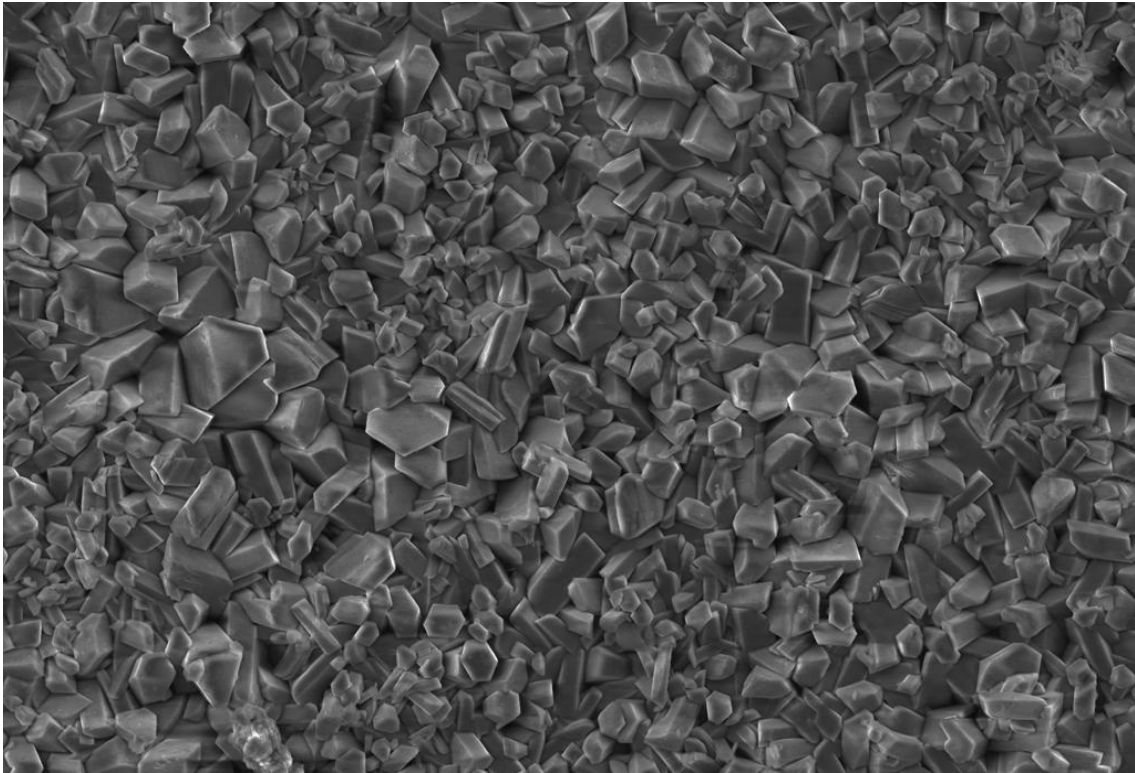




FORDONSSTRATEGISK  
FORSKNING OCH INNOVATION

# Manganfosfatering för förbättrad kontaktutmattning



Författare: Peter Björklund och Matti Näslund  
Datum: 2014-06-30  
Delprogram: Fordonsutveckling

## Innehåll

<b>1. Sammanfattning.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Bakgrund .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Syfte.....</b>	<b>6</b>
<b>4. Genomförande.....</b>	<b>6</b>
<b>5. Resultat .....</b>	<b>7</b>
5.1 Processtudie .....	7
5.2 Kontaktutmattningsprovning (rulle mot rulle) .....	10
5.3 Kontaktutmattningsprovning (kugghjul (FZG)).....	11
5.4 Bidrag till FFI-mål .....	13
<b>6. Spridning och publicering.....</b>	<b>13</b>
6.1 Kunskaps- och resultatspridning .....	13
6.2 Publikationer .....	14
<b>7. Slutsatser och fortsatt forskning.....</b>	<b>15</b>
<b>8. Deltagande parter och kontaktpersoner .....</b>	<b>15</b>

### Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Säkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör hälften.

För närvarande finns fem delprogram Energi & miljö, Fordons- och trafiksäkerhet, Fordonsutveckling, Hållbar produktionsteknik och Transporteffektivitet. Läs mer på [www.vinnova.se/ffi](http://www.vinnova.se/ffi)

## 1. Sammanfattning

FFI-projektet "Manganfosfatering för ökad kontaktutmattningshållfasthet" har utförts i samarbete mellan Scania, Swerea IVF AB och Swerea KIMAB AB. Huvudsyftet med projektet har varit att öka kunskapen om manganfosfateringsprocessen och dess inverkan på kontaktutmattningshållfasthet. Detta omfattade utveckling av metoder för att utvärdera olika processparametrars påverkan på uppbyggnaden av manganfosfatskiktet. Även metoder för att utvärdera kontaktutmattningsprestanda för hypoidväxlar (axel) och raka och snedskurna kugghjul (växellåda) utvärderades och användes inom projektet.

Projektet har bedrivits i nära samarbete mellan de deltagande organisationerna. På Swerea IVF AB bestod projektgruppen av olika forskare under projektetiden. Carolina Pettersson (PhD) var projektansvarig när projektet avslutades. Swerea IVF AB har lång erfarenhet av att arbeta med ytbehandling, inklusive fosfatering och har en pilotanläggning som är lämplig för processtudier. Denna kunskap applicerades på manganfosfateringsprocessen. På Swerea KIMAB AB var Sven Haglund (PhD) projektansvarig. Gruppen på Swerea KIMAB AB har studerat kontaktutmattningshållfasthet under lång tid och olika typer av ythärdning har studerats ingående. Provrigheten som användes är framtagen för att efterlikna en kuggkontakt. Righeten använder två rullar i kontakt i en varierbar glidning och en skadelängd utvärderas efter ett visst antal kontaktcykler. Kontaktutmattningsprovet gav resultat för olika stålsorter och ytbehandlingar, men kunde inte generera resultat för manganfosfaterade rullar.

För att kunna utvärdera manganfosfatskiktet köptes kontaktutmattningsprovning av ett institut i Tyskland (Laboratory for Machine Tools and Production Engineering (WZL) of RWTH Aachen University). Provet utfördes i en FZG-rigg (med kugghjul istället för rullar). Denna provning var mycket framgångsrik och bidrog med värdefulla kontaktutmattningshållfasthetsdata.

Projektet har varit framgångsrikt i att ge värdefull input till växellåds- och axelutveckling. Optimeringen av manganfosfatskiktet var lyckad och projektet har visat för- och nackdelar med manganfosfatering beroende på vilken komponent som skiktet används på. Det har också lett till förbättrad provning och nya metoder för utvärdering av kuggprestanda. Den forskning som bedrivits inom projektet har visat att manganfosfatering är fördelaktigt för växellådsapplikationer. Det är dock viktigt att fortsätta utvärderingen och verifieringen, särskilt i kombination med olika smörjmedel. Detta projekt kommer att fortsätta som ett internt projekt och samarbete med Swerea IVF AB och Swerea KIMAB AB kommer att fortsätta.

## 2. Bakgrund

Syftet med denna rapport är att sammanfatta några av de viktigaste resultaten i FFI-projektet "Manganfosfatering för ökad kontaktutmattning". Projektet var ett samarbete mellan Scania, Swerea IVF AB och Swerea KIMAB AB.

Kraven på fordonen ökar ständigt. Det finns krav på ökad hållbarhet, längre serviceintervaller, starkare drivlina och ett behov av lättare och mindre konstruktioner. Den begränsande faktorn i växellådan idag är kuggen som utsätts för både kontaktutmattning och böjningsutmattning i roten. Projektet fokuserade på att utvärdera skyddet mot kontaktutmattning. Även skärningsskyddet utvärderades till viss del.

Kontaktutmattning uppstår vid cyklisk belastning med högt kontakttryck och kan leda till bildandet av gropar. Detta orsakas av ytdefekter eller genom yttre defekter, såsom föroreningar i oljan. Därför är det av stor betydelse att minska den lokala kontakten mellan metall och metall. Det finns många strategier för att minska detta och smörjningen är av avgörande betydelse. En ytterligare metod kan vara att använda manganfosfatering.

Pawelec et al<sup>1</sup> studerade effekten av olika oljor och dess skydd mot kontaktutmattning och fann att för mineraloljor ökade kontaktutmattningshållfasthet med ökande viskositet. Men för syntetiska oljor hittades inga signifikanta skillnader. Om det skulle vara möjligt att minska viskositeten hos oljan utan ökad risk för pittingskador, skulle bränsleförbrukningen reduceras. Tyvärr finns det inga studier gjorda på hur olika oljor påverkar kontaktutmattningshållfastheten för manganfosfaterade ytor.

Under manganfosfateringen växer kristaller av manganfosfat på ytan som effektivt förhindrar metall mot metallkontakt under inkörningen. Skiktet nöts troligtvis bort ganska snabbt. Storleken av kristallerna varierar kraftigt med processförhållanden och processen innebär också betning av ytan, som producerar gropar. Effekten av betgroparna och kristallstorlekens på kontaktutmattningslivslängden är okänd och måste klargöras. Mycket få verk har publicerats på effekterna av manganfosfatering. Chen et al<sup>2</sup> visade att manganfosfateringen ökar kontaktutmattningslivslängden kraftigt, upp till fyra gånger. Chen hävdar också att betgroparna är gynnsamma eftersom de kan fungera som oljereservoarer.

### Kontaktutmattning på kugg

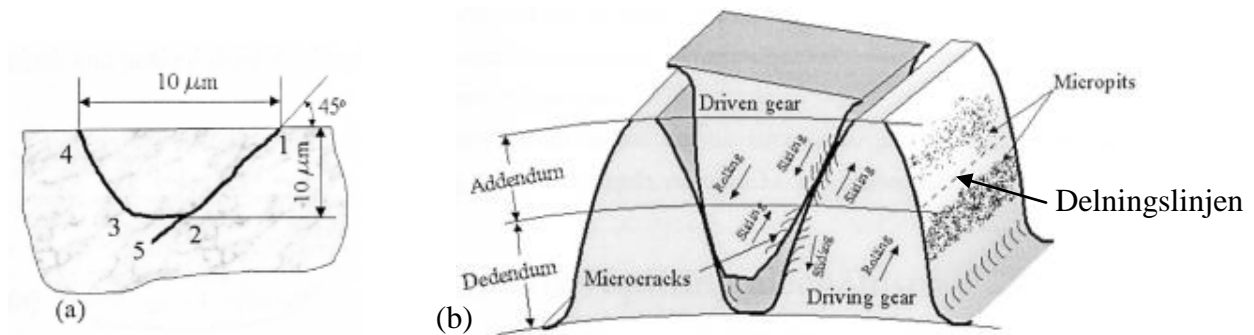
Det finns i huvudsak två verksamma mekanismer vid kontaktutmattning av kugg, mikropitting och pitting. Mikropitting är på en mycket mindre skala, ~ 10 µm se figur 1a, och anses ofta vara ofarligt. Mikropitting initieras vid ytan och när en viss spricklängd uppnås lossnar ett litet fragment av ytan. Detta leder till en gråfärgning av ytan. Mikropittingskador kan fortsätta att och därmed ändra geometrin hos kuggen och/eller initiera pitting.

---

<sup>1</sup> Pawelec, Z; Dasiewicz, J; Piekoszewski, W; Tuszyński, W "ROLLING CONTACT FATIGUE LIFE FOR ELEMENTS LUBRICATED WITH MINERAL AND SYNTHETIC BASE OILS" Tribologia (Poland). Vol. 35, no. 3, pp. 351-362. 2004

<sup>2</sup> Chen Y., Yamamoto A., Omori K., "Improvement of Contact Fatigue Strength of Gears by Tooth surface Modification Processing", 12th IFToMM World Congress, Besancon (France) June 18-21 (2007)

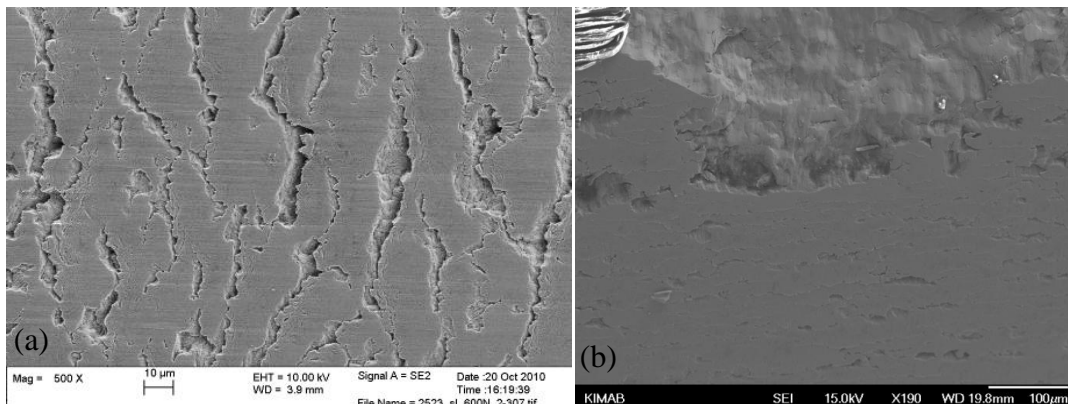
Mikropitting sker under elasto-hydrodynamisk smörjning (EHL) där oljefilmstjockleken är av samma storleksordning som den kombinerade ytförfinheten<sup>3</sup>. Mikropitting påverkas starkt av friktionskrafterna, det vill säga glidningen mellan kontaktytorna, vilket förflyttar den maximala spänningszonen mot ytan. Detta innebär att mikropitting uppstår där glidningen är hög, det vill säga inte i mitten av kuggen där det endast är ren rullning, se figur 1b. Figur 2a visar det typiska utseendet på en yta med mikropitting.



**Figur 1. a) Uppkomst av mikropitting. b) Mikropitting och mikropittingens tillväxtriktning på en kugg. Riktningen på sprickorna ändras vid delningslinjen på grund av olika glidningsriktningar<sup>4</sup>.**

Pitting är på en mycket större skala där flera millimeter stora bitar kan lossna från ytan, se figur 2b. Dessa skador är utformade på ett liknande sätt som mikropitting men startar antingen vid ytan eller vid inneslutningar under ytan. Denna typ av pitting anses vara kritisk och kugghjulet måste bytas ut. Fokus i detta projekt var därför pittingskador.

Eftersom mikropitting leder till lokalt avlägsnande av material, kan spänningarna öka i den punkt där mikropittingen slutar. Det är där pittingskadorna ofta initieras, det vill säga nära delningslinjen. Figur 2b visar initieringsstället för en pittingskada på en kugg. Det verkar som att mikropittingsprickor har initierat pittingskadan.



**Figur 2. a) Typiskt utseende på mikropitting. b) Initiering av pittingskada.**

<sup>3</sup> “Wind Turbine Micropitting Workshop: A Recap”, Technical report NREL/TP-500-46572 February 2010

<sup>4</sup> Oila A., “Micropitting and Related Phenomena in Gas Carburised Gears”, Phd thesis University of Newcastle upon Tyne (2003)

### 3. Syfte

Huvudsyftet med projektet har varit att öka kunskapen om manganfosfateringsprocessen och dess inverkan på kontaktutmattningshållfasthet. Detta omfattade utveckling av metoder för att utvärdera de skikt som skapas med olika processparametrar och att utvärdera kontaktutmattningshållfastheten för kugg.

Vidare förväntades projektet ge kunskap om hur man kan optimera manganfosfatskiktet för ökad kontaktutmattningshållfasthet. Detta kommer att ge en möjlighet att minska bränsleförbrukningen genom att minska viskositeten hos oljan utan att riskera den totala hållbarheten för kugghjulen. Ett annat viktigt område är hybridisering av lastbilar och bussar. Detta kräver en förändring i oljeteknik som kommer att orsaka minskat skydd mot skärning och kontaktutmattningshållfasthet.

På längre sikt förväntades projektet generera kunskap som kan användas för att avgöra om andra beläggningar eller ytbehandlingar kan användas för att skydda kuggen men med minskad användning av kemikalier.

### 4. Genomförande

På Scania har gruppen ”Materialteknik för Axlar och Transmission” ansvarat för genomförandet av projektet, i nära samarbete med Swerea KIMAB AB och Swerea IVF AB.

På Swerea IVF AB har olika forskare varit involverade under projekttiden. Carolina Pettersson (PhD) var projektansvarig när projektet avslutades. Swerea IVF AB har lång erfarenhet av att arbeta med ytbehandlingar, inklusive fosfatering, och har en pilotanläggning som är lämplig för processtudier. Denna kunskap applicerades på manganfosfateringsprocessen. Swerea IVF AB använde bågare och pilotanläggningen för att studera, utvärdera och optimera manganfosfateringsprocessen. Swerea IVF AB utvecklade också metoder för att utvärdera och klassificera manganfosfatskikten. Multivariat analys utfördes på processparametrarna för att finna de primära faktorer som påverkar skiktet. I slutfasen användes pilotanläggningen för att manganfosfatera kugghjul för kontaktutmattningsprovning.

På Swerea KIMAB AB har Sven Haglund (PhD) varit projektansvarig. Swerea KIMAB AB har studerat kontaktutmattningshållfasthet under lång tid och olika typer av ythårdning har studerats ingående<sup>5</sup>. Denna kunskap har applicerats på projektet. Testmetoden använde två rullar i kontakt i en varierbar glidning (lämplig för kugghjulstest). Swerea KIMAB AB utvecklade en metod för att mäta och utvärdera kontaktutmattningssskador från provningen. Kontaktutmattningsprovningen gav resultat för olika stålsorter och ytbehandlingar, men kunde inte generera resultat för manganfosfaterade rullar. Tyvärr visade det sig att testtriggen som användes inte var lämplig för de kontaktryck som var nödvändiga för att utvärdera kontaktutmattningshållfastheten hos manganfosfaterade

---

<sup>5</sup> Meurling, F., Melander, A., Tidesten, M. and Westin, L., Influence of carbide and inclusion contents on the fatigue properties of high speed steels and tool steels, International Journal of Fatigue, Vol.23, Issue 3, pp 215-224 (2001)

rullar. Provningsen avbröts i förtid och medlen från Vinnova omfördelades inom projektet. Trots detta har Swerea KIMAB AB bidragit med viktiga resultat till projektet.

För att kunna utvärdera manganfosfatskikten köptes kontaktutmattningsprovning av ett institut i Tyskland (Laboratory for Machine Tools and Production Engineering (WZL) of RWTH Aachen University). Provningsen utfördes i en FZG-rigg (med kuggghjul istället för rullar). Denna provning var mycket framgångsrik och har bidragit med värdefulla kontaktutmattningshållfasthetsdata .

Scania ansvarade för att leverera provmaterial, dvs. rullar med olika stålsorter och ytbehandlingar. Scania tillhandhöll även processdata från produktionen och parametrar som användes i kontaktutmattningsprovningen (beräknad att likna kuggkontakt i en Scania växellåda). Inom projektet utförde Scania flera storskaliga utmattningsstest för att grundligt undersöka manganfosfateringen. Både raka och snedskurna kuggghjul (växellåda) och hypoidväxlar (axel) undersöktes. Två olika omgångar med fullskaliga axelriggprov utfördes för att utvärdera manganfosfatskikt jämfört med andra ytbehandlingar. För växellåda utfördes två större utredningar. Skärningsprestandan utvärderades i fullskaligt växellådsriggprov och kontaktutmattningshållfasthet utvärderades i Scantias fyrkantrigg (FZG-typ).

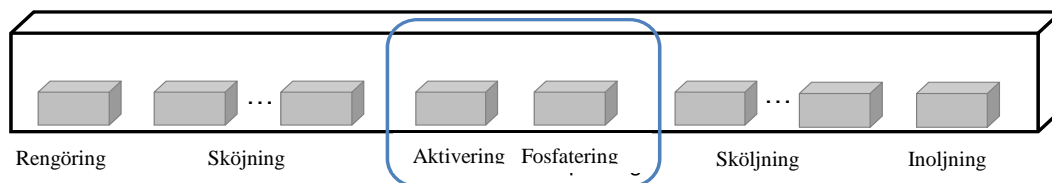
På grund av att provningen med rullar avbröts har jämförelse med olika smörjmedlen inte varit möjligt att genomföra. Denna del planeras i kommande projekt.

Kommunikationen mellan Scania och instituten genomfördes med ett antal telefonmöten och mindre seminarier. Dessutom har en styrgrupp med representanter från Scania följt och kontrollerat projektet.

## 5. Resultat

### 5.1 Processtudie

Processtudien fokuserade på två steg i processen, aktiveringen och manganfosfateringen (se figur 3). De övriga stegen hölls konstanta under experimenten.

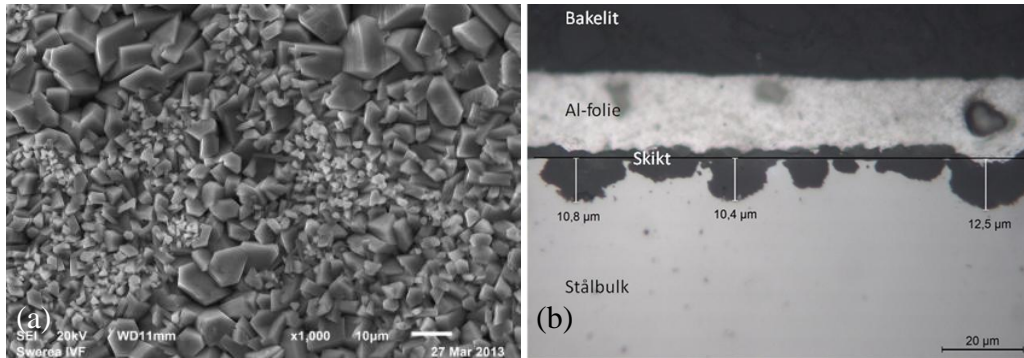


Figur 3. Vanliga steg i manganfosfateringsprocessen.

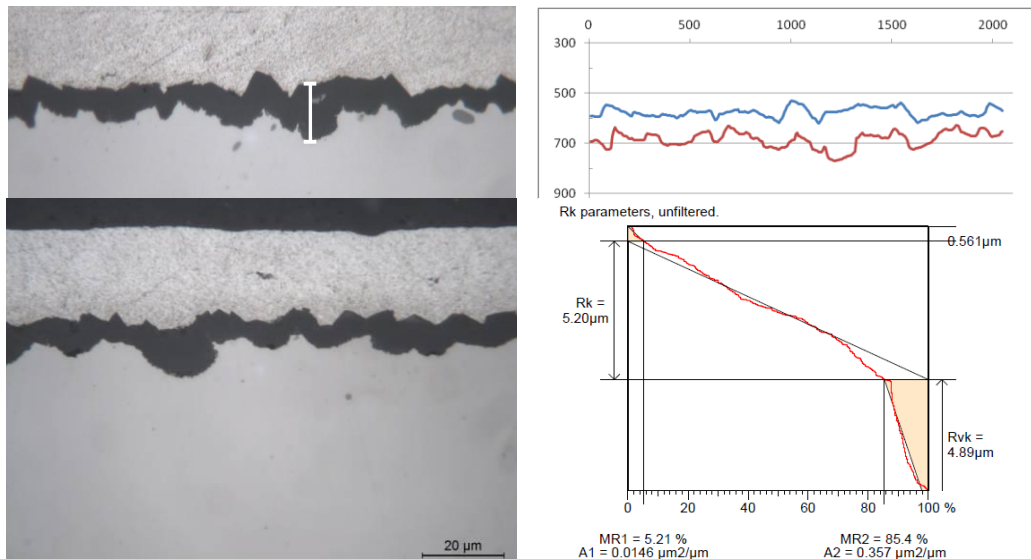
Experiment i bägare gjordes för att hitta de processparametrar som inverkar mest vid bildandet av skikten. Nästa steg var experiment i pilotanläggning med det slutliga målet att ta fram väldefinierade manganfosfatskikt på kuggghjul för kontaktutmattningsprovning. Pilotanläggningen för ytbehandling hos Swerea IVF AB är utrustad med bad för spray- eller doppbehandling. Linan är automatiserad och kan programmeras med önskade behandlingstider och pauser.

## Metod för utvärdering och undersökning av belagda ytor

Kristallstorleken och det allmänna utseendet, inklusive täckning och möjliga defekter studerades i SEM (svepelektronmikroskop), se figur 4a. Tvärsnitt ingjutna i bakelit studerades i ljusoptiskt mikroskop, se figur 4b och betgroparna räknades. Ett bildanalysmakro utvecklades och användes för mätning av skiktjocklek och ytfiuhet (se figur 5).



**Figur 4. a) SEM-bild på manganfosfaterat prov med 100% täckning och varierande kristallstorlek (ca 2-20 µm). b) Tvärsnitt av manganfosfaterat prov med betgropar. Aluminiumfolien applicerades innan ingjutning i bakelit för att enklare kunna urskilja skiktet.**



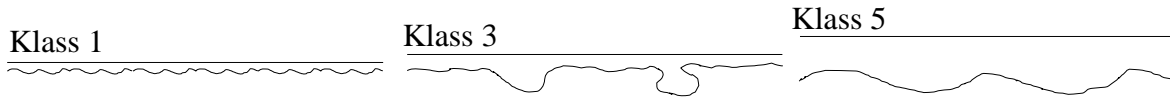
**Figur 5. Tvärsnitt och exempel på resultat från bildanalysen.**

## Försök i bågare

Försöken visade att ökad koncentration av aktiveringssalt A resulterade i mindre, mer enhetliga kristaller och även en minskad skiktjocklek. Ökad koncentration av manganfosfateringskemikalie (MnPh-kemikalie) resulterade i ökad skiktjocklek samt fler och djupare betgropar. Även kristallstorleken hade en tendens att öka med ökande koncentration av MnPh-kemikalie, men ingen tydlig trend kunde urskiljas. En temperatur på 95 °C istället för 85 °C i manganfosfateringsbadet ledde inte till ett bättre skikt, snarare tvärtom.



Ett nytt sätt att klassificera skikten utvecklades under analysen av bägarskaleförsöken. Skiktet uppdelades i klasser från 1 till 5 (se figur 6), där klass 1 beskriver ett tunt skikt med små kristaller och inga betgropar. Klass 5 beskriver ett tjockt skikt med stora kristaller och kraftig men jämn betning. Mitt emellan är klass 3, som har mediumtjocklek och enskilda betgropar. Klasserna 2 och 4 är blandningar av de närliggande klasserna.



Figur 6. Schematiska bilder av klass 1, 3 och 5 skikt.

### Försök i pilotanläggningen

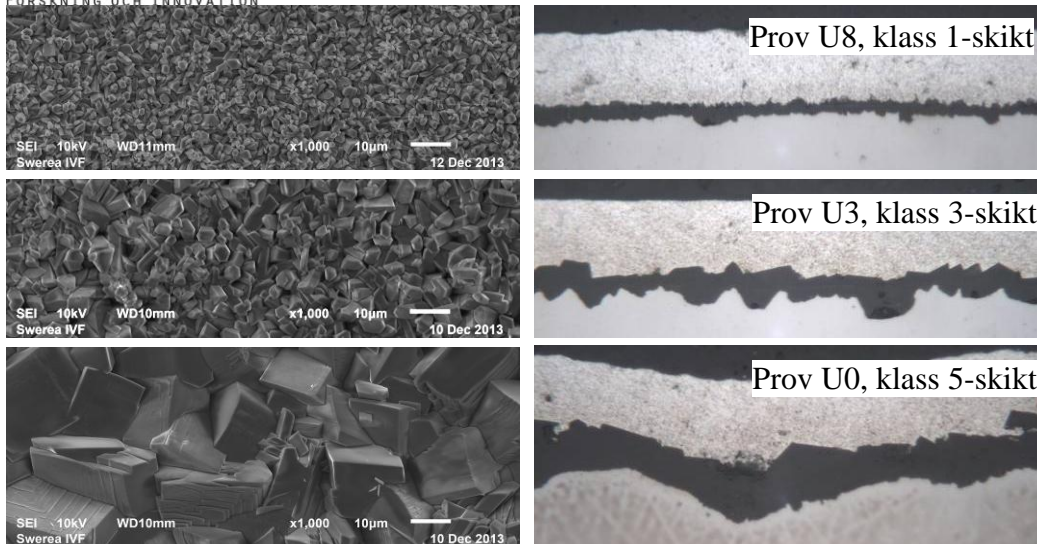
5 uppskalningsförsök behövdes innan processen var under kontroll. Efter detta utfördes optimeringsförsöken, ett flerfaktorförsök som analyserades utförligt för att hitta de optimala processparametrarna (se tabell 1). Ur optimeringsförsöken valdes O8 och O3 ut för utvärdering i kontaktutmattningsprovning (kugg) tillsammans med ett prov med ingen aktivering (O7 valdes inte på grund av det stora antalet betgropar för sin klass). Dessa tre försök uppvisade skikt med spridning i kristallstorlek, skiktjocklek och betgropar. Processkontrollproverna som manganfosfaterades samtidigt som kugghjulen visade önskade skikt för alla tre varianterna (se tabell 2 och figur 7).

Tabell 1. Resultat för optimeringsserien och från försök utan aktivering (bägarskaleförsök). "Ingen aktivering" var inte del av optimeringsförsöken men indikerar att dess parametrar genererar stora kristaller, tjockare skikt och fler betgropar.

Försök	O1	O7	O4	O6	O2	O8	O5	O3	Ingen aktivering
Konc. aktiveringssalt A	låg	låg	hög	hög	hög	hög	låg	låg	-
Aktiveringstid	kort	lång	kort	lång	kort	lång	lång	kort	-
Konc. MnPh kemikalie	låg	låg	låg	låg	hög	hög	hög	hög	hög
Medeltjocklek	låg	medium	låg	medium	medium	låg	låg	medium	hög
Antal betgropar	få	många	medium	medium	få	få	få	medium	många
Kristallstorlek	små Jämnast fördelning	medium Jämn fördelning	små Några defekter	små-medium Stora under, mindre över, Defekter	små Rektangulära kristaller, Jämn fördelning	små Jämn fördelning	små Jämn fördelning	medium Jämn fördelning	stora Jämn fördelning
<b>Klass</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2-3</b>	<b>5</b>

Tabell 2. Manganfosfateringsresultat för processkontrollproverna (manganfosfaterade samtidigt som kugghjulen för kontaktutmattningsprovning).

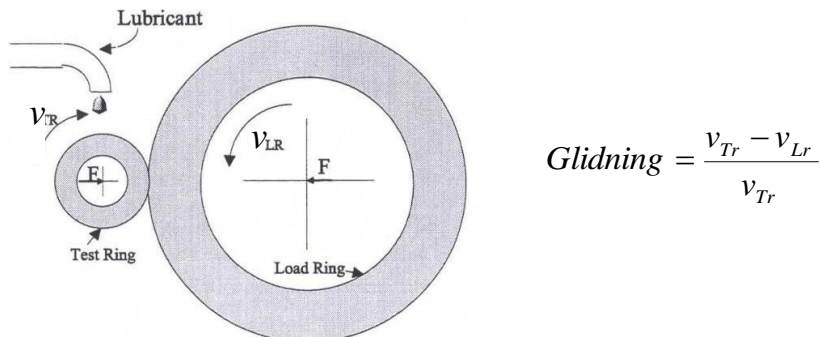
Försök	U8	U3	U0
Konc. aktiveringssalt A	hög	låg	-
Aktiveringstid	lång	kort	-
Konc. MnPh kemikalie	hög	hög	hög
Medeltjocklek	låg	medium	hög
Antal betgropar	få	medium	många
Kristallstorlek	små	medium	stora
<b>Klass</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>



Figur 7. SEM-bilder och tvärsnitt på prov från kontaktutmattningsförsöken.

## 5.2 Kontaktutmattningsprovning (rulle mot rulle)

Kontaktutmattningsprovningen hos Swerea KIMAB AB utfördes i en rulle mot rulle provrigg (se figur 8). Parametrarna som kan varieras är hastighet, last, oljetemperatur och glidning.



Figur 8. Schematisk bild på provuppställningen och definitionen på glidning.

Provrullarna svarvades ur smidesämnen, härdades och slipades. Några rullar kulblästrades och/eller manganfوسفaterades. Lastrullarna tillverkades i Ovako 825B och seghärdades till en hårdhet av 64 HRC. Fyra olika kröningar på lastringen användes: 6, 21,5, 25 och 30 mm.

Provningen visade att med de använda testparametrarna var mikropitting den dominerande skademekanismen. Flera försök med justerade testparametrar, bland annat polerade lastrullar och ändrad glidning utfördes. Mikropitting var fortfarande dominerande även om vissa pittingskador observerades.

Kontakttrycket ökades och en extra fin polering av lastrullarna utfördes. Pitting observerades i fyra av de sex proverna. Denna metod visade sig vara den mest tillförlitliga och gav pittingskador som kunde utvärderas. Tyvärr var testmetoden med

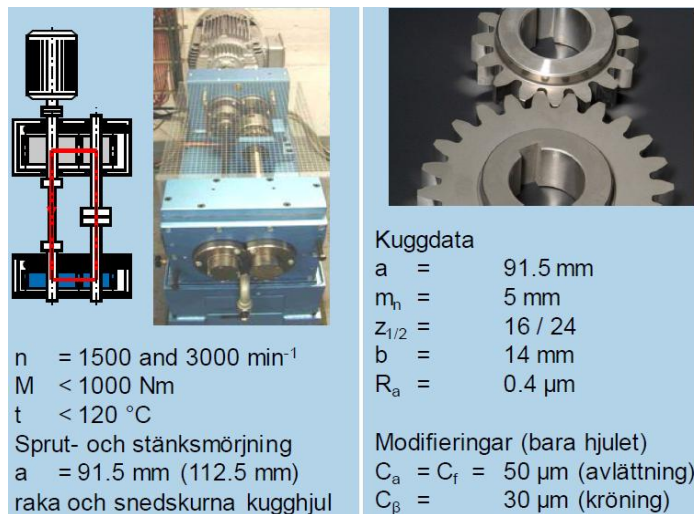
extra fin polering av lastrullarna inte tillräckligt för att producera pittingskador och för att reducera bildningen av mikropitting på manganfosfaterade rullar.

Flera faktorer främjade mikropitting: hög slip, hög temperatur och höga halter av tillsatser i oljan. Om mikropitting utvecklas på provrullen minskar kontaktrycket på grund av ökande kontaktarea. Detta är i motsats till de mekanismer på kugghjul där mikropitting istället kan leda till ökade lokala spänningar och främja pitting. De kontaktutmattningssprickor som så småningom skulle ha utvecklats till pitting kan ha avlägsnats av mikropittingen. Bildningen av spår resulterar också i reducerat kontaktryckt, även om den pålagda lasten är konstant. Det reducerade kontaktrycket kan vara under tröskeln för pitting. Därför är det av avgörande betydelse att förhindra mikropitting under kontaktutmattningsprovnings.

### 5.3 Kontaktutmattningsprovning (kugghjul (FZG))

På grund av bristen på pittingskador i rulle mot rulle-provningsen beslutade styrgruppen att använda ett av back up-alternativen, FZG-provning. FZG-provningen är av "back-to-back"-typ och är lämplig för att testa kontaktutmattningshållfastheten för raka och snedskurna kugghjul. Figur 9 visar FZG-riggen och kuggdata som användes för provningen. Provningsen utfördes vid ett institut i Tyskland (Laboratory for Machine Tools and Production Engineering (WZL) of RWTH Aachen University).

Metoden som användes var baserad på FVA 371 med en växellådsolja med låg viskositet (75W-80) vid en temperatur på 100 °C. Provningsen utfördes tills pittingskador uppträdde eller antalet lastcykler översteg 40 000 000 (genomlöpare).

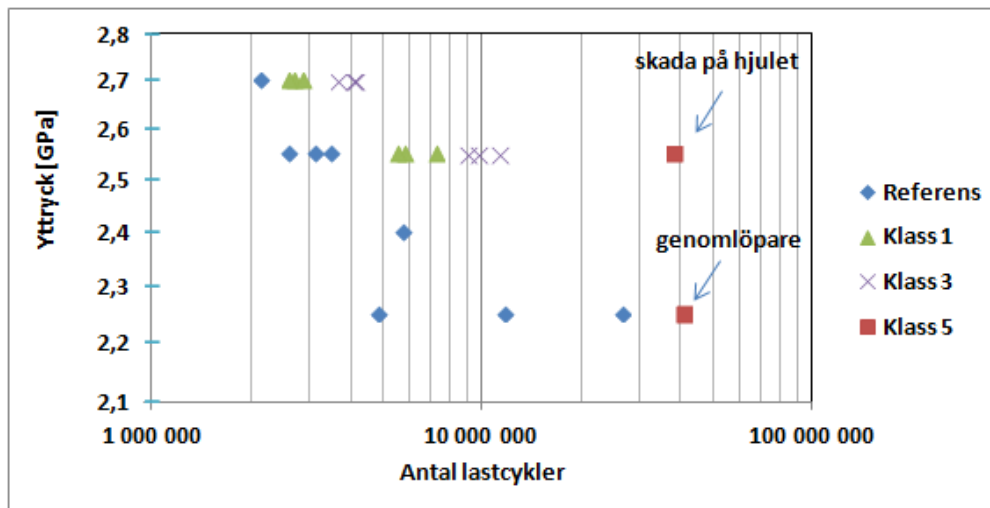


Figur 9. FZG-riggen och kuggdata för provningen hos WZL.

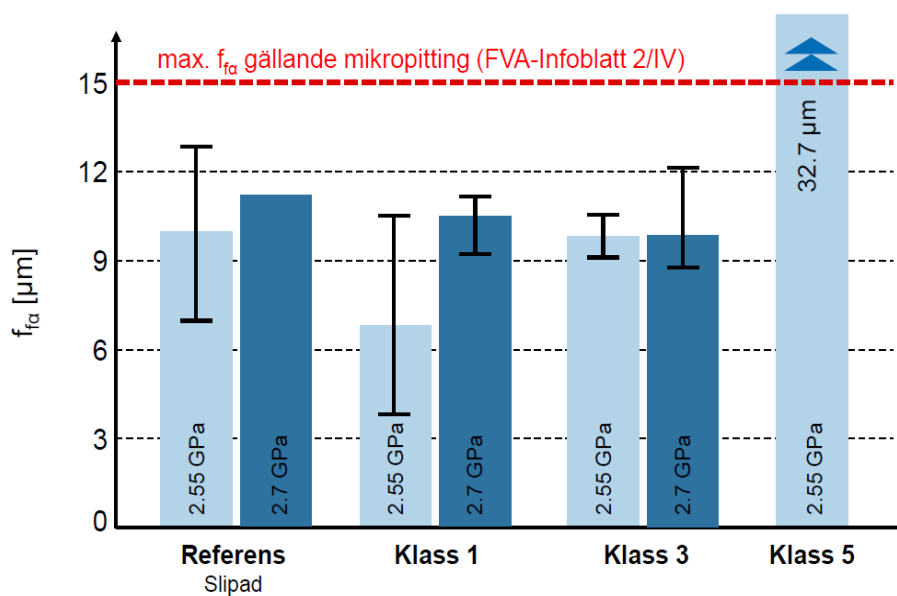
Figur 10 visar att manganfosfatskikten förbättra kontaktutmattningshållfasthet i FZG-provningsen. Klass 3-skiktet visade den bästa prestandan vid de valda provnivåerna (2,55 GPa och 2,7 GPa). Detta tyder på att en lagom betning med väldefinierade betgropar, lite större kristaller och ett något tjockare skikt är fördelaktigare för kontaktutmattningshållfastheten. Detta verkar göra inkörningsförloppet mildare och minskar antalet

ytskadeinitieringar som i slutändan leder till pittingskador. Det är möjligt att betgroparna underlättar smörjningen av kuggkontakten till skillnad från en mer jämn yta. Detta i kombination med ett lite tjockare skikt som skyddar ytorna lite effektivare verkar gör att kontaktutmattningshållfastheten ökar.

Klassen 5-skiktet visade mycket bra resultat men profilmätningarna efter provningen visade att profilavvikelsen var för stor för att räknas som giltiga prov (se figur 11). Yttrycket i provningen blev för låg på grund av profilavvikelsen. Därför diskvalificerades Klass 5-skiktet från ytterligare provning.



Figur 10. Kontaktutmattningsresultat. Klass 5-resultaten var inte godkända på grund av för stor profilavvikelse efter provning.



Figur 11. Profilavvikelserna för pinjongerna efter provning.

## 5.4 Bidrag till FFI-mål

Projektets mål har på flera olika sätt bidragit till FFI-programmets mål. Den kuggprovning som tagits fram och utförts kommer att ge möjlighet att minska dyra och tidskrävande fullskaliga riggprov. Detta ökar utvecklingstakten och konkurrenskraften hos våra produkter. Dessutom bidrar det till att minska utvecklingskostnaden samt att frigöra resurser som kan användas effektivare. Genom att kunna öka hållfastheten utan att behöva öka vikten kommer detta att skapa möjlighet att reducera utsläppen från tunga transporter. Dessutom finns möjlighet att minska viskositeten på växellådsoljan vilket ytterligare kan bidra till att minska bränsleförbrukning och utsläpp. Detta gör att Scania kommer att kunna konkurrera med effektiva lösningar för tunga transporter. Utöver detta så har projektet visat att på vissa komponenter är manganfosfatering inte den bästa lösningen. Manganfosfatering har tagits bort i detta fall och inneburit minskad kostnad för Scania och för slutkunden.

För att uppnå projektmålen och programmets mål har det varit ett nära samarbetet med Swerea KIMAB AB och Swerea IVF AB vilket därmed stärkt forsknings- och innovationsmiljöer där industri och forskningsinstitut samarbetar. Scania har även genomfört ett examensarbete vilket också lett till visst samarbete med andra akademiska institutioner.

Sammanfattningsvis har projektet bidragit till följande mål inom FFI-programmet.

- Projektet har stärkt fordonsindustrins konkurrenskraft.
- Projektet har främjat industrirelevanta forsknings- och utvecklingsinsatser.
- Projektet har stött forsknings- och innovationsmiljöer där industri och forskningsinstitut samverkar.
- Projektet har stärkt samarbetet mellan fordonsindustrin och forskningsinstitutet.

Utöver detta har två stycken studenter från Universitet i Aachen gjort sin praktik på Scania tack vare de kontakter som byggts upp under tiden FZG-provningen pågått. Ytterligare en kommer att börja under hösten. Dessa har inte direkt arbetat med detta projekt men kommer att hjälpa till att sprida en positiv bild av Scania och i slutändan hjälpa till att Scania kan rekrytera duktig personal i Sverige och utomlands. I slutändan är detta viktigt för att bibehålla en stark position globalt.

## 6. Spridning och publicering

### 6.1 Kunskaps- och resultatspridning

Den kuggprovning som användes visade sig vara mer repeterbar än vi har sett tidigare i kontaktutmattningsprovning. Mer verifiering krävs men metoden kommer att fortsätta att användas för att spara tid i fullskaliga rigg. Scania kommer själva att köpa denna typ av rigg för att effektivisera produktutveckling av kugghjulen. Resultaten från projektet kommer att användas som input för att trimma metoden och kommer att användas på alla möjliga typer av kuggutveckling (material, geometri, ytbehandling osv.). Erfarenheterna från processtudien har gjort att Swerea IVF AB och Scania har byggt upp en stark kunskap för denna typ av ytbehandling. Detta har gjort att Swerea IVF AB har kunnat erbjuda andra företag utbildning på området.

## 6.2 Publikationer

### Konferenspresentationer

- Produktionsklusterkonferens 2013, Mötesplats för framtidens framgångsrika verkstäder, 2013
- Produktionsklusterkonferens 2014, Mötesplats för framtidens framgångsrika verkstäder, 2014

### Extern utbildning

- Kurs angående fosfatering, ges av Swerea IVF AB

### Examensarbete

- “The influence of copper on the quality of manganese phosphate coatings and the running-in of crown wheels and pinions”  
Paul Janik, 2010, Kungliga Tekniska Högskolan, Materialvetenskap, Sverige

### Dataprogram

- Leica Qwin-makro för bildanalys av ytor och beläggningar

### Projektrapporter

- “Rolling contact fatigue tests of ground, shot peened and manganese phosphated rings”  
Sven Haglund, 2013, KIMAB-2013-507, Swerea KIMAB AB, Sverige
- “Manganese phosphating for increased contact fatigue”  
Carolina Pettersson, 2014, projektrapport 21829, Swerea IVF AB, Sverige
- “Increased Contact Fatigue by Manganese Phosphating”  
René Greschert, WZL RWTH Aachen, Tyskland

### Interna rapporter

- Utvärdering av manganfosfatering i axelapplikationer – kontaktutmattning och skärningsprovning  
Scaniarapporter: 7002990, 7003060, 7006627, 7006653, 7008964, 7010166, 7012623, 7014191, 7016441
- Utvärdering av manganfosfaterings skärningsprestandan i växellådsapplikationer  
Scaniarapporter: 7012527, 7013959, 7019392
- Utvärdering av manganfosfatering i växellådsapplikationer – kontaktutmattningsprovning i fyrkantsrigg (FZG typ)  
Scaniarapporter: 7012872, 7014535
- Materialundersökning av rullar och FZG kugghjul  
Scaniarapporter: 7023094, 7023088

### Interna styrdokument/riktlinjer

- STD4291, “Phosphate conversion coatings”, Scaniastandard
- TB4221, “Manganese phosphated gears”, Scania teknisk bestämmelse
- Uppdaterad “PROCESSINSTRUKTION förtvätt och manganfosfatering”

### Uppfinningsanmälningar

- 19291, ”Betning av kulpeenad kugg”, Peter Björklund m.fl.
- 19290, "Fosfatering av kulpeenad kugg", Peter Björklund m.fl.

## 7. Slutsatser och fortsatt forskning

Ur allmän synpunkt är samarbetet mellan Scania och Swerea IVF AB och Swerea KIMAB AB nu väl etablerad och har stärkts. Projektresultaten används av samtliga projektpartners.

Projektet har genererat följande:

- Metod för rankning och utvärdering av manganfosfatering med avseende på
  - Skiktegenskaper.
  - Processens påverkan på metallytan.
  - Kontaktutmattningshållfasthetsegenskaper.
- Instruktion för optimerad manganfosfatskikt.
- En ny metod för utvärdering och granskning av belagda ytor.
- En screening-metod för provning av kugghjul. Detta kommer att förkorta utvecklingstiden och frigöra resurser i fullskaleriggarna som används för slutlig verifiering.
- Förbättrad kontaktutmattningshållfasthet vid användning av optimerat manganfosfatskikt på raka och snedskurna kugghjul (växellåda) och möjligheten att använda lägre viskositet på växellådsoljan. Detta kommer att generera en möjlighet att minska bränsleförbrukningen.

Den forskning som bedrivits inom projektet har visat att manganfosfateringen är fördelaktigt för växellådsapplikationer. Det är fortfarande viktigt att fortsätta med utvärderingen och verifieringen, särskilt i kombination med olika smörjmedel. Detta projekt kommer att fortsätta som ett internt projekt och samarbete med Swerea IVF AB och Swerea KIMAB AB kommer att fortsätta.

FZG-provningen och utvärderingen av manganfosfaterade kugghjul visade tydliga och konsekventa resultat och bidrog till beslutet att investera i att provningskapaciteten hos Scania. Under 2014 finns det planer på att köpa två FZG-riggarna som kommer att öka forskningsmöjligheter för kugghjul. FZG-riggarna kommer att minska utvecklingstiden och frigöra resurser i de fullskaliga riggarna som används för slutlig verifiering.

## 8. Deltagande parter och kontaktpersoner

### Scania CV AB

Peter Björklund

[peter\\_x.bjorklund@scania.com](mailto:peter_x.bjorklund@scania.com)

Matti Näslund (projektledare)

[matti.naslund@scania.com](mailto:matti.naslund@scania.com)



### Swerea IVF AB

Carolina Pettersson (PhD)

[carolina.pettersson@swerea.se](mailto:carolina.pettersson@swerea.se)



### Swerea KIMAB AB

Sven Haglund (PhD)

[sven.haglund@swerea.se](mailto:sven.haglund@swerea.se)

