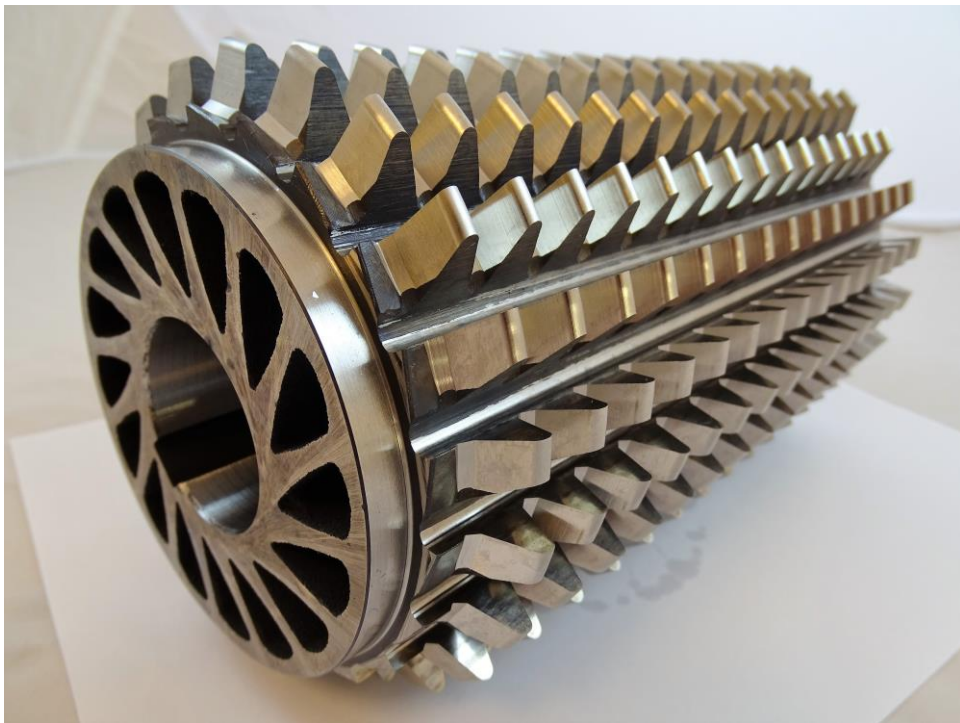


Additivt tillverkade verktyg för skärande bearbetning



Ulrik Beste, VBN Components AB
Olle Wänstrand, Primateria AB
Mattias Åkerlund, Volvo Group Trucks Operations

2016-03-31

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation



Innehållsförteckning

- 1 Sammanfattning
- 2 Executive summary
- 3 Bakgrund
- 4 Syfte, frågeställningar och metod
- 5 Mål
- 6 Resultat och måluppfyllelse
- 7 Spridning och publicering
- 8 Slutsatser och fortsatt forskning
- 9 Deltagande parter och kontaktpersoner

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 drygt 400 Mkr.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi

1 Sammanfattning

Projektet *Additivt tillverkade verktyg för skärande bearbetning* startade med idén att i industriell skala tillämpa den senaste material- och komponenttillverkningstekniken additiv tillverkning (även kallad 3D-printing eller friformning) för att ta fram verktyg för skärande metallbearbetning att testa i skarp industriproduktion. VBN Components hade tidigare visat på enstaka detaljer att det fanns en stor potential att tillverka extremt slittåliga material med additiv tillverkning, och målet för projektet var att skala upp detta till industriell nivå.

I detta projekt har VBN Components tillsammans med Volvo Group Trucks Operations, Volvo Construction Equipment och Primateria AB kunnat driva utvecklingen hela vägen fram till mål och visat på de stora möjligheterna. I projektet har flera utmanande tekniska svårigheter kunnat lösas genom omfattande processutveckling. Resultatet är att det idag finns en industriell 3D-printingsmetod för materialet Vibenite®60 som tillsammans med slutlig slipning hos underleverantör samt med ytbehandling hos Primateria AB påvisat en stor förbättring i verktygsprestanda hos Volvo. I dagsläget pågår diskussioner om fortsatta leveranser av additivt tillverkade verktyg för vissa av de testade applikationerna i Volvos produktion. Sammanfattningsvis så har därför projektet kunnat nå de viktigaste uppsatta målen och måste betecknas som väldigt framgångsrikt.

2 Executive summary

The basic idea behind the project *Additive Manufacturing of metal cutting tools* was to utilise so called additive manufacturing technology to produce metal cutting tools used by the automotive industry to manufacture power transmission gears. In additive manufacturing (also referred to as 3D-printing) the processed material, typically in the form of powder or a rod, is melted together only at the chosen three dimensional coordinates to form a solid body with the desired shape and form. This can be compared to traditional manufacturing where one start with a larger piece of material (typically a block or a rod) and remove material using a cutting tool. Additive manufacturing can therefore be an efficient and resource saving production method, especially when producing details made of expensive materials and with complex shape, which requires a lot of machining and material removal with traditional manufacturing methods.

The companies behind the project were VBN Components together with Volvo Group Trucks Operations, Volvo Construction Equipment and Primateria. The project was financially supported by Vinnova. VBN Components had earlier developed a method to utilise an additive manufacturing technology to produce details made of a very hard and wear resistant material branded Vibenite®60. This material is comparable with the most extreme high speed steels that are used in gear cutting tools today. These extremely wear resistant high speed steels are however difficult to machine (by drilling, milling, turning and grinding) and moreover they contain high amounts of expensive alloying elements that are removed as chips in traditional manufacturing. Gear cutting tools made of very high alloyed high speed steels are therefore cumbersome and expensive to produce and they are not extensively used by the gear cutting industry. By producing near net shape tool blanks using additive manufacturing and then by only grinding, edge treatment and coating achieve the final tool, the idea was to make this extreme high speed steel alloy more usable for the automotive gear cutting industry.

The project set up was that VBN Components produce near net shape tool blanks that are then hardened and ground to final shape by sub-suppliers. Primateria take care of the necessary

surface and edge treatment, surface coating and final quality inspection and the different gear producing Volvo plants then use the finished tools in their regular gear production operations.

During this project several challenging technical difficulties have been solved. Finally, a technically robust method was developed and a number of finished gear cutting tools (so called hobs and shaper cutters) were delivered to Volvo and they were then used in the regular gear production operations. The tools have passed the tests, meaning that they have been used to produce the same number of gears as the traditionally manufactured gear cutting tools they were compared with. A few tools produced with additive manufacturing have also been evaluated in more challenging tests with increased feed and speed in the cutting operation with very promising results. If the gear manufacturer can use the tools with increased feed and speed, higher productivity can be achieved in the gear cutting machines. To make this a commercially competitive method, more work to optimize all involved process steps is necessary.

3 Bakgrund

3.1 Om kugghjulstillverkning samt traditionell verktygstillverkning

Svensk fordonsindustri (AB Volvo, Scania CV AB samt deras underleverantörer) tillverkar årligen ett mycket stort antal kugghjul. Dessa kugghjul är mycket specifikt utformade med hög kvalitet för att tillgodose de höga kraven på tillgänglighet och låg energiförbrukning i transmissionssystem för lastbilar, bussar och entreprenadfordon.

Vid tillverkning av kugghjul är *snäckfräsen* (på engelska kallad "hob") ett mycket viktigt verktyg. Snäckfräsen används för att skära ut tänder i de materialämnen som ska bli färdiga kugghjul. Kvaliteten på snäckfräsen är helt avgörande för en kontinuerlig och problemfri kugghjulstillverkning. Det finns även andra skärande verktyg som används för tillverkning av kugghjul (till exempel skärhjul, dragbrotschar och skavhjul).

Idag tillverkas konventionella kuggverktyg såsom snäckfräsar typiskt i materialet snabbstål som köps i form av rundstång. Dessa stänger kapas, grovsvarvas, centrumborras och finsvarvas innan grovfräsning av tänderna tar vid. Därefter härddas ämnet och slutligen så slipas verktyget in till slutgiltigt mått och geometri. När slipningen är gjord beläggs snäckfräsen med lämplig ytbeläggning. Ofta är emellertid inte ytorna och eggarna optimala för att beläggas och beläggnings funktion och livstid blir därför begränsad. Av den anledningen prepareras i dag vanligen verktygen innan beläggning med avsikt att höja ytornas och skäreppens kvalitet. En schematisk översikt av denna process visas i figur 1.

Denna tillverkning består således av ett mycket stort antal processteg som leder till lång leveranstid, och stor risk för fel. Utöver detta, så är tillverkningen miljöbelastande, då en stor mängd höglegerat material måste avverkas. Ett annat problem är att man idag inte kan välja de bästa materialen för snäckfräsar, då dessa material är svårbearbetade och därmed dyra att svarva, borra och fräsa. Idag är den traditionella tekniken förfinad in i minsta detalj, men i och med att det är så många olika processteg och mellanlager så finns det ett stort behov av rationalisering, kortare produktflöde och minimering av risken för fel.

Generellt vore det med andra ord önskvärt om tillverkningen av snäckfräsar kunde förbättras med avseende på ledtider, materialutnyttjande, materialoptimering, tillverkning, ytbehandling

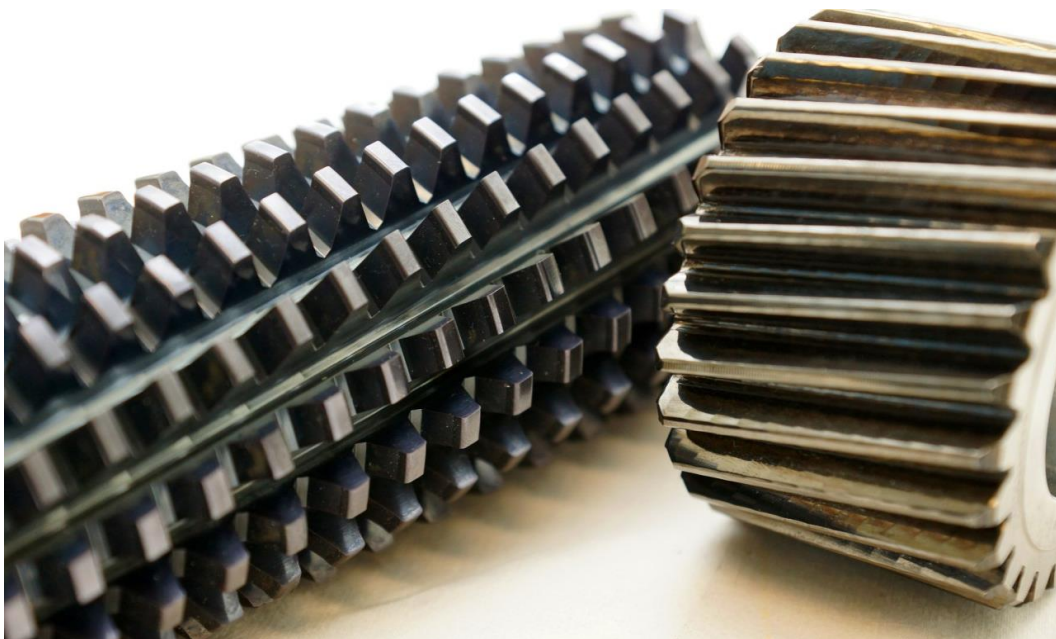
och beläggning för att säkerställa att fordonsindustrin får verktyg som gör att de kan ta ytterligare steg i utveckling av produktivitet vid kugghjullstillverkning.

3.2 Om verktyg för tillverkning av kugghjul

I en modern växellåda finns ett stort antal kugghjul, där varje kugghjul är specialdesignat och har höga krav på formriktighet, deformationsmotstånd, utmattningshållfasthet och ytfinhet. Kugghjulen används för momentöverföring och är en mycket viktig del av växellådan. Även om det finns hydrauliska lösningar för jämnare och steglös momenttransmission, så är det fortfarande så att en välsmord kontakt kugghjul mot kugghjul är det absolut mest energisnåla alternativet för momenttransmission, speciellt för höga vridmoment.



Figur 1. Traditionellt tillverkas en snäckfräs idag på detta sätt, från stålverket till färdig fräs.



Figur 2. Bilden visar en snäckfräs (till vänster) och ett kugghjul (till höger) som tillverkats av en snäckfräs.

För att tillverka kugghjul används ett verktyg kallat snäckfräs, se figur 2. Snäckfräsen och det ämne som ska bli ett kugghjul roterar och rör sig relativt varandra i fräsmaskinen på ett sätt som leder till att snäckfräsens tänder skär bort material från ämnet och på så sätt formar kugghjulet.

Produktiviteten i fräsmaskinen bestäms bland annat av skärdata (skärhastighet och matning) samt av tiden för stillestånd som bland annat påverkas av hur ofta snäckfräsen måste bytas när

den blivit sliten. Det är därför viktigt att snäckfräsen kan köras med höga skärdata samt att den har ett bra slitagemotstånd.

Punkterna nedan ger en kortfattad sammanfattning av de stora avgörande stegen i den materialutveckling som skett när det gäller snäckfräsar. Dessa materialförbättringar har inneburit enorma förbättringar av produktiviteten vid tillverkning av kugghjul.

- För ca 100 år sedan började man tillverka snäckfräsar vars "huvudkropp" fortfarande var i verktygsstål, medan fräständerna var i snabbstål. Skärraderna, som alltså bildade fräständerna skruvades fast i "huvudkroppen". Resultatet blev en tåligare fräs till måttlig kostnad eftersom största delen av fräsen bestod av billigare material än snabbstål.
- Införandet av pulversnabbstål (1970-talet).
- Flegängade fräsar alltmer vanligt sedan några decennier. En mer noggrann tillverkningsprocess för fräsen och utvecklade fräsmaskiner har möjliggjort en ökad användning av flegängade fräsar.
- Införandet av beläggningar började på allvar i slutet av 1980-talet varvid TiN var det som användes. Sedan dess är det en ständig utveckling av beläggningar.
- Införandet av hårdmetallfräsar började på allvar på 1990-talet och har efter en del problem, avseende "strippning" av beläggning inför omskärpning och nybeläggning, utvecklats till ett alternativ som under vissa förutsättningar är konkurrenskraftigt. Idag används hårdmetallfräsar främst vid tillverkning av kugghjul med mindre modul, där fräsarna kan hållas i mindre storlek. Stora snäckfräsar är mycket tunga, och dessutom är det idag stora svårigheter att tillverka dessa i hårdmetall.

3.3 Om additiv komponenttillverkning och material

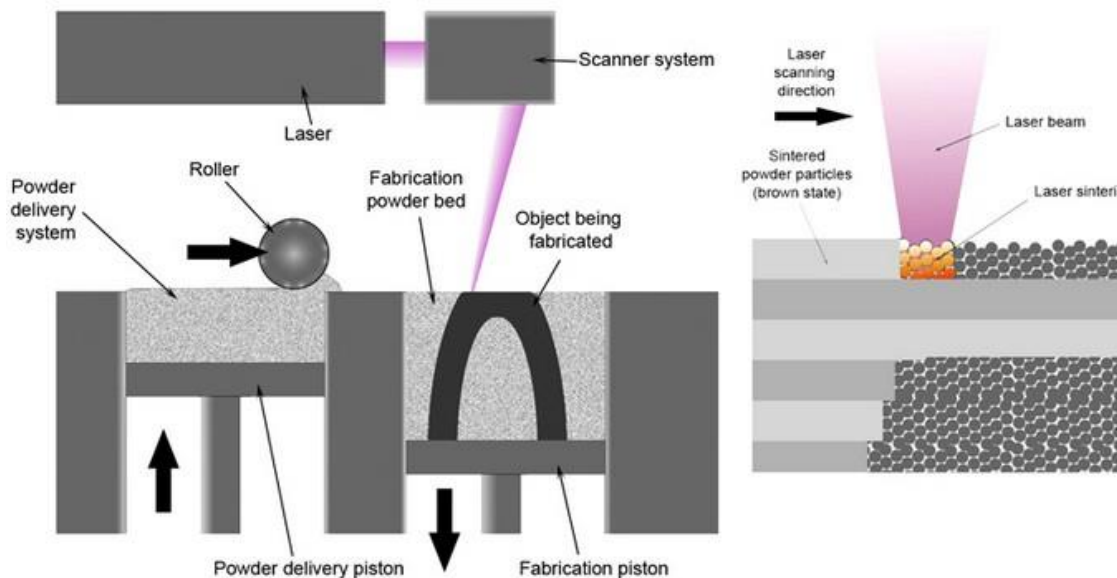
Additiv tillverkning (som då skiljer sig från subtraktiv tillverkning såsom borrar, fräsning, svarvning) är ett verksamhetsområde som under de senaste 20 åren genomgått en kraftig teknisk utveckling och mognad. Från att vara en mycket begränsad teknologi för prototyp-tillverkning av specialframtagna material med låga kvaliteter, hög porositet så finns idag stora möjligheter till tillverkning av fullkvalitetsmaterial i stora serier.

Maskintillverkarna har genomgått en stor utveckling under de senaste åren, och 2012 har en del fusioner och uppköpt skett, vilket lett till en slags konsolidering i branschen. Man kan därför förvänta sig en större teknikutveckling de kommande åren med fokus på uppskalning och industrialisering.

Den additiva tillverkningen består egentligen av ett antal olika typer av tekniker, som alla bygger på att man steg för steg sätter ihop materialpulver eller materialtråd, enligt en 3D-ritning från en dator. Man kan använda metaller eller plaster och pulver eller tråd, med även fotopolymerisation av flytande media. Ibland smälter man ihop metallpulver med en energistråle och ibland binder man ihop pulvret till en s.k. grönkropp som senare sintras i ugn. Det går generellt *inte* att ta vilket konventionellt material som helst och använda det för additiv tillverkning, men området växer fort och många metodanpassade material växer fram. En stor marknad är således forandets av material för additiv tillverkning i form av pulver eller tråd.

Inom området additiv tillverkning från metallpulver, så domineras området av de tekniker som i en byggkammare smälter ihop metallpulver lager-för-lager med en energistråle av laserljus eller elektroner. Sammanfattningsvis så går det till som beskrivs i figur 3.

VBN Components AB har utvecklat den additiva tekniken för smältning av metallpulver med fokus på extremt slitåliga material (pulvermetallurgiska snabbstål), där mjukbearbetningen (borrning, fräsning, svarvning) är svårt, dyrt och miljöbelastande. Därför ligger VBN Components verksamhetsområden inom slitande applikationer, där metallskärande bearbetning är en viktig del. Genom att tillämpa additiv tillverkning inom detta materialområde så kan man dra fördel av den nya tekniken på ett unikt bra sätt.



Figur 3. Schematisk översikt av hur additiv tillverkning från metallpulver typiskt går till.

3.4 Om additiv tillverkning av verktyg och speciellt snäckfräsar

I detta projekt tillverkas skärande verktyg och då framför allt snäckfräsar genom additiv tillverkning (även kallat friformning eller 3D-printning). I och med det så slås materialtillverkningen och komponenttillverkningen samman och utförs i en och samma process, se figur 4 för en schematisk översikt av tillverkningsprocessen.

Den nya friformningsteknik som VBN använder, ger kunderna ett flertal stora fördelar. Leveranstiden mellan beställning och att kunden har fått den färdiga snäckfräsen kan kortas signifikant. Snäckfräsar med förbättrad prestanda och livslängd kan tas fram samtidigt som miljöbelastningen minskar. Det senare beror av att man endast använder det materialet man behöver, d.v.s. inga pressverktyg, gjutformar eller sintringsmetoder behövs. Dessutom minskar behovet av petroleum-baserade skärvätskor kraftigt, då skärande bearbetning (svarvning, borrning, fräsning) inte behövs.

Materialet som används i detta projekt är det nyutvecklade Vibenite®60, som används till applikationer där kunder idag använder ett pulvermetallurgiskt snabbstål med lägre legeringshalt. Idag måste kunden normalt köpa smidd stång och själv svarva, fräsa och borra den till färdig form och har därför inte möjlighet att välja högre legeringshalt eftersom detta påverkar bearbetbarheten negativt. I och med friformningen av Vibenite®60, så kan användaren välja en mycket hög legeringshalt och slippa bearbeta/skära i detta material. Vibenite®60 är alltså ett färdigutvecklat och patenterat material som motsvarar ett av de mest höglegerade snabbstål som finns på marknaden. Vid sidan av snäckfräsar finns ett stort antal andra applikationer där man med Vibenite®60 och friformning kan ersätta andra snabbstål.



Figur 4. Schematisk översikt av stegen som ingår vid additiv tillverkning av verktygen i detta projekt.

3.5 Om ytor, skäreppor och beläggning av snäckfräsar

Ett slipat skärverktyg i snabbstål har så kallade grader på eggarna. Gradera består av verktygsmaterial som deformerats i slipprocessen och tryckts ut från eggarna som ett överhäng. För att verktyget ska fungera optimalt måste dessa grader tas bort innan man använder verktyget. Detta är speciellt viktigt om verktyget ska beläggas med en tunn slitstarkt ytbeläggning av typen PVD (physical vapour deposition). Om eggarna inte avgradats på ett bra sätt kommer beläggningen genast att slitas bort från skärepporna då verktyget tas i bruk. Vid sidan av avgradningen är det även mycket viktigt att ytorna i anslutning till skärepporna (spånsida och släppningssida) är släta och fria från defekter för att beläggningen ska sitta bra där samt för att kontakten med arbetsmaterialet ska bli så skonsam som möjligt. Slutligen är det även viktigt att man tar bort de ojämnheter som finns i den tunna ytbeläggningen eftersom dessa är extremt hårda och sticker upp som små piggarna som skrapar i arbetsmaterialet.

Alla dessa saker sker i det som kallas förbehandling av den obelagda ytan och eggarna och efterbehandling av den belagda ytan. Det finns idag ett antal metoder tillgängliga för preparering av eggarna och ytor innan och efter beläggning. Alla sedan tidigare kommersiellt tillgängliga metoderna har dock ett antal begränsningar som gör att ytor och eggarna inte kan optimeras oberoende av varandra. De av Primateria utvecklade metoderna PrimaSurf®, PrimaEdge® och PrimaCoat® har dock inte dessa begränsningar.

3.6 Om Volvo

Volvokoncernen har idag cirka 120 000 anställda med produktionsanläggningar i 19 länder och försäljning på 190 marknader. I Sverige finns stora fabriker för produktion av motorer i Skövde och transmissionssystem i Köping. Båda dessa enheter har stor tillverkning av kugghjul. En av Volvokoncernens organisationer är Group Truck Operations, som Powertrain Production Köping är en del av. Powertrain Production Köping har idag omkring 1450 anställda och producerar växellådor (SMT, AMT, Powertronic) samt Marina drev. Köpingsfabriken har lång erfarenhet av kuggbearbetning och har varit kuggspecialister sedan 1800-talet. Sedan 2007 är Köping ett "Centre of Excellence" för transmissioner och kuggbearbetning.

Volvo anger följande punkter som önskvärda mål för gällande framtida kugghjullstillverkning:

- Betydligt fler frästa detaljer per fräs genom att fler detaljer fräses per omskärning och genom att varje omskärning endast reducerar frästängd med ca 0,2 mm. Det handlar om att undvika urflisningar och liknande som kräver omfattande bortslipning.
- Högre skärhastigheter och matning i de fall där detta ger ett tydligt mervärde.
- Om målen ovan nås, så minskar maskintiden, och därmed kostnaden för bearbetningen. Verktygskostnaden i sig minskar naturligtvis också.

Tänkbara förändringar på snäckfräsar för att nå ovan listade mål skulle kunna vara:

- Högre värmetålighet, vilket till exempel kan uppnås med tryckluft (alt. skärvätska) i varje tand förutom utveckling av material och beläggning.
- Högre hårdhet och därmed slitstyrka på basmaterial och beläggningar i de skärverktyg som används.

4 Syfte, frågeställningar och metod

Det övergripande syftet med detta projekt är att visa hur additiv tillverkning av komponenter och verktyg i höglegerade stål kan stärka förutsättningarna för svensk industri att även i framtiden kunna konkurrera om produktion till en stor del av världens tyngre arbetsfordon. Idag svarar Sverige för ca 15% av den globala kugghjullstillverkningen till tyngre arbetsfordon.

Projektets upplägg går ut på att VBN Components erhåller CAD-ritning av de önskade verktygen från Volvo och sedan bygger ämnen till NNS (near net shape) genom additiv tillverkning i ett extremt höglegerat snabbstål (materialet Vibenite®60). Dessa NNS-ämnen härdas och levereras sedan till Primateria. Primateria ser till att verktyget färdigslipas hos verktygstillverkare, avgradas (PrimaEdge®), ytbehandlas (PrimaSurf®) och ytbeläggs (PVD + PrimaCoat®).

På detta sätt förkortas ledtiden kraftigt och materialavverknigen minimeras. Dessutom kommer verktyget att vara tillverkat i det mest nötningsbeständiga snabbstålet som finns, och verktygets ytor och eggjar samt val av beläggning blir optimala.

För varje verktygstyp som tillverkats har följande steg utförts; **design -> additiv tillverkning och härdning -> slipning, ytbehandling och beläggning -> provkörning och prestandamätning -> utvärdering och rapportering**. Beroende på vilken typ av kugghjul som skall tillverkas har snäckfräsarna lite olika utformning. Efter att en snäckfräs använts och blivit slö kan den skärpas om och beläggas om för att sedan användas igen. Typiskt kan en snäckfräs rekonditioneras på detta sätt 10-20 gånger innan den kasseras och går till metallåtervinning.

5 Mål

Målen i detta projekt är följande:

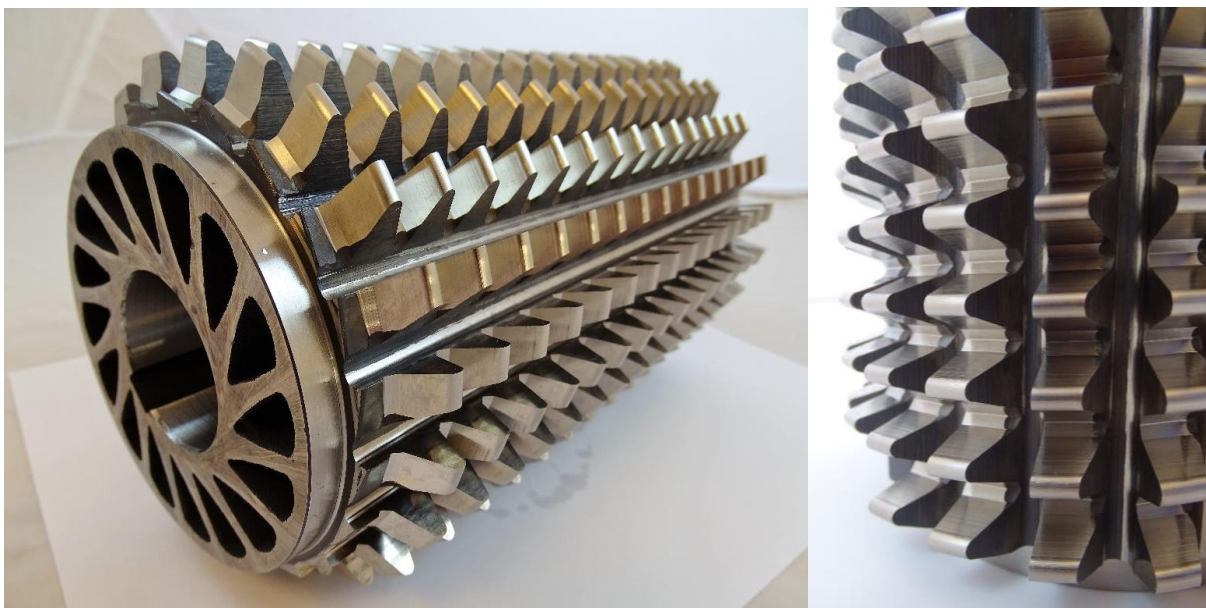
- Att fastställa och jämföra tillverkningskostnad för additivt tillverkade fräsar jämfört med dagens konventionellt tillverkade fräsar.
- Att genomföra ett långtgående test av additivt tillverkade (friformade) snäckfräsar med optimerat materialval och optimerade ytor.
- Att utvärdera olika varianter av de additivt tillverkade snäckfräsarna med avseende på hårdhet, ytfinhet, geometriska varianter, skärhastigheter etc.
- Att nå en snabbare, effektivare och hållbarare lösning på fordonsindustrins behov av snäckfräsar.
- Att förbättra förutsättningarna för utveckling och tillverkning av snäckfräsar i Sverige.
- Att minska tidsåtgång för beredning och tillverkning av en ny snäckfräs med 40%.
- Att minska miljöbelastningen vid snäckfrästillsättning med 40%.

Målen har i stort sett behållits oförändrade under projektiden.

6 Resultat och måluppfyllelse

I projektet har följande mål uppnåtts:

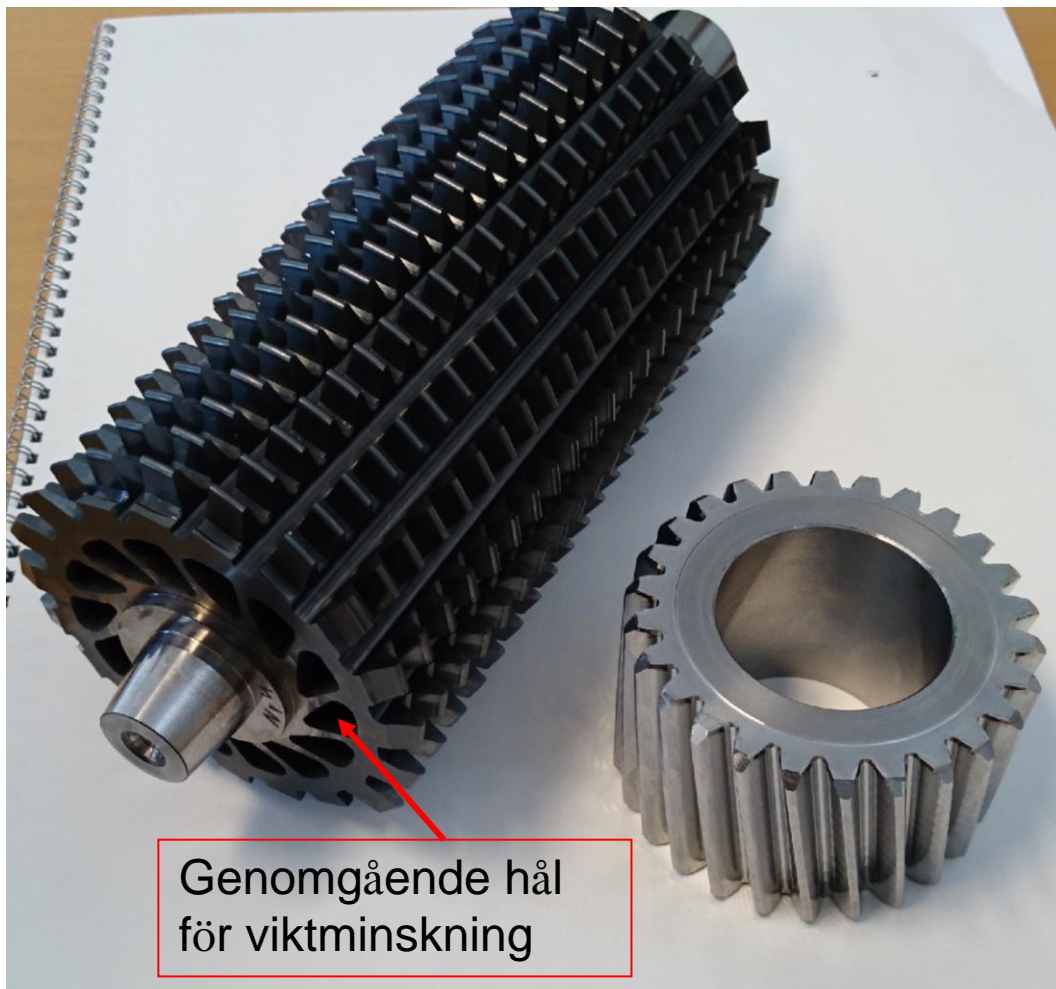
- Metod för framtagande av additivt tillverkade snäckfräsar har fastställts, utprovats och preliminärt kostnadsberäknats (diskussioner med underleverantörer pågår idag).
- Fem olika typer av snäckfräsar har tagits fram i Vibenite®60 och provkörts i skarp produktion hos Volvo med mycket bra resultat.
- Tre olika typer av skärhjul har tagits fram i projektet och har provkörts/ska provköras i skarp produktion hos Volvo eller deras underleverantörer.
- Mycket omfattande processutveckling med avseende på processinställningar i den additiva tillverkningen har genomförts. Ett antal olika tekniska svårigheter har uppkommit och lösts i projektet. Svårigheterna har främst legat i framtagning av verktygsritning i korrekt format, slipmånsoptimering, materialframställningen samt verktygsslipning.
- Projektet har förbättrat förutsättningarna för utveckling och tillverkning av snäckfräsar i Sverige. Dock behövs mer utvecklingsarbete tillsammans med inblandade underleverantörer (härdning, slipning, beläggning) innan det finns en färdig process som är kommersiellt konkurrenskraftig.
- Tidsåtgången för framtagning av en snäckfräs efter beställning kommer absolut att kunna kortas, men projektet har inte kommit tillräckligt långt för att ha den färdiga infrastrukturen (underleverantörer etc.) helt och hållet på plats för ett optimerat flöde i produktionen.
- Miljöbelastningen för framtagning av en typisk snäckfräs har minskats kraftigt, med avseende på materialåtgång. En traditionellt tillverkad snäckfräs med centrumhål har ett materialutbyte på ca 0,7 (utbyte i stålverk) x 0,5 (utbyte hos verktygstillverkare) = **0,35**. En Vibenite®60-snäckfräs av samma typ har ett utbyte på ca 0,98 (utbyte AM-tillverkning). Läger man därtill att den additivt tillverkade snäckfräsen har lägre vikt och längre livslängd så är minskningen av miljöbelastningen oerhört stor. En exempelfräs i projektet gav att fräsmaterialåtgången av en additivt tillverkad fräs per tillverkat kugghjul är 13% av den traditionella fräsmaterialåtgången. Se Figur 5.



Figur 5. Förlängd lågviktsfräs till Volvo CE additivt tillverkad i Vibenite®60. (Obelagd.)

Utöver uppsatta mål har följande resultat uppnåtts under projektiden:

- VBN Components har uppfört en industriell produktionsanläggning för additiv tillverkning av Vibenite® i Uppsala.
- Primateria har etablerat en ny verkstad för sina processer i Köping, inkluderande PVD-beläggning.
- Sex (6) olika kommersiella verktygstillverkare från Sverige, Tyskland, Italien och USA har fått prova att färdigställa additivt tillverkade ämnen.
- Fungerande verktyg har framställts av tre av ovanstående verktygstillverkare.
- Ett mycket stort intresse har visats från verktygstillverkare, slutanvändare och andra företag. Dessa har framförallt varit från Europa men också t.ex. USA och Indien.
- Det nya materialet Vibenite®60 har under härdning, slipning, ytbehandling, och beläggning visat sig uppföra sig på samma sätt som traditionellt tillverkat material.
- Projektet har påvisat att det går utmärkt att göra snäckfräsarna lättare genom att förse dessa med genomgående axiella hål. Traditionellt är snäckfräsarna tillverkade med så lite bearbetning som möjligt och har därför maximal vikt, men genom additiv tillverkning så är situationen den motsatta: ju mindre gods som behöver byggas desto bättre. Lättare verktyg (från ca 15 kg till ca 9 kg för en specifik snäckfräs i projektet) leder sannolikt till att hanteringsskadorna på snäckfräsarna kommer att minskas. Dessutom ger det en kraftigt förbättrad arbetsmiljö för operatörerna då tunga lyft av vassa detaljer minskas. Se figur 6.



Figur 6. Additivt tillverkad snäckfräs i Vibenite®60 (med genomgående hål för viktminskning) samt det första kugghjul som tillverkats med detta verktyg. Verktuget gick full livslängd (800 kugghjul) med endast minimal förslitning och kommer att rekonditionerats och användas igen. (Verktuget är belagt).

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Alla tre deltagande företag har byggt stor kunskap inom AM-tillverkning. Detta kommer att vidarebefordras inom organisationerna på flera olika sätt.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Hela grunden för detta projekt, dvs alla delar av processutvecklingen kommer att ha stor betydelse för införandet av additiv tillverkning på verktyg. Denna kunskapsbas kommer även att användas i materialutvecklingen.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Vi kommer att tillämpa kunskapen på andra typer av skärande verktyg och andra applikationer.
Introduceras på marknaden	X	Ja, diskussioner pågår för att kommersiellt tillverka verktyg.
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut		Nej.

7.2 Publikationer

Projektet har presenterats på följande ställen:

- Projektet har tilldragit sig stor uppmärksamhet som ledde till en stor artikel om VBN Components hos Volvo i Uppsala Incubation Centres Årsberättelse 2013, se http://uic.se/content/uploads/2014/07/UIC_Arsberattelse_2013.pdf.
- Projekt är presenterat av Volvo Group Trucks Operations manager på Produktionsklusters Katrineholmskonferens 140520 där det fick mycket stort intresse från publiken.
- Ett examensarbete med tre civilingenjörstudenter utfördes inom projektet och en konfidentiell rapport gjordes. (Utveckling av ett mikroföretag i ett teknikskifte - en fallstudie på VBN Component ABs additiva Tillverkningsteknik, 2014, 164s, konf., Uppsala Universitet)
- Projektet har presenterats på Elmia Subcontractor Innodex 141114.
- Presentation av projektet på KTH Produktionsteknik 141210.
- Presentation av projektet på Volvos Group Trucks Operations teknikdag i Köping 141212.
- Projektet har presenterats i Ny Teknik två gånger:
<http://www.nyteknik.se/nyheter/automation/verkstadsautomation/article3778502.ece>
och <http://www.nyteknik.se/nyheter/automation/article3880095.ece>.
- Projektet har presenterats i Affärstidningen Näringsliv
<http://www.naringsliv.se/tidningar/2015-1/svensk-industi/svensk-industri/nya-mojligheter-for-svensk-industri-med-3d-printing-av-vibenite/>.
- Projektet har presenterats i Uppsala Nya Tidning näringslivsbilaga, sid 14:
<http://iqpager.quid.se/iqpager.aspx?currentUserRepository=User174894219&language=sv&pagerid=6936#>.
- Den ”hålade snäckfräsen” är även med på ett flertal andra ställen, såsom i Tidskriften Metal Additive Manufacturing vol 1, nr 1, våren 2015.
- Projektet presenterat på RISE Seminarium i Stockholm 150507.
- Projektet presenterades också på Produktionsklusters Katrineholmskonferens 150520.
- Projektet presenteras internt av VBN Components på Volvo Göteborg 151023
- Projektet presenterades på AM-dagen i Kista i 151203.
- Presentation under 2015 Technology Roadmap review meeting (2151216 i Köping) som är ett årligt Volvo-möte för att diskutera ny teknologi.
- Vetenskaplig artikel om abrasivt nötningsmotstånd hos Vibenite®60 kommer att publiceras i Wear.
- Resultat från projektet har presenterats i tidningen PlastForum Nr 2, Mars, 2016.
http://ebook.mentorcommunications.se/PLA_02_2016/#/1/

VBN Components AB har också blivit uppmärksammat av Statsminister Stefan Löfven i hans sommartal i Almedalen 2015. Se t.ex. <http://unt.se/asikt/ledare/ett-traget-arbete-3951738.aspx>.

VBN Components AB har också blivit uppmärksammat i tidningen Veckans Affärer som ”Startup du måste ha koll på”: <http://www.va.se/nyheter/2015/11/20/tre-svenska-3d-startups-som-du-maste-ha-koll-pa/>.

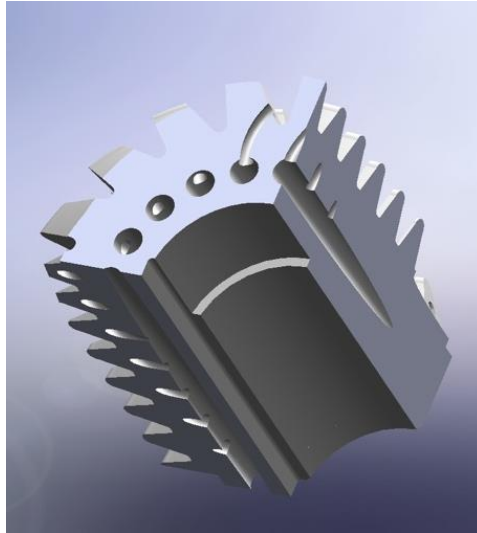
8 Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet har lyckats med att genom additiv tillverkning ta fram fungerande verktyg för kugghjulsproduktion (snäckfräsar och skärhjul). Verktygen är tillverkade av ett extremt hårt och nötningsbeständigt snabbstålsmaterial. Verktygen har presterat minst lika bra som konventionellt tillverkade verktyg. I något fall då skärdata skruvats upp för att provocera verktyget ytterligare har produktiviteten kunnat ökas till det dubbla jämfört med standardproduktion.

När det gäller produktionsflöde och produktionsmetoder för en additivt tillverkad snäckfräs återstår en del arbete innan detta är optimerat. Alla inblandade parter och underleverantörer måste få mer tid på sig att hitta parametrar i sin produktion som är anpassade och optimerade för att tillverka additivt tillverkade verktyg. Nu används produktionsprocesser som är anpassade för konventionellt tillverkade verktyg. Först när denna optimering har utförts i alla produktionsled kan en rättvisande kostnadsberäkning tas fram.

Additiv tillverkning och dess möjligheter är fortfarande relativt okänt för gemene man och även för designingenjörer och inköpare inom verkstadsindustrin som skulle kunna ha stor nytta av denna teknologi och dess vidareutveckling. Under projektets gång (och kanske även delvis tack vare detta projekt) så har additiv tillverkning blivit mycket uppmärksammat, både inom industrin, hos allmänhet, och akademiskt. Det krävs dock som sagt en hel del processutveckling och optimering för nå ända fram till kommersiellt konkurrenskraftiga skärande verktyg. För att det ska ta riktig fart, så krävs det att många olika aktörer förstår potentialen och drar åt samma håll. Det krävs därför mycket information och utbildning till alla led i värdekedjan.

Inom projektet så har vi generellt kopierat verktygsdesign framtagen för konventionellt framtagna verktyg. En stor fördel med additiv tillverkning är dock att man inte är begränsad till en design som går att tillverka med traditionella subtraktiva produktionsmetoder. Ett exempel där den additiva tillverkningens speciella möjligheter har utnyttjats till att förändra verktygets design är lågviktsutförandet med genomgående hål som inte på något rimligt sätt går att framställa med konventionella metoder. Ett annat exempel är möjligheterna att implementera skärvätskekanaler (eller tryckluft) i varje tand, för att på så sätt öka prestanda och produktivitet. Denna förändring har provats i en demonstrator, se figur 7. I framtiden kan denna och andra fördelaktiga designförändringar vidareutvecklas för tillämpning i skarp produktion.



Kanaler för tillförsel av
skärvätska eller tryckluft

Figur 7. Additivt tillverkat segment av en snäckfräs med kanaler i varje tand för att få fram kylmedel (skärvätska eller tryckluft) till rätt ställe. Tekniken kan också användas för s.k. chip control, dvs att se till att skärspånor lyfts bort effektivt.

9 Deltagande parter och nyckelpersoner

VBN Components AB

Ulrik Beste, delägare och teknisk chef

ulrik@vbncomponents.se

070-2358626

AB Volvo, Volvo Group Trucks Operations

Mattias Åkerlund, tekniker kugghjulstillverkning

Mattias.akerlund@volvo.com

0221-457861

AB Volvo, Volvo Construction Equipment

Magnus Andersson, tekniker kugghjulstillverkning

Magnus.andersson@volvo.com

016-5415994

Primateria AB

Olle Wänstrand, delägare och projektledare

olle@primateria.se

070-2939273