

Thielenhaus Technologies GmbH

**Entwicklung eines innovativen,
umweltfreundlichen Bandfinish-Verfahrens
zur Erzielung nanoskaliger Zielwerte**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem AZ 24446 – 21/0 von der
DEUTSCHEN BUNDESSTIFTUNG UMWELT

von

Martin Lupp

August 2008

**Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	24446	Referat	21/0	Fördersumme	125.000,00 €
Antragstitel		Entwicklung eines innovativen, umweltfreundlichen Bandfinish-Verfahrens zur Erzielung nanoskaliger Zielwerte			
Stichworte		Verfahren, Oberflächenbehandlung			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
18 Monate	07.08.2006	07.02.2008			
Zwischenberichte:	alle 6 Monate Kurzbericht				
Bewilligungsempfänger	Thielenhaus Technologies GmbH Schwesterstr. 50 42285 Wuppertal			Tel	0202 / 481 - 0
			Fax	0202 / 481 - 130	
			Projektleitung Herr Steinwender		
			Bearbeiter Herr Lupp		
Kooperationspartner					
<i>Zielsetzung und Anlass des Vorhabens</i>					
<ul style="list-style-type: none"> • Produktionsintegrierter Umweltschutz: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Erhöhung der Werkzeug-Standzeiten (Schleifband) um das 5-fache ➤ Reduzierung der Schneidölmengen um 50-80 % • Reduzierung der Energiekosten im Verhältnis 2:1 • Reduzierung der Emissionen/Immissionen um 50 % • Minimierung des Schmiermittel- und Treibstoffverbrauchs beim Fahrzeugeinsatz • Verminderung von Abfall- und Entsorgungsmengen • Ressourcenschonender Materialeinsatz 					
<i>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</i>					
AS 1: Entwicklung und Festlegung eines technischen Anforderungskataloges Erarbeitung eines Pflichtenheftes mit Sollvorgaben und die Klärung des Anwendungsgebietes.					
AS 2: Festlegung und Ermittlung der prozesstechnischen Einflussparameter Grundlegende Untersuchungen zur Ermittlung einer Datenbasis zur Findung einer Grundlage stabiler Prozesszustände.					
AS 3: Konstruktive Vorentwürfe / Konzeptentwicklung Entwicklung alternativer konzeptioneller Vorentwürfe mit Alternativauslegungen/-berechnungen.					
AS 4: Konstruktive Teile-, Baugruppen- und Anlagenentwicklung Entwurfentwicklung für das Maschinen-Kernkonzept mit Einzelteil- und Baugruppenkonstruktion, Gesamtkonstruktion inkl. Zusammenbauzeichnungen.					
AS 5: Modellentwicklung für kritische Systemeinheiten / Versuchsanordnungen und Versuchsdurchführung Entwicklung von „kritischen“ Systemeinheiten für ein Versuchsmaschine und testen grundlegender Funktionsfähigkeit bzw. Umsetzbarkeit.					
AS 6: Entwicklung und Erprobung eines Funktions-Prototyp-Systems Anbau eines ersten Prototyp-Systems an einer Versuchsmaschine und Funktionalitätserprobung mit unterschiedlichen Einsatzparametern.					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt ● An der Bornau 2 ● 49090 Osnabrück ● Tel 0541/9633-0 ● Fax 0541/9633-190					

Ergebnisse und Diskussion

Im Rahmen dieses Förderprojektes ist ein Maschinenkonzept für ein innovatives, umweltfreundliches Bandschleifverfahren zur Erzielung nanoskaliger Werte entwickelt worden. Das Projekt ist gegliedert in 6 Arbeitsschritten durchgeführt worden.

Im ersten Schritt sind die technischen Ziele definiert worden und für die Bearbeitungsaufgabe Lager- und Nockenbearbeitungen an rotations-symmetrischen Werkstücken ausgewählt worden. Daraus ist dann ein Pflichtenheft erarbeitet worden.

Im zweiten Schritt sind dann grundlegende Untersuchungen durchgeführt worden, die als Basis für die Entwicklungs-Schritte benötigt werden.

Im dritten Schritt sind die konzeptionellen Vorentwürfe für eine Versuchseinrichtung erarbeitet worden. Dabei ist die Entscheidung auf eine Schwenk-Bandschleif-Einheit gefallen, da diese am Besten in eine vorhandene Versuchsmaschine zu integrieren war.

Im vierten Schritt sind die ersten Entwürfe für eine Bandschleif-Maschine entwickelt worden. Dabei sind Entwurfentwicklungen für Einzelteil- und Baugruppenkonstruktionen, sowie die Gesamtkonstruktion inkl. Zusammenbauzeichnungen erstellt worden.

Im fünften Schritt sind kritische Systemeinheiten für die Versuchsdurchführung als Modell entwickelt und auf ihre grundlegende Funktionsfähigkeit hin untersucht worden.

Im sechsten Schritt ist dann die Schwenk-Bandschleif-Einheit auf die Versuchsmaschine aufgebaut und umfangreiche Versuche durchgeführt worden. Dabei wurden folgende Ziele erreicht.

- Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit auf 15 bis 20 m/sek.
- Standzeiterhöhung des Schleifwerkzeugs um das 3-fache
- Reduzierung des Schneidölverbrauchs um ca. 30 %
- Bearbeitung von rotationsgeometrischen Teile bis \varnothing 100 mm und 1000 mm Länge
- Reduzierung der Bearbeitungs- und Rüstzeiten um ca. 35 %
- Verbesserung der Werkstückqualität auf folgende Zielwerte im Nanobereich:
Rauheit RT bis 0,5 μ (500nm); Formgenauigkeit $>2\mu$; Traganteil <90 %

Gegenüber dem Sondermüll, der durch konventionellen Finishband-Prozess entsteht, wird durch die Standzeiterhöhung um das 3-fache des neue Bandschleif-Verfahren eine Reduzierung um $\frac{2}{3}$ auf $\frac{1}{3}$ des Sondermülls erreicht. Die Energieeinsparung beträgt ca. 30 %, da die Bearbeitungs- und Rüstzeiten in dieser Größenordnung ebenfalls reduziert werden konnten.

Fazit

Mit dem neu entwickelten Bandschleif-Verfahren sind die meisten Ziele des Förderprojektes erreicht worden. Nun muss noch die Prozessfähigkeit und Prozessstabilität nachgewiesen werde, damit sich das Verfahren auf dem Markt etablieren kann und von der Industrie eingesetzt wird. Weiterhin ist mit den Werkzeugherstellern eng an einer Weiterentwicklung entsprechender Schleifbänder für dieses spezielle Bandschleif-Verfahren zu arbeiten.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Titelblatt	1
Projektkennblatt	2 - 3
Inhaltsverzeichnis	4
Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen	5
Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen	6
Zusammenfassung	7
Einleitung	8 - 10
Hauptteil	11 – 19
- AS 1: Entwicklung und Festlegung eines technischen Anforderungskataloges	11
- AS 2: Festlegung und Ermittlung der prozesstechnischen Einflussparameter	12 -13
- AS 3: Konstruktive Vorentwürfe / Konzeptentwicklung	14
- AS 4: Konstruktive Teile-, Baugruppen- und Anlagenentwicklung	15
- AS 5: Modelentwicklung für kritische Systemeinheiten/Versuchsanordnungen und Versuchsdurchführung	16
- AS 6: Entwicklung und Erprobung eines Funktions-Prototyp-Systems	17 – 19
Fazit	20

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen Grafiken und Tabellen

	Seite
Übersicht Zielwerte	10
Bild von einer Pneumatisch betätigte CAB-Einheit	12
Entwurf einer Schwenk-CAB-Einheit für Haupt-/Hublager	14
Entwurf eines lokal begrenztes Stützbandes	14
Model des Versuchsaufbaus	14
Model einer CenterStar mit 5 Bearbeitungseinheiten	15
Model eines Werkzeugträgers mit 4 CAB-Einheiten für Haupt- /Hublagerbearbeitungen und 1er CAB-Einheit für Passlager	16
Übersicht erreichter Zielwerte	17
Übersicht von verschiedenen CAB-Bändern	18 - 19

Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

	Seite
CAB -Band ⇒ C ontinuos A brasiv B elt ⇒ Endlos umlaufendes Schleifband	11

Zusammenfassung

Im Rahmen mehrerer Bearbeitungsversuche an unterschiedlichen PKW-Kurbelwellen und PKW-Nockenwellen sind folgende Ergebnisse erzielt worden.

- Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit auf 15 bis 20 m/sek.
- Standzeiterhöhung des Schleifwerkzeugs um das 3-fache
- Reduzierung des Schneidölverbrauchs um ca. 30 %
- Bearbeitung von rotationsgeometrischen Teile bis \varnothing 100 mm und 1000 mm Länge
- Reduzierung der Bearbeitungs- und Rüstzeiten um ca. 35 %
- Verbesserung der Werkstückqualität auf folgende Zielwerte im Nanobereich: Rauheit RT bis 0,4 μ (400nm); Formgenauigkeit $>2\mu$; Traganteil <90 %

Bei diesen Bearbeitungsversuchen sind zum einen Standard Endlosschleifbänder wie auch Neuentwicklungen zum Einsatz gekommen. Hier ist weiterhin eine enge Zusammenarbeit mit den Schleifband-Herstellern erforderlich, um das Verfahren zur Erzielung nanoskaliger Zielwerte weiter zu entwickeln.

Das Projekt ist unter dem AZ 24446 – 21/0 von der Deutsche Bundesstiftung Umwelt gefördert wurde.

Von folgenden Firmen wurden Werkstücke zur Versuchsbearbeitung gestellt:

AUDI, Ingolstadt	Bearbeitung von Nockenstücken
General Motors, Rüsselsheim	Bearbeitung von PKW-Kurbelwellen
Hamburg; Linamar AT, Chrimitschau	Bearbeitung von Nockenwellen
NTC, Ratingen	Bearbeitung von PKW-Kurbelwellen

Werkzeuge wurden von den unten genannten Firmen getestet und weiter entwickelt:

3M Deutschland GmbH, Neuss
Hermes Schleifmittel GmbH & Co. KG
SAINT-GOBAIN Abrasives GmbH, Wesseling

Einleitung

Die spezifische Umweltrelevanz liegt folgendermaßen:

- Verbesserung des produktionsintegrierten Umweltschutzes
- Reduzierung des Schmier- und Treibstoffverbrauchs beim Fahrzeugeinsatz
- Reduzierung von Emissionen/Immissionen und verbesserter Gesundheitsschutz
- Reduzierung von Energiekosten
- Abfallvermeidung und Reduzierung von Entsorgungsmengen

Produktionsintegrierter Umweltschutz kann u.a. durch Verlängerung der Werkzeug-Standzeiten (= weniger Abfall), durch Reduzierung der Schmier- und Kühlmittel und durch Energieeinsparungen (Erhöhung der Maschinenleistung führt zur Einsparung an Produktionsmitteln) erreicht werden.

Gerade im Automobilbereich ist Hochpräzision (u.a. minimale Rauheit, Rundheit, Formgenauigkeit) ausschlaggebend für einen sparsamen Umgang mit Rohstoffen, als auch für eine Minimierung von Verschleißvorgängen/Erhöhung der Produktlebensdauer. Die langjährige visionäre Diskussion um das „1-2 Liter-Auto“ (bei gleich bleibender oder sogar verbesserter Motorleistung) kann nur dann in Realitätsnähe gelangen, wenn die Präzision an Baugruppen und Motorteilen weiter erhöht/Toleranzen weiter reduziert werden. Verringerung der Reibungswerte bedeutet gleichzeitig Erhöhung des Wirkungsgrades. Gleiche Motorleistungen können dann durch kleinere Aggregate erzielt werden, die Material-Einsparungen bzw. die Nutzung alternativer Materialien im Motor- und Aufbaubereich möglich machen. Ein geringeres Fahrzeuggewicht kann wiederum zur Reduzierung des Treibstoffverbrauchs führen.

Höhere Leistungen an Werkzeugmaschinen führen zur Reduzierung des Maschinenparks und damit verbunden auch zu einer Verminderung von „Ölnebeln“ im Bereich der Produktion, die trotz aller Vorsichtsmaßnahmen (z.B. Filtersysteme) auftreten können. Als sekundärer Effekt kann darüber hinaus eine Reduktion der Produktionsfläche und eine weitergehende Energieeinsparung (Heizung, Strom) erreicht werden.

Der Stand der Technik ist, dass Bandfinish-Systeme vorzugsweise bei der Bearbeitung von wellenförmigen bzw. rotationsgeometrischen Teilen eingesetzt werden. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt grundsätzlich im vorteilhaften Kosten-/Nutzenverhältnis aufgrund der Bearbeitungsschnelligkeit. Sowohl beim Bandfinish-Verfahren als auch beim Steinfinish-Verfahren wird eine rotierende sowie oszillierende Bewegung über das Werkstück erzeugt. Das Steinfinish-Verfahren besitzt im Vergleich zum Bandfinish-Verfahren den technologischen Nachteil, dass es „dem Trend folgt“ bzw. den Trend des vorhergehenden Arbeitsgangs (Schleifen) weiter verstärkt, indem sich der Stein der Werkstückgeometrie anformt. Bei heutigen Bandschleifverfahren, die mit einem kontinuierlich umlaufenden Bandwerkzeug zum Einsatz kommen, wird das Werkzeug frei oder durch ein besonders geformtes Andrückelemente (den Andrückschuhe) herangeführt. Wird es frei herangeführt, kann das umlaufende Band nur unter einem geringen Druck an die zu bearbeitende Stelle geführt werden. Dies hat sowohl Einfluss auf die Abtragsleistung als auch auf die Oberflächenanforderungen und ist nur für Teile sinnvoll einsetzbar, an die keine

Abschlussbericht zu: *Entwicklung eines innovativen, umweltfreundlichen Bandfinish-Verfahrens zur Erzielung nanoskaliger Zielwerte*

besonders hohen Qualitätsanforderungen gestellt werden. Sind die Qualitätsanforderungen sehr hoch, so kommen ergänzend Andrückschuhe zum Einsatz: Diese beschränken aber die Schnelligkeit der Laufleistung und daher die Möglichkeit zur Erreichung von Nanoqualitäten. Darüber hinaus wird vielfach das Ziel „minimale Toleranzhaltigkeit“ nicht erreicht, wenn Werkstück und Andrückschuh nicht formadäquat sind. In diesem Fall können am zu bearbeitenden Werkstück tendenziell Linienberührungen entstehen, die Qualitätsdifferenzen und im schlechtesten Fall Werkstückverformungen hervorrufen.

Vor diesem Hintergrund können die technologischen Schwachstellen zum Stand der Technik wie folgt zusammengefasst werden, die entweder einzeln oder in Kombination auftreten.

- Verstärkung des sog. „Trends“ mit Qualitätseinbußen (z.B. Rundheit, Formgenauigkeit)
- Ungleichmäßige Abtragsleistung/Toleranzhaltigkeit
- Zu geringe Schnittgeschwindigkeiten, da die Geschwindigkeit durch die Rotation des Werkstückes sehr begrenzt ist
- Umweltunfreundliches Verfahren: schneller Werkzeugverschleiß, viel Abfall bei getaktetem Band, hoher Schneidölverbrauch etc.

Die umweltrelevanten Ziele sind wie folgt:

- Produktionsintegrierter Umweltschutz:
 - Erhöhung der Werkzeug-Standzeiten (Schleifband) um das 5-fache
 - Reduzierung der Schneidölmengen um 50-80 %
durch höhere Maschinenleistung, Einsatz alternativer Schleifwerkzeuge und damit verbunden der Möglichkeit zur Verwendung alternativer Schmier-Kühlmittel)
- Reduzierung der Energiekosten im Verhältnis 2:1
- Reduzierung der Emissionen/Immissionen um 50 %
- Minimierung des Schmiermittel- und Treibstoffverbrauchs beim Fahrzeugeinsatz (durch bessere Wirkungsgrade/geringere Reibwerte/verbesserte Gütekriterien)
- Verminderung von Abfall- und Entsorgungsmengen (durch geringere Verschleißvorgänge beim Baugruppen- und Teileeinsatz, durch verbesserte Werkzeug-Standzeiten (s.o.), verminderte Entsorgungsmengen bei Kühl-Schmiermitteln etc.)
- Ressourcenschonender Materialeinsatz

Die Zielsetzung des Förderprojektes ist es, ein innovatives, umweltfreundliches Bandfinish-Verfahrens zu entwickeln, mit dem nanoskalige Zielwerte erreicht werden. Die Ziele sind:

- Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit von heute 3-4 m/sek. auf einen Zielbereich von 15 bis 25 m/sek.
- Standzeiterhöhung des Schleifwerkzeugs (hier: Schleifband) um das 5-fache
- Reduzierung des Schneidölverbrauchs
(zur in-process-Kühlung, Schmierung, Materialbindung erforderlich) um mehr als 50%
- Bearbeitung aller rotationsgeometrischen Teile in folgenden Abmessungen:
Durchmesser bis 100 mm, Länge bis 1500 mm (Klein- und Großteile)
- Reduzierung von Bearbeitungs- und Rüstzeiten um 30-50 %

**Abschlussbericht zu: *Entwicklung eines innovativen, umweltfreundlichen
Bandfinish-Verfahrens zur Erzielung nanoskaliger Zielwerte***

- Verbesserung der Werkstückqualität auf folgende Zielwerte im Nanobereich:

Merkmal	Status	Zielwerte	Einflussgrößen
Rauheit RT	bis 1 μ	bis 0,4 μ (400 nm)	Werkzeug, Maschinenparameter
Formgenauigkeit (Toleranz)	max. 5 μ	max. 2 μ	Umschlingungswinkel
Traganteil	75 - 85 %	90 – 95 %	Werkzeug, Maschinenparameter

Übersicht Zielwerte

GESAMTZIEL: **Entwicklung eines innovativen, umweltfreundlichen
Endlos-Bandschleifverfahrens zur Erzielung nanoskaliger
Werte an funktionswichtigen, hochbelasteten Bauteilen.**

Hauptteil

AS 1: Entwicklung und Festlegung eines technischen Anforderungskataloges

Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes wurde der Lösungsgedanke zu diesem Projekt detailliert ausgearbeitet. Mit dem Gesamtziel, *„Entwicklung eines innovativen, umwelt-freundlichen Endlos-Bandschleifverfahrens zu Erzielung nanoskaliger Werte an funktionswichtigen, hochbelasteten Bauteilen“*, sind folgende technische Einzelziele verbunden.

- Umweltfreundlicher/umweltschonender Produktionsprozess gemäß den Umweltzielen des Projektes
- Vollständige Umschlingung innerhalb des Ziel-Kontaktwinkels (Umschlingungswinkel mit hoher „Bandbreite“: bis 160°) in Kombination mit einer regulierbaren Bandspannung
- Hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit bei großen als auch bei kleinen Werkstücken, sowie bei Werkstücken mit komplizierten Geometrien (z.B. Kurbelwellen lassen bei der Bearbeitung keine hohen Werkstückdrehzahlen zu)
- Erzielung einer gleichmäßigen hohen Flächenpressung vom **CAB-Band**
- Erzielung einer hohen Andrückleistung und Formoptimierung durch eine „adaptive“ Stützvorrichtung
- Flexible Werkstückbearbeitung durch Variation des Umschlingungswinkels im laufenden Prozess (z.B. zur Rüstzeitminderung)
- Automatische Regelmechanismen zur Erzielung einer optimalen, gleich bleibenden Prozessqualität
- Systemintegrierte Parametermessung und Systemsteuerung
- Prozessintegrierte Werkzeugabrichtung
- Variabler Einsatzbereich: von einer Einzelteilerfertigung bis hin zur Serienfertigung als vollautomatisches, kontinuierliches Verfahren
- Verbesserte Werkzeugeigenschaften durch z.B. eine Clusterkörnung und einen vollständig ebenen Bandrücken
- Hohe Zug- bzw. Reißfestigkeit vom CAB-Band
- Erzielung einer gleichmäßigen Abtragsleistung zum Erreichen einer Werkstückoberfläche im nanoskaligen Bereich
- Erzeugung einer optimalen Werkstückqualität und Formgenauigkeit entsprechend der Zielwerte
- Selbst lernendes System auf Grundlage von Expertenwissen
- Minimierung des Werkzeugverschleißes
- Minimale Kühl-/Schmiermittel-Einsatzmenge

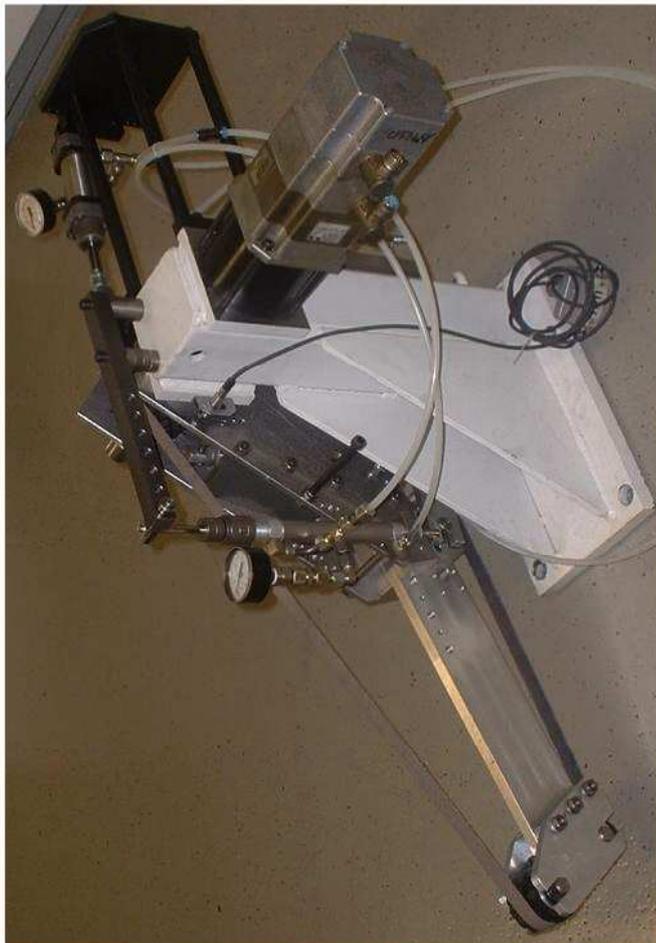
Als Bearbeitungsaufgabe für dieses Projekt wurden Lager- und Nockenbearbeitungen an rotations-symmetrischen Werkstücken ausgewählt. Dazu zählen z. B. Haupt- und Hublager von Kurbelwellen (KW), Hauptlager und Nocken von Nockenwellen (NW), usw. Mit verschiedenen Firmen ist bezüglich Werkstücken für Versuchsbearbeitungen gesprochen worden. Nachdem die Qualitätsmerkmale für die unterschiedlichen Bearbeitungsaufgaben fest standen, ist ein Pflichtenheft erarbeitet worden.

Mit der TU, Wuppertal, ist die Möglichkeit erörtert worden, ob es machbar ist, die Maschine mit einem „Wissenskonzept/Künstliche Intelligenz“ auszustatten. Da man am Anfang in der Annahme war, den Prozess mit ca. 10 Parametern einstellen zu können, ging man zu diesem Zeitpunkt von einer Testserie von $10 \times 10 = 100$ Versuchen aus, um genügen Daten für ein Berechnungsmodell zu haben.

AS 2: Festlegung und Ermittlung der prozesstechnischen Einflussparameter

Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes wurden grundlegende Untersuchungen durchgeführt, die als Grundlage zur Ableitung und Festlegung einer Datenbasis führen sollten, mit deren Hilfe nicht-triviale Zusammenhänge und Hypothesen, die später Niederschlag als Rechenmodell finden sollen, dargestellt werden können. Das abzuleitende Modell sollte die Basis zur Entwicklung eines „selbst lernenden Steuerungs- und Regelungskonzeptes“ auf Grundlage eines Wissenskonzeptes zur Erreichung optimaler sowie stabiler Prozesszustände bilden.

Mit einer bereits vorhandenen CAB-Einheit, die als Versuchsträger auf einer Versuchsmaschine adaptiert worden ist, sind erste Erkenntnisse für das neue Verfahren gemacht worden. Die Versuchsmaschine hat einen Spindelstock mit Oszillationseinheit, einen hydraulisch betätigten Reitstock mit mitlaufender Zentrierspitze, die federnd betätigt ist, damit das Werkstück axial oszillieren kann. Die CAB-Einheit ist an einem Querschlitzen befestigt, sodass man verschiedene Bearbeitungspositionen anfahren kann. Die Zustellung erfolgt über einen Pneumatikzylinder mit Gegendruck, die Bandspannung wird ebenfalls durch einen Pneumatikzylinder erzeugt. Der Anpressdruck und die Bandspannung sind über Druckregler justierbar. Der Kontakt Werkzeug/Bearbeitungsstelle ist Zeit gesteuert.



pneumatisch betätigte CAB-Einheit

Es werden Bearbeitungen mit folgenden Werkzeugen an PKW-Kurbellwellenlagern sowohl als Trockenbearbeitung als auch mit Emulsion durchgeführt.

Trizact™ von der 3M Deutschland GmbH
Norton Norax™ von SAINT-GOBAIN Abrasives GmbH

Ergebnisse dieser Tests:

- die CAB-Bänder lassen je nach Typ bereits nach 5 - 10 Bearbeitungen mit ihrer Schneidleistung nach
- ein Abtrag von 3 - 4 μm wird nicht am ganzen Lagerumfang erzielt
- die Rundheit wird verschlechtert, die Mittellager sind dreieckig, die Hublager sind nach der Bearbeitung oval
- die geforderte Rauheit ist nicht zu erreichen und an den einzelnen Lagern sehr unterschiedlich

Eine Analyse der CAB-Bänder zeigt, dass sich bereits nach kurzer Zeit kleine Platos bilden. Die eingestellte Bandspannung und der Anpressdruck reichen nicht aus, die Bindung zurückzusetzen (aufzubrechen), damit neues Schneidkorn arbeiten kann.

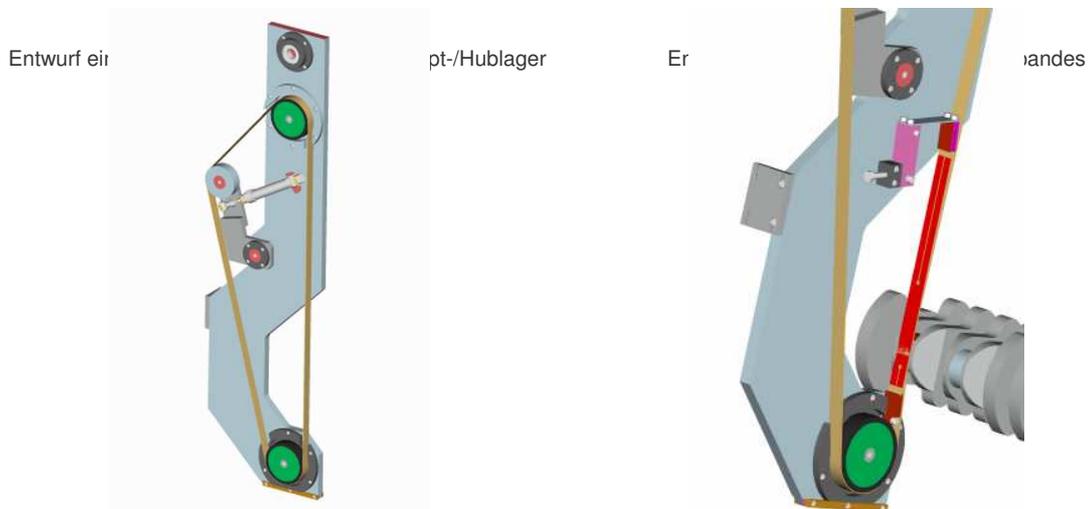
Die Ursache für die Veränderung der Rundheit liegt in der pneumatischen Zustellung und der Bearbeitung nach Zeit. Durch die pneumatische Zustellung ist kein gleichmäßiger Umschlingungswinkel während einer Bearbeitung zu erzielen, der spezifische Anpressdruck auf das Schneidkorn ändert sich laufend. \Rightarrow Bei einer neuen CAB-Einheit muss die Zustellung über eine NC-Achse erfolgen. Dadurch wird ein konstanter, gleichmäßiger Anpressdruck am ganzen Lagerumfang erzielt. Eine Koppelung der Zustellung mit der Werkstückspindel ermöglicht eine exakte Bearbeitung während 2 - x Umdrehungen des Werkstückes.

Da die benötigte Datenbasis für ein „Wissenskonzept/Künstliche Intelligenz“ in diesem Arbeitsschritt noch nicht erarbeitet wurde und erst im AS 6: „Entwicklung und Erprobung eines Funktions-Prototyp-Systems“ erarbeitet werden kann, ist von einer weiteren Zusammenarbeit mit der TU, Wuppertal, bezüglich dieses Themas, abgesehen worden.

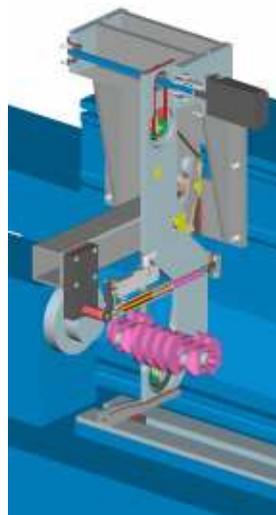
AS 3: Konstruktive Vorentwürfe / Konzeptentwicklung

Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes wurden konzeptionelle Vorentwürfe für eine Versuchseinrichtung mit Alternativauslegungen und -berechnungen erarbeitet. Die Entscheidung fiel auf eine Schwenk-CAB-Einheit, mit der sowohl Hauptlager wie auch Hublager von Kurbelwellen bearbeitet werden können. Die vorhandene Versuchsträgermaschine ließ keine Linear-Cab-Einheit zu, wie sie später in einer neuen CenterStar zum Einsatz kommen soll. Für das Bearbeitungsergebniss wird hier jedoch keine Änderung erwartet, ob die Zustellung der CAB-Einheit durch eine Schwenk-Bewegung oder Linear-Bewegung erfolgt.

Für den Versuch, der Erzielung einer hohen Andrückleistung und Formoptimierung durch eine „adaptive“ Stützvorrichtung, wurde ein lokal begrenztes Stützband vorgesehen. Die Erhöhung der Andrückleistung kann durch unterschiedliche Blattfedern verändert werden, die Formoptimierung soll durch 0,1 – 0,3 mm dicken Federstahl, der kardanisches aufgehängt ist, unterstützt werden.



Die einzelnen Konzeptentwicklungen sind jeweils wertanalytisch untersucht worden. Eine FMEA sowie Realisierbarkeitsuntersuchungen/-Prüfungen/-Bewertungen sind ebenfalls durchgeführt worden.



AS 4: Konstruktive Teile-, Baugruppen- und Anlagenentwicklung

Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes wurde ein erster Entwurf für eine CenterStar entwickelt, der in folgende Bereiche gegliedert war:

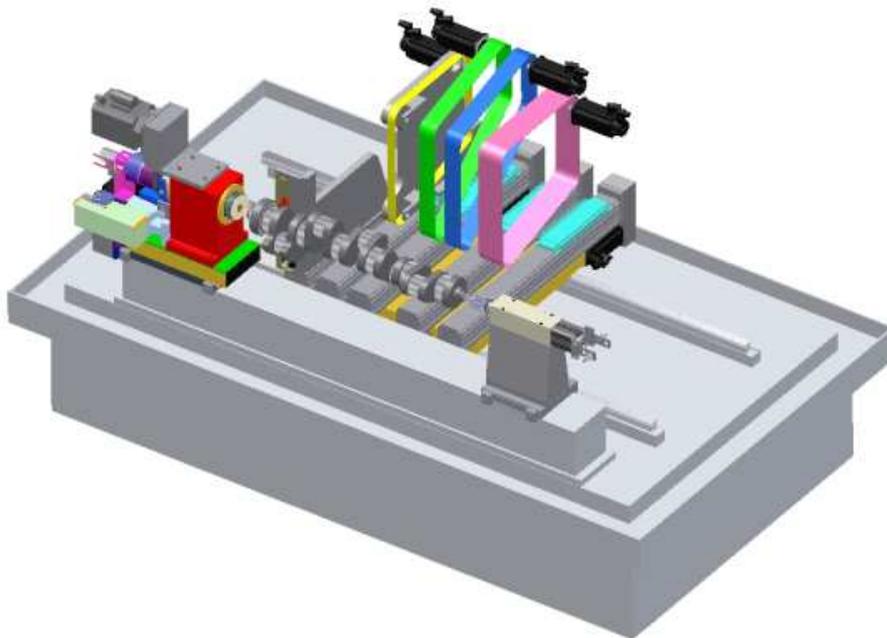
- Mechanische Einheiten
- Steuer- und Regelkreis, zunächst in einer low-level-Ausführung
- Hydraulische/pneumatische Systemkomponenten

Für das Kernkonzept sind Entwurfentwicklungen für die Einzelteil- und Baugruppenkonstruktionen, Gesamtkonstruktionen inkl. Zusammenbauzeichnung erarbeitet worden.

Als Steuerung wurde für eine Siemens 840 D entschieden, um interpolierende Verknüpfungen zwischen den Rotations-Bewegungen des Werkstückes und der Zustell-Bewegung der CAB-Einheit zu ermöglichen.

Es wurde festgelegt, dass nur pneumatische Systemkomponenten verwendet werden soll, auf hydraulische Systemkomponenten wird verzichtet.

Durch Prozesssimulationen und die Konzeption/Durchführung/Auswertung von Gefahrenanalysen, die die der Entwurfentwicklung begleitete, sollen mögliche Fehler vermieden werden. Dazu sind Alternativberechnungen und -Auslegungen durchgeführt worden, die entsprechend in der Festlegung von Bauteilen und Komponenten eingeflossen sind.



AS 5: Modellentwicklung für kritische Systemeinheiten / Versuchsanordnungen und Versuchsdurchführung

Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes wurden die „kritischen“ Systemeinheiten als Modell entwickelt, die anschließend in unterschiedlichen Versuchsanordnungen auf ihre grundlegende Funktionsfähigkeit bzw. Umsetzbarkeit hin untersucht wurde.

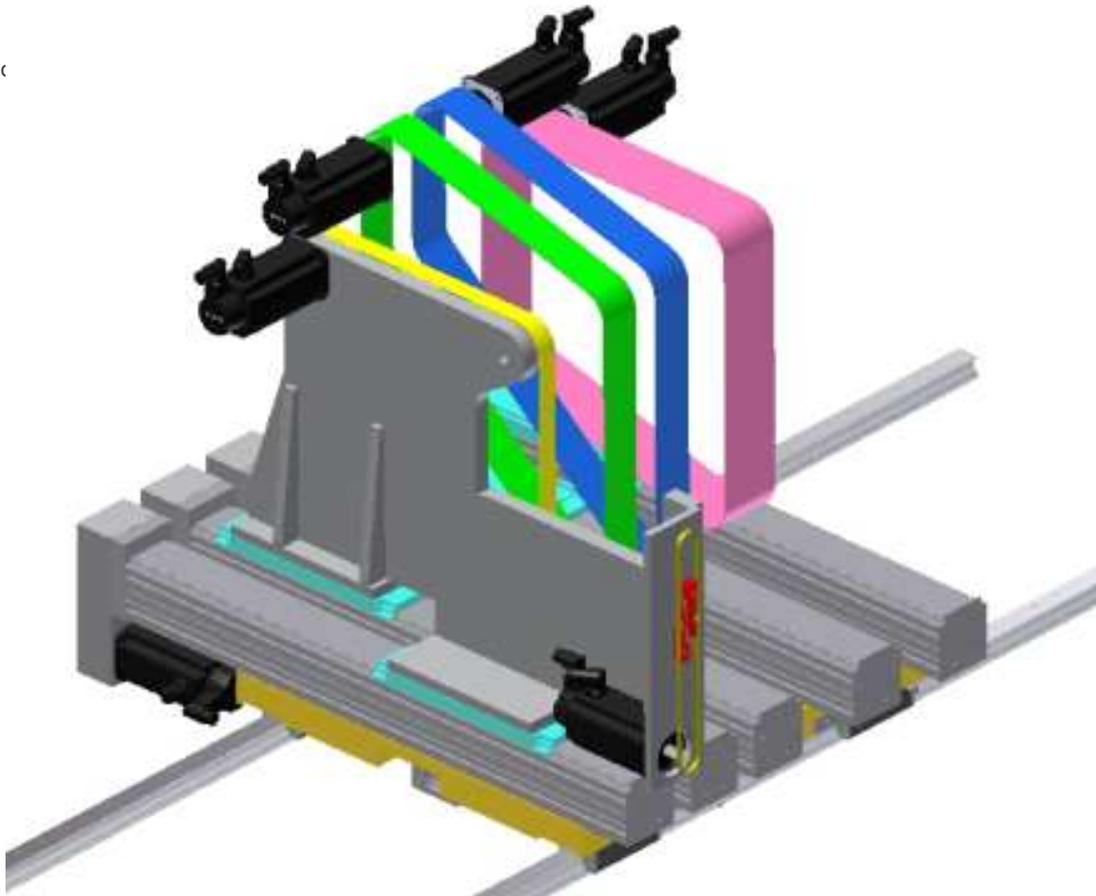
Zu diesen risikobehafteten Systemeinheiten zählen unter anderem:

- Bandführung und -Umlenkung
- Antriebsmöglichkeiten (z.B. als einzelnes oder gesamtes System)
- Stützband (endlos/lokal) unter Verwendung alternativer Materialien
- Spanneinrichtung oder Werkstückmitnahme zwischen Spitzen
- Variabler Umschlingungswinkel bei unterschiedlichen Werkstückgeometrien und -größen
- Bandabrichtung im Prozess unter Verwendung unterschiedlich aufgebauter Schleifbänder
- Bandführung unter Verwendung unterschiedlich ausgeprägter Führungs- und Antriebsmechanismen (verschiedene Materialien oder Beschichtungen, Spezial-Profilierung bei der Rollenführung etc.)

Es ist auch ausführlich mit den Werkzeuglieferanten über die Beschaffenheit der einzusetzenden Endlos-Bänder diskutiert worden.

Moc

ier



AS 6: Entwicklung und Erprobung eines Funktions-Prototyp-Systems

Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes wurde die Schwenk-CAB-Einheit an der Versuchsmaschine angebaut und die pneumatischen und elektronischen Baugruppen installiert und in betrieb genommen. Dieses Prototypen-System ist dann auf seine Funktionalität hin erprobt worden.

Die Bearbeitungsversuche an Haupt- und Hublagern von Kurbelwellen sowie Nocken von Nockenwellen sind unter verschiedenen Einsatzbedingungen (Normal- und Grenzlagen), mit unterschiedlichen Werkzeugen und alternativen Lösungsvarianten (z.B. mit-/ohne lokalem Stützband, verschiedene Antriebsvarianten, Nass-/Trockenbearbeitung) entsprechend der geforderten Oberflächen Anforderungen durchgeführt worden.

Entsprechend der Zielsetzung des Förderprojektes wurde folgendes erreicht:

- Es ist gelungen für die Lagerbearbeitung die Schnittgeschwindigkeit auf 20 m/sek zu erhöhen. Dadurch kann die Drehzahl des Werkstückes drastisch reduziert werden, Kurbelwellen brauchen bei der CAB-Bearbeitung nur noch mit ca. 30 min⁻¹ drehen. Für die Nockenbearbeitung hat sich für die CAB-Bearbeitung mit einer Kontaktrolle heraus gestellt, dass die besten Oberflächen mit einer Schnittgeschwindigkeit von ca. 12 m/sek erzielt werden.
- Mit einem CAB-Werkzeug können ca. 600 - 1000 Werkstücke bearbeitet werden. Dies entspricht einer Standzeiterhöhung um das 4 - 5 fache.

Beispiel: Die Lagerbearbeitung an einer Nockenwelle. Mit dem CAB-Band werden 600 Lagerstellen bearbeitet, für eine konventionelle Bearbeitung müsste 600 x ca. 15 mm Finishfilm nach getaktet werden.

Konventionelle Bearbeitung: 600 x 15 mm = 9 m Finishfilm
 CAB-Bearbeitung 2 m CAB-Band

- Bei den Versuchen konnte die Schneidölmenge um bis zu 50% reduziert werden. Durch die hohe Schnittgeschwindigkeit des CAB-Bandes wird das Werkstück kaum erwärmt, sodass lediglich eine geringe Menge Schneidöl zum frei spülen des CAB-Bandes gebraucht wird. Bei einigen Werkstücken, z.B. Kompressorwellen, konnte sogar eine Trockenbearbeitung ohne jegliches Schneidöl erfolgreich durchgeführt werden.
- Bei den Versuchen wurde ein Werkstückspektrum mit Durchmesser bis 100 mm und einer Länge von 1000 mm bearbeitet.

In dem Teilespektrum der Kundenanfragen waren keine Werkstücke mit einer Länge von 1000 - 1500 mm enthalten.

- Bezüglich der Werkstückqualität sind folgende Zielwerte im Nanobereich erzielt worden:

Merkmal	Status	Zielwerte
Rauheit RT	bis 1 µ	Ist: 0,5 µ (500 nm) ^{*1}
Formgenauigkeit (Toleranz)	max. 5 µ	Ist: 2 µ
Traganteil	75 - 85 %	Ist: > 90 %

Übersicht erreichte Zielwerte

^{*1} Um ein Rt < 0,5 µm zu erreichen, war eine 2 Schrittbearbeitung erforderlich.

- Bei einer CenterStar, die mit einer Werkzeugträgereinheit mit 12 CAB-Einheiten für Nockenbearbeitungen ausgerüstet ist, wurde eine Taktzeit von 24 sek gegenüber 35 sek einer Maschine mit konventionellen Finishband erreicht. Das entspricht einer Reduzierung der Bearbeitungszeit um 31,5 %. Die Werkzeugwechselzeit beträgt bei dieser Maschine für die 12 CAB-Bänder nur 8 Minuten.

Bei den Versuchen mit dem „lokalen Stützband“ wurde folgendes festgestellt:

Grundvoraussetzung für ein adaptives Andrückelement ist, das es hoch flexibel und sehr verschleißfest sein muss. Das im Versuch eingesetzte Stützband aus 0,15 mm dicken Federstahl hat sich gut der Form des Lagerzapfens sowohl im Durchmesser als auch in der Querform (Balligkeit von 4 μ m) angepasst, ist jedoch sehr schnell verschlissen. Ein Stützband aus 0,30 mm Federstahl war jedoch nicht mehr flexibel genug, sich dem Durchmesser und der Querform des Lagerzapfens anzupassen. Ebenfalls muss das verwendete CAB-Band über den gesamten Bereich gleichdick sein, das heißt, es muss schon alleine wegen der Ungleichdicke an der Nahtstelle abgerichtet werden. Für solch ein Abrichten muss das Diamantabrichtwerkzeug eine Genauigkeit < 1 μ m Formfehler haben, da sich das Abrichtprofil sonst in der Querform des Lagerzapfens widerspiegelt. Aus diesen Gründen ist die Lösungsidee, „Erhöhung der Anpresskraft mit einem lokalen Stützband“, verworfen worden.

Die eingesetzten Werkzeuge haben folgende Verhalten und Ergebnisse gezeigt:

- Werkzeuge von der Fa. 3M Deutschland GmbH, Neuss

Tricact™ 253FA A 16

bringt zuerst eine raue Oberfläche, wenn die Pyramiden dann abstumpfen, lässt die Schneidleistung ganz nach



Korn 16 μ

Tricact™ Film in A10 und A20

schneiden am Anfang gut, Oberfläche i O, lassen jedoch nach 50 - 60 Bearbeitungen mit der Schneidleistung nach

Korn 10 μ

Korn 20 μ



Test CAB-Bänder, keramisch gebunden

diese CAB-Bänder haben nicht funktioniert, da die Cluster zu groß waren und nicht die Kraft aufgebracht werden konnte, die Bindung aufzubrechen

Korn 6 μ

Korn 16 μ



- Hermes Schleifmittel GmbH & Co. KG

RB 515X P400

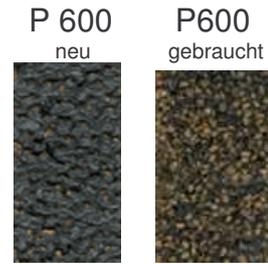
dieses CAB-Band eignet sich für den ersten Schritt einer Zwei-Schritt-Bearbeitung, Standzeit bis zu 1000 Werkstücke



Korn P400

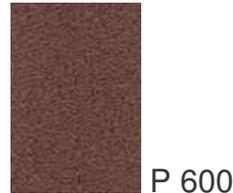
RB 515X P600

dieses CAB-Band eignet sich gut für diese Bearbeitungen, Oberfläche i O, Standzeit bis zu 1000 Werkstücke, in dem Bild gebraucht, kann man die Korklage zw. Trägerband und Schneidkorn gut sehen



RB 535 P600

dieses CAB-Band eignet sich nicht für diesen Bearbeitungsprozess, zu raue Oberfläche und zu unflexibel



- SAINT-GOBAIN Abrasives GmbH, Wesseling

Norton Norax™ U 366 X16

dieses CAB-Band eignet sich nicht für diesen Bearbeitungsprozess, zu raue Oberfläche und zu unflexibel



Norton Norax™ U 264 X5

schneiden am Anfang gut, Oberfläche i O, lässt jedoch nach ca. 400 Bearbeitungen mit der Schneidleistung nach, ist vom Bandrücken her zu unflexibel



Norton Norax™ U 254 X5

dieses CAB-Band eignet sich gut für diese Bearbeitungen, Oberfläche i O, Standzeit bis zu 600 Werkstücke,



Fazit

Mit dem neu entwickelten Bandschleif-Verfahren sind die meisten Ziele des Förderprojektes erreicht worden. Nun muss noch die Prozessfähigkeit und Prozessstabilität nachgewiesen werden, damit sich das Verfahren auf dem Markt etablieren kann und von der Industrie eingesetzt wird. Weiterhin ist mit den Werkzeugherstellern eng an einer Weiterentwicklung entsprechender Schleifbänder für dieses spezielle Bandschleif-Verfahren zu arbeiten.