tagits fram och studerats.



Bild 24: Kantigbricka och brickans storlek och dess påverkan på hållfastheten.

6.1.11 Sprickpropagering i komposit orsakad av nitprocessen

Det är inte brukligt att stansnita genom ett kompositmaterial detta då om kompositmaterialet befinner sig på dynsidan kommer stansniten inte kunna låsa i detta material. Därför undersöktes idén med plugg-konceptet då tanken är att pluggbrickan ska skapa en låsning med niten.

Niten kommer skära genom bl.a. komposit material som består av lager med kolfiberbuntar vilka det finns ett sprött matrismaterial. Om det initieras en spricka i matrismaterialet orsakat av niten vid dess appliceringstillfälle så kan detta orsaka total delaminering när förbandet utsätts för belastning.

Resultat visar att det uppstår mycket små sprickor i matris material vid nitprocessen dock kan dessa förbises då de inte verkar propagera vid belastning. Detta resultat öppnar upp att använda pluggkonceptet även för kompositmaterial vilket var en omöjlighet innan plugg-projektets start.

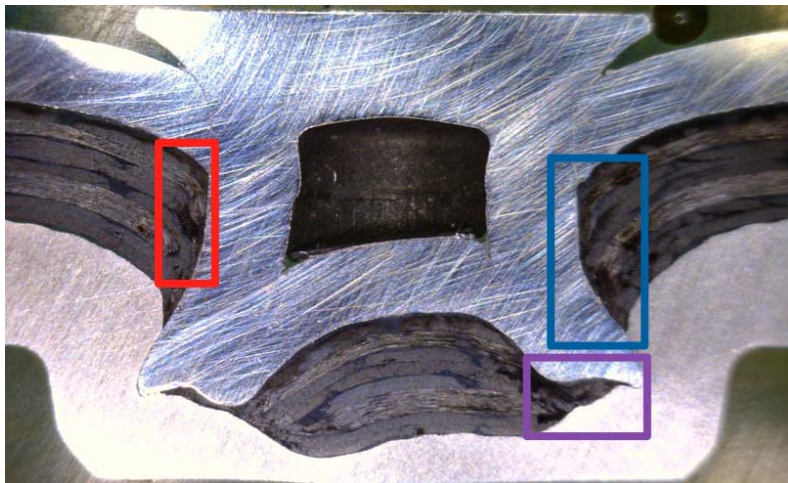


Bild 26 : Referens obelastad fogpunkt

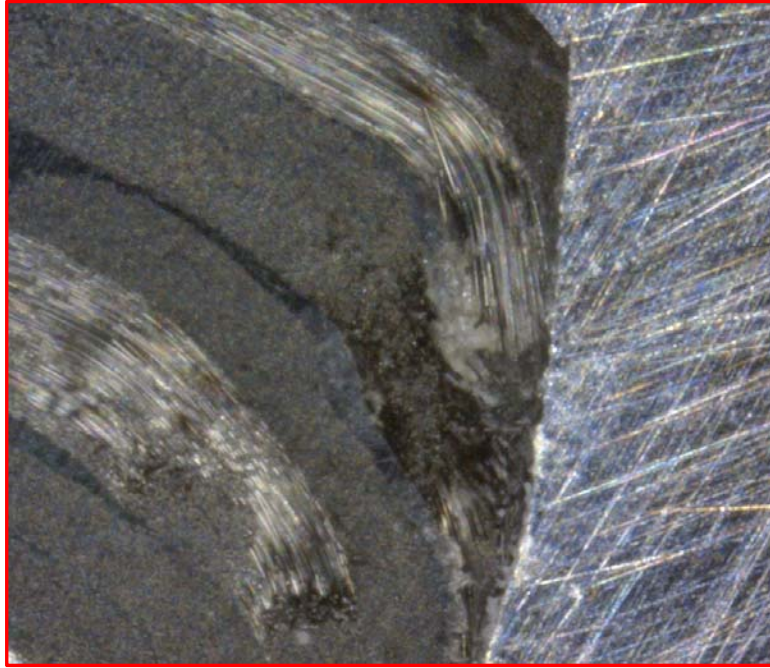


Bild 27 : Skador i kompositen orsakade då niten appliceras. Fibrerna krossas i interfacet mellan nit och komposit.

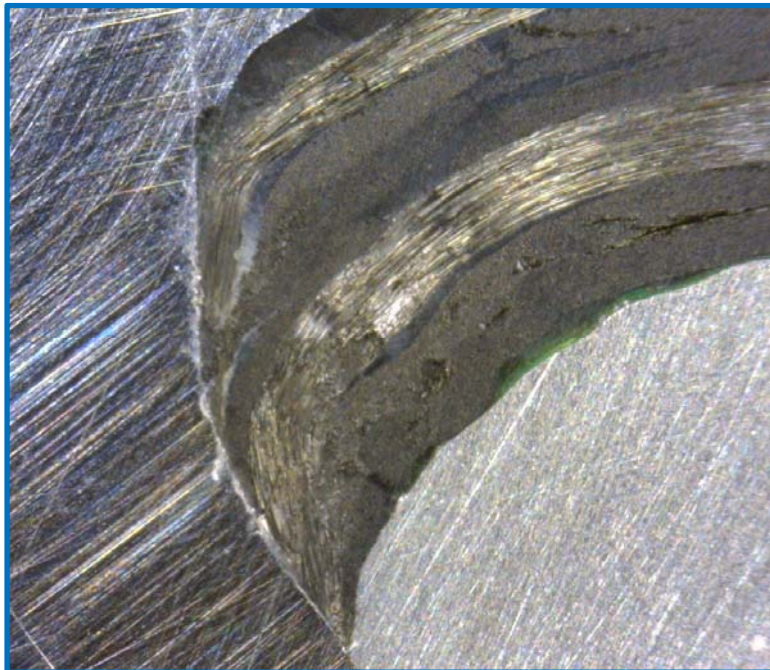


Bild 28 : Skador i kompositen orsakade då niten appliceras. Skada mellan lager av komposit.



Bild 29: Krossad komposit i botten av nit/plugg-förbandet

6.2 Måluppfyllelse

Projektets mål var att utveckla ett koncept för en fogningsmetod för icke formbara material i kommande multimaterialprodukter. Tanken var skapa ett mekaniskt förband genom att i en vanlig stansnitningsprocess tillföra en formbar bricka (plugg) på dynsidan.

Vid projektavslut har projektet visat att konceptet för att använda stansnitning tillsammans med plugg fungerar. Detta med befintliga nitutrustningar. Dock behöver ett pluggmatningssystem tas fram för implementering. Resultaten öppnar för att kunna foga eller fixera konstruktioner i multimaterial på ett effektivt sätt.

För uppsatta mål i ansökan har följande mål uppfyllts.

M1 Materialmatris och komponenter/delsystem har tagits fram

M2 Aktuella materialkombinationer har testats med nit/pluggkonceptet

M3 Provkroppar för test av materialmatris testad och utvärderad

M4 Koncept för Pluggutformning

M5 Teknisk lösning för matning, applicering och positionering av plugg är utvärderat.

M6 Applicerad Limgeometrins påverkan i samverkan av stansnitning

M7 Grundläggande processparametrar för nitprocessen utifrån materialkombinationer

M8 Förslag på optimal nitgeometri för aktuella materialkombinationer

M9 Testresultat av fogning i produktlik applikation

M10 Beskrivning av robusthet för fog (under process och produktlivscykel). Detta genom statistik-, utmattnings- och korrosionsprovning samt sprickpropagering i kompositmaterial.

M11 Beskrivning av lastfördelning mellan lim och nit/plugg i ett förenklat förband

M12 Process FMEA som beskriver risker och åtgärder om Pluggprocessen ska införas

M13 Patentanalys som visar att metoden ej patenterbar men ej heller enkelt kopierbar.

M14 Slutrapport och tekniska rapporter. 15 st. teknisk rapporter har tagits fram

M15 Info spridning om projektet genom Konferenser och Papers och artiklar i tidskrifter

De mål som inte nåddes fram till i projektet var

M16 Business Case och Energikartläggning. I initialskedet fick projektet läggas om och utveckling av utrustning byttes ut mot arbete för softning av höghållfast stål innan nitning.

M17 Kommersialiseringsbehov är beroende av verkliga case. Nu när konceptet är utvecklat kan detta vara en naturlig del i fortsättningsprojekt. Spridning och publicering

6.3 Kunskaps- och resultatspridning

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. En större öppen avrapportering är planerad under hösten 2016 hos projektdeltagande företag. Projektet har spridit kunskap om att konceptet att kunna använda stansnitning i "nya" materialkombinationer. Projektet har producerat ett konferenspapper som presenterats på CAT 2016. Projektet har haft ett examensarbete som avrapporterats på Chalmers och öppet för deltagande projektpartners. Resultaten från projekten ska sammanställas för att kunna skicka in konferensbidra för att sprida idén om det utvecklade konceptet med Nit/Plugg. Detta planeras ske under hösten 2016 / Våren 2017
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 TRL-nivå 4 till en TRL-nivå 6-7. I Plugg projektet har simuleringsansatsen varit att genom en parameterstudie som visat vilka variabler som påverkar nitgeometrins responsvariabler. Detta angreppssätt diskuteras att gå vidare med inom utlysningar inom ex. Lighter-call.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Konceptet med Nit och plugg öppnar upp för att kunna välja materialkombinationer friare i fordonsdetaljer. Detta kan leda till produktutvecklingsprojekt då en "ny" fogmetod kan stå tillbuds som ett komplement till limning
Introduceras på marknaden		Det återstår en bit innan metoden kan introduceras på marknaden. Det som saknas är en samverkan med matning /placering av pluggbricka i samband med nitoperationen. Detta måste studeras och utvecklas för att komma till en implementerbar metod.
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut		Nej

6.4 Publikationer

Projektet har arbetat med att avrapportera resultat i rapportform . Plugg-Projektet har resulterat i 15 stycken tekniska rapporter.

Rapport nr1: Materialval Screening

Ola Albinsson, Fredrik Wandebäck Swerea IVF

Rapport nr2: Rivet Selection and Joint Validation

Fredrik Wandebäck, Swerea IVF, Paul Bartig, Stanley Engineered Fastening

Rapport nr3: Dragprovning av materialmatrisLokal

Ola Albinsson, Fredrik Wandebäck Swerea IVF

Rapport nr4: Lokal avhårdning av borstål med laser en förstudie

Ola Albinsson, Fredrik Wandebäck Swerea IVF

Rapport nr5: Geometry Effects of Laser Tempering in Boron Steel before Self Pierce Riveting

Soffia A. Gunnarsdottir & Alejandro Rodríguez Basurto

Rapport nr6: Stansningsprocessen

Stefan Hansson VCBC

Rapport nr7: Utveckling av pluggprocessen Stansningsprocessen

Ola Albinsson, Fredrik Wandebäck Swerea IVF

Rapport nr8: Stress elongation relations for DOW BETAMATE 2098

Tobias Andersson HiS

Rapport nr9: Korrosion

Ola Albinsson, Fredrik Wandebäck Swerea IVF

Rapport nr10: High speed tensile testing of self-piercing rivets with extra plug

Fethi Izerhab, Volvo AB

Rapport nr11: 3-punkts provning av Borstålsbalkar fogade med Plugg-koncept.

Håkan Andersson Gestamp Hardtch

Rapport nr12: Self piercing riveting, process simulation

Michael Machens Swerea IVF

Rapport nr13: Experimental damage initiation and propagation in composite and numerical evaluation of stresses

Konstantinos Giannadakis och Mohamed Loukil, Swerea SICOMP

Rapport nr14: Simulation of single lap joints

Tobias Andersson HiS

Rapport nr15: Utmattningsprovning Hattprofiler

Fredrik Billskog VCC

Alla ovanstående rapporter är tillgängliga hos projektledaren förutom Rapport nr5 som endast finns tillgänglig för projektdeltagarna.

Projektet har bidragit med ett Paper som presenterades på konferensen 6th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS). Titeln på Artikel är "Towards Simulation of Geometrical Effects of Laser Tempering of Boron Steel before Self-Pierce Riveting"

Examensarbete " Geometry Effects of Laser Tempering in Boron Steel Before Self-Pierce Riveting" utförd av Soffia Arnþrúður Gunnarsdóttir och Alejandro Rodríguez Basurto

7 Slutsatser och fortsatt forskning

Konceptet med pluggbrickan har visat sig hålla, inte bara ur ett hållfasthetsperspektiv utan även som en möjlig process för att foga samman multimaterialkombinationer på ett nytt sett.

Projektet jobbar målmedvetet och systematiskt för att få svar på frågor som uppstod som kunde pröva konceptet.

Studier rörande hållfasthet, robusthet, nitval, korrosion, simulering och geometriasppekter beaktades. Då frågorna var mångfacetterade så skapades det behov av att samla olika kompetenser inom projektkonsortiet. Allt från de mångåriga praktiska erfarenheterna från stansnitning i produktion till de ny djärva angrepp för att kunna simulera nitprocessen i nya material.

Projektet har leverat resultat som gör att idén men konceptet håller och nått en TRL-nivå 4.

Men för att nå en implementering av ett nytt processkoncept krävs dock mer arbete. Därför kommer med delar av projektkonsortiet tillsammans med nya projektpartners skapa en fortsättning för att ta idén vidare i TRL-trappan till en nivå av 6/7

Fas	TRL	Kännetecken för uppnådd nivå	Exempel på den mognadsnivå som ska uppnås
Införande	9	Produkt används med framgång (verifierad produktanvändning)	Produkten har introducerats på marknaden och tekniken har visat sig fungera i verklig användning
	8	Det komplett system är validerat	Test- och demonstrationsfasen är avslutad till potentiella kunders belåtenhet. Tekniken har funnit sin slutliga form, prestanda är bekräftade.
Pilot- och demonstratorprojekt	7	Demonstration i driftsmiljö	Tekniken har visat sig fungera i tester med prototyp- eller demonstrationsfordon i verklig driftsmiljö. Överlämning till produktutveckling.
	6	Demonstration i relevant miljö	Systemet eller ett större delsystem har testats under verklighetsliknande förhållanden (t ex på provbana).
	5	Teknisk validering i relevant miljö	Komponenter eller delsystem har testats under verklighetsliknande förhållanden (t ex testrigg eller testfordon). Teknikens livskraft verifierad.
Teknisk forskning	4	Teknisk validering i laboratoriemiljö	Komponenter eller delsystem har testats. Konzeptets relation till andra system (t ex i ett komplett fordon) har bestämts.
	3	Experimentella bevis på konceptets potential föreligger	Analytiska eller experimentella studier har genomförts. Karakteristiska drag hos tekniken är kända.
	2	Teknikkoncept formulerade	Möjliga applikationer har identifierats. Grundläggande principer studeras. Förfinad förutsägelse av prestanda.
Grundforskning	1	Grundläggande principer observerade	Vetenskapliga resultat finns som tyder på en möjlig praktisk tillämpning. Prestanda kan uppskattas.

Bild 30: Vinnovas Bedömning utifrån TRL. Teknikmognadsgrad

PLUGG II - från koncept till industriell fogningsteknik

Målet kan vara att utveckla en effektiv process för mekanisk fogningsteknik byggt på pluggmetoden för hybridfogning i multimaterial. Projektet ska ta fogningstekniken byggt på pluggmetoden från teststadiet i riggar och utvärderingsutrustningar till en tillämpar processteknik inklusive en demonstrator för hur en maskin/cell för pluggfogningstekniken kan se ut.

Syftet kan vara 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.

Ett fortsättnings projektet kan ha följande WP:n

- WP1 Processscenarier för olika materialkombinationer och förbandstyp
- WP2 Val av democase och DFM
- WP3 Designparametrar – PLUGG ur ett konstruktionsperspektiv Hållf, flänsbredd, delning etc
– ge input till framtida produkter
- WP4 Framtagning av pluggutrustning
- WP5 Uppbyggnad av robotstation/democell
- WP6 Teknisk validering av koncept och process (valda democase)
- WP7 PLUGG-liknande applikationer (stansmuttrar mm)
- WP8 Demonstration i relevant miljö (TRL6 för överlämning till TRL7)
- WP 9 Projektledning

8 Deltagande parter och kontaktpersoner

Problem och frågeställaren i har varit Volvo Personvagnar och Swerea IVF AB har varit projektledare och koordinator . Övriga projektdeltagare i Plugg-projektet har varit Stanley Black & Decker Svenska AB (Emhart), Gestamp Hardtech AB, Högskolan i Skövde och Swerea SICOMP.

Projektet pågick under under 2,5 år, med start 2013-09-01.

Kontaktpersoner från projektkonsortiet.

- **Swerea IVF**
Ola albinsson, Fredrik Wandebäck, Michael Machens och Peter Ottosson
- **VCC och VCBC**
Johnny K Larsson, Stefan Hansson, Fredrik Billskog och Magnus Wågberg
- **Gestamp Hardtech AB**
Håkan Andersson, Daniel Berglund och Hans Gedda
- **Högskolan i Skövde**
Tobias Andersson och Ulf Stigh
- **Swerea SICOMP**
Renaud Gutkin, Mohamed Loukil och Konstantinos Giannadakis

Kontaktpersoner Examensarbete.

Examinatorer

- **Chalmers produkt-och produktionsutveckling**
Richard Söderberg och Kristina Wärmefjord

Examensarbetare

- *Soffia Arnþrúður Gunnarsdóttir och Alejandro Rodríguez Basurto*



swerea|IVF swerea|SICOMP

