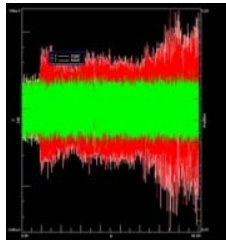




FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

FFI Robust maskinbearbetning



Redigerad av Thomas Lundholm (Kungliga Tekniska högskolan)
Bidrag från Mihai Nicolescu (Kungliga Tekniska högskolan),
Andreas Archenti (Kungliga Tekniska högskolan),
Lorenzo Daghini (Kungliga Tekniska högskolan)
Tomas Österlind (Kungliga Tekniska högskolan)
Sabih Zeb (Kungliga Tekniska högskolan)
Tomas Beno (Högskolan Väst),
Jari Repo (Högskolan Väst),
Petter Andersson (Volvo Aero Corporation/GKN Aerospace),
Koteswar Chirumalla (Luleå tekniska högskola)
2013-02-13
Delprogram Hållbar produktionsteknik



FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

Innehåll

1. Sammanfattning	3
2. Bakgrund	5
3. Syfte	6
4. Genomförande	7
5. Resultat	8
5.1 Bidrag till FFI-mål	8
6. Spridning och publicering	29
6.1 Kunskaps- och resultatspridning	29
6.2 Publikationer	30
7. Slutsatser och fortsatt forskning	34
8. Deltagande parter och kontaktpersoner	34

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

Nya generationer av miljövänliga och säkra fordon kräver tillverkning av lätta material med högre hållfasthet och, till följd av detta, tuffare bearbetningsförhållanden och ökad bearbetningsrobusthet. Högprecisionskomponenter som CGI-motorblock, insprutningsmunstycken, axlar och kugghjul måste bearbetas vid extremt snäva toleranser avseende dimensioner och ytfinhet. Detta ställer mycket höga krav på bearbetningssystemet – både som nytt och under driftfasen.

Det finns ett behov av praktiska, snabba och tillförlitliga metoder och verktyg för att utvärdera och kontrollera förmågan för robust bearbetning, med avseende på produktens egenskaper och med konkurrenskraftiga tillverkningskostnader.

Det mycket komplexa systemet med verktygsmaskin, fixtur och skärverktyg under bearbetning av en detalj är nästan omöjligt att modellera analytiskt med tillräckligt noggrannhet. För att kunna göra detta är det nödvändigt att övervaka och analysera det verkliga systemet på fabriksgolvet i full produktion.

Konstruktionsunderlag och uppmätta data kan sedan sättas samman för att göra en realistisk digital modell av en fysiskt maskinsystemindivider, som kan användas som underlag för programvara som simulerar bearbetning. Detta kan göras för att hitta de bakomliggande orsakerna till stabilitetsproblem.

En annan fråga är att utnyttja kunskaper och tillverkningserfarenheter som erhållits vid fastställning av nya produkter och processer. Problemet med att föra tillbaka erfarenheter från spridda IT-system hos företag till tidigare faser av produktutveckling omfattar både frågan om sökning och inhämtande av relevant information samt förmåga att presentera data i mottagarens sammanhang.

De nya koncepten och teknikerna bör vidareutvecklas och testas i typiska industriella fall. I en iterativ process bör resultaten från industriella fallstudier leda till förbättringar.

Projektet organiserades i fyra arbetspaket:

- WP1 Projektsamordning och resultatspridning
- WP2 Testning och övervakning av bearbetningssystemets tillstånd
- WP3 Modellering av bearbetningssystem och återanvändning av tillverkningserfarenheter
- WP4 Maskinsystemkonstruktion – högdämpningssystem (HDI).

Viktiga erhållna resultat är:

- Demonstranter för preloaded double ball bar (LDBB).
- System för statisk och dynamisk provning av roterande verktyg.
- Egenskaper och parametrar som är relevanta att integrera i digitala modeller av bearbetningssystem för att kunna analysera dynamisk bearbetningsrobusthet för verktygsmaskinens komponenter. Dynamiska egenskaper definieras med avseende på massa, dämpning och styvhet.
- Metoder och system för testfall för att samla in och förmedla de nödvändiga egenskaperna och parametrarna.
- Utökade maskinmodeller enligt STEP AP 214 inklusive statisk och dynamisk styvhet som ska användas för att generera indata i tillgängliga kommersiella simuleringsprogram. Karakteristik för gränssnitt mellan maskinkomponenter definieras av dämpning och styvhet.
- Lämplig programvara för att studera interaktionen mellan verktygsmaskinens struktur och bearbetningsprocessen för utvärdering av dess robusthet. Tillgängliga program hos projektparterna användes.
- En metodik för återanvändning av erfarenhet.
Metoder och arbetssätt för kartläggning, analys och förbättring av flödet av erfarenheter från tillverkning till utveckling av nya produkter för att minska tillverkningsstörningar på grund av otillräckliga konstruktionslösningar ur en producerbarhetssynvinkel.
- Demonstration av systemstöd för att förbättra återanvändandet av erfarenheter från produktionsprocessen.
Metodiken har använts för att förbättra befintliga system för konstruktionsstöd för att bättre utnyttja erfarenheter från tillverkning för utveckling av nya produkter. Dessutom föreslås ett videobaserat tillvägagångssätt för att förenkla uppsamling och spridning av erfarenheter från produktion och andra faser nedströms till till konstruktionsavdelningar. Resultaten omfattar metodik, riktlinjer, processbeskrivning och tekniska möjliggörare för kontinuerlig erfarenhetsåterföring till konstruktionsavdelningar.
- Beskrivningar av svaga punkter i testfall.
- Demonstranter, maskinkomponenter baserade på högdämpningskonceptet (HDI) i relevanta testfall.
- Allmänna råd och förslag hur man specificerar/konstruerar nya verktygsmaskinsystem så de förbättras genom HDI.

2. Bakgrund

Nya generationer av miljövänliga och säkra fordon kräver tillverkning av lätta material med högre hållfasthet och, till följd av detta, tuffare bearbetningsförhållanden och ökad bearbetningsrobusthet. Högprecisionskomponenter som CGI-motorblock, insprutningsmunstycken, axlar och kugghjul måste bearbetas vid extremt snäva toleranser avseende dimensioner och ytfinhet. Detta ställer mycket höga krav på bearbetningssystemet – både som nytt och under driftfasen.

Hållbar tillverkning är ett "samansatt" konceptet. En faktor är ekonomisk hållbarhet. Kort sagt, möjligheten att tillverka den typ av avancerade komponenter nämnd ovan med mer lönsamhet än de globala konkurrenterna.

Produktionsforskningsagendas Svensk produktionsforskning 2020 utgiven 2008 framtagen av Teknikföretagen, Svenska produktionsakademien och Swerea IVF pekade ut "robusta och pålitliga tillverkningssystem" som ett prioriterat forskningsområde. European ManuFuture Technology Platform antyder "intelligens för förbättrade processer" som ett viktigt forskningsområde inom adaptiv tillverkning.

Det finns ett behov av praktiska, snabba och tillförlitliga metoder och verktyg för att utvärdera och styra förmågan till robust bearbetning med avseende på produktens egenskaper och med konkurrenskraftiga tillverkningskostnader.

Det mycket komplexa systemet med verktygsmaskin, fixtur och skärverktyg under bearbetning av en detalj är nästan omöjligt att modellera analytiskt med tillräckligt noggrannhet. För att kunna göra detta är det nödvändigt att övervaka och analysera det verkliga systemet på fabriksgolvet i full produktion.

Konstruktionsunderlag och uppmätta data kan sedan sättas samman för att göra en realistisk digital modell av en fysiskt maskinsystemindivida, som kan användas som underlag för programvara som simulerar bearbetning. Detta kan göras för att hitta de bakomliggande orsakerna till stabilitetsproblem.

En annan fråga är att utnyttja kunskaper och tillverkningserfarenheter som erhållits vid fastställning av nya produkter och processer. Problemet med att föra tillbaka erfarenheter från spridda IT-system hos företag till tidigare faser av produktutveckling omfattar både frågan om sökning och inhämtande av relevant information samt förmåga att presentera data i mottagarens sammanhang.



Figur 1 Medlemmar ur forskningsteamet i FFI Robust maskinbearbetning deltar i maskintestning i Scania transmissionsverkstad i Södertälje.

3. Syfte

De nya koncepten och teknikerna skulle vidareutvecklas och testas i typiska industriella fall. I en iterativ process skulle resultaten från industriella fallstudier leda till förbättringar. Till att börja med studerades följande maskiner, en kuggbearbetningsmaskin hos Scania i Södertälje, en 5-axlig flerooperationsmaskin hos Saab i Linköping, en flerooperationsmaskin hos PTC i Trollhättan och ett svarvmaskinsystem hos Leax Falun i Falun

För varje industriell fallstudie skulle ett förslag på industriell prov- och analysprocedur utvecklas. Vidare skulle insatser och åtgärder föreslås och genomföras för att öka styvheten och robusthet i systemet. Generella råd för och förslag på hur man anger styvhet och acceptanctestmetoder för nya verktygsmaskinersystem samt tekniker för att återanvända tillverkning erfarenheter i flera sammanhang skulle utvecklas.

4. Genomförande

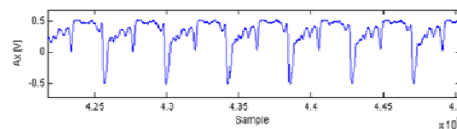
Projektet organiserades i fyra arbetspaket:

- WP1 Projektsamordning och resultatspridning
- WP2 Testning och övervakning av bearbetningssystemets tillstånd
- WP3 Modellering av bearbetningssystem och återanvändning av tillverkningserfarenheter
- WP4 Maskinsystemkonstruktion – högdämpningssystem (HDI).

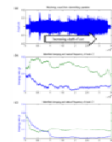
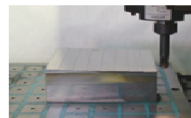
WP1 Project coordination and result dissemination



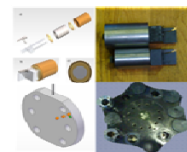
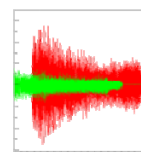
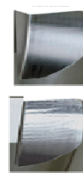
WP2 Machining system condition testing and monitoring



WP3 Machining system modeling and reuse of manufacturing experience



WP4 Machining system design – high damping interface (HDI) system



Figur 2 Arbetspaket.

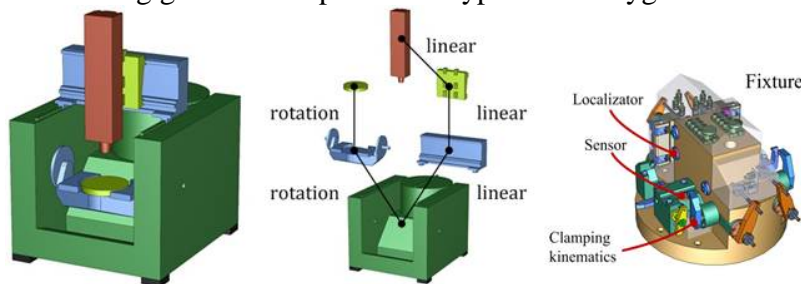
5. Resultat

5.1 Bidrag till FFI-mål

Användning av verktyg för virtuell tillverkningsberedning i syfte att utföra snabba och noggranna konsekvens- och optimeringsstudier har ökat snabbt.

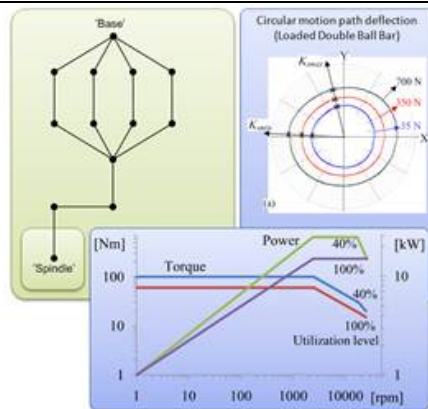
W P3 Maskinsystemsmodellering och återanvändning av tillverkningserfarenhet Maskinsystemsmodellering – för modelldriven operationsberedning

Maskinverktygens noggrannhet beror på kinematiska fel och styvhetsegenskaper. För exakt simulering och kompensation är det viktigt att modellera och karakterisera dessa egenskaper. En förutsättning är att mäta och modellera kinematiska fel under driftliknande förhållanden. Att möjliggöra integrering med andra produktionstekniska data är ett viktigt krav att uppfylla. Det föreslagna angreppssättet för modellering är baserat på ISO 10303 STEP generella datamodell förstärkt med terminologi för att karakterisera verktygsmaskiner t ex för kinematiska fel som definieras i ISO 230. Denna modellering går att tillämpa för alla typer av verktygsmaskiner eller produktmekanismer.



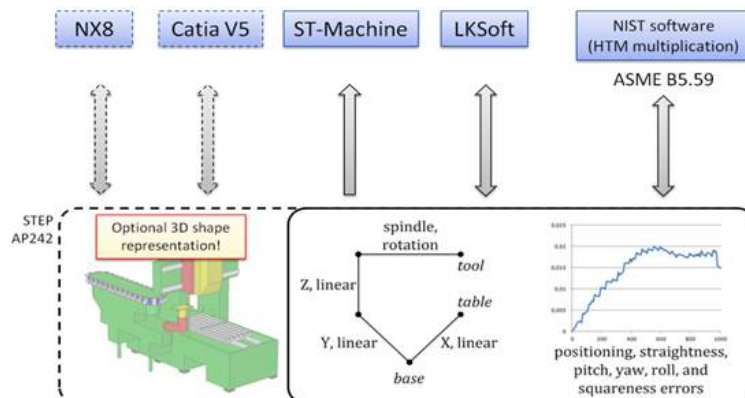
Figur 3 ISO 10303 STEP-kinematik förstärkt med terminologi.

Modeller av tillverkningsresurser som verktygsmaskiner, fixturer och skärande verktyg bidrar till en effektiv och förenklad operationsberedning. Med domänkoncept för operationsberedning, som definieras i ontologi och används vid modellering av koherenta ISO 10303-214-anpassade datamodeller av tillverkningsresurser säkerställs stabila implementeringslösningar och samtidigt möjlighet att representera nuvarande tillverkningsresurser och sådana som utvecklas i framtiden. Genom att använda likheter mellan olika typer av resurser kan en enhetlig modellering tillämpas oberoende av typ av objekt. Informationsklasser som gränssnitt, kinematik, prestanda och beteende identifieras och relateras till motsvarande strukturer för standardiserade produktgenerella informationsmodeller. Med den gemensamma representationen av information delad mellan olika tillämpningsdomäner såsom operationsberedning, underhåll och utformning av fabrikslayout bidrar de presenterade resultaten till att lägga grunden för en digital fabrik som används i virtuell tillverkning för att ständigt förbättra produktionssystemet.



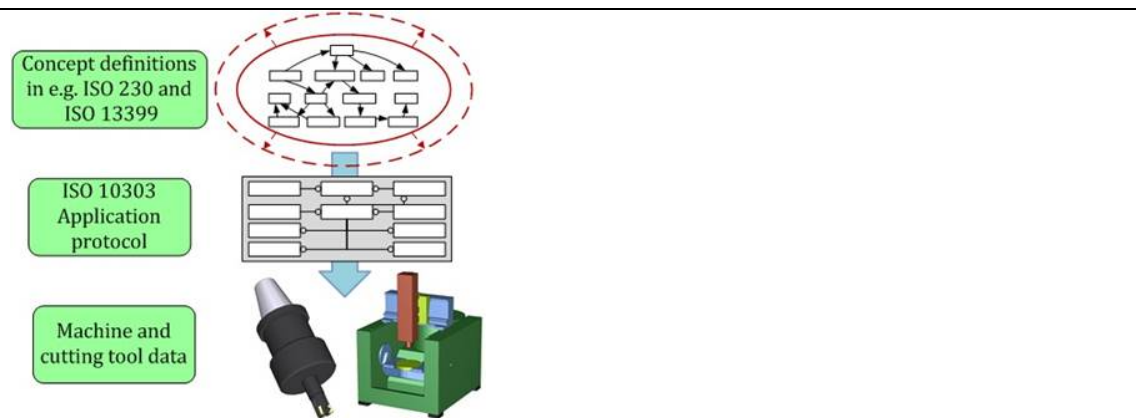
Figur 4 Kinematisk struktur som sammanhang för resultat från uppmätning med loaded double ball bar (LDBB) och egenskaper för en spindelmotor.

En demonstrator har tagits fram med hjälp av en 3-axlig Mazak VQC20 verktygsmaskin på KTH. Verktygsmaskinens 3D-form och kinematik (frihetsgrader och geometri för axlars läge och konfiguration) skapades i ett kommersiellt CAD-system och exporteras till ISO 10303-242 STEP med en plug-in som utvecklats av KTH. Sedan mättes egenskaper integrerade med den nominella modellen för verktygsmaskinen. Modellen för verktygsmaskinen som beskriver kinematiska fel användes för beräkning (av NIST) av totala fel i den kinematiska strukturloopen d v s från arbetsstycke till skärverktyg via maskinaxlarna och maskinfundament. Verktygsmaskinens styvhet mättes med loaded double ball bar (LDBB). Bearbetning av ett Scania-kronhjul gjordes. Simulerad skärkraft (av Boeing) användes för att beräkna utböjningen från nominell verktygsbana för att förutsäga avvikelse på det bearbetade kronhjulet. Förutspådd och uppmätt form hade ett kvalitativt samband.



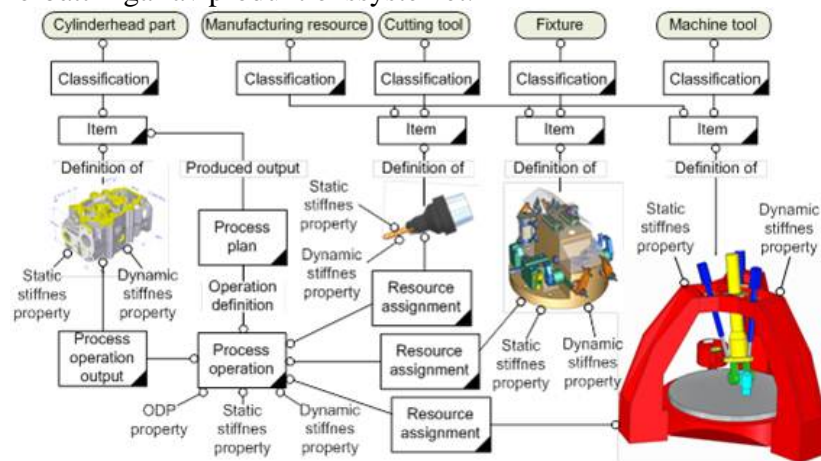
Figur 5 Systemintegration via datakonsolidering.

En ISO TC184 SC4 WG3 T24 STEP manufacturing-konferens arrangerades på KTH den 14 juni 2012. Det var 34 deltagande internationella experter inom modellbaserad bearbetning (från 17 organisationer i 9 länder, t ex Boeing, Sandvik Coromant, NIST, ISCAR).



Figur 6 Strategi för modellering som kombinerar utökad terminologi med STEP-datamodell.

Med den presenterade metoden att tillämpa etablerade begrepp och terminologikonventioner är det möjligt att entydigt representera krav för tillverkningsresurser, funktionell beskrivning och beteende. Denna datamodell utgör sedan ett kraftfullt informationsarkiv att hämta data från, som kan användas till att fylla andra modeller optimerade för t ex realtidsberäkning eller visualiseringsändamål. Eftersom datamodellen bygger på de integrerade resurserna från ISO 1030, kan data lätt delas mellan andra tillämpningsprotokoll i denna standard. För operationsberedning ger AP238 möjlighet att representera information för modelldriven NC med hjälp bearbetningsfunktioner. Sådan växelverkan mellan AP214 och AP238 utökar möjligheterna för modelldriven operationsberedning. För andra tillämpningar som underhåll och fabriksplanering är denna metod också tillämplig och drar nytta av den delade representationen av modeller. Presenterade forskningsresultat bidrar till att skapa byggstenar för den digitala fabriken som används i virtuell tillverkning för ständiga förbättringar av produktionssystemet.



Figur 7 Koherenta industriella data baserade på ISO 10303.

WP3 Maskinsystemmodellering och återanvändning av tillverkningserfarenhet**Maskinsystemmodellering – process-maskin-interaktion (PMI)**

I intermittenta bearbetningsoperationer, representerar den tidsvarierande och diskontinuerliga naturen hos skärprocessen en utmaning i form av val av skärdata, styrning och optimering. För att undersöka fysikaliska fenomen och noggrann validering av den parametriska identifikationsmetoden för den operativa modulen, har en så kallad virtuell maskinsystemmotor (VMSE) utvecklats.

VMSE baseras på en FE-beräkning. Eftersom den representerar både strukturen och skärprocessen kan den generera en respons av kända dämpningsförhållanden och frekvenser för maskinsystemet.

Begreppet "motor" indikerar att det virtuella bearbetningssystemet kan emulera den fysiska interaktionen som uppstår i ett riktigt bearbetningssystem i drift. De två delsystemen, verktygsmaskinens elastiska struktur och dynamiken hos skärprocessen, representeras av fysikaliska samband och deras växelverkan beskrivs av fysikaliska processer.

FE-modelleringen av den intermittenta skärprocessen svarar för:

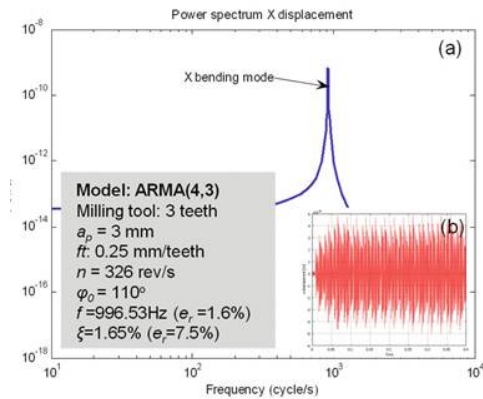
- Grundlig modal parameteruppskattning (massa, styvhet, dämpning) av den elastiska strukturen.
- Parametrisk identifiering av den dynamiska responsen som resultat av samverkan mellan den elastiska strukturen och skärprocessen.
- Att använda ovanstående resultat för att optimera modellstrukturen i rekursiv identifiering av bearbetningssystem i drift.
- Att ge en god fysisk inblick i de undersökta fenomenen.

Den relativa rörelsen mellan verktyget och arbetsstycket representerar summan av alla enskilda relativa förskjutningar i verktygsmaskinens elastiska struktur och de som genereras under skärprocessen. Verktygsmaskinens strukturella system representeras av två ortogonala böjmoder och en torsionsmod. X-Y-koordinatsystemet är fast i förhållande till maskinens struktur, och dess axlar har samma riktningar som de huvudsakliga svängningsmoderna. Något som kommer att beskrivas senare i detta avsnitt, är att ett annat koordinatsystem, tempo-spatiella X-Y används för att representera fördröjningsprocessen och omvandlas till tids- och rumskoordinater i förhållande till referenssystemet. För att representera skärprocessen genereras fem dynamiska krafttyper vid varje skär. För att representera den regenerativa effekten som är karaktäristisk för instabil bearbetning har två olika beräkningstekniker använts. För den regenerativa effekten mellan två på varandra följande tänder används en "extruderings teknik". Svängningarna längs x och y respektive beräknat på skärebben av den $i-1$ tanden projiceras på i tanden och subtraheras från motsvarande svängning.

För simulering av den regenerativa effekten vid varje varv, har den godtyckliga Lagrange-Eulerian-metoden (ALE) använts.

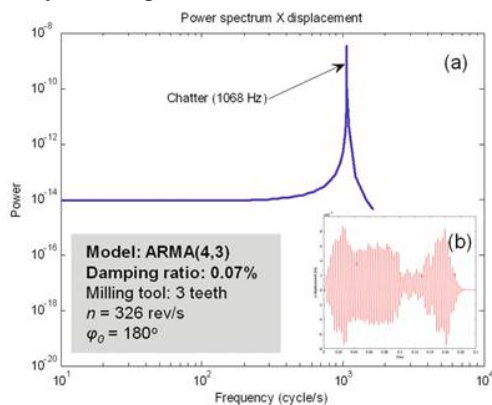
Vid tandfrekvenser nära de naturliga frekvenserna hos den elastiska strukturen, uppträder resonans. I exemplet i Figur 8a är spindelvarvtalet 326 varv/sek, så att frekvensen då tandfrekvensen ligger nära 980 Hz böjmod. Dämpningen är endast obetydligt ändrad och därmed representeras ett stabilt system korrekt. Under tiden ökar amplituden med två

magnituder.



Figur 8 Effektspektrum för ARMA (4, 3) vid frekvens nära 980 Hz. (B) stabil vibration i tidsdomäns X-riktning.

Vibrationsmönstret för den stabila bearbetningen som genomgår resonansvibrationer har helt jämnt fördelad amplitud. Responsen från en instabil PMI när verktyget är i full nedsänkning ($\varphi_0 = 180^\circ$) visas i Figur 9a. Den regenerativa effekten produceras av spåntjockleksvariationen mellan konsekutiva tänder och mellan verktygsvarv. Det uppskattade dämpningsförhållandet som identifieras i en ARMA (4, 3)-modell faller till en mycket låg nivå (0,07%), och identifierar en instabil process korrekt.



Figur 9 Parametrisk identifikation: effektspektrum för instabila bearbetningssystem (b) tidsdomänsschatter som ett regenerativt fenomen mellan konsekutiva tänder, vibrationer i X-riktningen. Den olinjära effekten på grund av kontaktförlust mellan verktyg och arbetsstycke är uppenbar.

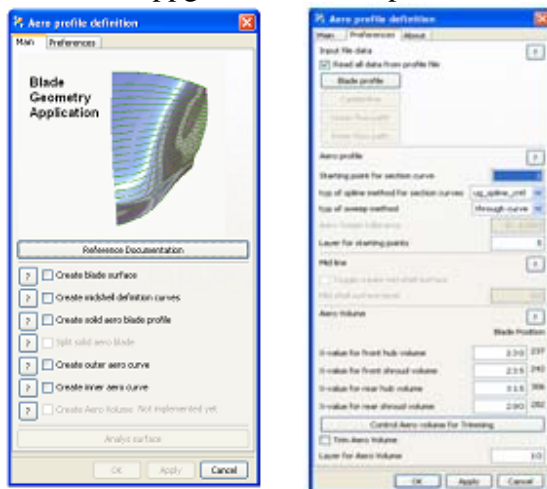
WP3 Modellering av bearbetningssystem och återanvändning av tillverkningserfarenhet

Återanvändning av tillverkningserfarenhet

Digitala verktygsmaskiner möjliggör realistiska digitala simuleringar av tillverkning. 3D CAD-modeller av detaljer och verktyg finns redan hos många företag idag. Svensk tillverkningsindustri och särskilt den svenska fordonsindustrin behöver tillgång till tillförlitlig och komplex information från verklig bearbetning för att modellera, bygga och validera bearbetningssystem. Att hantera erfarenhet är en mångfacetterad utmaning. Erfarenhet kan vara

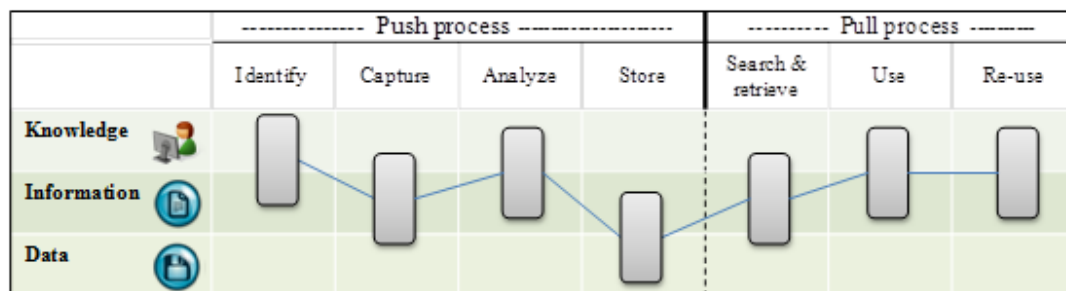
faktabaserad explicit definierad som data eller information, eller kunskapsbaserad med underförstådda dimensioner. För att ta sig an denna utmaning har ett ramverk utvecklats som löser den mångsidiga uppgiften att hantera erfarenheter. Ramverket identifierar typiska aktiviteter som ingår i den återkopplade processen och känner igen hinder inom aktiviteterna och i övergången mellan dem. "Erfarenhetsentiteter" och förhållandet mellan dessa förklaras. Ramverket kan användas i förbättringsarbetet att analysera luckor och leta efter korrigerande åtgärder. En annan tillämpning av regelverket är för utbildningsändamål, då det ger en gemensam syn på den återkopplade processen och anger viktiga aspekter i kunskapsöverföring genom processen.

Hos flygindustrin är frågor om produktens modellering (släta ytor, geometriska toleranser och beräkningsmodeller) en central del av aktiviteterna rörande uppdatering av produktens definitioner. Därför har ett KBE-program utvecklats för att stödja ingenjören i definition av turbinbladskonstruktion. Turbinbladskonstruktion är en ingenjörsmässigt tvärvetenskaplig konstruktionsverksamhet som omfattar optimering inom aero-termisk, mekanisk och tillverkningsdisciplinerna. Programmet har stöd för konstruktören genom att tillhandahålla en snabb generativ CAD-modell. Figuren nedan visar användargränssnittet försett med alternativ för att inkludera specifika konstruktionsuppgifter och ändra parametrar inom ett visst konstruktionsutrymme.



Figur 10 Användargränssnitt för turbinbladskonstruktionsprogrammet.

Genom att använda ramverket som beskrivits tidigare utvärderades varje steg från ett perspektiv baserat på återanvändning för att identifiera svagheter.



Figur 11 Ett dokumentcentrerat kunskaps-informationsdatamönster.

Brister identifierades med avseende på aktiviteter såsom "Lagra" och "Sök & Hämta". Det visade sig att programmet för turbinbladet inte implementerades (lagra)des fullt ut i CAD-miljön, vilket i sin tur ledde till begränsningar i åtkomst (Sök & Hämta). Turbinbladets program är inte tillgänglig i den standardmässiga utvecklingsmiljön för CAD-ingenjörer, utan konstruktören måste på egen hand begära tillgång för att kunna installera programmet. Även om det inte fanns några uttryckliga rutiner för förbättringar har ett antal förbättringsförslag från olika intressenter i konstruktionsprocessen resulterat i nya versioner av KBE-programmet. Däremot har de tillfällen då KBE-verktyget misslyckats att utföra begärda uppgifter inte alltid lett till en förfrågan om uppdatering av verktyget. Istället användes informella rutiner för att utföra uppgiften vilket ansågs vara den bästa lösningen.

40% högre produktivitet i tillverkningsberedning.

WP3 Modellering av bearbetningssystem och återanvändning av tillverkningserfarenhet

Erfarenhetsåterkoppling genom användning av sociala medier: från produktion till konstruktionsprocessen

Högkvalitativa precisionsprodukter kräver tuffare bearbetningsförhållanden och ökad bearbetningsrobusthet. Vid val av vissa bearbetningsprocesser måste konstruktörer noga överväga ett stort antal faktorer som relaterar direkt till bearbetningsprocessens natur. Konstruktörer bör därför dra nytta av erfarenhetsåterkoppling (lärdomar) från produktionen, vilket kan hjälpa dem att förstå tillverkningens komplexitet under de tidiga faserna, som medför en möjlighet att undvika kostsamma misstag. Nya metoder och verktyg krävs för att kontinuerligt hjälpa konstruktören att fatta beslut om processval, tillverkningsbarhet och tillförlitlighet.

Verktyg i form av sociala medier, med sina dynamiska sätt att samarbeta och dela förmågor, är ett nytt sätt för att förstå sammanhanget, underförstådd och erfarenhetsmässig kunskap, vilket medför nätverk kring de lärdomar som erhålls. Fallstudien har utförts på Design Practice System på GKN Aerospace (tidigare Volvo Aero Corporation) för att identifiera lösningsalternativ och för att främja en mer kontinuerlig metod för att utnyttja erfarenheter från produktion och andra faser i senare skeden. Empiriska data har samlats in genom observationer vid företaget och intervjuer med Design Practice System och intressenter i produkters livscykel.

Ett videobaserat tillvägagångssätt föreslås för att minska mödan att samla in och sprida erfarenheter från produktionen och andra senare faser till konstruktionspraxis. Resultaten omfattar metodik, riktlinjer, processbeskrivning och tekniska möjliggörare för kontinuerlig erfarenhetsåterkoppling till konstruktionspraxis.

Lesson learned from production about mistakes in design

Stefan Johansson
Quality Leader
21 November 2011

+ Follow 11 views 7 likes ★★★★★

0 - Lesson Learned Statement
1 - Working Context
2 - Task Description
3 - What Went Wrong/Well
4 - Lesson Learned
5 - Lesson Learned Measures
6 - Applicability & Delimitations

+ Share + Product lifecycle timeline + Validator + Secrecy level

Tagging features

Role [dropdown]
Project [dropdown]
Product Type [dropdown]
Discipline [dropdown]
Stakeholders [dropdown]
Area of Relevance [dropdown]
Areas of Impact [dropdown]
Process Stage/Gate [dropdown]
Others [dropdown]

Secrecy Levels

1 – Product function group
2 – Internal organization
3 – Other business units
4 – Suppliers and OEMs

Comments

I think I had similar issue in my operation in the last week. I choose X and Y parameters to minimize the effect.
Like (09) Dislike (02)

In XWS project we have documented some of these issues. It is mainly on X structures, but it could be useful for other products too..
Like (15) Dislike (00)

Comment belongs to: [dropdown]

Lesson Learned Statement
Working Context
Task Description
What Went Well/Wrong
Lesson Learned (24/02)
Lesson Learned measures
Applicability & Delimitations

Figur 12 Videobaserad prototypplattform för LL-delning med ett funktionellt gränssnitt för märkning, kommentering och sekretessnivåer för att möjliggöra tvärfunktionell kunskapsdelning.

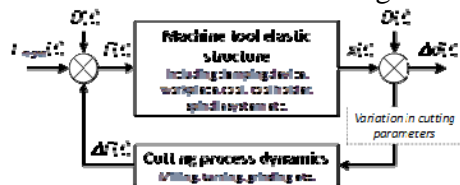
30% högre produktivitet i produktionsprocesserna.

WP2 Testning och övervakning av bearbetningssystemets tillstånd

Testning av bearbetningssystemets tillstånd

Arbetet som presenteras i denna del av arbetetspaketet behandlar statisk och dynamisk förmåga hos bearbetningssystem. Huvudfokus ligger på den operativa stabiliteten hos bearbetningssystemet och dessutom det strukturella beteende för endast verktygsmaskinen genom att införa begreppet operativa dynamiska parametrar (ODP). I

motsats till den traditionella teorin, tillåter denna metod att bestämma bearbetningssystemets dynamiska stabilitet i realtid och under drift. Detta ramverk innehåller också en utvärdering av de statiska deformationerna för en verktygsmaskin.



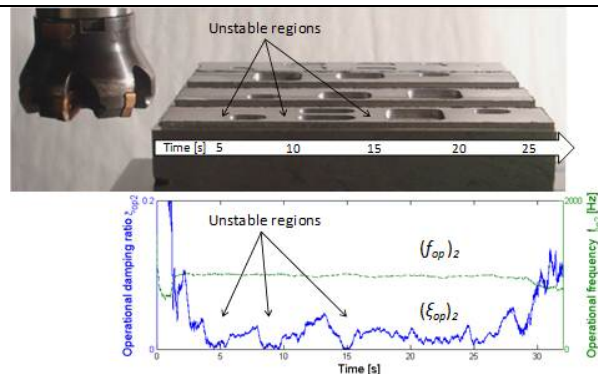
Figur 13 Återkopplat dynamiskt bearbetningssystem. Bearbetningssystemet representerat som det ömsesidiga beroendet mellan två delsystem, den elastiska strukturen och skärprocessens dynamik. Verktygsmaskinens elastiska struktur bildar den primära loopen för bearbetningssystemet, medan skärprocessdynamiken representeras som ett delsystem i återkopplingen.

Inom den beräkningsmässiga ramverket för icke-driftstabilitet införs det nya konceptet med elastiskt kopplade system (ELS) för att ta hänsyn till representationen av skärkraften genom en elastisk koppling som sluter kraftloopen. ELS utvärderas via en beräkningsmodell baserad på finita element (FE). Fördelning av deformationer som motsvarar den statiska styvheten kan erhållas för olika storlekar och orienteringar för den elastiska länken. För utvärdering av statisk styvhet/deformationer för en verktygsmaskin införs en ny typ av double ball bar (DBB) som har förmågan att skapa en förspänning mellan maskinbord/arbetsstycke och verktyg/spindel. Utrustningen heter loaded double ball bar och förkortas LDBB.

Rekursiv modellbaserad identifiering används för att identifiera de modala parametrarna för verktygsmaskinernas struktur. Ur en teknisk synvinkel är effekten av spindelns rotationshastighet på system dämpningsförhållande av intresse. För detta ändamål har en speciellt system för kontaktlös excitering och registrering av signalsvar (contactless excitation and response system, CERS)), i kombination med ett speciellt utvecklat fräswerktyg utvecklats.

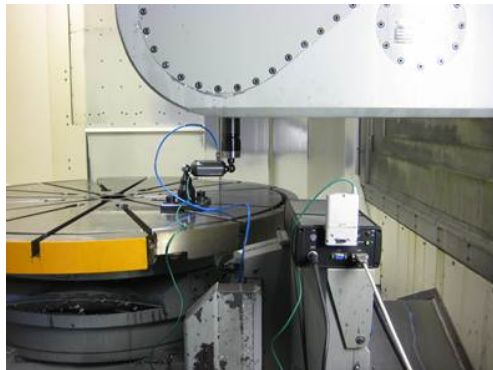
Sammanfattning av resultat:

- Driftstabilitet för bearbetningssystem
Stabiliteten hos bearbetningssystem är driftberoende. Genom att använda parametriska identifieringsmodeller i en rekursiv implementering kan kvalitativa kriterier användas. Ett sådant kriterium är dämpningsförhållandet under drift(ODR). Ett icke-konservativt mekaniskt system med positiv ODR sägs vara dynamiskt stabilt, medan ett med negativ ODR sägs vara instabilt. Detta ger ett robust kriterium för att skilja mellan mellan påtvingade och självexciterade vibrationer, som inte är relaterat till vibrationsamplitudkriteriet.
- Genomförande och demonstration – DSP multiprocessorsystem
Det rekursiva systemet för modellidentifiering består av fyra huvudmoduler som är implementerade i olika DSP:er:
 - signalinsamlings- och signalbehandlingsmodul
 - parameteruppskattningsmodul
 - ARMA effektspektrummodul
 - ODP-uppskattningsmodul.

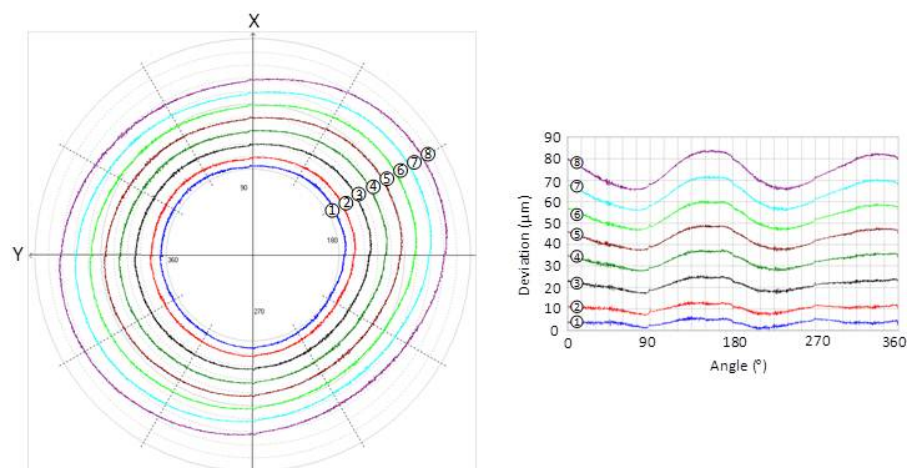


Figur 14 RARMA-identifiering av ODP under planfräsning. Överst, den experimentella uppställning där arbetsstycket är preparerat med hål och fickor att replikera tidsvarierande skärdata, och nederst, spårning av variationen hos den andra identifierade ODR och frekvens.

- Driftstabilitet då systemen inte är igång.
ELS är konfigurerad enligt två koncept, ett där skärprocessen representeras med ett elastiskt element (LDBB) och den andra där skärprocessen ersätts av en dynamisk länk utan kontakt.
- Genomförande och demonstration – loaded double ball bar (LDBB)



Figur 15 Loaded double bar-system (LDBB). LDBB är resultatet av ett utvecklingssamarbete mellan två svenska företag (Scania CV AB och CE Johansson AB) och Kungliga Tekniska högskolan.

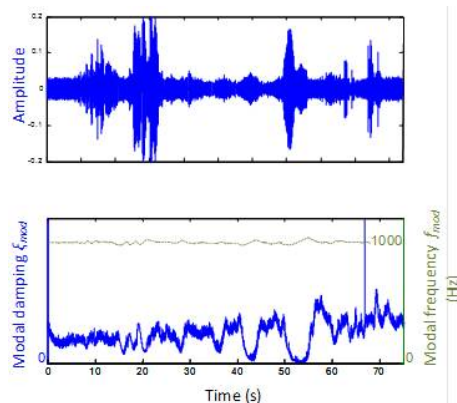


Figur 16 Utböjningsdiagram i XY-planet. Utböjningsdiagram som funktion av pålagd last P_{kraft} styrka (1-8) = {36, 112, 238, 364, 490, 616, 742, 868} N (10 μ m/div).

- Implementering och demonstration – kontaktlöst exciterings- och signalsvarssystem (CERS)



Figur 17 System för kontaktlös excitering och registrering av signalsvar (contactless excitation and response system, CERS). Ställdonets hårdvara med förskjutningsgivare är fastspänd på maskinbordet. Det speciellt utvecklade skärverktyget sätts in i ställdonsenheten. Den kontaktlösa excitationen sker med induktiva spolar och responsmätningarna görs via förskjutningsgivare placerade 90 ° från varandra.



Figur 18 Dämpningsförhållande och egenfrekvens. RARMA-modalskattning av accelerometers signal i Y-riktning. Beröringsfri, slumpmässig excitation.

WP2 Testning och övervakning av bearbetningssystemets kondition

Tillståndsovervakning av bearbetningssystemet

I denna del av arbetspaketet undersöktes möjligheten att använda maskinens interna sensorer för tillståndsovervakning av bearbetande maskin. Tillståndsovervakning innebär mätning samt behandling och analys av signaler, men även extrahering och klassificering av egenskaper hos signalerna som kan korreleras med bearbetningsprocessen.

Forskningen kring tillståndsovervakningen av 5-axlig fleroperationsmaskin baseras på observationer gjorda från praktiska experiment genom mätning av den maskinens respons från vinkelgivare på huvudspindeln samt från linjära positionsgivare på både aktiva och ”passiva” maskinaxlar. Initialt testades ett antal möjliga sätt att mäta signalerna på ett

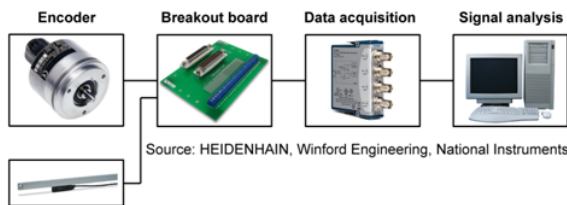
tillförlitligt och noggrant sätt för att reducera störningar i uppmätta signaler samt undvika störningar i maskinens interna signaler. Den framtagna mätmetoden och mätsystemet har utvecklats under projektets gång.

Huvudfokus har varit att studera responserna från samtliga positionsgivarna under påtvingad periodisk excitering av maskinsystemet. De uppmätta responserna visar således de små förskjutningarna (vibrationer) i givarnas riktning. De fundamentala egenskaperna hos de uppmätta signalerna var initialt okända. En grundlig utredning av signalerna uppträdande vid olika belastningssituationer var därför nödvändig före en mer omfattande analys av signalerna kunde genomföras. Fokus i de inledande experimenten var därför att undersöka responsen i enklare belastningssituationer, t ex obalanstester på maskinens vridbord samt fräsnings av enklare geometrier. Experimenten var systematiska och upprepbara. Från dessa inledande experiment kunde man därefter ta fram en metodik för att extrahera den väsentliga informationen ur signalerna.

Den senare delen i arbetet fokuserade mer på känsligheten i mätmetoden, d v s hur små förändringar i processen som går att upptäcka. Verktygsslitagets inverkan på responsen ansågs då vara särskilt intressant att undersöka då detta har en tendens att begränsa processen. En stor del av arbetet var att finna lämplig metodik för att karakterisera processdynamiken och kvantifiera verktygsslitaaget.

Sammanfattning av resultat:

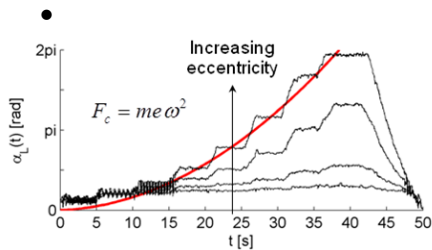
- Mätning av encoder-signaler
Positionsgivarna är av typen sin/sos som ger kontinuerliga interpolerbara kvadratsignaler (90° fasförskjutna). Differentiell mätning av signalparen (A+, A-), (B+, B-) och (R+, R-) via parallell buss direkt från encoderutgångarna utnyttjas för att undvika signaldistortion.



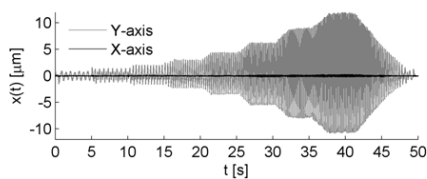
Figur 19 Mätkedja från encoder-utgång till mätdator.

- Obalanstest på vridbord
Som första steg visades att de genererade vibrationerna överförs via encoderna. Detta gjordes med obalanstest på vridbordet där en obalansvikt placerades på tre olika radiella avstånd från bordscentrum varefter bordet rampades upp från 0 till 400 rpm samtidigt som utsignalerna från XY-axlarna uppmättes. Experimentet visade att vibrationsamplituden är proportionell mot vinkeln i Lissajous-figuren av A- och B-signalerna. Man kunde nu inse att positionen för en passiv matningsaxel kunde bestämmas med samma metod som för en aktiv matningsaxel. Testet visade också att rörelsen var som störst längs Y-axeln på maskinens struktur. Bara en liten vibrationsamplitud kunde noteras längs den styva X-axeln vilket indikerar en försumbar överhörning mellan dessa axlar. Obalanstestet gjordes med två vridbord och man kunde

se skillnader i mönstren i Poincaré-snitten.



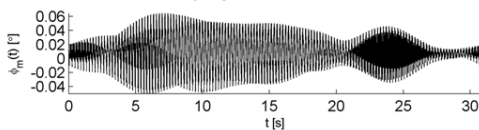
Figur 20 Uppmätt vinkel i Lissajous-figur vid ökad excentricitet hos obalansvikten. Ökning av bordshastighet med 50 rpm varje 5:e sekund.



Figur 21 Beräknade vibrationsamplituder. Ökning av bordshastighet med 50 rpm varje 5:e sekund.

- Torsionssvängningar hos spindeln

Den demoduleringsteknik som applicerats på responsen från den roterande vinkelgivaren är det möjligt att studera torsionssvängningarna hos spindeln.

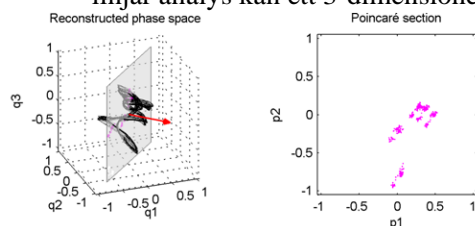


Figur 22 Torsionssvängningar i tidsplanet vid 5-tandad fräsning baserat på mätning av encoder-signaler.

- Poincaré-sektion av processdynamiken

En Poincaré-sektion är ett matematiskt verktyg för att analysera dynamiska system och lämpar sig väl för att studera dynamiska system som uppvisar ett periodiskt förlopp. Den stora fördelen är att ett n -dimensionellt tillståndsrums kan studeras i $n-1$ dimensioner.

Metoden erbjuder alltså en reduktion av dimensionen med -1 . Genom att tillämpa icke-linjär analys kan ett 3-dimensionellt tillståndsrums skapas.

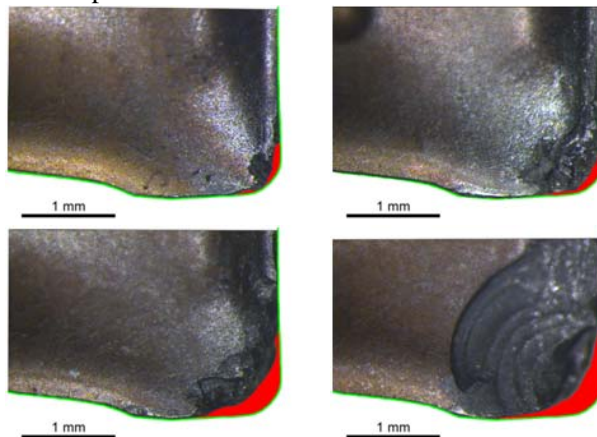


Figur 23 3-dimensionellt tillståndsrums med ett plant Poincaré-plan (till vänster) och motsvarande 2-dimensionella Poincaré-sektion (till höger).

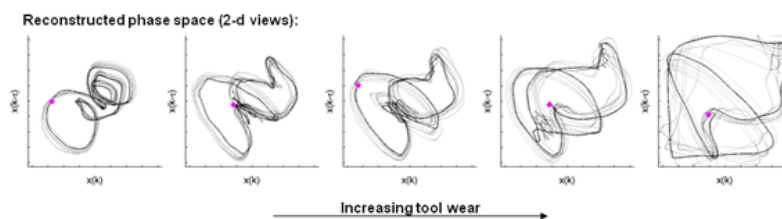
- Detektering av verktygsförslitning vid fräsning

Att kunna detektera verktygsslitaget under pågående bearbetning är en mycket viktig för att åstadkomma en mer robust och ekonomisk bearbetningsprocess. I projektet har man

undersökt möjligheten att åstadkomma detta utan att koppla in extra sensorer. Detta är fördelaktigt ur ett industriellt perspektiv då denna metod inte medför några begränsningar på bearbetningsprocessen. En annan stor fördel är att man inte behöver köpa in dyra sensorer och slipper kostnaden för underhåll och kalibrering av sensorer. Experimenten har utförts på en modern 5-axlig fleroperationsmaskin. Mätmetoden är dock generell då den typ av signaler som använts finns i alla moderna bearbetningsmaskiner. Genom ett utföra ett blindtest, där slitagenivån och positionen för det slitna skäret var okänt, vid flertandad fräsning kunde man visa att det är möjligt att bestämma den aktuella slitagenivån samt identifiera vilken tand som var sliten vid flertandad fräsning. För att möjliggöra detta krävs information om de enskilda skärens vinkel i förhållande till aktuell matningsriktning. I samband med denna identifikation utvecklades en mätmetod (RD2P, en 2-punktsmetod med reflexdetektor) för att bestämma skärens position relativt spindelns interna referensvinkel.



Figur 24 Olika nivåer av verktygsslitage.



Figur 25 2-dimensionella avbilder från tillståndsrummet vid olika nivåer på verktygsslitage.

WP2 Testning och övervakning av bearbetningssystemets kondition

Minskning av vibrationer under horisontell fräsning av aluminiumdetaljer

Detta arbete har utförts på Saab Aerospace i Linköping. Forskningen var inriktad mot vibrationsproblem under fräsning. Vibrationer uppträder i gränssnittet mellan verktyg och arbetsstycke om vissa villkor uppfylls. Forskning har utförts i syfte att minska eller eliminera chatter. Chatter minskar mått noggrannhet och ytfinheten på arbetsstycket.



Figur 26 Dålig ytfinhet efter bearbetning.

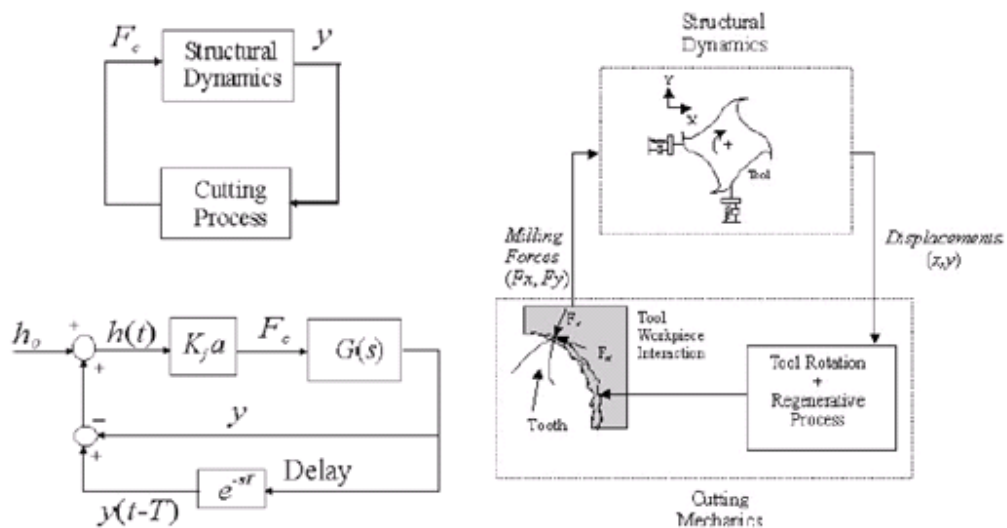
Målet var att identifiera källan för vibrationer, sedan hitta lösningen på problemet för att kunna ta bort eller reducera vibrationer. Ytterligare omfattning inkluderar att ge förslag på framtida arbete inom detta område och underlätta för anställda att förstå ämnet på SAAB.

I det första steget utfördes identifiering av källan och typ av vibrationer. Detta krävde två experimentella metoder:

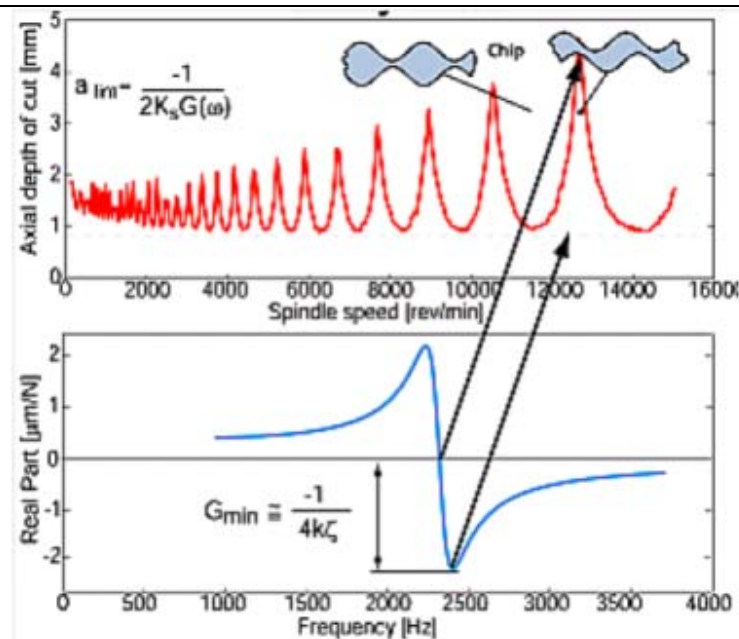
- 1) Experimentell modalanalys (EMA) på aluminiumdetaljer med olika tjocklekar, en analys med tjockleken före bearbetning och en andra analys med den slutliga tjockleken. Detta gjordes med slagtester när detaljen inte bearbetades.
- 2) Online bearbetningstest, för att identifiera källan till vibrationerna.

Sedan gjordes finit elementanalys (FEA) på CAD-modeller av arbetsstycket för att simulera de naturliga vibrationsmoderna under olika omständigheter. EMA och FEA korrelerades sedan för att kunna hitta en metod som använder minst resurser.

Ett Matlab-program utvecklades också under tiden för att beräkna stabilitetslobdiagram. Detta är endast användbart om vibrationskällan visar sig vara av självexciterad natur.



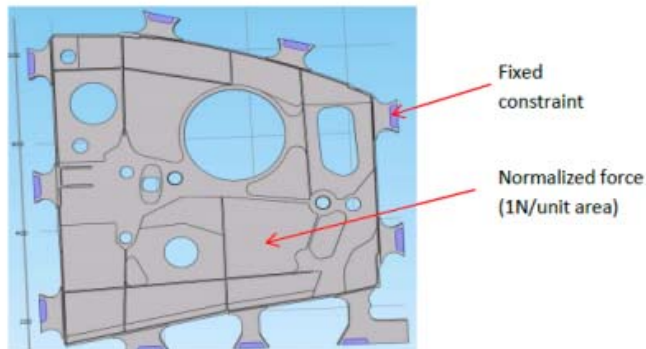
Figur 27 Dynamik vid ortogonal fräsning.



Figur 28 Stabilitetslobdiagram.

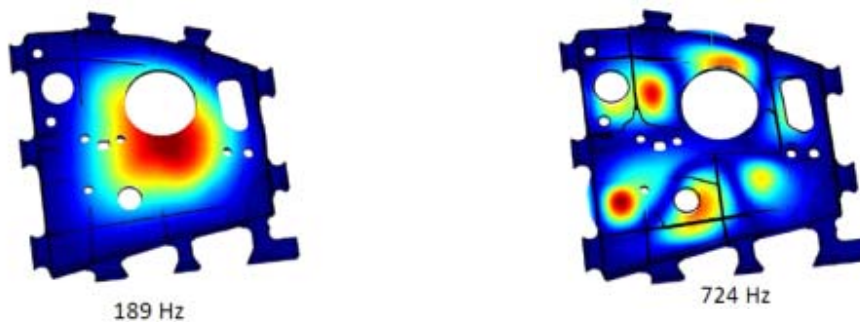
Arbetsstycket är tillverkat av aluminium Al-7075. På grund av avsaknad av exakta materialegenskaper har legering av närmaste standard använts. Arbetsstycket är monterat på en svängbar fixtur av massivt stål. Halvsfäriska kulor används som lokaliseringseinheter. 10 klämmor används för att fixera arbetsstycket och med hjälp av bultar för att lägga på vridmoment. Inget dämpande material används vid fastspänning. Följande steg har gjorts för att utföra finit elementanalys:

- 1) Importera detaljens geometri i Comsol 4.2a-gränssnitt. Universellt filformat *.stp används. Definiera enheter för linjär mätning (mm vald).
- 2) Välj material för arbetsstycket. Rätt val av material är nyckeln för att få optimala resultat. Om det valda materialet inte är tillgängligt, kan ungefärliga materialegenskaper användas.
- 3) Nästa steg är att applicera laster och begränsningar på arbetsstycket. De 10 ställena som användes vid fastspänning av arbetsstycket på varje sida är begränsningar, d v s $x=y=z=0$.



Figur 29 Belastning på och begränsningar för arbetsstycket.

I Comsol 4.2a (FEA) visar egenfrekvensstudien naturliga former av vibrationer vid vilka strukturen visar resonanser vid excitering. Likaså i Test Lab rev 11a (EMA) väljs de naturliga vibrationsmoderna genom att studera FRF och indikera de stabila regioner som visar koncentration av chatteramplitud.



Figur 30 Simulering av vibrationsmoder.

Resultaten har visat stora likheter mellan experimentell och simuleringsanalys. Simuleringen har visat vissa naturliga frekvenser vid vilka resonans kan uppstå och stora amplituder kan uppträda. Överraskande har samma högre amplituder också observerats under stötttester och online-bearbetningstest. Detta bevisar att simuleringen kan vara ett tidsbesparande och effektivare alternativ till tidskrävande procedurer för utrustningstestning. Man sparar tid, kostnader och förbättrar den totala bearbetningsprocessen med försimulering av arbetsstycket.

Liksom visas i experiment, är de frekvenser med maximal amplitud desamma. Första vibrationsmoden uppträder vid 147 Hz i EMA och 189 Hz i simuleringen. Den maximala amplituden uppträder vid egenfrekvens 726 Hz från EMA och 724 Hz med FEA-simulering. Dessa resultat är mycket nära varandra, vilket så småningom kommer att hjälpa till att hitta en lämplig lösning.

Det finns två metoder för att styra vibrationer i bearbetning:

- ändra skärdata
- introducera dämpning i systemet.

I vårt fall beror problemet på resonans vid tandfrekvensen, därför hjälper det inte alls att

lägga till dämpning i systemet. Den enda lösningen är att flytta tandfrekvensen genom att ändra skärdata.

Tre parametrar kan styras under bearbetning:

- spindelvarvtal
- matningshastighet
- skärdjup (DOC).

Val optimalt spindelvarvtal, vilket i sin tur inte exciterar någon av de naturliga frekvenserna, är viktigt. FEA-resultat från Comsol är tillräckliga för att ge en fingervisning om responsen från arbetsstycket, vilket kan användas för att välja tandfrekvens.

Tandfrekvensen är direkt proportionell mot spindelvarvtal, d v s $\text{tandfrekvens} = N_z/60$.

I framtiden kommer EMA att undvikas för att spara tid och resurser. Val av spindelvarvtal kommer att ske genom resultat från FEA. Såsom visas nedan, finns det vissa regioner representerade där det teoretiskt inte kommer att uppkomma resonans. Tre stabila tandfrekvenser bör väljas och sedan ska motsvarande spindelvarvtal beräknas.

Ett sätt att hålla avverkningshastigheten (MRR) densamma är genom att öka spånbelastningen och samtidigt minska spindelvarvtalet.

RPM	No. of teeth	Tool Dia (mm)	TPF (Hz)	Feed rate (mm/min)	Cutting speed (m/min)	Chip Load (mm)
22000	2	20	733	7000	1381.6	0.159
20100	2	20	670	7000	1262.28	0.174
18000	2	20	600	7000	1130.4	0.194
15000	2	20	500	7000	942	0.233

Tabell 1 Konstant MRR (cykeltid 89 min).

Ett annat sätt är att minska MRR och sålunda ökar den totala cykeltiden. Beräkningar visar att det kommer att bli 7,7 minuter ökad cykeltid om vi minskar spindelvarvtalet till 20100 från 22000. Och nästan 16 minuters ökning om vi sänker spindelvarvtalet till 18000.

RPM	No. of teeth	Tool Dia (mm)	TPF (Hz)	Feed rate (mm/min)	Extra Time (Min)	cycle time (min)
22000	2	20	733	7000	0	89.0
20100	2	20	670	7000	7.7	96.7
18000	2	20	600	7000	16.2	105.2
15000	2	20	500	7000	28.3	117.3

Tabell 2 Konstant spånbelastning (0.159 mm).

Enligt undersökningsresultat som anges i föregående avsnitt är vibrationskällan tvingad excitering (tandfrekvens), som kan elimineras genom att ändra spindelvarvtalet optimalt.

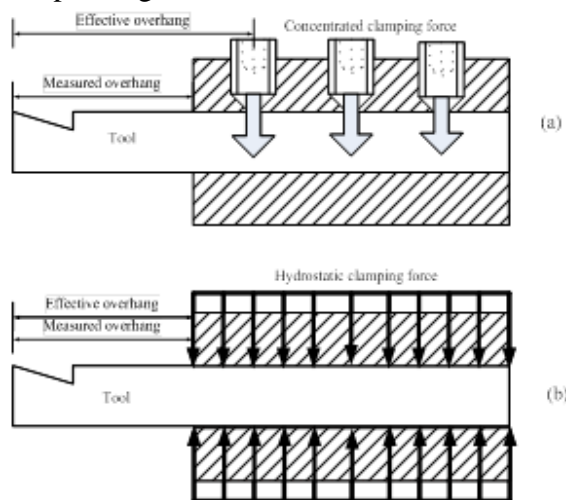
Liksom visats tidigare finns det två sätt med vilka spindelvarvtalet påverkar MRR. Ett enkelt sätt är att hålla MRR konstant genom att öka spånbelastningen (inom säker zon), och således hålla samma totala produktivitet.

Det rekommenderas att ändra spindelvarvtalet till antingen 20100 rpm eller 18000 rpm eftersom båda hastigheterna teoretiskt tillhör den stabila zonen.

WP4 Förbättring av dynamisk stabilitet i verktygsmaskiners system och processinteraktion – high damping interface (HDI)-system

Detta arbetspaket handlade om utformningen av maskinkomponenter med förbättrad dämpningsförmåga. Slutmålet vid utformningen av dessa komponenter som kan motstå bearbetningsinstabilitet på ett passivt sätt är att förbättra både styvhet och dämpning. Å andra sidan är dessa två egenskaper väsentligt sammanlänkade med varandra och förbättring av den ena brukar vanligtvis äventyra den andra. Det är i själva verket väl känt att för majoriteten av bearbetningsoperationer det är produkten av styvhet (K) och dämpning (δ) som bestämmer de vibrerande egenskaperna i systemet. En annan aspekt att ta i beaktande är att den totala dämpningsförmågan hos en komplex struktur, såsom en verktygsmaskin, inte bara beror på de enskilda komponenternas dämpningsförmåga, men också, och mer väsentligt, på dämpningen i samband med fogar mellan själva komponenterna. Således är det nödvändigt att utnyttja olika komponenter i verktygsmaskinen för att förbättra både K och δ .

För att upprätthålla en hög nivå av statisk styvhet valdes det att använda hydrostatiska fastspänningssystem för verktygen. Effekten av denna typ av fästsystem på verktygets böjning är välkänd. Det är allmänt känt att ett verktygs effektiva överhäng måste betraktas från den yttersta fasta punkten, vilket är den första skruven på den konventionella skruvfastspänningen, och den yttersta ytan på den hydrostatiska fastspänningen.



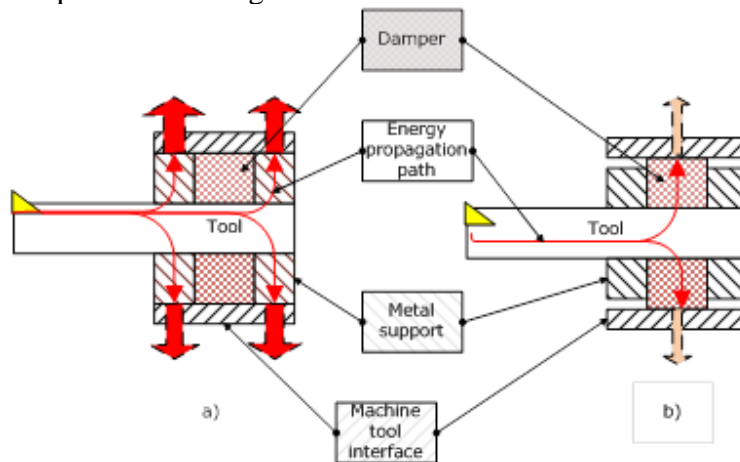
Figur 31 Jämförelse mellan en konventionell skruvfastspänning (a) och en hydrostatisk fastspänning (b).

Således motsvarar inte ett verktygs uppmätta överhäng i en skruvfastspänning dess effektiva överhäng. Effekten av den hydrostatiska fastspänningen kan enkelt kvantifieras.

Eftersom skruven vanligtvis är placerad 12 mm från änden av fastspänningen, kommer monterat effektivt överhäng för verktyget i skruvfastspänningen bli 12 mm längre än det från verktyget i den hydrostatiska fastspänningen. Om till exempel ett verktyg för invändig bearbetning monteras med ett uppmätt överhäng på 120 mm, kan dess böjning minskas med 25% genom att använda en hydrostatisk fastspänning istället för en konventionell skruvfastspänning. Denna lösning bidrar helt klart till att minimera vibrationsamplituden men det skapar inte någon vibrationsupptagning; det som uppnås med en sådan fastspänningsteknik är en förbättring av den statiska styvheten. Detta innebär att det är svårare att excitera systemets verktygsfastspänning med dess egenfrekvens, men när detta sker kommer systemet inte att göra motstånd. I själva verket kunde styvheten som enbart fås genom ett sådant fastspänningssystem för vibrationsstyrande ändamål faktiskt leda till en alltför stor minskning av dämpningsförhållandet, vilket står i motsats till syftet med vibrationsminskning. Därför är det viktigt att vara medveten om detta och utnyttja det genom att kombinera spännsystemet med rätt utformat dämpningssystem.

Gränssnitsdämpning är ett välkänt fenomen – först studerat av Da Vinci och senare Coulomb. Friktion uppstår när två eller flera ytor är i kontakt och deltar i en vibrerande rörelse och denna friktion slutligen omvandlas till dämpning. High damping interfaces (HDI) är avsiktligt införda gränssnitt där dämpningsförhållandet förbättras genom införande av viskoelastiskt (VE) polymermetallkompositer mellan de två metalltyper som utgör gränssnittet. Eftersom varje vibrationsmod kännetecknas av sitt eget dämpningsförhållande (och egenfrekvens), är HDI effektivt i de moder där modformen involverar HDI, d v s när VE-polymerkompositen utsätts för skjuvspänning. Därför är placeringen av ett sådant gränssnitt av avgörande betydelse.

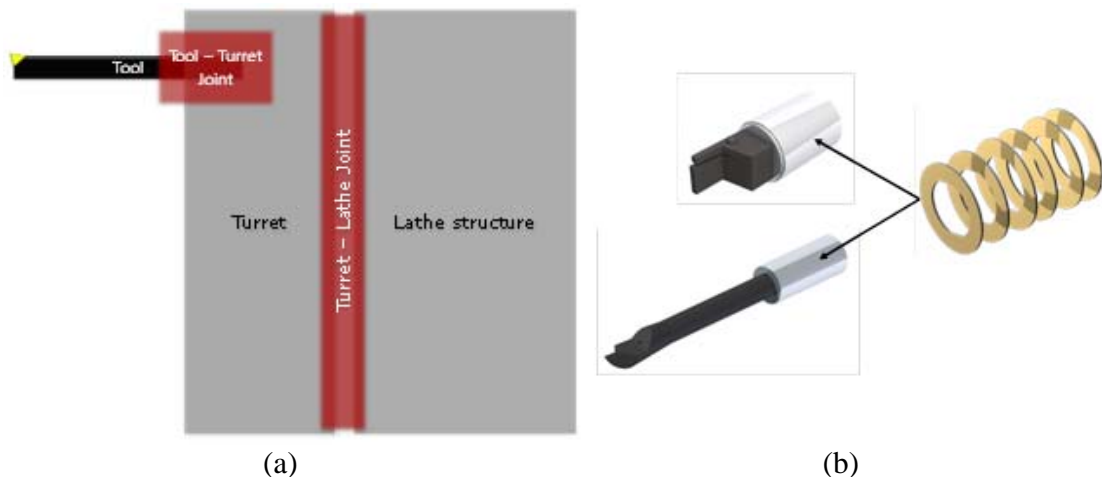
En annan viktig fråga att överväga när man utformar ett HDI är den mekaniska impedansen mellan kopplade strukturelement som styr energiflödets bana genom strukturen. Det är viktigt att det mesta av energin strömmar genom dämparen. Om energin har en alternativ spridningsbana med lägre mekanisk impedans, kommer energin kringgå dämparen. Av detta skäl bör det dämpande gränssnittet vara den enda strukturella komponenten i energins flödesbana.



Figur 32 Energispridningsvägar. (A) Bypass genom metall-till-metall-kontakt. (B) Ingen bypass, energin flyter

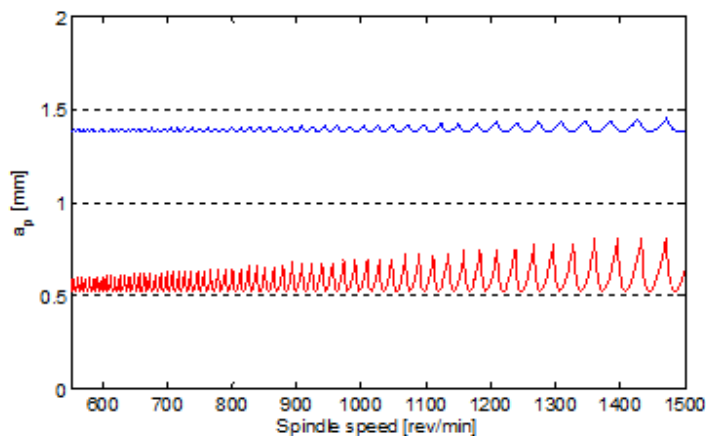
genom dämpningsmaterialet.

Figuren nedan visar de behandlade lederna i CNC-svarvstrukturen och konceptet för användning av HDI i svarvverktygshållarna.



Figur 33 (a) Behandlade leder i CNC-svarvsystemet. (b) Flera lager med VE-polymermetallkompositplattor i ett stickstål och ett verktyg för invändig bearbetning.

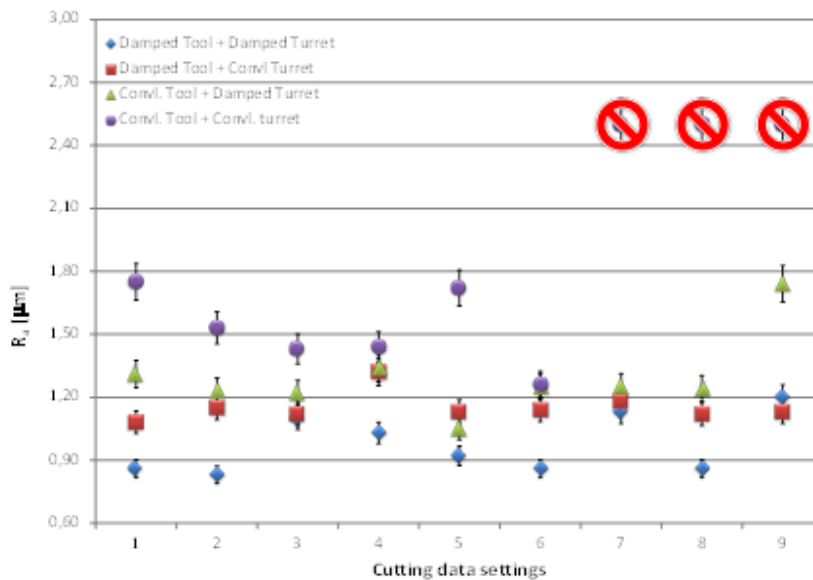
Införande av HDI-konceptet gör det möjligt att bearbeta under stabila förhållanden vid tre gånger högre skärdjup än i ett konventionellt system, som visas i bilden nedan.



Figur 34 Stabilitetsgränsdiagrammet för konventionellt verktyg (röd) och HDI-verktyg (blå).

Figuren nedan visar att HDI konceptet kan producera en oklanderlig ytfinhet med vilken som helst av de testade skärdata. Ur en industriell tillämpningssynvinkel tillåter det presenterade konceptet slutanvändaren att välja mest lämpliga skärdata i för produktivitet och undvika besväret att ställa in enheterna genom att skaffa djup kunskap om strukturell dynamik eller att behöva använda ytterligare styrsystem. Utöver detta, blir det förstärkta verktygsmaskinsystemet mindre känsligt för stabilitetsproblem framkallade av svårbearbetade material eller till och med fluktuationer i arbetsmaterialet som kan uppstå

i daglig produktion. Denna lösning möjliggör högre avverkningshastigheter med oförändrade, eller till och med förbättrad bearbetningsprestanda, minskat energi- och materialspill samtidigt, eftersom man kan göra grov- och finbearbetning i ett och samma skär.



Figur 35 Testresultat för bearbetning, ytjämnhet. Jämförelse mellan det konventionella verktyget fastspänt i den konventionella revolvern och den dämpade revolvern, liksom det dämpade verktyget fastspänt i den konventionella revolvern och i den dämpade revolvern. Det konventionella verktyget fastspänt i den konventionella revolvern kunde inte prestera på inställning 7, 8 och 9 på grund av överdriven instabilitet.

6. Spridning och publicering

6.1 Kunskaps- och resultatspridning

Inspirerat av **kuggprojektet**, FFI Hållbar framställning av kuggtransmissioner och kuggnätverket, har ett nytt tvådagarskoncept införts för det senaste robustmötet:

- Dag 1 sen eftermiddag och kväll: styrgruppsmöte följt av en robust middag.
- Dag 2 morgon och tidig eftermiddag: robustmöte i plenum med presentationer från forskarna i projektet och partnerföretag samt inbjudna talare från både svenska och internationella forskningsorganisationer och företag.
- Dag 2 eftermiddag: Rundtur på företaget eller labbesök.

Detta nya robusta möteskoncept är avsett att vara en tradition och betraktas som ett viktigt nätverk, samt en aktivitet för att överföra kunskap och erfarenhet.

Förhoppningsvis kommer det fortsätta i det nya FFI COMPIT-projektet samt i FAV – Forum för användare av verktygsmaskiner (<http://www.kth.se/itm/fav>).

Projektets resultat redovisas även i en wiki:
http://130.237.56.41/mediawiki/index.php/FFI_Robust_machining.

6.2 Publikationer

Andersson, P, 2011, Support for re-use of manufacturing experience in product development: from an aerospace perspective, doctoral dissertation, Luleå University of Technology, Luleå, Sweden, ISBN (print) 978-91-7439-257-9

Andersson, P, Larsson, T & Isaksson, O, 2011, A case study of how knowledge based engineering tools support experience re-use, Research into Design: Supporting Sustainable Product Development, Research Publishing Services, Bangalore, India

Andersson, P, Isaksson, O, 2010, Reuse of manufacturing experience to support development of product/service systems, Industrial product-service systems (IPS²): proceedings of the 2nd CIRP IPS² Conference, Linköping University, Linköping, Sweden

Alsyouf, A M, 2010, Dynamic Characterization of Turrets with Enhanced Damping Capability, student paper, KTH Royal Institute of Technology

Archenti A, Nicolescu, C M, Casterman G, Hjelm S, 2012, A new method for circular testing of machine tools under loaded condition, 5th CIRP Conference on High Performance Cutting, Zurich, Switzerland

Archenti A, Nicolescu C M, Lundholm T, 2012, Virtual Machining System Engine for Simulation of Process Machine Interaction, Modern Machinery Science Journal, March 2012, pp 310-314

Archenti, A, 2011, A Computational Framework for Control of Machining systems Capability – From Formulation to Implementation, doctoral dissertation, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, ISBN 978-91-7501-162-2

Archenti, A, 2011, Projektrapport, utböjningsmätning samt beräkning av statiska styvheten i DyE – Saab Aerostructures, Linköping, Sweden

Archenti, A, Daghini, L, Österlind, T, Lundholm, T, 2011, Projektrapport, Testning av kuggbearbetningssystemens dynamiska egenskaper – Scania CV AB, Avdelning DX, Södertälje, Sweden

Archenti, A, Nicolescu, C M, Lundholm, T, 2011, Virtual machining system engine for validation of real-time identification schemes, Proceedings of the 2nd International conference Newtech on Advance manufacturing engineering, pp 189-194, Brno, Czech Republic, ISBN 978-80-214-4267-2

Archenti, A, Nicolescu, C M, Lundholm, T, 2011, Finite element modelling and analysis of time-varying dynamic stability in milling system, 4th International Swedish production symposium, Lund, Sweden

Archenti, A, Österlind, T, Nicolescu, C M, 2011, Evaluation and representation of machine tool deformations, Journal of Machine Engineering, vol 11, no 4, pp 105-117

Archenti, A, 2010, Preliminära resultat från bearbetningsexperiment i DYE: bearbetning av kompositstrukturer, SAAB Aerostructures, Linköping

Archenti, A, Daghini, L, Nicolescu, C M, 2010, Recursive estimation of machine tool structure dynamic properties, CIRP 4th International Conference on High Performance Cutting, Gifu, Japan, , ISBN 978-4-915698-03-3

Archenti, A, Nicolescu, C M, 2010, Recursive estimation of operational dynamic parameters in milling using acoustic signals, CIRP 2nd International Conference on Process Machine Interactions, Vancouver, Canada, ISBN:978-0- 9866331-0-2

Archenti, A, Nicolescu C M, 2009, Model-based identification of manufacturing processes operational dynamic parameters, International Conference on New Technologies in manufacturing NewTech, Galati, Romania

Bertoni, M, Larsson, A, Ericsson, Å, Chirumalla, K, Larsson, T, Isaksson, O, Randall, D, 2012, The Rise of Social Product Development, International Journal of Networking and Virtual Organisations (IJNVO), vol 11, issue 2, pp 188-207

Chirumalla, K, Bertoni, A, Ericsson, Å, Isaksson, O, 2012, Knowledge Sharing Network for Product-Service System Development: Is it atypical?, 4th CIRP International Conference on Industrial Product-Service Systems (IPS2), Tokyo, Japan, pp 109-114

Chirumalla, K, Johansson, C, Bertoni, M, Isaksson, O, 2012, Capturing and Sharing Lessons Learned across Boundaries: A Video-based Approach, 20th European Conference on Information Systems, Barcelona, Spain, Paper 236.
<http://aisel.aisnet.org/ecis2012/236>

Daghini, L, 2012, Improving Machining System Performance through Designed-in Damping, doctoral dissertation, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden

Daghini, L, Archenti, A, Nicolescu, C M, 2010, Design and dynamic characterization of composite material dampers for parting-off tools, XXI CIRP Knowledge Based



FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

Manufacturing Conference, 15-18 mars 2010, Karpaz, Poland and Journal of Machine Engineering, vol 10, no 2, pp 57-70

Daghini L, Nicolescu C M, 2010, Influence of the join system turret-boring bar on machining performance of the cutting process, CIRP 2nd International Conference on Process Machine Interactions, Vancouver, Canada, ISBN:978-0-9866331-0-2

Dong, H D, 2011, Characterization of machine tool components for drilling operations with intergrated damping system, degree project in production engineering management, second level, KTH Royal Institute of Technology

Hedlind M, Klein L, Li Y, Kjellberg T, 2011, Kinematic structure representation of products and manufacturing resources, Proceedings of the 7th CIRP-Sponsored International Conference on Digital Enterprise Technology, Athens, Greece, 2011, ISBN 978-960-88104-2-6

Hedlind, M, Lundgren, M, Archenti, A, Kjellberg, T, Nicolescu, C M, 2010, Manufacturing resource modeling for model driven operation planning, CIRP 2nd International Conference on Process Machine Interactions, Vancouver, Canada, ISBN:978-0-9866331-0-2

Krajnik, P, Archenti, A, Pusavec, F, Nicolescu, C M, Kopac, J, 2010, Investigation of Cryogenic Cooling Lubrication Effect on Machining System Operational Damping Ratio using Acoustic Signal, CIRP 4th International Conference on High Performance Cutting, Gifu, Japan

Krogstie, L, Andersson, P, 2012, A case study on reuse of manufacturing knowledge: comparing defence practices with automotive & aerospace practices, 45th CIRP Conference on Manufacturing Systems: Innovation: the challenge for the manufacturing of the future, Elsevier, Procedia CIRP, vol 3, pp 330-335

Li Y, Hedlind M, Kjellberg T, 2012, Kinematic error modeling based on STEP AP242, 1st CIRP Sponsored Conference on Virtual Machining Process Technology, Canada

Li Y, Hedlind M, Kjellberg T, 2011, Implementation of kinematic mechanism data exchange based on STEP, Proceedings of the 7th CIRP-Sponsored International Conference on Digital Enterprise Technology, Athens, Greece, 2011, ISBN 978-960-88104-2-6

Repo, J, 2012, Condition Monitoring in Machining Using Internal Sensor Signals, doctoral dissertation, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, ISBN 978-91-7501-128-8



FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

Repo, J, Pejryd, L, Beno, T, 2012, Measurement method for the identification of individual teeth in milling operations. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, volume 5, issue 1, pp 26–32

Repo, J, 2010, Condition monitoring of machine tools and machining processes using internal sensor signals, licentiate thesis, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden

Sandberg, M, Tyapin, I, Kokkolaras, M, Isaksson, O, Aidanpää, J-O, Larsson, T, 2011, A knowledge-based master-model approach with application to rotating machinery design, *Concurrent Engineering: Research and Applications*, vol 19(4), pp 295-305

Österlind T, 2011, Investigation of Vibrations During International Turning – An Experimental and Numerical Study, examensarbete inom industriell produktion, avancerad nivå, KTH Royal Institute of Technology

Österlind, T, Archenti, A, Nicolescu, C M, 2012, Improvement of gear cutter dynamics by use of acoustic imaging and high damping interface, *CIRP 3rd International Conference on Process Machine Interactions*, Nagoya, Japan

Inskickade:

Bertoni, M, Chirumalla, K, Johansson, C, 2012, Improving knowledge sharing practices in product design: Where do social media matter the most?, *Journal of Enterprise Information Management*, submitted September 2012

Chirumalla, K, 2012, Managing Knowledge across Boundaries: Connecting the Web 2.0 Approach to Product-Service System Innovation, *Research-Technology Management Journal*, submitted June 2012

Chirumalla, K, Bertoni, M, Johansson, C, 2012, Experience feedback using social media: from the product lifecycle phases to the design practices, *5th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems*, submitted

Repo, J, Pejryd, L, Beno, T, 2011. Detection of tool wear in milling using internal encoders of machine tool, Part II – Phase space methods, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, submitted 2011-09-20

Repo, J, Pejryd, L, Beno, T, 2011, Detection of tool wear in milling using internal encoders of machine tool, Part I – Spectral methods, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, submitted 2011-09-15

Repo, J, Pejryd, L, Beno, T, 2011, Detection of tool wear in milling using internal encoders of machine tool, Part I - Spectral methods, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, submitted 2011-04-01



FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

7. Slutsatser och fortsatt forskning

Den kunskap och de erfarenheter som erhållits från projektet, parallellt med nya industriella krav har grunden lagts för att formulera nya utmaningar i det nya projektet FFI COMPIT (Characterization of machining systems and performance improvement technologies). Det huvudsakliga målet för FFI Compit är att ge den svenska fordonsindustrin innovativa metoder och industriverktyg att bedöma och styra förmågan hos bearbetningssystem, som är byggstenarna i alla tillverkningssystem. De slutliga målen för denna utveckling är både att öka prestanda i befintliga produktionslinjer och göra det möjligt för industrin att bearbeta nya höghållfasta material som ligger till grund för nästa generations högpresterande fordon.

8. Deltagande parter och kontaktpersoner



SCANIA



VOLVO

Projektparterna redovisas nedan.

Akademi: Kungliga Tekniska högskolan, Högskolan Väst och Luleå tekniska högskola

Fordonsindustri: Scania och Volvo (Volvo Aero Corporation/GKN Aerospace)

Fordonskomponentgruppen, FKG: Leax

Andra företag: ETP Transmission, Mircona, Saab och Spirex Tools

Projektledare: Thomas Lundholm, Kungliga Tekniska högskolan,
thomas.lundholm@iip.kth.se, +4687906381