

FFI

FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

Optimering av materialval och kontaktytor på ventiler och ventilsäten för att möjliggöra miljövänliga lastbilsmotorer



Slutrapport Dnr. 2011-03653

Delprogram: Fordonsutveckling

Staffan Jacobson
Ångströms tribomaterialgrupp
Uppsala universitet
6 februari 2015



UPPSALA
UNIVERSITET

Innehåll

1. Sammanfattning	3
2. Bakgrund	4
3. Syfte	4
4. Genomförande	4
5. Resultat	6
5.1 Bidrag till FFI-mål	6
5.2 Konkreta resultat	6
6. Spridning och publicering	12
6.1 Kunskaps- och resultatspridning	13
6.2 Publikationer	13
7. Slutsatser och fortsatt forskning	15
8. Deltagande parter och kontaktpersoner	16

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

1. Sammanfattning

Projektet har syftat till att ge Scania den ökade kunskap som är nödvändig för att optimera materialkombinationer och konstruktiv utformning i ventil/ventilsätetskontakten. Projektet har varit en direkt fördjupning och breddning av det tidigare projektet: Dnr 2009-01208, och delar därför i huvudsak både målsättning och metodik med detta. När föregående slutrapport skrevs (jan 2013) hade denna projektetapp redan sökts och beviljats. Detta medför naturligt att rapporterna från de båda projektetapperna delvis överlappar och att fokus här har lagts på rapportering av metodutveckling och de nya resultat som framkommit.

Intressant nog baseras projektet på nötningsproblematik som uppstår när kraven på renare avgaser skärps. Speciellt måste Scania parera de problem med nötning och vidhängande verkningsgradsförlust som uppkommer när flödet av partiklar genom ventilerna minskar, vilket sker som ett resultat av anpassningen till Euro 6-nivåerna på partikelemissioner. De kunskaper som genererats stärker Scantias position för framtida utveckling av ventilsystemet och ger en bättre förbättrad position vid dialogen med underleverantörer.

Projektet har utförts i nära samarbete mellan Scania CV och Tribomaterialgruppen vid Uppsala universitet. Scania-gruppen har letts av Åsa Gustafson med medarbetare från den mest relevanta avdelningen inom konstruktion och provning. Uppsalagruppen har haft en sammansättning bestående av en doktorand (Robin Elo), en och tribomaterialgruppens forskningsledare (Staffan Jacobson). Under projektets inledande månader gick Robin Elo dubbelt med Peter Forsberg, som sedan disputerade på sina arbeten inom första projektfasen i september 2013.

Forskningsmässigt har Uppsala stått för mikroskopiundersökningar, ytanalys, konstruktion och intrimning av provrigg, framtagning av provmetodik, samt körningar i provriggen. Uppsala har vidare, i samråd med Scania, ansvarat för publikationer och presentationer vid öppna seminarier och konferenser.

Scania har först guidat Uppsala in i ventilsystemens komplexa värld och under hand tagit fram ”verkliga” nötta ventiler från fältprovningar och motorcellkörningar vid Scantias teknikcentrum, nya ventiler och säten för körningar i Uppsalas rigg, data kring ventilsystemens detaljerade geometri, mm.

Projektet har varit mycket framgångsrikt och genererat värdefull ny kunskap, främst om de emitterade partiklarnas stora skyddande inverkan i ventilsystemen där de bildar nötningsminskande filmer, hur dessa filmer byggs upp och hur höga krav som måste ställas på system som ska fungera utan partikelflödet. Vidare har en ny effektiv provutrustning och provningsmetodik utvecklats. Provmetoden är unik, har givit ny kunskap och har fått uppmärksamhet från fler motortillverkare.

Resultaten har presenterats vid en rad konferenser, i vetenskapliga tidskrifter, och har resulterat i en doktorsavhandling. Vidare har projektet förstärkt banden mellan Scania CV och Uppsala universitet.

2. Bakgrund

De tribologiska förhållandena för både avgasventilerna och inloppsventilerna i tunga dieselmotorer blir allt svårare. Paradoxalt nog är det de allt högre kraven på låga emissioner som leder till detta. Ventilerna (kontaktytorna mellan sätet och ventilen) utsätts för slagpåkänningar och kort glidande kontakt (storleksordningen 10 μm glidning), under höga temperaturer i korrosiva atmosfärer. Ytorna i denna besvärliga kontakt har tidigare skyddats av de beläggningar som spontant byggs upp av sot, svavelföreningar och rester av smörjolja och bränsle. Dessa beläggningar kallas här tribofilmer.

Med de extrema krav på avgasrenhet som är på väg att införas, måste källorna till dessa mikroskopiska partiklar och föroreningar kraftigt minskas eller helt elimineras, och följaktligen kommer flödet ut genom ventilen inte längre att erbjuda råmaterialet till den skyddande beläggningen/tribofilmen.

Det måste då förväntas att nötningen av ventilkontakten ökar påtagligt, på samma sätt som redan erfärs till exempel i motorer drivna av komprimerad naturgas.

Förutom att utgöra ett rent livslängdsproblem, leder den ökade nötningen till försämrade förbränningsförhållanden, vilket i sin tur leder till renhetsproblem. Orsaken till denna försämring är att – den från början optimerade – volymen i förbränningsrummet växer när ventilerna måste föras allt längre upp i sätet för att täta. Dessutom blir strömningsmotståndet när ventilen öppnas högre. Båda dessa förändringar sänker verkningsgraden i motorn.

Från och med Euro 6 så måste emissionerna hållas låga under hela motorns livslängd, vilket medför att ökade kunskaper inom området är av yttersta vikt för Scania. Det är mot denna bakgrund som både den första och andra projekt etappen utförts.

Projektets första etapp startade med ett möte mellan parterna Scania CV och Tribomaterialgruppen på Uppsala universitet i mars 2010 och den etappens sista projektmötet hölls i december 2012. Därefter påbörjades omedelbart denna etapp där ett uppföljande möte med seminarium där resultaten presenteras för en större grupp på Scania är planerat till februari 2015. Redan när denna andra etapp av projektet startade visste vi alltså att den bygger på ett framgångsrikt koncept. Samarbetet mellan de involverade personerna på Scania CV och vid Uppsala universitet var väletablerat och effektivt. En fungerande rigg var designad med hjälp av båda parternas expertis, och hade redan nått en nivå där intressanta och unika undersökningar kunde genomföras.

3. Syfte

Redan mot slutet av första projektetappen kände parterna att projektet var allt för kort för att alla goda frukter skulle hinna skördas. Området är mycket komplext och de grundläggande kunskaperna var innan projektstarten begränsade (inte bara inom projektet, utan även i hög grad sett till state-of-the-art i forskningslitteraturen).

Vidare konstaterades att området blir allt viktigare. Utvecklingsarbetet för kommande emissionslagstiftning Euro 7 har inletts och kraven är ytterligare åtstramade. Det kommer att vara ytterst hårda krav på frihet från partiklar och förbrännings sot samt låga

kväveoxidhalter och troligtvis också inslag av begränsning för koldioxidutsläpp. Krav på att motorerna ska behålla sina låga emissioner även efter lång tids användning kommer att skärpas ytterligare.

Det handlar även om att Scania behöver handlingsberedskap när förutsättningarna ändras inte bara för nya motorer, utan även när den installerade basen av 1 000 000-tals motorer börjar användas med nya bränslen och bränsleblandningar, allt beroende på marknad. Olika bränsletyper kommer att öka allteftersom delar av transportsektorn kommer att ställa om från fossila bränslen till biobränslen.

Projektet breddas till att innefatta inte bara avgassidan (som i första projektfasen), utan även inloppsventiler och inloppssäten. Avgassidan har framförallt en roll att spela när det gäller hur effektivt motorn använder bränslet genom att minimera gasväxlingsförluster. Inloppssidan däremot spelar en direkt avgörande roll för att styra inloppsluftströmmarna på ett sådant sätt att förbränningen optimeras ur både ett effektivitetsperspektiv och på ett sådant sätt att sotbildning minimeras. För kommande emissionslagstiftningar kommer även kraven på mycket låg slitagehastighet på inloppsventiler att öka. Dessvärre resulterar idag ventil- och sätesdesigner optimerade mot dessa mål i dåliga slitageegenskaper. Här krävs alltså nya verktyg, som tillåter samtidig optimering mot båda målen. Förbättrade kunskaper om optimering av ytor, och om lämpliga kombinationer av material och skiktbeläggningar i ventilkontakterna, kan erbjuda dessa verktyg. En djupare förståelse för vad som bygger upp respektive bryter ner den skyddande tribofilmen kan användas som fingervisning om vilka sorts driftlägen och situationer som kan vara att föredra i framtida motorer för att skydda mot ventilslitage.

4. Genomförande

Scania CV AB, Ventilsystem vid avdelningen Motorutveckling och Basmotor vid avdelningen Materialteknik (Scania) har varit ansvarig för projektets utförande i samarbete med Tribomaterialgruppen, som är en underavdelning vid Institutionen för teknikvetenskaper vid Uppsala universitet (Uppsala).

Projektet har utförts i nära samarbete, genom en rad fysiska möten i Uppsala och i Södertälje, kompletterat med telefonmöten samt ett litet antal seminarier för en större grupp ingenjörer på Scania. Scania-gruppen har letts av Åsa Gustafson plus medarbetare från den mest relevanta avdelningen inom konstruktion och provning, Petter Kylefors, Dominique Debord, Daniel Lindberg och Ivil Hanna.

Uppsalagruppen har haft en sammansättning bestående av doktorander (först Peter Forsberg, och senare delen Robin Elo), tribomaterialgruppens ledare (professor Staffan Jacobson) och inledningsvis ytterligare en senior forskare (Patrik Hollman).

Forskningsmässigt har Uppsala stått för mikroskopiundersökningarna, ytanalys, konstruktion och intrimning av provrigg, framtagning av provmetodik, samt körningar i provriggen. Uppsala har vidare, i samråd med Scania, ansvarat för publikationer och presentationer vid öppna seminarier och konferenser.

Scania har först stått för att sätta in Uppsala i ventilsystemens komplexa värld och gett en förståelse för dagens och framtidens krav och begränsningar. Vidare har Scania bland annat tagit fram ”verkliga” nöta ventiler från fältprovningar och motorcellkörningar vid Scantias teknikcentrum, samt levererat ventiler och säten för

körningar i Uppsalas rigg, samt de data av ventilsystemens detaljerade geometri, framställning och sammansättning som krävts för analys av provningen.

5. Resultat

5.1 Bidrag till FFI-mål

Enkelt uttryckt kan man säga att detta projekt bidrar till i stort sett alla FFI's mål (Enligt den följande listan). Några extra ord kan vara på sin plats om ett par punkter: Vår strävan att skapa en förbättrad kunskapsplattform inom området för nötningsmekanismer för ventilsystemet kommer att bidra till ett mer systematiskt tillvägagångssätt för framtida utvecklingsarbete och till en starkare ställning för Scantias R&D mot internationella leverantörer.

Samarbetet med Uppsala universitet kommer att stärka motorfokuset inom Sveriges materialforskning och kommer därför att ge en ökad internationell konkurrenskraft samt öppna för framtida samarbetsprojekt på andra områden, då parterna får en bättre kunskap om varandras kompetens och behov. Detta samarbete med universitetsvärlden kommer att få ökad betydelse i framtiden för att skapa ett mer vetenskapligt sätt hitta lösningar på kritiska tekniska barriärer. Eftersom utvecklingstiden för nya lösningar krymper, ökar behovet av samarbete, akademisk forskning och kunskap som kan stärka industrins kompetens och underlätta utveckling.

Som framgår av de följande avsnitten har projektet på olika sätt bidragit till att uppfylla följande punkter

- medverkat till en fortsatt konkurrenskraftig fordonsindustri i Sverige
- möjliggjort industriellt relevanta utvecklingsåtgärder
- lett till industriell teknik- och kompetensutveckling
- bidragit till stärkt FoU-verksamhet
- medverkat till att konkreta produktionsförbättringar hos Scania
- stött forsknings- och innovationsmiljöer
- verkat för att ny kunskap tas fram och implementeras,
- stärkt samverkan mellan fordonsindustrin och universitet,
- verkat för att den nationella kompetensförsörjningen tryggas samt att FoU med internationell konkurrenskraft etableras.

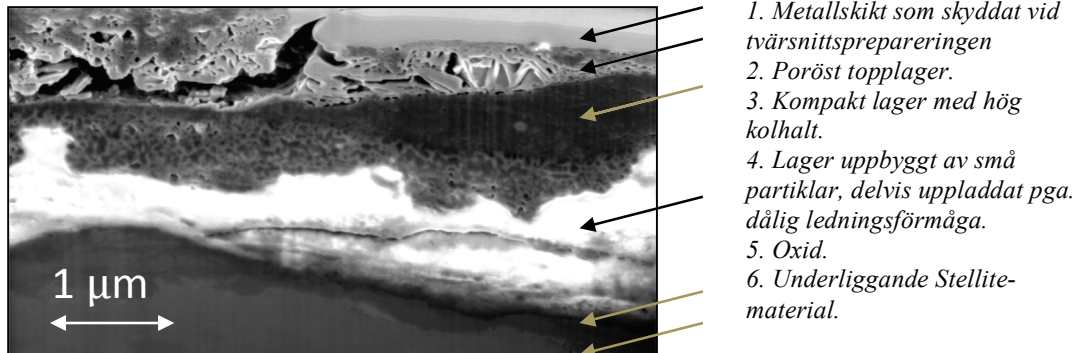
5.2 Konkreta resultat

Arbetet har varit framgångsrikt, och levererat ökad kunskap om området och användbara och lovande resultat. Ventiler och säten hämtade från fält- och motorcellsprovning har undersökts i detalj, främst med avseende på de tribofilmer som bildats, och de skillnader man kan konstatera mellan olika bränsletyper. Inom denna andra projektetapp har fokus på dessa studier flyttats från avgasventiler till inloppsventiler. Vidare har en provningsrigg konstruerats, trimmats in och levererat mängder av intressanta resultat. Den största fördelen med denna rigg jämfört med den etablerade motorcellsprovningen är att den är snabb och billig, medger fler typer av studier och mer välkontrollerade förhållanden. Inom den andra etappen har riggen utvecklats för att kunna

göra mer realistiska och välkontrollerade studier av dynamiken tribofilmuppbyggnaden. Här kan vi endast ge smakprov på alla de konkreta resultaten, med fokus på andra projektfasen. En mer fullständig redovisning av projektdelarnas samtliga resultat ges i de 7 publicerade vetenskapliga artiklarna samt Peter Forsbergs avhandling.

Kartläggning av nötning och tribofilmuppbyggnad på motorkörda ventiler

Genomgående för alla ventilsystem som undersökts, både från fält, motorcell och senare från den specialdesignade riggen, har det visat sig att de system som visar låg nötning har en skyddande tribofilm på tätningstrytorna. Denna består ofta flera olika lager med skiftande struktur och sammansättning, se Figur 2. Gemensamt för lager 2, 3 och 4 är att de innehåller halter av bland annat kalcium och zink vilka troligtvis härstammar från additiv i olja eller bränsle.



Figur 1. Typiskt tvärsnitt genom ventil från fordonstest. Lager 2-5 har byggts upp under pågående drift och utgör tribofilmen i detta fall.

I flera fall där vi funnit tribofilm på ytorna, har den underliggande ytan varit helt orörd, medan det finns fall, som i figuren, där det underliggande ventilmaterialet även har en oxidfilm och en ojämn struktur. Detta tyder på att tribofilmen inte är konstant närvarande, utan att den snarare bildas, nöts av, nybildas etc. Detta gör det väldigt komplext att jämföra olika system, ofta med relativt okända körcykler.

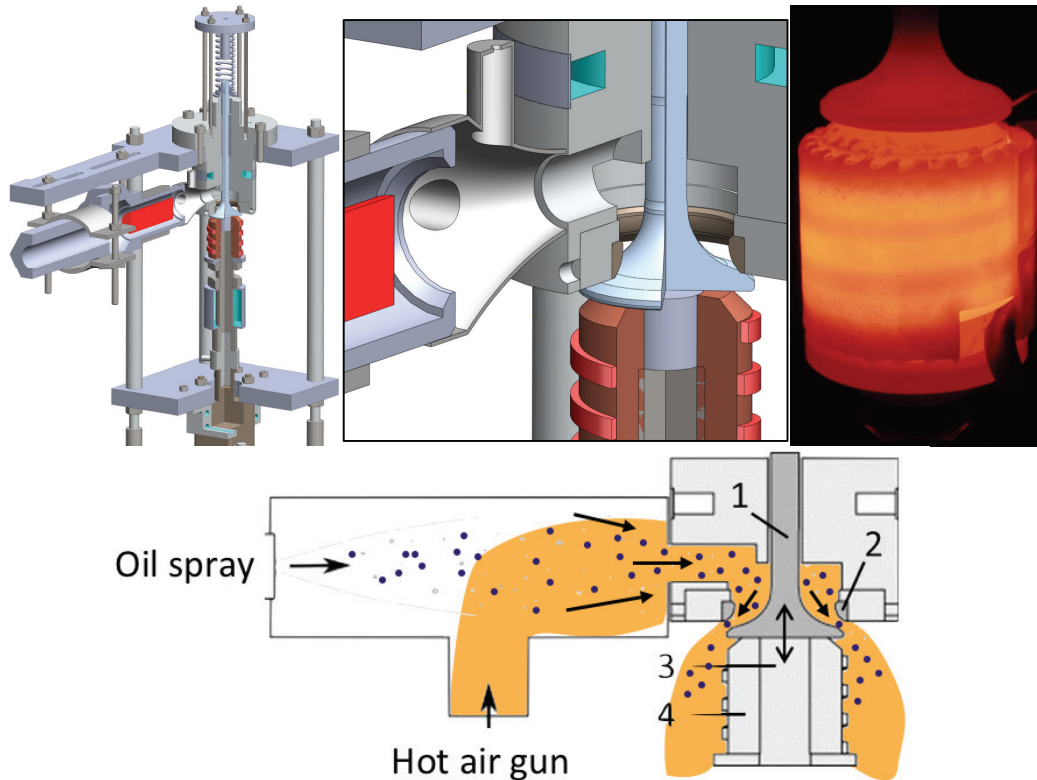
Dessa mekanismer är mycket intressanta och var till stora delar tidtagare okända.

Den nya ventiltestriggen

En testutrustning har utvecklats under projektets första etapp, och har i etapp 2 utvecklats och förfinats, se Figur 2. I riggen kan ventiler på ett enkelt sätt testas mot ventilsäten. En hydraulisk cylinder ger ventilrörelsen och lägger på tryck som motsvarar förbränningsstrycket i cylindern. En resistiv värmare värmer ventilen underifrån och förvärmad luft flödar igenom ventilen när den är öppen. I den förvärmda luften finns det även möjlighet att spraya in olja med välkontrollerat flöde. Olja förångas när den förs in och strömmar genom den arbetande ventilen. I flödet följer då även oförbrända partiklar främst bestående av oljans additiv. Riggen möjliggör att vi på ett kontrollerat sätt kan variera ett antal parametrar som inte kan separeras i motorcellstester.

En annan avgörande fördel är att test kan avbrytas, delarna demonteras, ytorna utvärderas, delarna monteras, och testet kan sedan återupptas. Något motsvarande är inte görligt i motorcellsprovning. I riggtestet kan denna utvärdering av nötning och

ytstrukturer utföras vid valfria intervall. När maskinen stannat krävs endast ett par relativt enkla steg för att demontera ventil och sätes hållare.



Figur 2. Ventiltestriggen som designats, konstruerats och nyttjats inom projektet. Vänster bild visar en översikt över de centrala delarna med ventil och ventilsäte inramade och visade i högre förstoring i mitten. Högra bilden visar den kombinerade påtryckaren och uppvärmaren samt den upphettade ventilen under drift. Den undre bilden visar flödet av varmluft och upphettad oljedimma med partiklar av oljeadditiv. Det är dessa partiklar som tenderar att klämmas fast på ventilytorna när ventilen stänger, och på så vis gradvis bygger upp tribofilmen.

Genom att vid varje tillfälle ta bilder på ett flertal fasta positioner på både sätet och ventilen skapas en bra bild över det initiala nötningsförloppet. Ett komplett test inklusive redigering och sammanställning av nötningsbilderna klaras av under en dag. Detta kontrasterar starkt mot motorcellstester som i regel körs över 400 timmar (och ofta över 1000 timmar) plus förberedelser, och inte lämpar sig för upprepade avbrott för att studera gradvisa förändringar. Ett motortest är också jämförelsevis mycket kostsamt.

Resultat från nya ventiltestriggen

En rad testserier har utförts där variationer i inmatningen av oljedimma utnyttjats på olika sätt för att generera ny kunskap. En intressant testserie illustrerar skillnaderna mellan att köra ”torrt”, dvs. helt utan oljedimma, med oljedimma men med en ren syntetolja utan additiv, och med oljedimma av en fullformulerad motorolja. Det visade sig, som väntat, att den torra kontakten leder till kraftig nötning av båda tätningsytorna, se exemplet i Figur 3 och 4.

Vidare visade det sig att både typen och mängden av olja i flödet (0,05 eller 0,5 ml olja/500 l luft ger ppm-nivåer olja i varmluftsflödet) hade inverkan på skiktuppbyggnaden. Mest intressant visade det sig vara stor skillnad i filmuppbyggnad mellan olja utan additiv och fullformulerad olja; tribofilmerna fick helt olika karaktär.



Fig. 3 Översiktsfoton av ventiler körda "tort" och med oljedimma flödande genom ventilen.

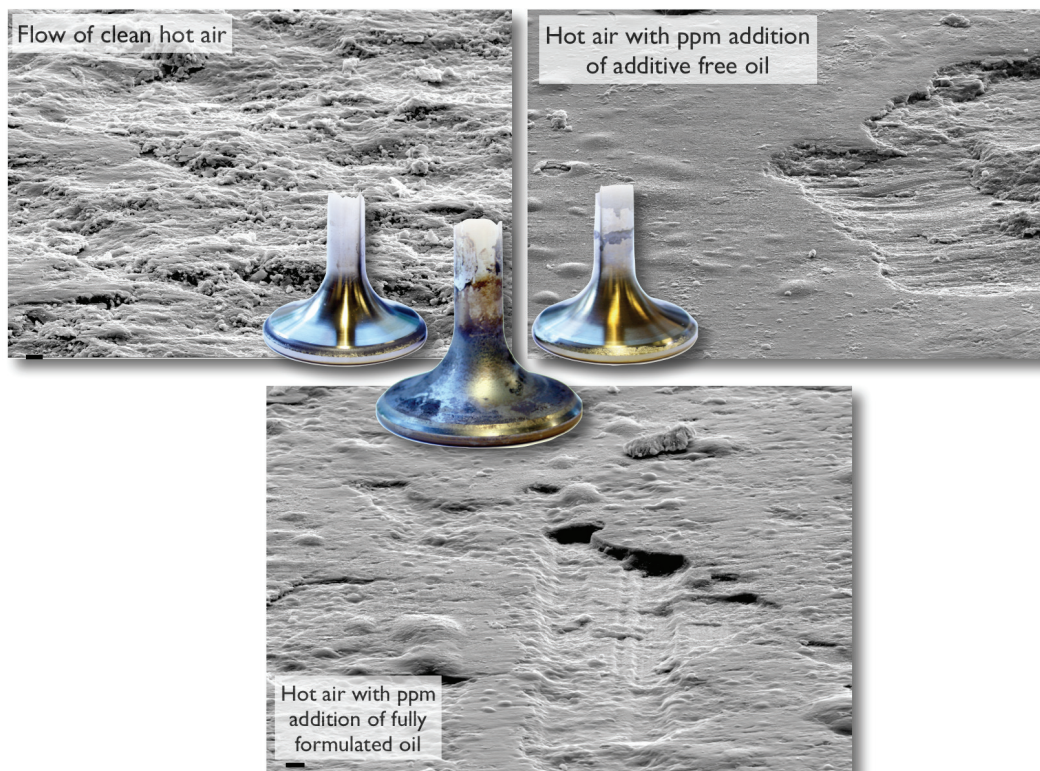


Fig.4 Mikroskopibilder av ventilerna i Fig. 3, som visar detaljer av de nötta tätningsytorna på ventilen. Tribofilm bildades i båda fallen med oljedimma, men för fallet olja utan additiv består filmen av hoppackade nötningspartiklar. Den flagar relativt lätt av och ger inget bra skydd. Den film som bildas med den fullformulerade oljan består till allra största delen av beståndsdelar i additiven, och den ger ett mycket bra skydd.

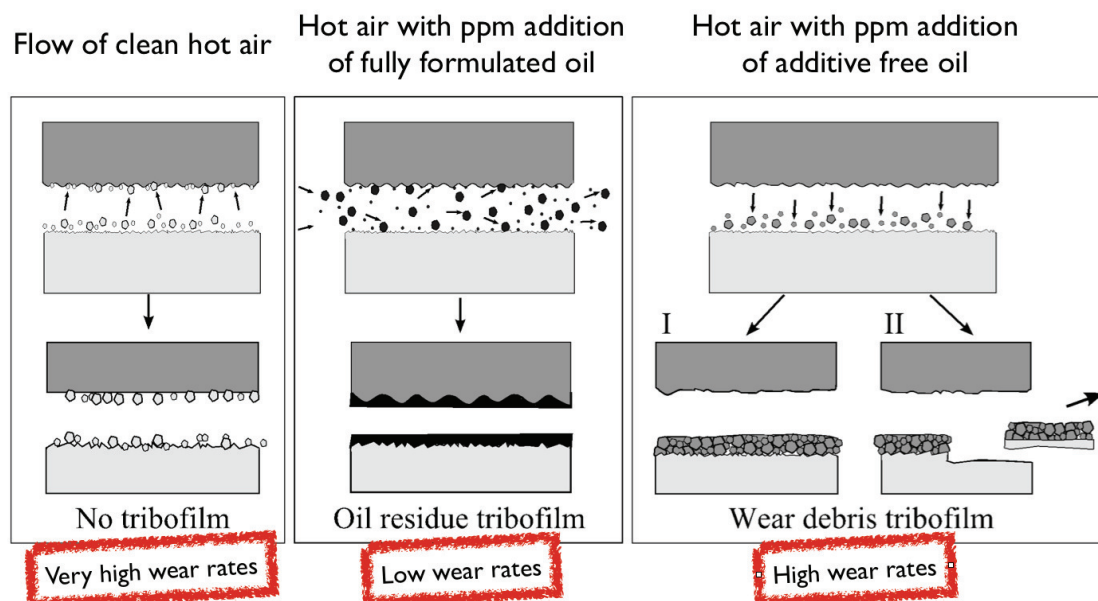


Fig. 5. Olika emissionsflöden leder till mycket olika ytförändringar, enligt typerna föreslagna ovan. a) I de "torraste" fallen, utan tillsatt oljedimma uppstår ingen sammanhållen tribofilm. De lösa nötningsfragmenten ger inget skydd, ytorna blir ojämna och nötningsstakten hög. b) Med fullformulerad olja i oljedimman bildas en slät, mycket väl skyddande film baserad på additivrester. c) Med icke-additiverad ren syntetolja i dimman bildas en tribofilm på ventilen bestående av relativt löst sammanhållna nötningspartiklar. Filmen spricker dock lätt upp och fragment skjivas av vilket leder till relativt hög nötningsstakt.

Dessa resultat kan komma att bli viktiga vid utformningen av framtida ventiler. De olika flödena, med eller utan en oljedimma som bara utgör några miljondelar av hela flödet, orsakade mycket olika ytmodifieringar.

Intressant nog är det *inte* oljans smörjande egenskaper utan dess *förmåga* att leda till bildande av skyddande tribofilmer, som är avgörande för att undvika ventilnötning. Med den rena förbränningen i framtida motorer – där additiven måste reduceras och oljeläckagen minimeras – kommer ventilernas tätningsytor utsättas för en mycket svår nötningsituation. Framtida utföranden kommer därför att behöva ytor som optimerats för att maximalt utnyttja det mycket begränsade flödet av förbränningsrester.

Om tribofilmernas dynamik

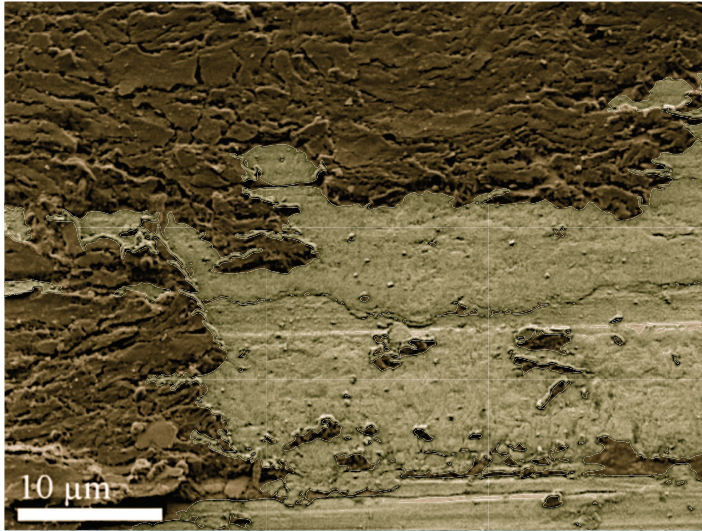
Dynamiken i de skyddande tribofilmernas uppbyggnads- och nedbrytningsprocesser har också studerats i detalj. Fyra faser identifierades. De två första pågår medan oljedimman med de filmbildande additiven tillsammans med den varma luftströmmen passerar genom ventilen. De två sista uppstår när oljeflödet stängs.

1. *Bildning* - partiklar av oljerester fastnar på ytan, agglomererar, och därefter smetas ut för att bilda en gradvis mer täckande tribofilm.
2. *Jämvikt* – Tribofilmen tillväxer tills den är närmare sig heltäckande. Två filmtyper bildas, en kolbaserad och en additivbaserad, dominerad av kalcium och fosfor.

3. *Nedbrytning* - De kolbaserade filmer nöts snabbt bort, medan den additivbaserade nöts successivt i mycket långsammare takt.
4. *Nötning av exponerat ventilmaterial* - Så småningom nöts den skyddande tribofilmen lokalt igenom, vilket leder till kraftigt slitage och oxidation av ventilytan.

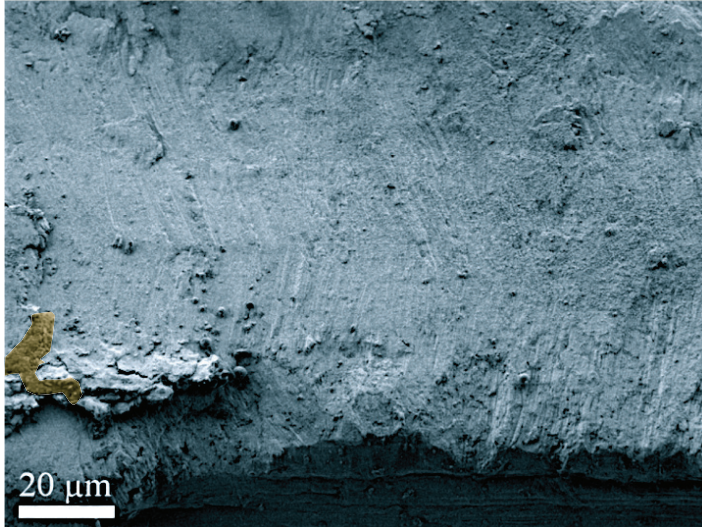
Intressant nog blev de additivbaserade tribofilmernas skyddande egenskaper avsevärt förbättrade om de fick längre tid att etableras (i jämviktsfasen), dvs ventilerna utsattes för fler stängningscykler med flöde av oljedimma. Uppenbarligen gjorde den ”knådande bearbetning” den redan heltäckande filmen väsentligt mer nötningsbeständig. De kolbaserade filmerna erbjöd mycket svagt skydd, och försvann så snart oljedimman stängdes av, se Fig. 6.

Föreliggande resultat är unika i att ge information om slitstyrka och skyddande egenskaperna hos dessa typer av tribofilmer. Det har tidigare visats att de erbjuder skydd mot slitage, i situationer när tillväxten inte kan separeras från nedbrytningen. Nu är det alltså också visat att de erbjuder ett effektivt skydd över stort antal cykler även då ingen återbildning är möjlig. Detta tyder på en möjlighet att använda olika former av kontrollerade formationssteg för att upprätthålla en etablerad, initial skyddande tribofilm. Detta kan erbjuda en lösning på utmaningen att hålla en mycket lång livslängd och samtidigt radikalt minska utsläppen av partiklar.

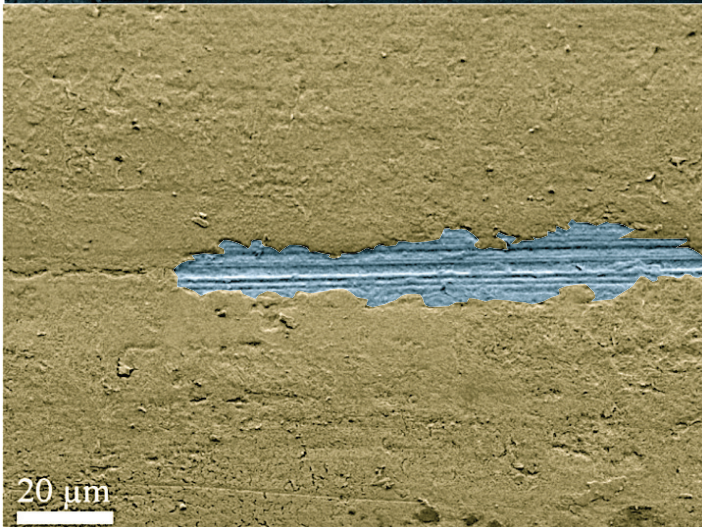


Figur 6. Närbilder på sätesytan på ventiler efter olika stadier av uppbyggnad och nedbrytning av tribofilm.

a) Redan efter 1000 stängningscykler har partiklar agglomererats och börjat smetas/bankas ut över ventilens tätningsytor. Filmen har blivit delvis täckande.. Den mörkare filmen är kolbaserad och den ljusare en tunnare additivbaserade film.



b) prov som gått 10 000 cykler med oljedimma i luftflödet följt av 10 000 utan. Den tribofilm som bildades under 10 000 cyklar har inte varit nog stabil för att ge ett effektivt skydd, utan metallytan har hunnit skadas kraftigt under den 10 000 följande slagen.



c) Prov som gått 100 000 stängnings/öppningscykler med oljedimma följt av 10 000 utan. Här erbjuder den 10 gånger mer bearbetade och "bankade och knådade" filmen ett mycket bra skydd, och är till större delen fortfarande intakt. Motytan gled nedåt under stängningsfasen.

6. Spridning och publicering

6.1 Kunskaps- och resultatspridning

Resultaten och den uppbyggda kunskapen har naturligtvis i första hand spritts inom projektet, men projektets karaktär har även gjort det möjligt att sprida kunskapen mycket öppet, vid konferenser, work shops, seminarier och även som intressanta tillämpade exempel vid civilingenjörsundervisningen i Uppsala och nationella forskarskolekurser i tribologi.

Projektets aktualitet och allmängiltighet vad gäller *miljö- och energidrivna teknisk utveckling* har gjort att det funnits ett stort intresse att höra om det vid seminarier och konferenser, även utanför den relativt snäva krets som intresserar sig just för ventilmekanismernas tribologi. För tribomaterialgruppen i Uppsala har projektet varit mycket betydelsefullt och centralt i den aktuella ”projektportföljen” som innefattat fler projekt med snarlik bakgrund. Ett exempel är Europaprojektet Helios, inriktat mot teknikutveckling som skulle kunna tillåta en konvertering av dagens fartygsdieselmotorer från drift med dagens högsvavelhaltig HFO (heavy fuel oil), till helt svavelfri naturgas. Uppsalas del i det stora projektet innebär studier av förändringarna i nötningsmekanismer när de skyddande svavelhaltiga tribofilmerna inte längre byggs upp på cylinderfoder och kolringar, och vilka materialförändringar som skulle kunna kompensera den aggressivare nötningen. Dessa båda projekt (och även fler relaterade projekt i Uppsala) berikar naturligtvis varandra.

Förutom vid reguljära projektinterna möten och presentationer har projektet och delar av resultaten presenterats och diskuterats vid en rad nationella och internationella konferenser.

Invited keynote lecture at international conference

Staffan Jacobson, *The delicate balance of tribofilm formation on combustion engine valves*, Friction, Wear and Wear Protection conference, May 2014 in Karlsruhe, Germany

Nationella och skandinaviska work shops and seminarier (skriftlig dokumentation i form av powerpoint hand-outs)

1. Robin Elo, “Motorventilernas nötningsskydd – helt taget ur luften?”, Ångströms tribomaterialdagar, Ångströms tribomaterialdagar, Uppsala 2014
2. Peter Forsberg, Ventilerna i förbränningsmotorer – en växande tribologisk utmaning, Ångströms tribomaterialdagar, Uppsala, 2013
3. Peter Forsberg; Skyddande tribofilmer från föroreningspartiklar? En ventilriggsundersökning om konsekvenser av renare avgaser, Ångströms tribomaterialdagar, Uppsala, 2012
4. Forsberg, P., P. Hollman, and S. Jacobson, Wear simulation and evaluation of heavy duty exhaust valve systems in a test rig, Skandinaviska tribologidagarna, 2011 i Trollhättan
5. Peter Forsberg; Avgasventilnötning - En djupdykning i mekanismerna bakom de extrema nötningskillnader som kan uppstå mellan olika cylindrar i samma motor, Ångströms tribomaterialdagar, Uppsala, 2011
6. Peter Forsberg, Wear mechanisms of exhaust valve systems on modern truck engines, Danish-Swedish Tribology Days 2010 i Köpenhamn

7. Peter Forsberg, Nötningsmekanismer hos avgasventilsystem i moderna lastbilmotorer, Ångströms tribomaterialdagar, 2010

6.2 Publikationer

Projektets resultat har publicerats i vetenskapliga och tekniska tidskrifter. I flera fall har samma material först presenterats muntligen vid konferenser (och skriftligen i konferensens proceedings) och sedan blivit accepterat för publikation i tidskrifter. Peter Forsberg presenterade sin avhandling inom projektet september 2013, främst baserat på en rad av nedanstående artiklar.

PhD Thesis

Forsberg, P., Combustion Valve Wear: A Tribological Study of Combustion Valve Sealing Interfaces, (Uppsala University, Acta Universitatis Upsaliensis, 2013).

Journal papers

1. Elo, R. and Jacobson, S., Formation and breakdown of oil residue tribofilms protecting the valves of diesel engines, accepted for publication, Wear 2015
2. Forsberg, P., Elo, R. and Jacobson, S., The Importance of Oil and Particle Flow for Exhaust Valve Wear – an Experimental Study, Tribology International 69 (2014) 176-83.
3. Forsberg, P., Debord, D. and Jacobson, S., Quantification of Combustion Valve Sealing Interface Sliding—a Novel Experimental Technique and Simulations, Tribology International 69 (2014) 150-55.
4. Forsberg, P., Hollman, P. and Jacobson, S., Combustion Valve Simulation Rig with Particle Flow, Lubrication Science, submitted 2014
5. Forsberg, P., Gustavsson, F., Hollman, P. and Jacobson, S., Comparison and Analysis of Protective Tribofilms Found on Heavy Duty Exhaust Valves from Field Service and Made in a Test Rig, Wear 302 (2013) 1351-59.
6. Forsberg, P., P. Hollman, and S. Jacobson, "Wear Study of Coated Heavy Duty Exhaust Valve Systems in a Experimental Test Rig". SAE Technical Paper 2012-01-0546 (2012)
7. Forsberg, P., P. Hollman, and S. Jacobson, "Wear mechanism study of exhaust valve system in modern heavy duty combustion engines". Wear 271, no. 9-10 (2011): 2477-84.

International conference papers and posters

1. Robin Elo, Staffan Jacobson, "Effect of particle flow and gas temperature on the wear of engine valves", International Tribology Conference 2015, Tokyo, Japan, accepted abstract
2. Robin Elo, Staffan Jacobson, "Formation and breakdown of oil residue tribofilms protecting the valves of diesel engines", Wear of Materials 2015, Toronto, Canada, April 2015, Poster
3. Robin Elo, Staffan Jacobson, "Formation and degradation of protective tribofilms on diesel engine valve surfaces", Nordtrib 2014, Århus, Danmark
4. Robin Elo, Staffan Jacobson, "Wear mechanism study of intake valve system in modern heavy duty combustion engines", Asiatrib 2014, India, – Presentation och extended abstract
5. Robin Elo, Staffan Jacobson, "Wear mechanism differences of intake valves within heavy duty combustion engines", SAE PF&L 2014 – Presentation
6. Forsberg, P., Gustavsson, F., Hollman, P. and Jacobson, S., Comparison and Analysis of Protective Tribofilms Found on Heavy Duty Exhaust Valves from Field Service and Made in a Test Rig, in "Wear of Materials" (Portland, USA, 2013).

7. Gustavsson, F., V. Renman, P. Forsberg, A. Hieke, and S. Jacobson. "Smart DLC Top Coating for Reduction of Counter Surface Wear in Fuel Contact." Paper presented at Tribology, Faraday Discussion 156, Southampton, U.K., 2012.
8. Forsberg, P., P. Hollman, and S. Jacobson. "Wear Study of Coated Heavy Duty Exhaust Valve Systems in a Experimental Test Rig." In SAE 2012 World Congress & Exhibition, 2012.
9. Forsberg, P., P. Hollman, and S. Jacobson, "Heavy duty exhaust valve simulation and evaluation in a test rig", Presented at Nordtrib, Trondheim, Norway, 2012.
10. Forsberg, P., P. Hollman, and S. Jacobson. "Protective tribofilm build up from exhaust residues on the surface on exhaust valve systems in a test rig." In Nordtrib, Trondheim, Norway, 2012.
11. Forsberg, P., and S. Jacobson, "On the formation of a protective tribofilm build up from the exhaust residues on the sealing surface on heavy duty exhaust valve systems in a test rig", Presented at Nordtrib, Trondheim, Norway, 2012.

7. Slutsatser och fortsatt forskning

- Samarbetet mellan de involverade personerna på Scania CV och vid Uppsala universitet är nu väletablerat och effektivt.
- En fungerande rigg har designats med hjälp av båda parternas expertis, och nått en nivå där en rad intressanta och unika undersökningar genomförts.
- Rigggen har visat sig kunna efterlikna avgörande delar av ventilernas förhållanden i verklig motordrift, varför resultaten kan användas för att förutsäga och förstå ”verkligheten”.
- Riggprovningsen är mycket snabb och mycket billig jämfört med att utföra liknande provning i motorcell eller fälttest.
- Riggprovningsen skapar tribofilmer snarlika dem som bildas vid verklig drift, och också kunnat demonstrera konsekvenserna av om dessa förändras på ett avgörande sätt eller helt elimineras.
- Tribofilmernas kraftigt skyddande verkan har tydligt demonstrerats. Kontakten blir extremt aggressiv och nötande, i frånvaro av de filmbildande elementen.
- Analysen av tribofilmerna gör att vi nu förstår mycket mer om hur de uppkommer och vilka komponenter som är viktigast.
- Vi har genererat unik kunskap om tribofilmernas dynamik; Hur fort kan de bildas? Förändras de med tiden vid stadigt partikelström? Hur fort bryts de ner om partikelströmet stryps?
- Bland annat har vi kunnat visa att bruttonötningstaken är mångfalt större än den resulterande nötningen. Om inte tribofilm skapades, och sedan utgjorde det ytskikt som nöts (och underhålls av tillkommande partiklar), skulle livslängden vara en bråkdel av vad den idag är.
- Projektet har varit mycket utvecklande för doktoranderna, då det involverat mångsidig forskning, gett breda kunskaper och erfarenhet av relevant industriell utveckling.



FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

Fortsatt forskning

Projektet avslutas nu i sin nuvarande form. För Scantias del pågår utveckling av ventilerna, delvis baserat på projektresultaten. För Tribomaterialgruppen fortsätter forskningen med en liknande inriktning, med samma metodik och testrig, men nu med Wärtsilä som finansör, och med forskningsinriktning mot ventilförhållanden i deras fartygsdieslar.

8. Deltagande parter och kontaktpersoner

Projektet har utförts av Scania CV AB och Uppsala universitet, avdelningen för Tillämpad materialvetenskap.

Kontaktpersoner:

Scania CV: Åsa Gustavsson (projektledare) asa.gustafson@scania.com, 08-553 82909

Uppsala universitet: Professor Staffan Jacobson, staffan.jacobson@angstrom.uu.se, 018-471 30 80



UPPSALA
UNIVERSITET