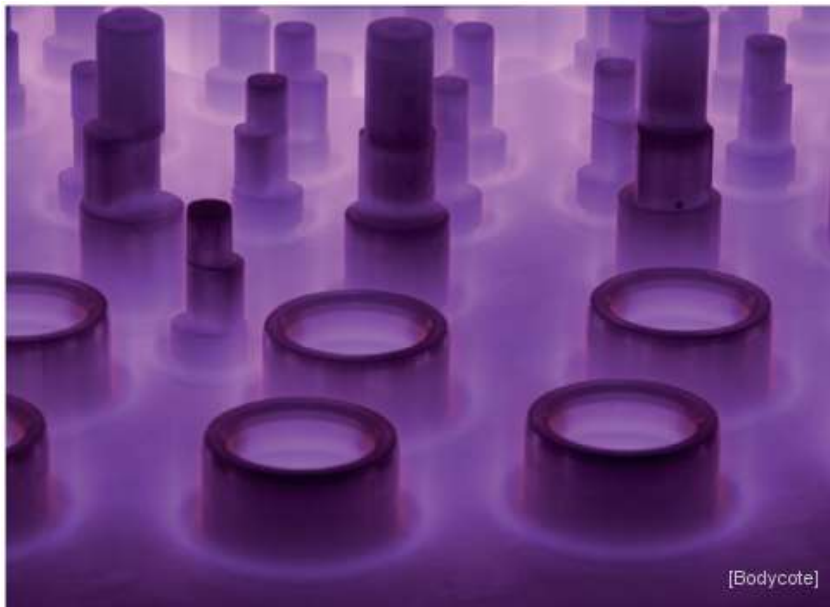




Minskade formförändringar och bränsleförbrukning genom utveckling och förbättring av nitrerprocesser för värmebehandling (NitroVBC)



Delprogram: FFI Hållbara fabriker

Författare: Eva Troell, Swerea IVF; Sven Haglund och Jerome Senaneuch, Swerea KIMAB, Ninos Hawsho, Scania CV

Datum: 2013-10-31



Innehåll

1. Sammanfattning	3
2. Bakgrund	4
3. Syfte	5
4. Genomförande	5
4.1 Screening-tester.....	5
4.2 Demonstratorkomponenter.....	6
4.3 Inverkan på kostnad, miljö och produktion.....	7
5. Resultat	8
5.1 Screeningtester	8
5.2 Demonstratorkomponenter.....	10
5.3 Ekonomi- och miljöutvärdering	12
5.4 Bidrag till FFI-mål	13
6. Spridning och publicering	14
6.1 Kunskaps- och resultatspridning	14
6.2 Publikationer	15
7. Slutsatser och fortsatt forskning	15
8. 8. Deltagande parter och kontaktpersoner	15

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

Målet med projektet är att tillverka komponenter med mycket goda friktions- och nötningsegenskaper för minskad bränsleförbrukning samt att minska behovet av efterbearbetning och riktning genom att utnyttja fördelarna med nitreringsprocesser i kombination med val av stål. En stor utmaning för många komponenter har varit hur man kan uppnå nödvändiga hållfasthetsegenskaper, t.ex. höghållfasta utmattningsegenskaper, för att kunna ersätta sätthårdning.

Nitrering och nitrokarburering är termokemiska värmebehandlingsprocesser som förbättrar ytegenskaperna hos ståldetaljer, t ex ökat motstånd mot adhesivt och abrasivt slitage, låg friktion och högt korrosionsmotstånd. Ytterligare en fördel med nitreringsprocesser är små formförändringar under tillverkningen tack vare den låga processtemperaturen.

Nitrering och nitrokarburering har gjorts på ett stort antal stålsorter för att utvärdera inverkan på föreningszon, diffusionszon och restspänningar och därmed den totala inverkan på utmattnings- och tribologiska egenskaper. Demonstratorkomponenter har valts för att utvärdera och visa på vilka åtgärder som krävs för att ersätta sätthårdning med nitreringsprocesser. Demonstratorer har varit; en kolv (slitage), ett kugghjul (utmattning), en utskjutare i ett smidesverktyg (termisk utmattning) och maskering av gängor (produktionsaspekter).

Kuggutmattningsprovning som utförts på kugghjulet visade att böjutmattningsegenskaperna hos nitrerade hjul är starkt beroende av valet av stålsort. En avsevärt högre utmattningshållfasthet kunde nås för plasmanitrerade kugghjul jämfört med sätthärdade hjul. Formförändringen blir större för sätthärdade hjul (16MnCr5) jämfört med nitrerade hjul. Dessutom blir spridningen i form mindre för de nitrerade hjulen för en viss stålsort, vilket innebär att det borde bli lättare att förutse och kompensera för formförändringarna jämfört med vid sätthårdning.

Lämpliga stål och nitreringsprocess för kolven utvärderades genom slitageprovning. Vid smorda förhållanden var de tribologiska egenskaperna likvärdiga för alla provade varianter. Vid torra förhållanden erhöles en lägre friktion vid lägre last för några av stålen som nitrerats eller nitrokarburerats jämfört med sätthärdat 16MnCr5. Arbetet med kolven visade tydligt på att det behövs fortsatt arbete för att optimera ytegenskaperna och hur olika parametrar påverkas av stålsort och värmebehandling.

Behovet av att maskera, eller inte maskera, invändiga gängor vid nitrering utvärderades med utmattningsprovning. De utförda proven visade att det finns en skillnad i utmattningshållfasthet mellan gängor som maskerats eller inte. Det går därför inte att helt utesluta att det kan finnas ett behov av att maskera gängor innan nitrering för att undvika



sprickbildning vid utmattning. Dock så användes bultar av mycket hög kvalitet, så det är möjligt att det finns fall där maskeringen inte behövs.

En kostnadsjämförelse och en förenklad LCA gjordes för de kombinationer av stål och värmebehandling som användes för kugghjulen. För några varianter var kostnaden jämförbar med sätthårdning och kulpning. Användning av mer avancerade stål resulterade i högre kostnader. Det bör emellertid beaktas att ingen optimering av kostnaderna har varit möjligt att utföra eller att ta hänsyn till fördelarna med mindre formförändringar. Energiförbrukningen och utsläpp enligt CO₂-ekvivalent blir mindre vid tillverkning av kugghjul i stål som plasmanitreras jämfört med sätthärdas. Störst inverkan på miljöbelastningen har stålet som används.

2. Bakgrund

I värmebehandlingssammanhang är nitrering en lågtemperaturprocess som ger komponenter med liten formförändring och utmärkta friktions- och nötningsegenskaper. Med minskade formförändringar följer att efterföljande operationer som riktning och slipning kan minimeras eller undvikas.

Transmissionsdetaljer med låg friktion krävs för att möta kraven på minskad bränsleförbrukning. Genom nitrering kan ytor med goda tribologiska egenskaper fås. Den stora utmaningen är att kunna framställa komponenter med krav på hög hållfasthet, vilket är fallet för många transmissionsdetaljer. Detta kan nås genom ett korrekt val av stål och nitreringsprocess.

Det finns ett flertal olika nitreringsprocesser. Processen kan göras i t ex gas, vakuum (lågtryck) eller plasma. Olika processer och processparametrar möjliggör styrning av sammansättning av föreningszonen och att styra skiktens egenskaper som ϵ/γ' -förhållande, porositet och djup på förenings- och diffusionszon. Jämfört med nitrering är fördelar med nitrokarburering kortare processtider och möjligheter till förbättrat korrosionsskydd.

Prestandan hos en nitrerad komponent påverkas av materialhållfasthet, diffusionszon (utmattningsegenskaper) och föreningszon (tribologiska och korrosionsegenskaper). Vid konventionell nitrokarburering transporteras kväve och kol till stålets yta. Vid ytan bildas ett nötningstålbeständigt skikt, föreningszonen, med en tjocklek på 0,005-0,03 mm. Föreningszonen, som också kan ha en viss mängd porer, består av järnnitrider och -karbider (γ' -Fe₄N and ϵ -Fe_{2,3}(N,C)). Framförallt kväve fortsätter att diffundera in i bulkmaterialen och bildar diffusionszonen. I diffusionszonen är kvävet löst i ferriten och bundet i nitrider, som bildas vid reaktion mellan kväve och nitridbildande legeringselement. Beroende på stål kan en hårdhetsökning ner till 0,5 mm nås.

3. Syfte

Det övergripande syftet med projektet har varit att tillverka ytor med låg friktion och goda slitageegenskaper i syfte att minska bränsleförbrukningen och minska behovet av efterbearbetning och riktning av komponenter. Genom lämpligt val av nitreringsprocess och stålsort har syftet varit att anpassa komponentprestanda genom att skapa ytor och hållfasthet med optimal prestanda för aktuell applikation. Påverkan på kostnad, miljö och produktionsaspekter skulle utvärderas.

4. Genomförande

4.1 Screening-tester

Två screeningtester har genomförts, ett som fokuserar slitageegenskaper och ett utmattningsegenskaper. När det gäller slitage har föreningszonens egenskaper t.ex. hårdhet, porositet och fassammansättning en avgörande betydelse. Hårdheten hos diffusionszonen är av betydelse för att bära last samt om föreningszonen nöts igenom. När det gäller utmattningsegenskaper är djup och hårdhet hos diffusionszonen viktigt. För att undvika att sprickor bildas i ytan ska föreningszonen helst vara tunn, eftersom den skulle kunna medföra sprickinitiering under utmattning.

Studerade stål visas i tabell 1. Prover till screeningtest för slitageegenskaper nitrokarburerades vid 580 °C i 120 min. Prover till screeningtest för utmattningsegenskaper plasmanitrerades vid 540 °C i 16 h. Proverna utvärderades avseende hårdhet, föreningszonens tjocklek och sammansättning samt även restspänningar för utmattningsscreeningen.

Tabell 1 Kemisk sammansättning för stål som ingått i screeningtesterna.

Stål	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu
Orvar Supreme (~H13)	0.39	1.00	0.4		<0.003	5.20		1.40	0.9	
Nimax	0.1	0.30	2.5			3.00	1.0	0.30		
SS2244 (42CrMo4)	0.42	0.33	0.80	0.011	0.023	1.00	0.15	0.19		0.22
Ovako 225A (18CrMo8)	0.18	0.30	0.85		0.015	1.85	0.30	0.55		
Ovako 277 (16CrMnNiMo9)	0.15	0.30	1.30		0.023	2.20	0.50	0.50		
SS2172 (S355JR)	0.20	0.55	1.60	0.045	0.045					
2520 (~17NiCrMoS6-4)	0.14-0.20	<0.40	0.60-0.90	<0.035	0.030-0.050	0.80-1.20	1.20-1.70	0.10-0.20		<0.35
100Cr6	0.93-1.05	0.15-0.35	0.25-0.45	<0.025	<0.015	1.35-1.60		0-0.10		

4.2 Demonstratorer

I projektet har demonstratorer använts; en kolv till en hydraulmotor (slitagegenskaper), ett kugghjul (utmattningsegenskaper), en utskjutare i ett smidesverktyg (termisk utmattning) och maskering av gängor (produktionsaspekter), *bild 1*.

Kugghjulet valdes för att utvärdera utmattningsegenskaper. Kugghjul tillverkades i stål Orvar Supreme, Nimax, 42CrMo4 och Ovako 225A och plasmanitrerades. Som referens tillverkades och provades hjul i stål 16MnCr5, som sätthärdades till CHD ~0,7-0,8 mm. Utvärdering gjordes avseende formförändringar och kuggutmattning.



Bild 1 Demonstratorer a) kugghjul b) kolv c) invändiga gängor.

Kolven valdes för att utvärdera slitagegenskaper. På grund av väldigt höga toleranser var det inte möjligt att tillverka kolvar för fullskaleprovning, vilket var den ursprungliga planen. Som ett alternativ gjordes istället en mer omfattande slitageprovning med stålsorter och värmebehandling enligt *tabell 2*. En Tribological load scanner (Saxriggen) och pin-on-disk användes för att utvärdera slitage.

Tabell 2 Screeningtest för att utvärdera slitage. SH-sätthärdning, NK-nitrokarburering, PN-plasmanitrering

Prov	Stål	Värmebehandling	Saxriggen		Pin-on-disk, smort, 10 kg	
			Smort, 10 000 cykler	Torrt, 1 000 cykler	Mot 100Cr6	Mot Orvar Supreme PN
1	16MnCr5	Sätthärdad	SH ↔ SH	SH ↔ SH	X	X
2	42CrMo4	Nitrokarburerad	NK ↔ NK	NK ↔ NK	X	X
3	Ovako225	Nitrokarburerad	NK ↔ NK	NK ↔ NK	X	
4	Orvar Supreme	Nitrokarburerad	NK ↔ NK	NK ↔ NK	X	
5	Orvar Supreme	Plasmanitrerad	PN ↔ PN	PN ↔ PN		
6	Nimax	Nitrokarburerad	NK ↔ NK	NK ↔ NK	X	
7	42CrMo4	Plasmanitrerad	PN ↔ PN	PN ↔ PN		
8	16MnCr5	Sätthärdad och slipad	SH ↔ SH	SH ↔ SH		

Provningsen i Tribological load scanner (Saxriggen) gjordes av Ångström Laboratoriet i Uppsala. I detta test utvärderas glidande kontakt. En provstav är monterad i den nedre

hållaren och en annan provstav är monterad i den övre hållaren. Parametrar som hastighet, belastningsintervall, antal slag och smörjning kan varieras. Proven var 100 mm långa med diameter 10 mm. Tester gjordes under smorda och torra förhållanden.

I en pin-on-disk-utrustning nöts en sfärisk provkropp mot en horisontell roterande skiva. Skiva, belastning och smörjning kan varieras. Efter ett definierat avstånd under testningen mäts slitagemärket i ett mikroskop. Eftersom nötningsmärket kommer att växa under provningen kommer ytkraften att kontinuerligt avta.



Bild 2 Använda utrustningar för slitageprovning: a) Tribological load scanner b) Pin-on-disk

Ytterligare en demonstrator var maskering av *gängor*. Före nitrering/nitrokarburering brukar gängor maskeras för att undvika sprickbildning. Om detta kunde undvikas skulle både tid och kostnader sparas. Syftet med provningen var att utvärdera om det fanns risk för uppkomst av sprickor om gängor inte maskerades. Gängade provdetaljer tillverkades i 42CrMo4 och nitrokarburerades. Hälften av batchen maskerades enligt standardförfarande och resten var omaskerad. Gängorna provades i drag-drag-utmattning i en 100 kN servo-hydraulic MTS vid 20 Hz. Komponenterna monterades på en Bulten B14 M10-bult.

4.3 Inverkan på kostnad, miljö och produktion

En ekonomi- och miljöutvärdering gjordes på tillverkningssekvenserna som användes för kugghjulen, *bild 3*. Tillverkningssekvensen skulle i praktiken kunna bli annorlunda, t ex om kulpning ska inkluderas, vilket är en vanlig operation, och glödning eller normalisering efter smide behöver anpassas beroende på komponent och dimensionskrav. Efter nitrering bör slipning undvikas om föreningszonens egenskaper ska bibehållas, men däremot kan polering vara aktuellt. Om det inte önskas någon föreningszon kan slipning vara aktuellt. Ingående data till analysen tillhandahölls av deltagande företag, externa kontakter och för LCA:n, databasen SimaPro.

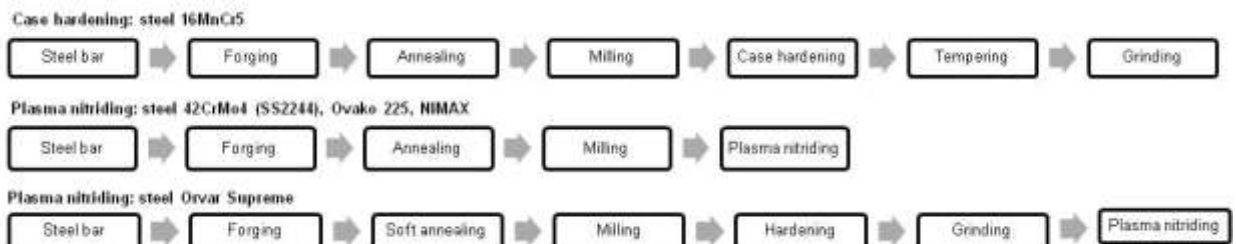
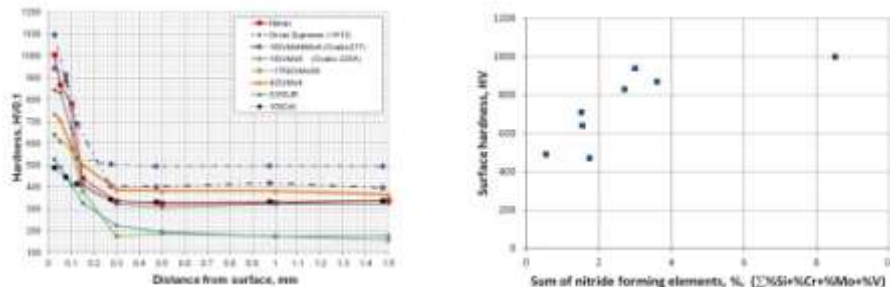


Bild 3 Använda tillverkningssekvenser för ekonomi- och miljöbedömning.

5. Resultat

5.1 Screeningtester

Slitageegenskaperna påverkas av hårdhet hos förenings- och diffusionszon samt porositet och sammansättning på föreningszonen. Förhållandet ϵ/γ' bör vara så högt som möjligt för hög beständighet mot nötning under hög belastning. *Bild 4* visar hårdhetsprofiler för stålen och ythårdhet beroende på det totala innehållet av nitridbildande element.



a)

b)

Bild 4

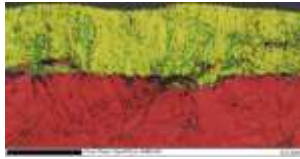
a) Hårdhetsprofiler efter nitrokarburering, 580 °C, 120 min.

b) Ythårdhet som funktion av nitridbildande element.

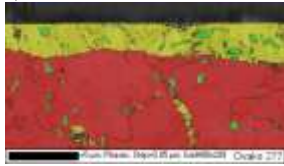
Sammansättningen på föreningszonen har utvärderats med röntgen (XRD, $\text{CuK}\alpha$) och EBSD. Resultatet för de olika stålen visas i *tabell 3* och *bild 5*. Sammansättningen på föreningszonen varierar beroende på stål. Analysdjupet för XRD-mätningarna är $\sim 3 \mu\text{m}$, vilket innebär att hela djupet på föreningszonen inte blir analyserad. EBSD-bilderna ger en tydlig bild av hur de olika faserna ser ut och är fördelade. Högst förhållande ϵ/γ' fås för Nimax, 42CrMo4, Ovako277 och 100Cr6. Fördelningen och storleken på ϵ -fasen i föreningszonen varierar för stålen.

Tabell 3 Föreningszon och sammansättning enligt XRD för prover i screening för slitageegenskaper.

Stål	Föreningszon, μm	XRD	
		Fe_3N (ϵ)	Fe_4N (γ')
Orvar Supreme (~H13)	4	88	4
Nimax	6	94	1
SS2244 (42CrMo4)	9	96	3
Ovako 225A (18CrMo8)	7	90	7
Ovako 277 (16CrMnNiMo9)	6	95	3
S355JR	7	89	10
2520 (~17NiCrMoS6-4)	9	95	4
100Cr6	8	95	4



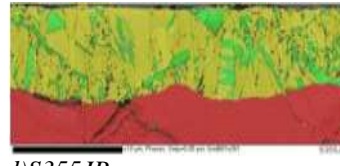
a) 42CrMo4



c) Ovako 277



b) Ovako 225A



d) S355JR

Bild 5 EBSD-bilder av stål 42CrMo4, Ovako 225A, Ovako 277 och S355JR.

Utmattningsegenskaper påverkas av härd djup, kemisk sammansättning och restspänningar. Bild 6 visar hårdhetsprofiler för de olika stålen efter plasmanitrering. Orvar Supreme och Nimax, som båda innehåller en stor mängd nitridbildande legeringselement, får den högsta ythårdheten. Kärnhårdheten för 42CrMo4 är på samma nivå som Nimax, men ythårdheten är lägre. Ovako 225A och 277 får liknande hårdhetsprofiler. Högst utmattningshållfasthet förväntas Orvar Supreme ge. Även restspänningarna påverkar utmattningshållfastheten, där det är gynnsamt med tryckrestspänningar.

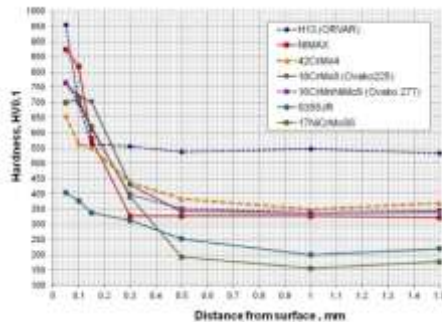


Bild 6 Hårdhetsprofiler för stål som ingått i screening för utmattningsegenskaper. Plasmanitrerade vid 540 °C i 16 h.

Föreningssonen är mindre än 7 µm för alla stålen, bild 7. Orvar Supreme, Nimax och Ovako 277 får ingen eller en mycket tunn föreningsszon.

Restspänningsprofiler har utvärderats med röntgen, till 0,3 mm, och hålbörningsmetoden, till 1 mm, bild 8.

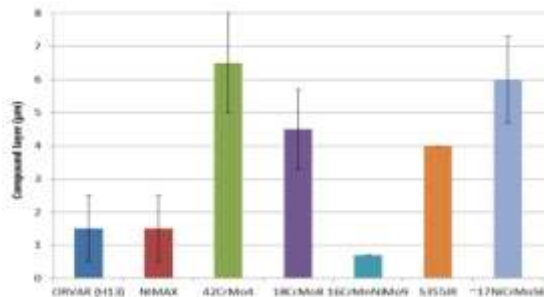


Bild 7 Tjocklek hos föreningssonen för stål som ingått i screening för utmattningsegenskaper.

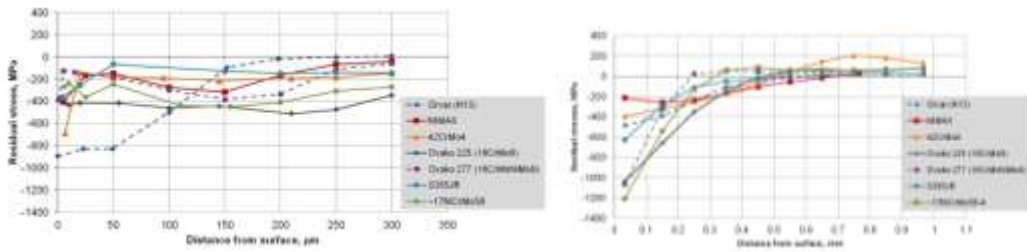


Bild 8 Restspänningar utvärderade med vänster) röntgendiffraktion och höger) hålbörningsmetoden.

För goda utmattningsegenskaper har hög ythårdhet, djup diffusionszon, hög kärnhårdhet och tryckspänningar i ytan stor betydelse. Det kan vara gynnsamt med ingen eller en tunn föreningszon om det finns risk för sprickbildning i föreningszonen. Även inneslutningar har en stor betydelse på utmattningshållfasthet, men det har inte studerats här.

5.2 Demonstratorkomponenter

Kugghjul

Några av formparametrarna som mätts för plasmanitrerade kugghjul i stål 42CrMo₄, Nimax och Ovako 225A jämfört med resultatet för sätthärdade hjul i 16MnCr5 visas i bild 9. Generellt är nivån på formförändringar större för det sätthärdade hjulet jämfört med de plasmanitrerade. Detta är förväntat eftersom nitring innebär att stålet inte austenitiseras. Utöver detta blir även spridningen i formförändring mindre för de plasmanitrerade hjulen, inom en stålsort, vilket innebär att det förmodligen finns större möjligheter att kompensera för formförändringarna jämfört med för sätthärdade hjul. När det gäller profilavvikelse, har Nimax samma nivå som 16MnCr5. Nimax seghärdades dock aldrig efter smidning vilket troligtvis är orsaken till detta.

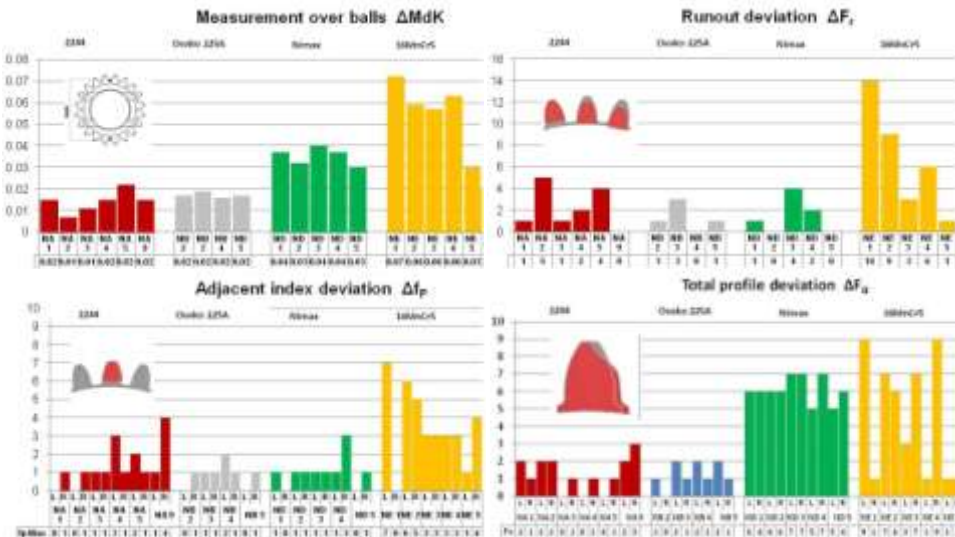


Bild 9 Skillnad i form före och efter värmebehandling.

Det är tydligt att utmattningshållfastheten hos nitrerade stål är starkt beroende av stålsort. Jämfört med sätthärdade stål kunde en avsevärd ökning i utmattningshållfasthet fås för nitrerade stål. Resultaten visade tydligt potentialen i ökad prestanda genom korrekt val av stål och värmebehandling.

Kolv

Kolven utsätts för laster på 40-50 kg/mm², dvs 0,4-0,5 GPa. Applicerad last i Tribological load scanner var 30-1100 N (kontakttryck 1-3,3 GPa). Detta innebär att för kolven är det resultatet vid de lägre lasterna som är av störst intresse. Det är viktigt att ha i åtanke att yttopografin blev olika för proven beroende på värmebehandling. Alla prov tillverkades på samma sätt, men värmebehandlingen medförde att ytorna fick olika topografi (Ra, Pdc mm). Detta visar betydelsen av ytans ursprungliga topografi, vilken behöver justeras med hänsyn till inverkan av värmebehandlingen. Detta är något som behöver utredas vidare.

Under torra förhållanden, *bild 10*, är friktionen vid lägre belastning mindre för plasmanitrerat och nitrokarburerat Orvar Supreme och plasmanitrerat 42CrMo4 jämfört med sätthärdat 16MnCr5. Ovako 225 uppvisar samma friktionsnivå som 16MnCr5. Dessa stål är därför huvudkandidater att användas för kolven. Också andra stål kan vara ett alternativ eftersom kolven används i smorda förhållanden. I smort tillstånd, *bild 11*, var de tribologiska egenskaperna ganska lika för alla prover. Vissa skillnader kunde observeras i initieringsfasen, t ex att inkörningsperioden var längre för vissa prover.

Vid högre belastningar, över 200 N, var friktionskoefficienten för sätthärdade prover ca 0,4. Detta var även fallet för nitrokarburerat Orvar Supreme. Friktionskoefficienten var högre, 0,5-0,6, för de andra nitrerade proven.

Pin-on-disk-provning gjordes under smorda förhållande och kontakttrycket var upp till 11 MPa. Orvar Supreme nött mot 100Cr6 resulterade i minst slitage. De andra provade kombinationerna resulterade i en högre nötningshastighet jämfört med sätthärdat 16MnCr5 mot 100Cr6. Orsaken till detta är sannolikt variationen i yttopografi och provningsförhållandet där bortnött material blir kvar på skivan där de hårda nitriderna fungerar som slipmedel.

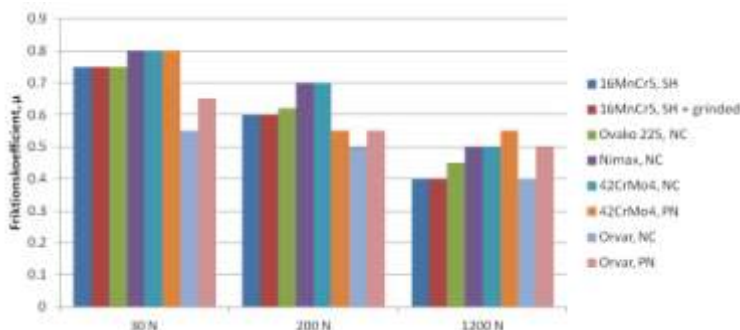


Bild 10 Friktionskoefficient vid torra förhållanden för olika laster efter 1000 cykler.

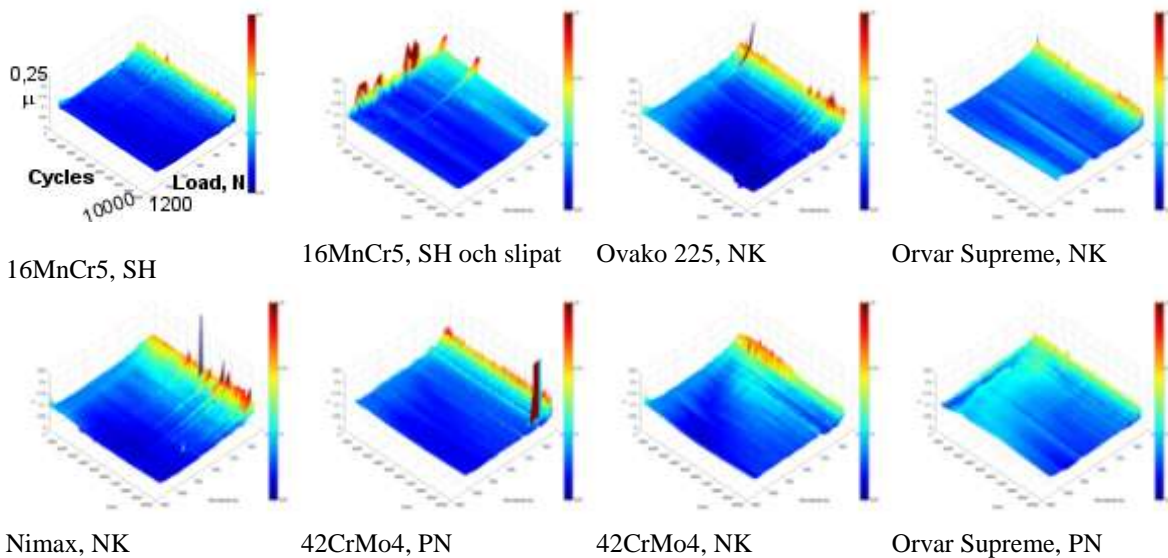


Bild 11 Friktionskoefficient som funktion av last och antal cykler för stål provade i Tribological load scanner vid smorda förhållanden.

Maskering av invändiga gängor

Utmattningsprovningen som gjordes i denna studie visade på att det är en skillnad i utmattningshållfasthet mellan maskerade och omaskerade gängor efter nitrokarburering. Det går därmed inte att utesluta maskering av gängor före nitrering. Vid gängprovningen provocerades sprickor fram i gängorna vid mycket höga medelspänningar, medan i de flesta fall utmattades bulten. Den använda bulten var av Bultens mest höghållfasta variant, och det kan därför finnas applikationer där maskering skulle kunna uteslutas.

5.3 Ekonomi- och miljöutvärdering

Bild 12 visar en jämförelse av tillverkningskostnaden för kugghjulen beroende på stål och värmebehandling. Ingen optimering av priser och kostnader har varit möjlig att göra, utan kostnaderna är baserade på “best practice” av projektgruppen. I det här fallet plasmanitrerades hjulen. Om någon annan nitreringsprocess skulle kunna användas så skulle kostnaden bli lägre; ca 20 % med gasnitrering och ca 40 % med nitrokarburering. En annan värmebehandling skulle dock också påverka egenskaperna hos komponenten, vilket behöver utvärderas innan en annan process används. Även processtider, temperaturer och atmosfärer kan optimeras ytterligare och det har inte tagits någon hänsyn till fördelarna med mindre formförändringar. Denna typ av kostnadsoptimering ingick dock inte i projektet.

Bild 13 visar en jämförelse av miljöbelastningen för de olika tillverkningssekvenserna baserat på en mindre LCA-analys, som huvudsakligen inkluderar stål, energi och förbrukade gaser. De senare hade en mycket liten inverkan på miljöbelastningen. Det var inte möjligt att ta hänsyn till de olika stålens kemiska sammansättning, eftersom studien hade blivit alltför omfattande då. Det kan dock konstateras att energiförbrukningen är

lägre för nitreringsprocesserna jämfört med sätthårdning och även miljöbelastningen enligt CO₂-ekvivalenterna. Störst inverkan hade stålet som används, av vilket 2/3 tas bort vid fräsningen.

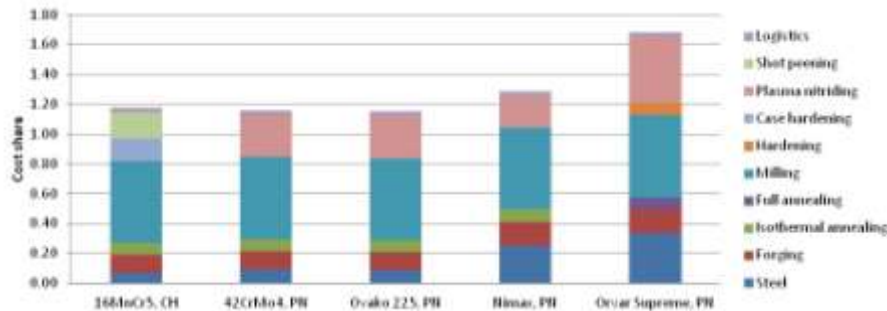


Bild 12 Kostnadsjämförelse för de olika stålen och värmebehandlingarna. Sätthårdning utan kulpning är referens = 1,0.

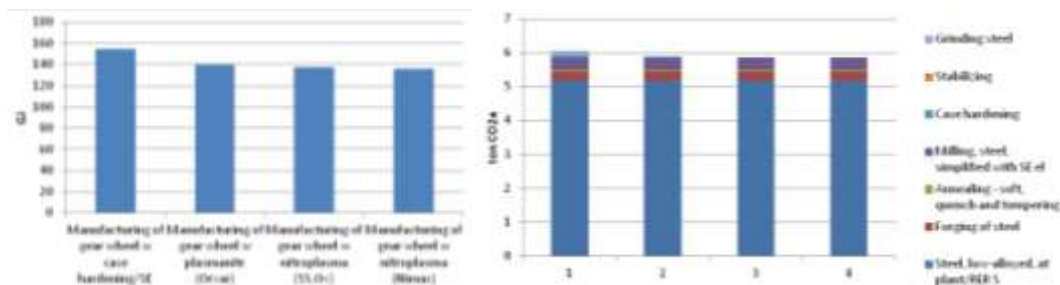


Bild 13 Miljöbelastning för de olika tillverkningssekvenserna för tillverkning av 1 ton kuggjul. a) Energiförbrukning b) koldioxid-ekvivalent. 1) Sätthårdning av 16MnCr5; 2) Plasmanitrering av Orvar Supreme; 3. Plasmanitrering av Ovako 225A och 42CrMo4; 4. Plasmanitrering av Nimax

5.4 Bidrag till FFI-mål

När implementering av resultaten genomförs på företag inom produktion kan formförändringar i samband med värmebehandling minska och förbättrad komponentprestanda nås. Projektet har resulterat i kunskap om hur man använder nitreringsprocesser som ett alternativ till sätthårdning. Genom lämpligt val av stålsort och nitreringsprocess kan utmattningsegenskaper överlägsna sätthärdade stål fås. Komponenter med låg friktion och goda nötningsegenskaper kan tillverkas. Formförändringarna blir mindre än vid sätthårdning, men är dock inte försumbara och tillverkningssekvensen skulle behöva optimeras ytterligare för att minimera formförändringarna.

En bättre kunskap, förståelse och utvecklingspotential av nitreringsprocesser har uppnåtts tack vare projektet och samarbetet mellan parterna.

FFI mål – Hållbar produktion (Programbeskrivning FFI HP 130614)

Programmets mål	Kommentar NitroVBC
Produktkraven m a p lägre vikt och ökad passiv säkerhet som i sin tur kräver nya eller förbättrade material och tillverkningsprocesser är uppfyllda	Avsevärt mycket högre utmattnings-hållfasthet har nåtts genom stålval och plasmanitrering, vilket kan användas för minskad vikt
Användning av verktyg för virtuell tillverkningsberedning i syfte att utföra snabba och noggranna konsekvens- och optimeringsstudier har ökat snabbt	-
Tillverkningsflexibilitet och framtagning av seriestorleksanpassade tillverkningslösningar i syfte att markant öka tillverkningsprocessernas och -systemens hållbarhet (ur ekologiskt och ekonomiskt perspektiv) har ökat	Det vanliga är att nitreringsprocesser utförs i batchugnar, vilket medför en större flexibilitet än dagens sätthärningsugnar som är anpassade för likvärdig värmebehandling av stora serier
Produktion av fordon med konventionella och nya drivlinor äger rum i samma produktionssystem	-
40% högre produktivitet i tillverkningsberedning	-
30% högre produktivitet i produktionsprocesserna	Nitrokarburering medför kortare processtider än sätthårdning och ingen anlöpning behövs, minskade formförändringar medför att operationer som slipning och riktning kan tas bort
30% mindre miljöpåverkan i tillverkningsprocesserna	Energiförbrukningen vid tillverkning av kugghjul med plasmanitrering blev ca 10-15% lägre än för sätthärdade kugghjul.

6. Spridning och publicering

6.1 Kunskaps- och resultatspridning

Resultat från projektet har presenterats på följande konferenser/seminarier:

- AGA/Bodycote seminar 2010. ”Utökad användning av nitreringsprocesser”
- SHTE: Aktuellt om material och värmebehandlingsteknik, 28-29 sept 2011. Utökad användning av nitreringsprocesser för minskad formförändring och högre prestanda
- FFI Mötesplats för framtidens maskinverkstäder 22 maj 2012, Katrineholm. ”Utökad användning av nitreringsprocesser”
- Extending the use of nitriding processes to reduce distortion and fuel consumption. 6th International Quenching and Control of Distortion Conference Including the 4th International Distortion Engineering Conference, 9-13 sept 2012, Chicago
- The 4th Heat Treatment Symp. and Exhibition, 24-25 October 2013, Istanbul, Turkey. Extending the Use of Nitriding Processes to Reduce Distortions and Fuel Consumption
- VBCs medlemsmöten 2011, 2012 och 2013 (planeras 2014)

6.2 Publikationer

- Fatigue and wear properties of nitrided steels - including environmental and cost analysis, Troell, Hawsho, Senaneuch
- Screening of steels after plasma nitriding and nitrocarburising. Haglund, Troell
- Fatigue properties after different nitriding/nitrocarburising processes. Persson, Haglund
- Wear testing of nitrided and nitrocarburised steel – Pin-on-disc. Troell
- Extending the use of nitriding processes to reduce distortion and fuel consumption. Troell¹, Haglund² and Hawsho³, ¹Swerea IVF, ²Swerea KIMAB, ³Scania AB. Proc. of the 6th Int. Quenching and Control of Distortion incl the 4th Int Distortion Engineering Conf, 2012, Chicago

7. Slutsatser och fortsatt forskning

Det finns en stor potential för att öka komponentprestanda, utmattningshållfasthet och tribologiska egenskaper genom rätt val av stålsort och nitreringsprocess. Hårdhet, föreningszonens tjocklek och sammansättning samt restspänningar påverkas. I detta projekt har utmattningsgränsen ökat i mycket stor utsträckning jämfört med sätthårdning. Också lägre friktion har uppnåtts, men inverkan av ytans topografi på tribologiska egenskaper beroende på stål och nitreringsprocess behöver utredas vidare i syfte att nå maximal prestanda. För ökad process och produktkvalitet krävs bättre kontroll och styrning av nitreringsprocesser. Ytterligare förbättringar genom att kombinera med processer som oxidering och användning av aktiva vätskor är också av intresse. Andra viktiga områden är utvärdering av restspänningar och egenskaper hos förenings- och diffusionszon.

8.8. Deltagande parter och kontaktpersoner

AGA Gas, Anders Åström; Atlas Copco, Richard Johanson; Bodycote Heat Treatment, Solmaz Sevim; Gnutti Powertrain, Istvan Nagy; Ovako, Kristofer Eriksson; Parker Hannifin, Hossein Ghotbi; Sarlin Furnaces, Olle Pelz; Scania CV, Ninos Hawsho; Inomec/Stresstech, Per Lundin; Uddeholms, Henrik Jespersen; Volvo CE, Henrik Edin; Swerea IVF, Eva Troell (projektledare); Swerea KIMAB, Sven Haglund



Adress: FFI/VINNOVA, 101 58 STOCKHOLM
 Besöksadress: VINNOVA, Mäster Samuelsgatan 56, 101 58 STOCKHOLM
 Telefon: 08 - 473 30 00
 ivss@vv.se
www.ivss.se