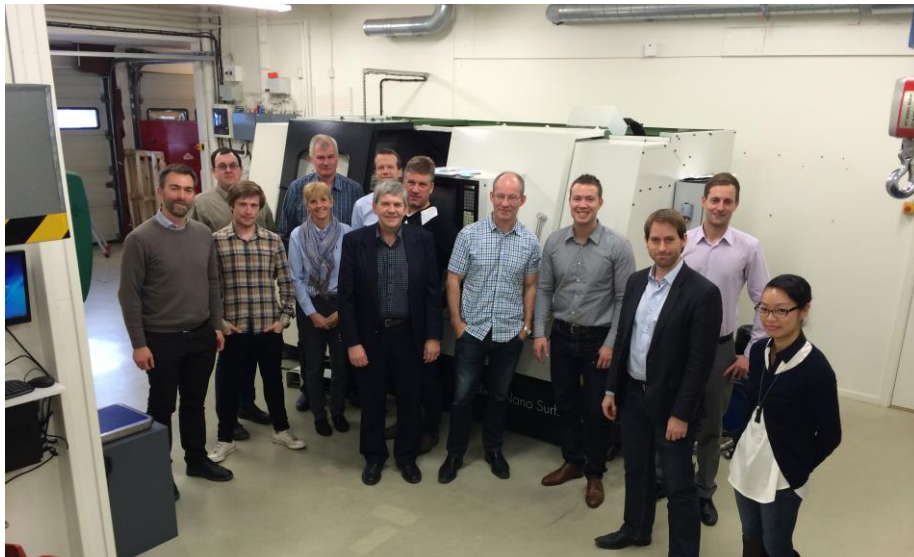


Effektivt produktionssystem för invändig lågfriktionsbehandling av komponenter



Författare: Jonas Lundmark
Datum: 2017-08-31
Projekt inom: Hållbar produktion

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary.....	4
3 Bakgrund.....	5
4 Syfte och frågeställningar	6
5 Mål	6
6 Metod.....	7
6.1 Behandling av kamföljarrullar	7
6.2 Behandling av Volvos vipparmar	8
6.3 Verifiering av behandlingsresultat	9
6.3.1 Friktionstester av kamföljarrullar	9
6.3.2 Ventilmekanismtester av Volvorullar och vipparmar	9
6.3.3 Augerelektron spektroskopi (AES), analys av behandlade Volvorullar	10
6.3.4 Motorprov	10
6.4 Processövervakning med akustisk emission	10
6.5 Korrelation mellan ljusspridningsmätning och traditionella ytjämnhetsmätningar	10
7 Resultat och måluppfyllelse	11
7.1 Kamföljarrullar	11
7.2 Vipparmar	15
7.3 Akustisk emission.....	16
7.4 Korrelation mellan ytjämnhet och Aq-värde	16
8 Spridning och publicering	17
8.1 Kunskaps- och resultatspridning	17
8.2 Publikationer.....	17
9 Slutsatser och fortsatt arbete.....	18
10 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	19

1 Sammanfattning

Behandling av komponenter med Triboconditioning kan ge signifikanta miljövinster i form av minskad bränsleförbrukning och minskat slitage, detta har visats i FFI projektet "Forskning inom konkurrenskraftig produktion av lågfrikionskomponenter" som avslutas i december 2014. För att kunna gå vidare och industrialisera processen inom fordonsindustrin behöver processen säkras så att den är robust och stöds med kvalitetssäkringsmetoder och kvalitetssystem som är lämpade för serieproduktion. Målsättningen med detta projekt har därför varit att möjliggöra för fordonsindustrin och dess underleverantörer att införa en kvalitetssäkrad process för invändig lågfrikionsbehandling i produktion.

Ett nytt hydrauliskt verktygskoncept som är förlåtande för toleransvariationer hos inkommande komponenter och som möjliggör införande av processen i standardmaskin har tagits fram och verifierats.

Verktygskonceptet innebär att man som leverantör av Triboconditioning inte är tvungen att göra omfattande investeringar i specialmaskiner eller vara hänvisad till en specifik maskinplattform. En pilotbehandling med Triboconditioning om totalt 1139 kamföljarrullar från Volvo har utförts i en CNC-styrd standardmaskin hos ANS i Uppsala. Förutom att verifiera det nya verktygskonceptet så har syftet med pilotbehandlingen varit att mäta och utvärdera processens kapabilitet och stödja kravspecifikation mot slutkund. En annan viktig aspekt är att verifiera lämplig mätmetodik för pilotinstallation och produktion och därför har en mängd olika parametrar följts under pilotbehandlingen. Resultat från behandling av kamföljarrullar och vipparmar har verifierats genom olika riggtester, analyser samt i motorprov hos Scania.

Mätningar utförda av Gnutti konstaterar att rullens geometri påverkas minimalt av Triboconditioning. Uppmätta ytparametrar har reducerats av behandlingen, d.v.s. ytorna är slätare, vilket också Volvos motmätningar av ytjämnhet bekräftar, och alla behandlade rullar ligger väl inom dagens kravspecifikation. Processspridningen avseende ytjämnhetsmätning med ljusspridning med hjälp av Optosurf har dokumenterats tillsammans med gränser för Cpk 2.0. Parametern Aq medel har fungerat stabilt och kan rekommenderas för processövervakning. FMEA, kontrollplan och arbetsinstruktioner har använts vid pilotbehandlingen och en mätsystemsanalys har genomförts.

Friktionstester hos Högskolan i Halmstad har visat att behandlade kamföljarrullar har lägre friktion än motsvarande referenser både för Scantias och Volvos komponenter (uppemot 5 gånger lägre friktion vid låga varvtal i Scantias fall). Kvalificeringstester under totalt 1000 timmar i Gnutti Carlos ventilmekanisrigg har visat att behandlade Volvorullar och vipparmar nöts mindre än referenskomponenterna under samma förutsättningar och kommer därför att rekommenderas för motortest hos Volvo. Behandlade kamföljarrullar körs för närvarande i motortest hos Scania och ett första stopp med inspektion har gjorts efter ca 500 driftstimmar med gott resultat.

Processövervakning med hjälp av akustisk emission (AE) har utvärderats av LTU som en del av implementeringsarbetet för Triboconditioning som gjorts i projektet. Resultaten från mätningarna visar att det finns en stark koppling mellan signalen och resultatet från behandlingen vilket gör att AE har potential att styra cykeltiden i behandlingsmomentet individuellt, beroende på inkommande komponents yta istället för att ha en förutbestämd behandlingstid.

2 Executive summary

Triboconditioning can provide significant environmental gains in terms of reduced friction and wear, this has been demonstrated in the previous FFI project ' Research in competitive manufacturing of low friction components' which was completed in December 2014. To be able to industrialize the process in the automotive industry, the process needs to be robust and supported by quality assurance methods and quality systems that are suitable for serial production and which can be used in agreement between subcontractors and end users. The objective of this project has therefore been to enable the automotive industry and its subcontractors to introduce a quality assured process for internal low friction treatment in production.

A new type of hydraulic tool concept which can handle normal tolerance variations of incoming components has been developed and verified. The tool concept has been designed to fit standard machining centers which means that a supplier of Triboconditioning does not have to make extensive investments in specialized machines or have to be referred to a specific machine platform. The tool is currently available commercially through our tool supplier Diahon. Results from the treatment of cam follower rollers and rocker arms have been verified through various rig tests, analyzes and engine tests at Scania. Friction tests of cam follower rollers at Halmstad University show that treated rollers have lower friction than corresponding references for both Scania and Volvo components (up to 5 times less friction at low rpm:s in Scania's case). Qualification tests for a total of 1000 hours in the Gnutti Carlos valve mechanism rig (VM-rig) have shown that treated Volvo rollers and rocker arms exhibit less wear than the reference components under the same conditions and will therefore be recommended for engine tests at Volvo. Treated cam follower rollers are currently running in Scania engine test and a first stop with inspection has been made after about 500 operating hours with good results. In total, 5 x 1000 hours of fired engine tests will be run at Scania where treated components will be removed and replaced according to a replacement program developed by Scania, Gnutti and ANS to be able to follow the degradation of the components during the test.

A pilot treatment with Triboconditioning for a total of 1139 cam follower rollers from Volvo has been performed in a CNC controlled standard machine at ANS. Gnutti Carlo has delivered cam rollers from a 4 week period to ensure that the new tooling system is capable of processing rollers within a normal tolerance distribution of geometry and surface roughness from production. In addition to verifying the new tool concept, the purpose of the pilot treatment was to measure and evaluate the process's capability. Another important aspect is to verify the appropriate measurement methodology for pilot installation and production, and therefore a variety of parameters have been followed during the pilot treatment. The components have undergone geometry and surface measurement before and after treatment at Gnutti Carlo, Optosurf and XRF measurements at ANS, and Volvo has carried out counter-measurement of surface parameters and analysis of the tribofilm. From the results of measurements made by Gnutti, it can be seen that the geometry of the rollers is not affected by Triboconditioning. Thus, the proposal is to maintain the same requirements on the component as before. The measured surface roughness parameters have been reduced by the treatment (verified by both Gnutti and Volvo), i.e. the surfaces are smoother and all treated rollers are well within today's specification, which also opens the possibility to tighten tolerances if desired. During the pilot treatment, re-work has been evaluated by intentionally introducing rollers in the treatment process with rougher surfaces than tolerance. If the treatment did not reduce the surface within the set tolerances, the roller has re-entered the treatment process and was processed a second time. The re-work process has proven to work well and all the rollers treated a second time have been approved e.g. the surfaces were within tolerance. This indicates that the rejection level from the treatment process can be maintained at a very low level.

Process spread of surface roughness measurements with light scattering technique using Optosurf has been documented along with Cpk 2.0 limits. The parameter "Aq mean" has proven to give stable and good results and can be recommended for process monitoring of the Triboconditioning process. Due to the possibility of visualizing the entire surface, light scattering measurement is a good tool for process parameter optimization, first article inspection and for example to analyze components after a tool change. "Aq max" is simultaneously obtained with "Aq mean" and can be used for detecting abnormalities, such as

scratches. FMEA, control plan and working instructions have been used in the pilot treatment trials and a measurement system analysis has been conducted.

Acoustic emission (AE) monitoring has been evaluated by LTU as part of the Triboconditioning implementation work done in the project. The results from the measurements show that there is a strong correlation between the AE-signal and the performance of the treated part. This means that AE has the potential to control cycle time individually depending on the incoming component area, instead of having a predetermined processing time. It can also be used to give an early warning signal when it is time to replace tool ledges due to tool wear.

The results delivered by the project have definitely contributed to get closer to the goals described in the FFI program "Sustainable production technology". Processing of cam follower rollers and rocker arms with Triboconditioning has shown to be able to replace today's solutions, enabling Gnutti Carlo to offer a patented low friction treatment to their customers. Triboconditioning can be used to replace other more expensive and complicated solutions, replace lead containing bearing materials and reduce the losses in mechanical systems which ultimately will reduce the environmental impact. The new tooling system developed in the project has proven to deliver good and robust results and can be used in a standard machine. This reduces investment costs and contributes to the flexibility of the supplier as the machine can be used for other processing along with Triboconditioning. Production thus becomes extremely resource efficient and flexible and can also be implemented by small and medium-sized component manufacturers with limited investment budgets.

3 Bakgrund

I ventilmekanismen hos förbränningsmotorer finns en rad glidlagringar. En sådan är lagringen mellan vipparm och vipparmsaxel, och en annan är mellan kamföljarrullen och dess axel i kamföljaren. Beroende på driftsfall och belastning så kommer dessa lagringar att befinna sig i olika smörjregimer. Speciellt vid start av motorn och vid låga varvtal/höga laster kommer man att ha olika grad av metallisk kontakt i lagringarna. Idag används bronsaxlar, bronsbussningar eller beläggningar med PVD för att hantera den metalliska kontakten och få en fullgod livslängd med acceptabla friktionsförluster. Utvecklingen går mot högre belastningar på ventilmekanismen vilket ökar behovet av att skydda ytor mot friktion- och nötningsrelaterade problem. Start/stopp-teknik finns idag på de flesta moderna bilar och har även introduceras på tunga fordon. Vid start/stopp blir påfrestningarna stora på komponenterna i ventilmekanismen och det kan t ex uppstå problem med s.k. skidding, vilket innebär att kamföljarrullen glider istället för att rulla mot kamaxeln. Resultatet av skidding blir skador på kamaxeln som i värsta fall accelererar och leder till motorhaveri. Det är därför av yttersta vikt att komponenterna i ventilmekanismen har en låg friktion även initialt när motorn startas, innan en oljefilm hunnit byggas upp. En annan trend är användandet av allt tunnare motorolja. Genom att använda en motorolja med lägre viskositet minskar friktionsförlusterna i motorn, men det ställer samtidigt högre krav på komponenterna, då smörjfilmen blir tunnare. För att klara framtida lågviskösa motorolja krävs även här ytor som lättare kan bygga upp en smörjfilm som separerar de glidande ytorna.

Triboconditioning är en ny teknik med extremt stor potential, då den innebär att tåliga lågfriktionsytor kan skapas till låg kostnad, vilket är viktigt både ur ett miljö- och konkurrensperspektiv. ANS inledde sitt samarbete med Gnutti under 2010 och ANS teknik har testats med mycket lovande resultat på Gnuttis produkter. Resultat från tidigare tester visar att en yta som behandlats med ANS metod, Triboconditioning, har lägre friktion än både bronspinne och PVD-beläggning och kostnaden för behandling är lägre.

4 Syfte och frågeställningar

Projektet förväntas resultera i att vi genom forskning och fördjupning inom avancerad tribologi, tekniska ytor och produktionsteknik ska kunna stärka svensk fordonsindustris konkurrenskraft och samtidigt reducera miljöpåverkan från våra tunga fordon. Behandling av komponenter med Triboconditioning kan ge signifikanta miljövinster i form av minskad bränsleförbrukning och minskat slitage, detta har bland annat visats i FFI-projektet "Forskning inom konkurrenskraftig produktion av lågfrikationskomponenter" som avslutades i december 2014. Projektet syftar därför till att möjliggöra för svensk fordonsindustri och dess underleverantörer att införa en effektiv och kvalitetssäkrad process för invändig lågfrikationsbehandling i produktion.

För att kunna gå vidare och industrialisera processen inom fordonsindustrin behöver processen säkras så att den är robust och stöds med kvalitetssäkringsmetoder och kvalitetssystem som är lämpade för serieproduktion och som kan användas i samsyn mellan underleverantörer och slutanvändare.

Triboconditioning är en unik process och det finns idag inte någon annan liknande forskning. Projektets forskningsfrågor innefattar förbättring av processen, ny mätteknik samt verifiering inför industrialisering.

5 Mål

Projektet kommer att ta fram och verifiera ett nytt verktygskoncept för behandling av invändiga hål med Triboconditioning som är förlåtande för normala toleransvariationer hos inkommande komponenter samt mätmetoder för kvalitetssäkring av processen. Verktygssystemet kommer att konstrueras för att passa i standardmaskiner för att underlätta införandet genom minskade investeringsnivåer samt ge ökad flexibilitet. För att kunna visa att komponenterna är korrekt behandlade behövs ny kunskap kring mätteknik. Allra helst en så kallad funktionsmätning men i dagsläget är tribologisk funktionsmätning inte stabil nog för kvalitetsuppföljning i produktion. Därför läggs fokus istället på en kombination av optisk mätteknik och röntgenbaserad XRF. Denna kombination används för att visa att hela komponentytan är behandlad och att den har den kemiska sammansättning som den mekanokemiska behandlingen ska ge. Optisk mätteknik som bygger på ljusspridningsmätning (bland annat Optosurf) används idag av bilindustrin i Tyskland medan svensk industri är van att måttsätta ytstruktur på ritningar med olika R-värden. En korrelation mellan Aq-värdet från Optosurf och R-värden för de invändiga hålgeometrierna är önskvärd för att motmätning skall kunna ske utan tillgång till optisk mätutrustning. För att underbygga metoden vetenskapligt kommer en serie av vinkelupplösta ljusspridningsmätningar göras där effekter av heningsrepor och ytjämnhet analyseras och jämförs med ljusspridningsmodeller för yttopografi.

Behandlingen av komponenter kommer att göras hos ANS i Uppsala. Behandlingsresultat kommer att säkerställas genom olika riggtester, analyser och i slutändan ett fullskaligt motorprov hos Scania. I slutet på projektet kommer en pilotkörning i fulltakt att genomföras som skall visa processkapabilitet och demonstrera konceptet. Riktlinjer för industrialiseringen skall finnas framtagna i slutet av projektet tillsammans med underlag så att Scania och Volvo skall kunna ta beslut om införande av ANS Triboconditioning.

Konkreta projektmål:

- Kompetensuppbyggnad genom publicering av 2-4 vetenskapliga artiklar
- Nytt verktygskoncept för Triboconditioning för invändiga hål
- Triboconditioning kan köras i standardmaskin
- Verifierad och dokumenterad processkapabilitet
- Riktlinjer för industrialisering framtagna för Triboconditioning
- Volvo och Scania har tillräckligt med information kring behandlingsresultat och processkapabilitet för att kunna ta steget och ersätta dagens lösning med en lösning baserad på Triboconditioning

6 Metod

Projektet har i stort sett följt det ursprungliga upplägget från projektansökan med undantaget att projekttiden har förlängts främst pga. problem som uppstod med friktionsriggen vid verifieringstester hos Högskolan i Halmstad. Alla de arbetspaket som finns med i projektplanen har utförts med de aktiviteter som hört därtill och endast mindre justeringar har behövts göras under projektets gång.

6.1 Behandling av kamföljarrullar

Behandling av Volvos kamföljarrullar har utförts hos ANS i en CNC-styrd svarv med ett hydrauliskt verktygskoncept framtagit av ANS, se figur 1.

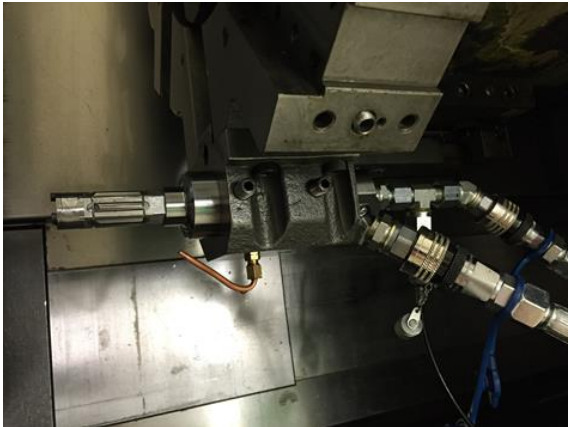


Fig 1. ANS hydrauliskt verktygssystem för invändig behandling av kamföljarrullar.

Från det tidigare FFI-projektet "Forskning inom konkurrenskraftig produktion av lågfriktionskomponenter", där kamföljarrullar behandlades med ett stumt mekaniskt verktyg drogs slutsatsen att en viss flexibilitet behöver finnas i verktyget för att hela rullens inneryta skall kunna behandlas. Alternativet vore att sätta hårdare krav på hålets toleranser vilket skulle leda till ökade kassationer och längre cykeltider. Det nya hydrauliska verktygssystemet tillåter verktygslisterna att följa rullens yta och kan därmed hantera den normala variationen av diameter och form som de inkommande komponenterna har.

Som en del av implementeringsarbetet för Triboconditionig så har pilotbehandlingar utförts där metodologi från APQP (Advanced Product Quality Planning) nyttjats. Målet med pilotbehandlingen är att skapa en förståelse och trygghet kring processens kapacitet, stödja kravspecifikation mot slutkund och öka manufacturing readiness level, MRL. En annan viktig aspekt är att verifiera lämplig mätmetodik för pilotinstallation och produktion. För att i mesta möjliga mån efterlikna produktionsförhållanden har arbetsinstruktioner tagits fram och en mätsystemsanalys genomförts. Riskbedömning har gjorts i form av pFMEA:or som resulterat i kontrollplan för pilotkörningarna. Efter varje körning har förbättringsdiskussioner och dito åtgärder genomförts inför den kommande körningen.

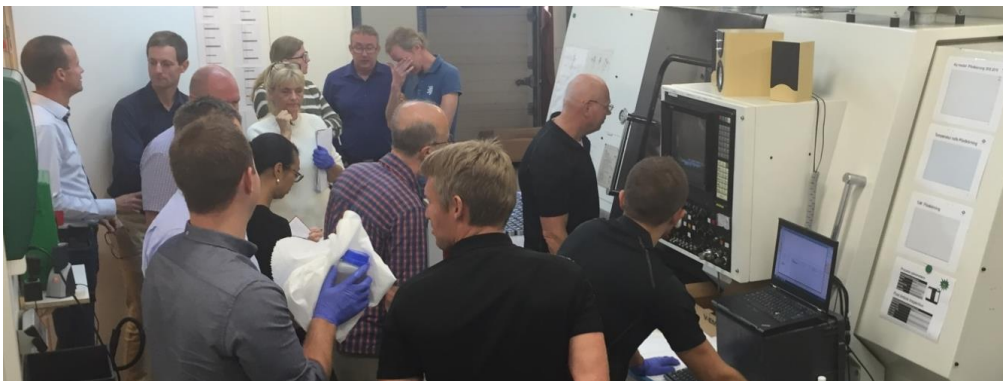


Fig 2. Pilotbehandling hos ANS med deltagare från Volvo, Gnutti Carlo och Scania.

Totalt har över 1139 st av Volvos kamföljarrullar behandlats i tre iterationer med olika fokus. I de två första iterationerna har 100 st rullar vardera behandlats där målet med det första steget var att hitta rätt processparametrar. Vid det andra tillfället så har bland annat möjligheten att göra re-work undersökts och verifierats genom att avsiktligt införa rullar i behandlingsprocessen med grövre ytor än tolerans. Om behandlingen inte reducerat ytan under de satta toleranserna har rullen gått in i behandlingsprocessen igen och bearbetats en andra gång. Vid de två första behandlingstillfällena så har 100% av de behandlade komponenterna genomgått geometriska-, yt- och Optosurfmätningar före och efter behandlingen för att kunna utvärdera resultatet. Resultaten från de tre behandlingsomgångarna finns dokumenterade i rapporten "Resultat från pilotkörning Triboconditioning av kamföljarrullar" som distribuerats i projektgruppen. Vid den avslutande pilotbehandlingen som pågick under totalt tre arbetsdagar så behandlades 939 st av Volvos kamföljarrullar. Komponenterna levererades från Gnutti och var plockade från produktion under en fyra veckors period för att täcka ett normalt spann av geometrisk variation. Av extra stort intresse i körningen är att studera processkapabilitet, verktygspåverkan och påverkan på processvätskan. Under behandlingsprocessen har ytparametrar och volframhalt övervakats med stickprovstagg. En större kemisk analys av processvätskan genomfördes i samband med pilotkörningen för att undersöka påverkan på processvätskan vid produktion av över 1000 rullar. Under processen har som tidigare temperatur i processvätska, komponent och verktyg följts tillsammans med spindelmotoreffekt. ANS har mätt Aq-medel, Aq-max och intensitet samt volframhalt med XRF. Gnutti har mätt diameter, cylindricitet och Rx-parametrar på märkta rullar. En utökad analys på ett uttag av rullar har gjorts där behandlade rullar skickats till Högskolan Dalarna för SEM/EDS och Augerelektronmikroskopi (AES) samt till Volvo för motmätning av ytjämnhetsparametrar och kemisk analys med hjälp av SEM/EDS och XPS. Under pilotkörningen så har prover tagits på processvätskan för att säkerställa att den inte degraderar och påverkar resultatet av behandlingen. Proverna har skickats till ett externt labb för analys av viskometrisk egenskaper, densitet, partiklar, slamkontaminering samt oxidering och kemiskt innehåll.

Triboconditioning av Scantias kamföljarrullar utfördes i ett första steg hos en extern partner i Tyskland, Diahon, som också har levererat verktyget som använts. Maskinen som användes var en fleroperationsmaskin av standardtyp och för de mindre Scaniarullarna användes ett standardverktyg för hening där heningstaster och heningssolja ersatts av ANS verktygstaster och processvätska. Anledningen till att använda ett standardverktyg och inte ett hydrauliskt prototypverktyg, som med Volvorullarna, var bra erfarenheter och resultat från tidigare försök i förra FFI-projektet. Tyvärr uppstod problem men linjering som gjorde att levererade komponenter till verifieringstesterna fick behandlas hos ANS i Uppsala. För att komma till rätta med linjeringproblemen med det stumma verktyget så beställdes en Wellasch flytande chuck som ger verktyget möjlighet att ställa in sig i hålet. Både axiella och vinkelfel kan hanteras med denna typ av flytande chuck som vanligtvis används vid brotschning av hål.

6.2 Behandling av Volvos vipparmar

Triboconditioning av Volvos injektorvipparmar utfördes hos Gnutti Carlo i en HAAS VF0 standardfräsmaskin med ett Diahon coolEXact verktyg, se figur 3. Verktyget använder maskinens spolsystem för att expandera ANS-listerna och pressa dem mot ytan som skall behandlas. Verktyget kan även användas för hening om ANS-listerna ersätts med abrasiva heningstenar vilket tillför en flexibilitet till produktionen. Ytan som har behandlats har tillverkats med en brotschningsoperation vilket också är fallet för dagens produktionskomponent som dessutom har en inpressad lagerbusning mot vipparmaxeln. Ingen ytterligare bearbetning har således gjorts av ytan innan behandling och tillverkningskedjan blir därmed inte längre med införandet av Triboconditioning.



Fig 3. HAAS VF0 vertikal fräsmaskin och Diahone coolEXact verktyg

6.3 Verifiering av behandlingsresultat

Vid behandlingen av rullar och vipparmar så mäts en rad parametrar så som ytjämnhet med Perthometer (släpnålsinstrument) och Optosurf, kemiskt innehåll med XRF och geometriska mått så som diameter, rakhet, rundhet etc. Detta räcker dock inte för att med säkerhet veta att funktionen i verklig applikation säkerställs. För att verifiera funktionen av de behandlade komponenterna så har både riggprov, ytanalys och motorprov utförts.

6.3.1 Friktionstester av kamföljarrullar

Friktionsegenskaperna på både Scania- och Volvorullar har analyserats av Högskolan i Halmstad genom riggtester där systemet med pinne och rulle simulerats med driftparametrar som motsvarar de som finns i motorn, se figur 4. Riggen är den samma som använts vid förra FFI projektet "Forskning inom konkurrenskraftig produktion av lågfriktionskomponenter" men har under projektet genomgått väsentliga uppdateringar som gjort att repeterbarheten har förbättrats avsevärt.

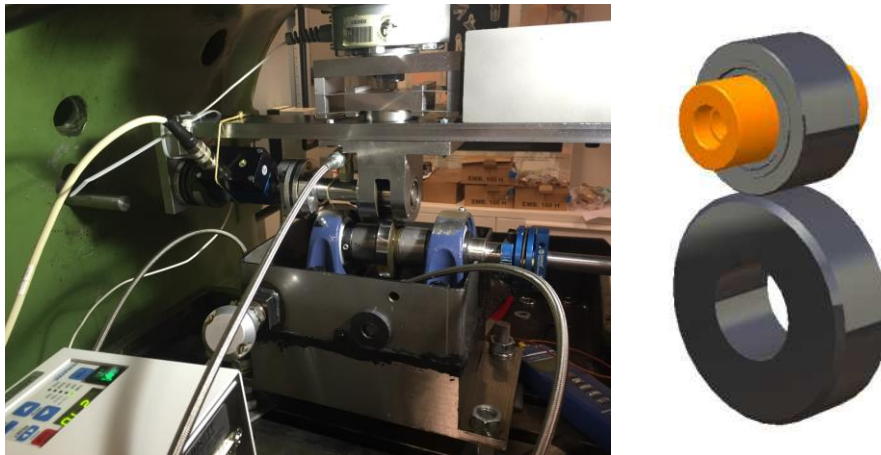


Fig 4. Kontakten mellan rulle och kamaxel i Halmstads kamföljarrigg

6.3.2 Ventilmekanismtester av Volvorullar och vipparmar

Riggtest av behandlade Volvorullar och vipparmar har utförts i en ventilmekanismrigg (VM-rigg) hos Gnutti i Göteborg. Riggen används som ett kvalificeringsverktyg till kommande motorprov och bygger på ett komplett ventilsystem som drivs med en elektrisk motor. Riggen är byggd på en 6 cylindrisk Volvomotor där fyra av cylindrarna utrustats med Triboconditioning-behandlade rullar och vipparmar och de övriga två med referenskomponenter, ett så kallat split test. Anledningen till att även köra referenskomponenter är för att kunna jämföra de behandlade ytornas beskaffenhet efter testet med en kombination som används i motorn idag.

6.3.3 Augerelektron-spektroskopi (AES), analys av behandlade Volvorullar

Kamföljarrullar med olika behandlingsparametrar så som rotationshastighet, behandlingstid och behandlingstryck har analyserats med hjälp av Augeranalys av Högskolan Dalarna. Syftet med undersökningen var att se om något ytskikt har bildats samt dess tjocklek. I processvätskan som används vid behandlingen finns volfram som ska reagera med ytan och bilda ett ytskikt med lågfriktionsegenskaper och därför används förekomsten av volfram som indikation på att triboinducerat ytskikt har bildats. Djupprofilering med hjälp av sputtring gjordes på samtliga prover både i toppar och dalar på provytan för att se hur olika ämnen är fördelade i det bildade ytskiktet från ytan och in mot substratet samt för att uppskatta ytskiktets tjocklek.

6.3.4 Motorprov

Motorprov hos Scania med behandlade kamföljarrullar har varit sista steget i verifieringskedjan. Totalt kommer 5 x 1000 timmar motorprov att utföras och analyseras där behandlade komponenter kommer att ersättas vid planerade stopp och inspektioner. Ett komponentutbytesprogram har tagits fram av Scania, Gnutti och ANS som skall säkerställa att rätt komponenter byts ut med rätt intervall. Syftet är att få komponenter med olika drifttid som sedan kan analyseras och slutsatser dras om hur ytorna förändras över tid.

6.4 Processövervakning med akustisk emission

Som en del av implementeringsstudien har akustisk emission (AE) utvärderats som verktyg att användas för att kunna styra och/eller kontinuerligt övervaka av behandlingen med Triboconditioning. Akustisk emission används bland annat för att övervaka lager i maskiner med höga krav på utnyttjandegrad för att i god tid kunna göra underhåll och slippa haveri. Utvärderingen gjordes i ANS behandlingsrigg med olika behandlingsparametrar, behandlingstider samt avsiktligt introducerade scenarion för att se om tidiga varningssignaler kunde upptäckas innan problem uppstod. Bland annat så har olika grader av nötta verktyg använts och utvärderats. Behandlade komponenter har sedan utvärderats i friktionsrigg hos ANS där friktionskoefficienten har loggats vid olika glidhastigheter. Systemet som använts vid AE-testerna är ursprungligen utvecklat för att användas för övervakning av vindkraftverk och är tillverkat av SKF.

6.5 Korrelation mellan ljusspridningsmätning och traditionella ytjämnhetsmätningar

Då Optosurf instrumentets Aq värden är ett mått på vinkelspridningen av reflekterat ljus, som sätts av både diffraktion och variationen av ytans lokala lutning, är det av intresse att se hur dessa värden korrelerar med gängse ytjämnhetsparametrar. Därför har en serie med rullar valts ut med en stor spridning av Aq-värdet längs hålets djup, d.v.s. rullar som typiskt inte skulle ha klarat kvalitetskravet med avseende på en jämn behandling. Efter att rullarna mätts upp med hjälp av Optosurf har resultaten sedan jämförts med ytstrukturmätningar gjorda hos KTH med vitljus interferometri (Zygo New View 7300 White light interferometer) längs en 1 mm brett och 25 mm långt område, se figur 5.

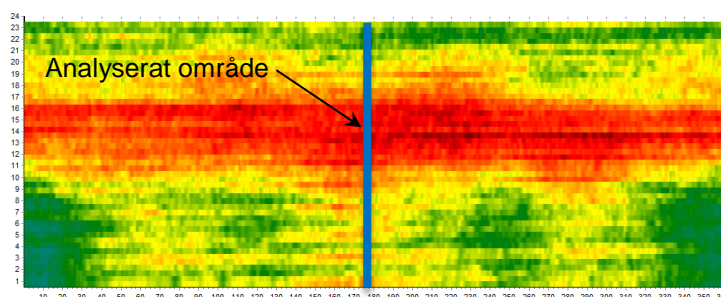


Fig 5. Område av behandlad yta där korrelationsberäkningarna är gjorda.

Aq-värdet från Optosurf-mätningarna har sedan plottats mot olika ytparametrar i samma område och en korrelationsfaktor har beräknats.

7 Resultat och måluppfyllelse

De resultat som projektet levererat har definitivt bidragit till att komma närmre målen som beskrivs i FFI:s program "Hållbar produktion". Behandling av kamföljarrullar och vipparmar med Triboconditioning har visat sig kunna ersätta dagens lösningar och gör det möjligt för Gnutti Carlo att kunna erbjuda en patenterad lågfriktionsbehandling av kamföljarrullar och vipparmar till sina kunder. Triboconditioning kan användas för att ersätta andra dyrare och mer komplicerade lösningar, ersätta lagermaterial innehållande bly och sänka förlusterna i de mekaniska systemen vilket i slutändan kommer att minska våra fordons miljöpåverkan. Det nya verktygssystemet som tagits fram i projektet har visat sig leverera bra och robusta resultat och det kan användas i en standardmaskin. Detta gör att investeringskostnaderna hålls nere och bidrar till en flexibilitet hos leverantören då maskinen också kan användas för annan bearbetning om man inte har full beläggning med Triboconditioning. Produktionen blir därmed extremt resurseffektiv och flexibel och kan även implementeras hos små och medelstora komponenttillverkare med begränsade investeringsbudgetar. Den bevisade effekten av att kunna göra re-work på komponenter som inte ligger inom tolerans för ytjämnhetskravet gör också att produktionen blir effektivare då kassationer från behandlingsprocessen minimeras.

7.1 Kamföljarrullar

Behandlingen av kamföljarrullar i standardmaskin med Triboconditioning gör att rullarnas ytor blir slätare, se figur 6. Ytparametrarna Ra, Rk, Rpk har minskats av behandlingen och alla behandlade rullar ligger väl inom dagens kravspecifikation. Därigenom kan befintliga krav för ytjämnhet initialt behållas med en möjlighet att skärpa kraven på sikt. Från geometriska mätningar som utförts av Gnutti på behandlade rullar kan konstateras att rullens diameter och cylindricitet påverkas minimalt av triboconditioning varför förslaget är att behålla samma krav på komponenten som tidigare. Under pilotbehandlingen har även möjlighet att göra re-work utvärderats. Re-work processen har visat sig fungera bra och alla rullar med avsiktligt grova ytor som behandlats en andra gång har hamnat inom tolerans. Detta tyder på att kassationsnivån kan hållas på en mycket låg nivå.

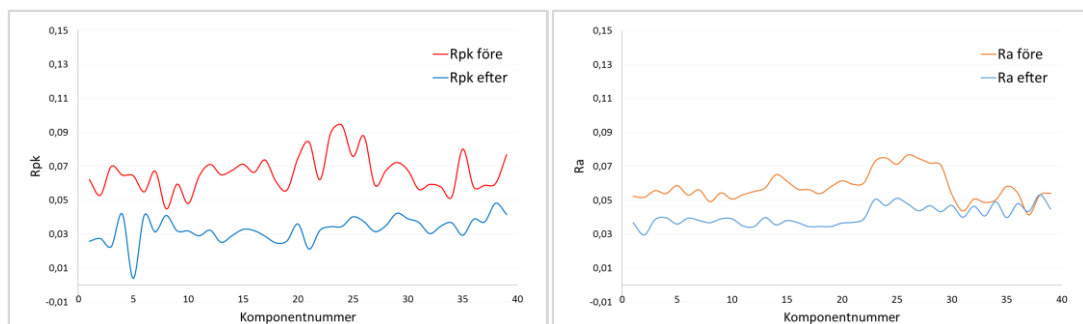


Fig 6. Rpk-och Ra-värden före och efter behandling från urtag under pilotbehandlingen i standardmaskin.

Processspridningen vid pilotbehandlingen av rullar avseende ytjämnhetsmätning med ljusspridning i form av Aq-medel har dokumenterats tillsammans med gränser för Cpk 2.0. Aq-medel har visat sig ge stabila resultat utan större spridning och kommer därför att rekommenderas som verktyg för processövervakning, se figur 7.

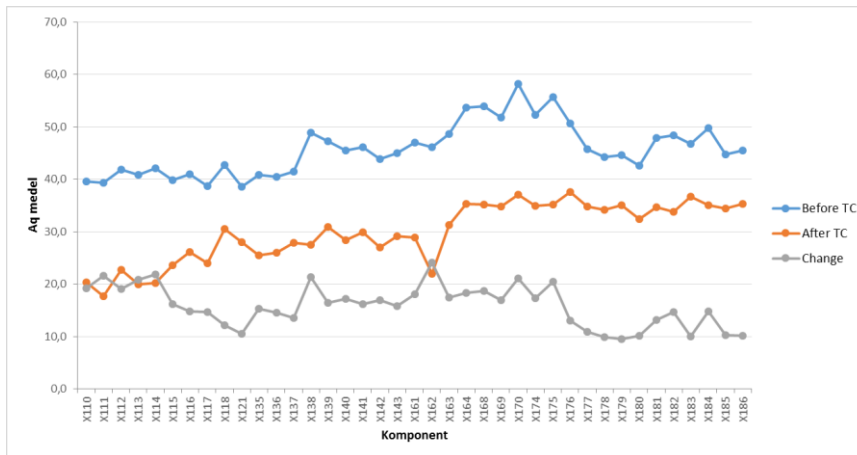


Fig 7. Aq-medel från rullar före och efter pilotbehandlingen.

Tack vare möjligheten att visualisera hela ytan är ljusspridningsmätningar ett bra hjälpmedel vid inställning av processparametrar, "first article inspection" samt exempelvis inkörning av nya verktygslistor. Aq-max erhålls samtidigt med Aq-medel och är ett bra hjälpmedel för att påvisa avvikelser, som exempelvis repor och ojämn behandling, se figur 8. Detta är en stor fördel gentemot en traditionell nålprofilmätning som bara visar ytjämnheten längs några få lokala profiler på ytan.

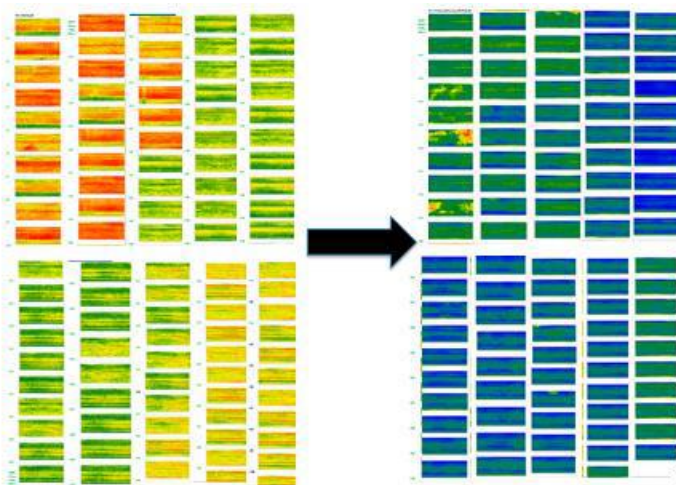


Fig 8. Visualisering av rullars ytor med Optosurf före (vänster) och efter (höger) behandling

Från XRF-mätningar hos ANS har volfram konstateras från tribofilmen på alla behandlade rullar som analyserats. Med de processparametrar som använts vid körningen rekommenderas en undre gräns på 0,04 % volfram för Cpk 2.0. Under Triboconditioning får de behandlade komponenterna en förhöjd temperatur, vilket kan användas som en kvittens under produktion av att rullen behandlats i processen. FMEA, kontrollplan och arbetsinstruktioner har använts i körningarna och en mätsystemsanalys har genomförts.

Analysen av processvätskan visar inga tecken på degraderingen från pilotkörningen vilket visar att formuleringen är stabil och att filtreringen av processvätskan har varit tillräcklig, se tabell 1.

Analysresultat processvätska									
Egenskap	V100 cSt	V40 cSt	Färg	Densitet g cm-3	Turbiditet	Slam	PQ	TBN mgKOH/g	TAN mgKOH/g
Innan "1000-3"	2,6	9,9	Ljust gul	0,88	Klar	Nej	<1	6.9	6.5
Efter "1000-3"	2,6	9,8	Ljust gul	0,88	klar	Nej	5	6.4	6.6
Kemisk elementanalys									
Ämne	Mo	W	P	S	Zn	Ni	Cr	Si	Mn
Innan "1000-3"	<1	28500	54	6530	21	<1	<1	29	<1
Efter "1000-3"	4	27300	73	6780	17	15	36	33	19

Tabell 1. Resultat från analys av processvätska

Friktionsresultaten från riggtester i Halmstad med behandlade kamföljarrullar visar att ANS Triboconditioning är ett utmärkt alternativ för att ersätta både PVD och brons i kontakten mellan rulle och pinne. När hastigheten minskar ökar friktionen mellan ytorna men med rullar behandlade med ANS Triboconditioning så hålls friktionen på en lägre nivå än för referenskombinationen med PVD-pinne (Volvo) och bronspinne (Scania). Risker med hög friktion vid låga varv är att rullen stannar och glider mot kamaxeln vilket till slut leder till haveri. Tester med Scanias bronspinne från referenskombinationen visar att friktionen sänks även om den behandlade rullen går emot bronspinnen. Bäst resultat fås däremot om bronspinnen ersätts med en stålpinne, se figur 9.

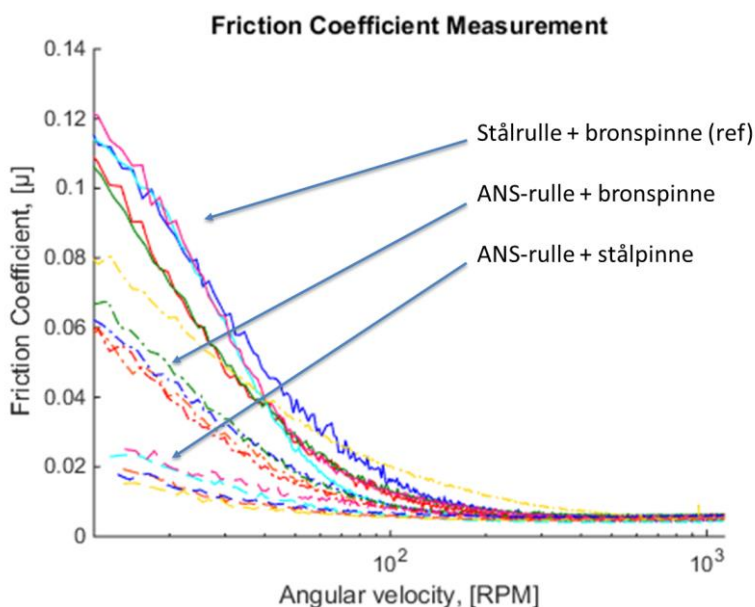


Fig 9. Resultat från friktionstester med Scaniarullar

Friktionstesterna från Halmstad med Volvorullar visar att en ANS behandlad rulle (A type) mot en stålpinne sänker friktionen ca 2,5 gånger vid låga varvtal jämfört med referenskombinationen (PVD belagd pinne mot stål rulle). Som jämförelse har även en kombination med stål rulle och stålpinne testats (steel type) vilket har resulterat i högst friktion genom hela testet. Denna kombination påvisar effekten av ANS-behandlingen, se figur 10

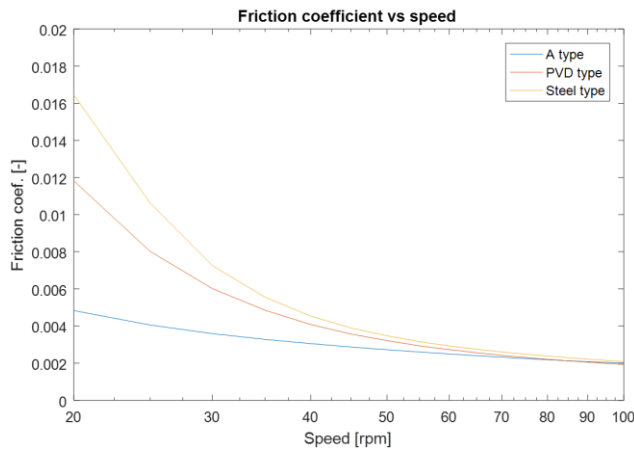


Fig 10. Resultat från friktionstester med Volvorullar

Kemisk analys av behandlade Volvorullar gjorda med AES av Högskolan Dalarna visar att ytskiktet som skapats med behandlingen är ca 10-15 nm tjockt med de valda behandlingsparametrarna, se figur 11. Undersökningen visar också att längre behandlingstid och/eller högre tryck ger ett tjockare ytskikt. Volfram detekteras från yttoppar men inte från ytans dalar vilket betyder att reaktionen mellan processvätskans additiv endast sker där verktyget är i kontakt med de bärande topparna på ytan.

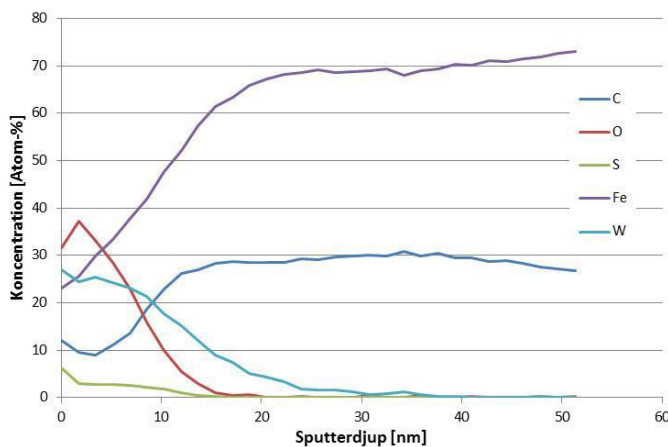


Fig 11. Djupprofilering med AES på behandlad Volvorulle

Analyser gjorda av Volvo på behandlade Volvorullar med SEM/EDS samt XPS visar att ytorna har blivit slätare efter behandling med Triboconditioning, se figur 12.

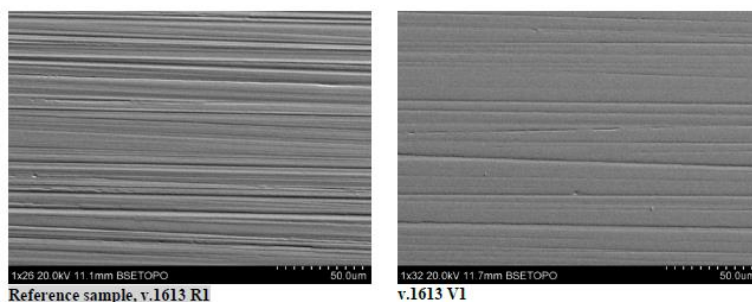


Fig 12. SEM bild av yta från en obehandlad rulle (vänster) och en behandlad rulle (höger)

De kemiska analyser av behandlade ytor som gjorts av Volvo med SEM/EDS indikerar att ytskiktet är tunnare än 200 nm medan resultaten för XPS visar en tjocklek på 30-50 nm, vilket också sammanfaller med resultaten från Högskolan Dalarna. Djupprofileringen visar att volfram finns i form av oxider vid ytan och ju längre ner i materialet man kommer desto mer metalliskt volfram innehåller skiktet. En viss variation i färgton på behandlade ytor har observerats från uppkapade rullar, se figur 13. Skillnaden i utseende kommer från variationer på den inkommande komponenten och analyserna från Volvo visar att de mörkare områdena innehåller mer volfram. Analysen visar att alla områden på rullen är behandlade och variationen mellan de mörkaste och de ljusaste områdena på de undersökta rullarna ligger i spannet 2-5 wt.% volfram

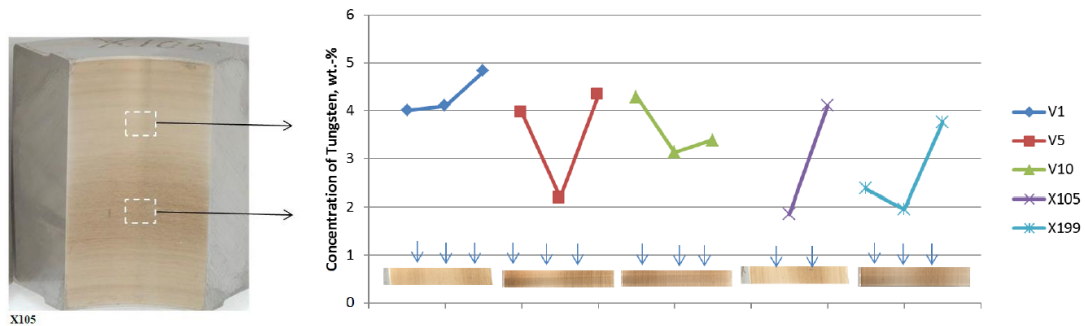


Fig 13. Volframhalt på 5 st olika behandlade och uppkapade rullar analyserade med SEM/EDS

7.2 Vipparmar

Behandlingen av Volvos vipparmar har resulterat en förbättrad ytjämnhet över hela hålets bredd. Volfram har detekteras på de komponenter som analyserats vilket visar att en reaktion med processvätskan har skett på ytan. Mätresultat från Optosurf visar att Aq medel minskar med 25%, se figur 14.

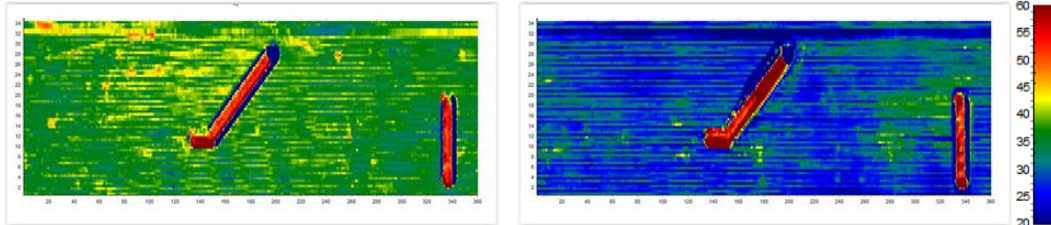


Fig 14. Optosurfresultat från referens (vänster) samt behandlad vipparm (höger), de röda områdena i bilderna visar smörjspåren i vipparmens håll.

Vipparmar från 1000-timmarstestet i Gnutti Carlos ventilmekanismrigg har analyserats av Gnutti och ANS och visar att de behandlade komponenterna klarat testet. Inga tendenser till skärning eller varmgång har hittats vid analyserna gjorda av Gnutti och ingen signifikant förändring har skett med diameter, rundhet eller raket av vipparmshålet. Från ytjämnhetsmätningar av behandlade vipparmar gjorda före och efter VM-riggstestet ses en tydlig trend av inkörning då samtliga parametrar som följts är lägre efter testet än före med ett undantag, Rpk, som inte visar på någon förändring efter test. Detta tyder på att den yta som behandlingen skapar är väl lämpad för de driftsförhållanden som finns i kontakten mellan vipparmen och vipparmsaxeln.

7.3 Akustisk emission

Resultaten från mätningar med akustisk emission visar att systemet klarar att utskilja signaler från processen som har betydelse för behandlingens funktion att ge låg friktion och låg nötning. När verktyget först går emot den yta som skall behandlas så uppstår en spik i signalen när yttopparna först deformeras (del 1 i figur 13) . Efter den initiala fasen så följer en period där den behandlade ytan fortfarande förbättras med avseende på ytjämnhet och volframhalt (del 2 i figur 15). När signalen från processen stagnerar (se del 3 i figur 13) så visar även friktionstesterna att fortsatt behandling av komponenten inte medför en högre volframhalt eller resulterar i lägre friktion. Akustisk emission kan därför användas vid uppstarten av nya behandlingsprojekt/komponenter för att snabbare hitta optimala processparametrar samt för att säkerställa att behandlingen blir fullgjord.

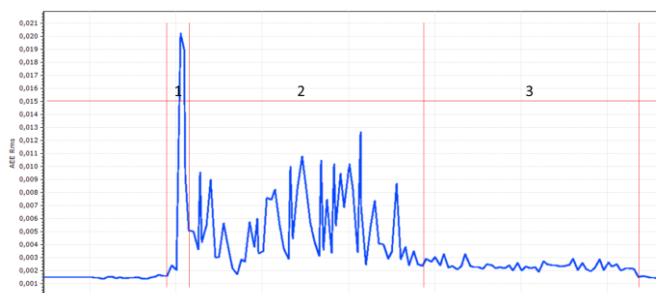


Fig. 15. Akustisk emission från behandling med Triboconditioning

Från tester där inverkan av nötta verktygslistor undersökts, finns också en tydlig trend att akustisk emission kan användas som tillståndsbaserad processövervakning av Triboconditioning. När verktygslistor med olika grad av nötning har använts så ser fortfarande AE-signalen från behandlingen lika ut och det finns heller ingen skillnad på hur ytorna presterar i friktionstestet. När verktygslistor som anses vara utslitna används vid behandlingen så ses en tydlig skillnad på signalen från systemet jämfört med normalt slitna verktygslistor.

7.4 Korrelation mellan ytjämnhet och Aq-värde

Bäst korrelation för enskilda ytjämnhetsparametrar och Optosuftmätningar (Aq-medel) fås med Rk (profilens kärndjup). Korrelationsfaktorn för Rk mot Aq är 0,67. Övriga enskilda ytparametrar som undersökts ligger i spannet -0,11 till 0,58. Bäst korrelationsfaktor med Aq och ytjämnhet får man genom att kombinera ytjämnhetsparametrarna Rk (profilens kärndjup) och Sm (medelavstånd mellan yttoppar vid medellinjen), korrelationsfaktorn blir då 0,75, se figur 16. Trots kombinationer med ytparametrar ligger korrelationsfaktorn under vad som anses vara en acceptabel nivå och man kan därför dra slutsatsen att det inte är möjligt att ersätta ytkrav på ritning enligt dagens standard direkt med Aq. Noterbart är att Rpk endast nådde en korrelationskoefficient på 0.34. Rk svarar mot c:a 70% av ytstrukturens höjdvariation för de undersökta ytorna och det är därför inte förvånande att Aq värdet, som visar bredden på ljusspridningsprofilen, korrelerar bäst med Rk/Sm som är ett mått på den lokala lutningsvariationen i ytan.

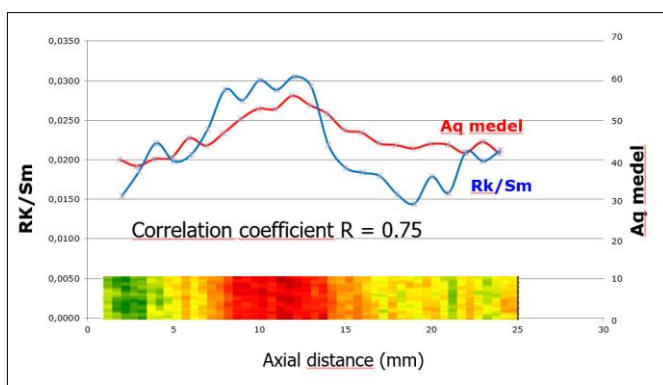


Fig 16. Korrelation mellan Aq-medel och ytparamterarna Rk/Sm

8 Spridning och publicering

8.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Resultat genererade i projektet har presenterats via artiklar, examensjobbssrapporter, konferenser och workshops. Exempel konferenser där projektresultat har presenterats är Tribology days i Nynäshamn 7-8 oktober 2015 (Emil Edin och Daniel Strömbergsson), Bosch Rexroth Tribologiseminarium i Mellansel 31 januari 2017 (Jonas Lundmark) samt Produktionsklusters konferens 18 maj 2017 (Lena Killander)
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Erfarenheter och resultat från projektet har bland annat legat till grund för en Eurostarsansökan som ANS, Bosch Rexroth och Linamar skickat in och fått accepterad. Ansökan bygger vidare på den verktygsdesign och kvalitetssäkringsprocess som tagits fram under detta projekt. Vidare så kommer akustisk emission och vibrationsanalys fortsatt att undersökas via examensjobb alt internt utvecklingsprojekt med start under hösten/vintern 2017.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Erfarenheter och resultat från projektet har lett till en högre nivå på kundverifieringsprojekt som ANS har bedrivit under tiden. Samma verktygsdesign som projektet tagit fram har använts vid andra kundprojekt på andra komponenter
Introduceras på marknaden	X	Vår förhoppning är att Triboconditioning skall vara introducerad på marknaden innan slutet av 2017. För närvarande pågår en handfull verifieringsprojekt med potential att nå produktionsstart under 2017.
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut		

8.2 Publikationer

- Wear Analysis of Pin and Roller Surfaces, John S, El-Ghoul Z, Dimkovski Z, Lööf P-J, Lundmark J and Mohlin M, Proceedings of the 16th International Conference on Metrology and Properties of Engineering Surfaces, 27-29 June 2017 Gothenburg, Sweden.
- Friction between Pin Roller of a Truck's Valvetrain, John S, El-Ghoul Z, Dimkovski Z, Lööf P-J, Lundmark J and Mohlin M, Proceedings of the 16th International Conference on Metrology and Properties of Engineering Surfaces, 27-29 June 2017 Gothenburg, Sweden.
- Monitoring of the Triboconditioning process: An investigation with Acoustic Emission, Strömbergsson. D, Examensarbete 20 p.
- Acoustic emission monitoring of a mechanochemical surface finishing process (2017), Strömbergsson. D, Marklund. P, Edin. E, Zeman. F, Tribology International, ISSN: 0301-679X, Vol. 112, s. 129-136

9 Slutsatser och fortsatt arbete

Pilotbehandlingen av Volvos kamföljarrullar med Triboconditioning hos ANS har visat att det är möjligt att behandla komponenterna i en standardmaskin med det nya hydrauliska verktyget och få bra resultat. Behandlingsprocessen har visat sig vara tillförlitlig med hög och dokumenterad processkapabilitet. De utvalda kvalitetssäkringsverktygen med bland annat Optosurf-, XRF och Perthometermätningar har visat sig vara lämpliga för att utvärdera resultatet av behandlingen och kan även introduceras direkt i produktion vid implementering. Under projektets gång har betydande steg tagits mot en framtida implementering i fullskalig produktion, bland annat så har PFMEA utförts med Gnutti Carlo samt att offerter samlats in från leverantörer av verktyg, maskiner och mätsystem. Nästa steg mot implementering kommer att vara kommersiella förhandlingar med tänkta kunder vilket också har påbörjats. Fortsatta studier baserade på arbetet med akustisk emission för processövervakning kommer att påbörjas inom kort och diskussioner med tänkbara partners pågår. Projektets positiva resultat har även uppmärksammats av andra kunder som medfört nya verifieringsprojekt för ANS där bland annat Triboconditioning med det nya hydrauliska verktygssystemet kunnat användas.

10 Deltagande parter och kontaktpersoner

Applied Nano Surfaces Sweden AB, Jonas Lundmark



Applied Nano Surfaces

Gnutti Carlo Sweden AB, Johan Mohlin



Högskolan Dalarna, Ulf Bexell



Högskolan i Halmstad, Zlate Dimkovski



Kungliga Tekniska Högskolan, Lars Mattsson



Luleå Tekniska Universitet, Pär Marklund



Scania AB, Lars Hammerström



Volvo Lastvagnar AB, Danfang Chen

