
10. Forum

»Tribologische Entwicklungen in der Blechumformung«

06./07. Juni 2018 | Darmstadt

www.triboforum.ptu-darmstadt.de

Veranstalter

Institut für Fertigungsforschung e.V.
Postfach 11 07 28
64222 Darmstadt
Telefon +49 (61 51) 16 23 14 3
Telefax +49 (61 51) 16 23 14 2
iff@ptu.tu-darmstadt.de

In Zusammenarbeit mit

Technische Universität Darmstadt
Institut für Produktionstechnik
und Umformmaschinen
Otto-Berndt-Straße 2
64287 Darmstadt
Telefon +49 (61 51) 16 23 14 3
Telefax +49 (61 51) 16 23 14 2
info@ptu.tu-darmstadt.de
www.ptu.tu-darmstadt.de

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Peter Groche

ISBN 978-3-9819947-0-4

Redaktion und Layout

Viktor Recklin, M. Sc.
Peter Sticht, M. Sc.



10. Forum

»Tribologische Entwicklungen in der Blechumformung«

06./07. Juni 2018

Tagungsprogramm, Donnerstag 07. Juni 2018

08:30–09:00 Registrierung

09:00–09:15 Prof. P. Groche | **Begrüßung**

09:15–10:00 C. Dane | **Tata Steel**
L. Rolecek | **ŠKODA AUTO**
Boosting lubrication during press forming
with prime lubricant treatment (Seite 7–22)

10:00–10:35 Dr. A. Losch | **FUCHS Schmierstoffe GmbH**
Prelubes, Drylubes & CO – Neue Schmierstoffkonzepte
für die Automobilkarosserie (Seite 23–39)

10:35–11:00 **Kaffeepause**

11:00–11:35 Y. Wu | **PtU, TU Darmstadt**
Verschleißdetektion durch Messung von thermoelektrischem Strom
und elektrischem Widerstand im Streifenziehversuch (Seite 41–52)

11:35–12:10 G. Stüdlein | **Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH**
Kriterien zur Bewertung von
Pretex®-Strukturen (Seite 53–65)

12:10–13:10 **Mittagspause**

13:10–13:45 K.-H. Fröhning | **EMG Automation GmbH**
S. Werner | **evopro systems engineering AG**
Industrie 4.0 im Presswerk – Von Materialeigenschaften
zur Anlagensteuerung (Seite 69–82)

13:45–14:20 F. Dietrich | **Adam Opel AG, PtU**
Integration tribologischer Effekte in die Umformsimulation
von Karosseriebauteilen (Seite 83–97)

14:20–14:50 **Kaffeepause**

14:50–15:25 Dr. M. Weber | **Fraunhofer IST**
Werkzeugbeschichtungen für die Kalt- und Warmumformung
von Leichtmetalllegierungen (Seite 99–113)

15:25–16:00 Dr. J. Filzek | **FILZEK TRIBOtech**
ASPECT – Analyse der Reibungsveränderung durch instationäre
Werkzeugtemperaturen für die Prozessauslegung und -kontrolle (Seite 115–127)

16:00–16:15 Prof. P. Groche | **Schlusswort**



Vorwort

10. Forum »Tribologische Entwicklungen in der Blechumformung«

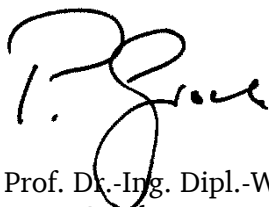
Bereits seit vielen Jahrzehnten ist die Tribologie ein fester Bestandteil in Forschung und Entwicklung des Instituts für Produktionstechnik und Umformmaschinen der TU Darmstadt. Dabei steht zum einen das Verständnis der grundlegenden Zusammenhänge von Reibung, Schmierung und Verschleiß im Vordergrund. Zum anderen werden durch die Bearbeitung von anwendungsbezogenen Fragestellungen wertvolle Erkenntnisse für die industrielle Praxis gewonnen. Neue Ansätze verfolgen die Zielsetzung, tribologisch optimierte Werkzeugoberflächen mit geringem Aufwand zu erzeugen, optimierte numerische Reibmodelle als Ausgangsbasis für realgetreuere Simulationen zu entwickeln, sowie tribologische Systeme durch innovative Schmierstoffe und Beschichtungen zu optimieren. Als Aufgabe der Tribologieforen sehen wir es an, einen regelmäßigen Informationsaustausch zwischen Experten aus Theorie und Praxis zu ermöglichen. Durch diese enge Vernetzung von Forschung und Industrie entstehen immer wieder tribotechnische Innovationen.



Bereits zum zehnten Mal lädt das PtU Teilnehmende betroffener Kompetenzbereiche ein, um das Feld der Tribologie aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu beleuchten.

Mit Fachvorträgen ausgewählter Referenten aus den Gebieten der Schmierstofftechnik, des Werkzeugbaus und der numerischen Simulation verfolgt die Tagung das Ziel, den Dialog zwischen Produktentwicklern, Fertigungsfachleuten und Anwendern zu intensivieren und interessierten Gästen aus Verbänden, Industrie und Wissenschaft ein entsprechendes Forum zu bieten. Die Vorträge beinhalten, neben Einblicken in aktuelle Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich der Tribologie, praxisnahe Erfahrungsberichte zur Lösung tribologischer Problemstellungen in Unternehmen.

Im Rahmen der Veranstaltung wird den Teilnehmenden ausreichend Möglichkeit gegeben, mit Fachleuten aus Industrie und Forschung zu diskutieren. Damit heiße ich Sie herzlich willkommen zum diesjährigen Forum »Tribologische Entwicklungen in der Blechumformung« am PtU in Darmstadt.



Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Peter Groche



Boosting lubrication during press forming with Prime Lubricant Treatment (PLT)

Chiel Dane
Tata Steel

Wenckebachstraat 1
1951 JZ IJmuiden, Nederlande
+31(0)2514 98239
Chiel.dane@tatasteel.com

Following close cooperation with a leading chemicals supplier, Tata Steel has launched Prime Lubrication Treatment (PLT). PLT is a so-called booster lubricant, consisting of a thin coating that is applied in the galvanising line prior to applying the conventional oil layer. The combination of PLT and oil provides a superior lubrication system that improves processing of hot-dip galvanised GI steels for exposed automotive panels. It induces a lower and more stable friction during pressing and is particularly suitable to support manufacturing of outer panels such as fenders, doors and body sides to a high surface quality. Thereby the new advanced lubricant extends Tata Steels Full Finish premium offering for outer panels.

The unique formulation of PLT offers an improved press performance of GI steels when compared to those treated with standard conventional oil. It enables manufacturers to move away from electro-galvanised (EG) steels towards the more cost-effective GI-coating. When compared to the common process, PLT enables a smoother pressing operation with reduced maintenance costs and therefore a higher production yield, and has been designed not to disturb subsequent manufacturing processes like resistance spot welding and adhesive bonding.

PLT induces a lower friction coefficient that stays more stable over subsequent press cycles in comparison to GI material treated with only a standard oil. PLT is completely removed in the cleaning bath towards the end of the process, leaving no residue behind. "One of the main values of using PLT is its friction coefficient which is consistently low to reduce tool pollution to acceptable low levels for efficient manufacturing processes. This brings the long-cherished wish of going to 100% hot-dip galvanized material for the exposed car body panels a decisive step closer.

Chiel Dane
Lubomir Roleček

Tata Steel
Škoda-Auto

Boosting lubrication during press forming with Prime Lubrication Treatment (PLT)

10. Forum "Tribologische Entwicklungen in der Blechumformung"
June, 7th, Darmstadt, Germany



Content

1	Historical background
2	Total performance approach PLT
3	PLT vlog
4	Trials
5	Skoda-Auto: first experiences with PLT
6	Conclusions

1. Historical background

First contact with PtU-Darmstadt

25 years ago:

- Dr. Nietsche
- Professor Schmöckel

most renown institute in Germany on tribology:

- 9x Triboforum
- Verbundprojekt Tribologie
- Verbundprojekt Abrieb (VPA)
- EFB Projekt (Zinkabrieb)
- etc

Viel gelernt, inklusive der deutschen Sprache

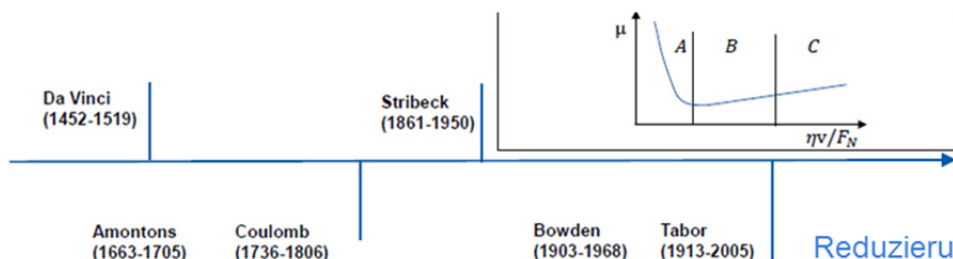
and:

Supply of many tons slitted coils !

Teilnehmerliste zur Sitzung des Verbundprojektes Tribologie am 11. Mai 1995 in Darmstadt

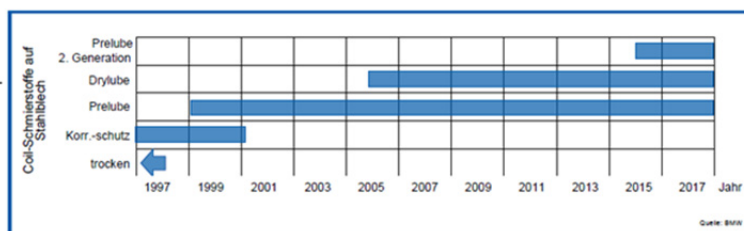
Adam Opel AG Herr Dr.-Ing. K.-J. Schwethelm Herr I. Lübke Postfach 1710 D-65423 Rüsselsheim	OCAS Herr J. Scheers John Kennedylaan 3 B-9060 Zelzate
Audi AG Herr G. Schießl D-85045 Ingolstadt	Preussag Stahl AG Herr J.-U. Kruska Postfach 411180 D-38233 Salzgitter
BMW AG Herr A. Tertel D-80788 München	Thyssen Stahl AG Herr Dr.-Ing. G. Hartmann D-47161 Duisburg
Fordwerke AG Herr D. Pätzold Herr F. Braun Henry-Ford-Str. 1 D-50725 Köln	Verschleiß-Schutz-Technik Herr Dr.-Ing. K. Keller Postfach 1372 D-79643 Schopfheim
Fuchs Petrolub AG Herr F. Kubicki Postfach 101162 D-68011 Mannheim	Volkswagenwerk AG Herr O. Coronel-Ferrer D-38436 Wolfsburg
Hoogovens Groep BV Herr C.M. Dane P.O. Box 10.000 NL-1970 CA Ijmuiden	Zibulla & Sohn GmbH Raziol Schmierungstechnik Herr U. Kling Postfach 7665 D-58614 Iserlohn
Krupp Hoesch Stahl AG Herr P.P. Masarczyk D-44120 Dortmund	TH Darmstadt Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen Herr Prof. Dr.-Ing. D. Schmoeckel Herr B. Liebler Herr J. Staeves Herr D. Hortig Herr S. Luo Herr M. Prier Petersenstr. 30 D-64287 Darmstadt
Mercedes-Benz AG Herr S. Falter D-71059 Sindelfingen	

1. Historical background: Vortrag Prof. Groche 9th Triboforum 25.2.2016



Reduzierung der Schmierstoffmenge in der Produktion

Einsatz maßgeschneiderter Schmierstoffsysteme



2018+

3. Generation Prelubes („green tribology“)

Still need for

Boosting lubrication during press forming

- Einsatz maßgeschneiderter Schmierstoffe sorgt in Umformprozessen für bestmögliche Reibungs- und Kraftverhältnisse bei geringer Schmierung

1. Historical background: need to boost lubrication to reduce tool pollution



Zinc-flakes causing **pimple defects** : Rejections in outer parts !



Adhesive transfer from zinc to tooling

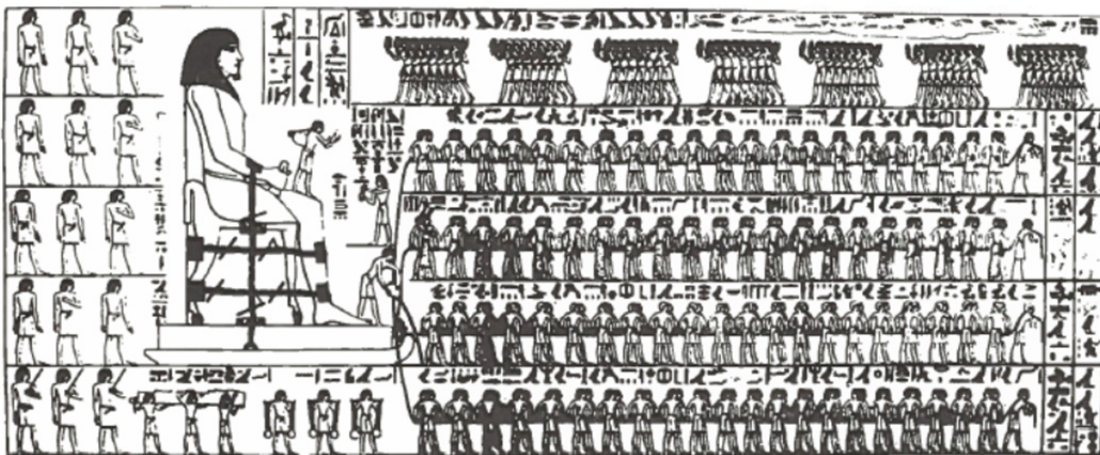
- scratches on pressed parts: **galling**
- **Tool wear** (mechanical refurbishment)

Motivation to develop a boost to lubrication:

changeover EG and EG-p to GI outerparts

1. Historical background: back to 1880 b.c.

How did the Egyptians move 60 tons colossus ?



Transporting an Egyptian colossus from the tomb of Tehuti-Hetep, El-Bersheh

Source: D. Dowson, History of Tribology, 1998

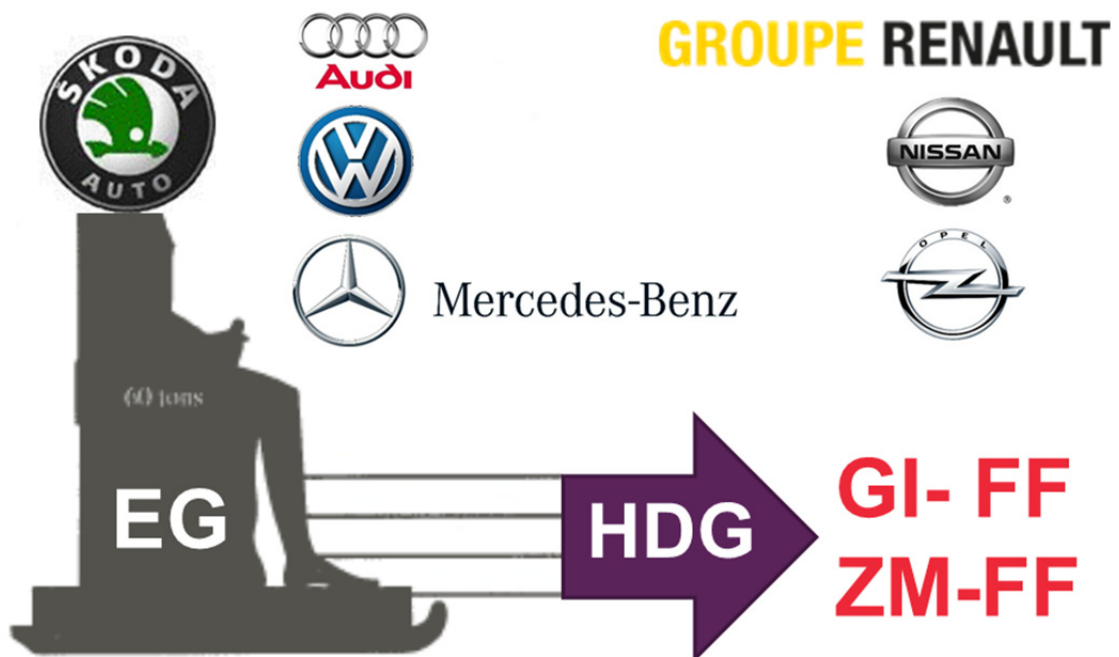
1. Historical background: back to Egypt findings 2400 b.c.



Look at the guy pouring **lubricant** (water?) in front of the sledge
They learned from the **first recorded tribologist** how to reduce friction

Source: D. Dowson, History of Tribology, 1998

1. Historical background: how to move automotive colossus ?



1. Historical background: lubrication options to reduce tool pollution

Mill applied options

- T-treatment (only GA)
 - (thixotropic) rust preventive oil
 - Prelubes from the 1st and 2nd generation
 - Hotmelt
- } Prelube2 insufficient to replace EG by GI-FF for outerparts,

“What is good for the press is bad for the bond”

For a tribologist it is not difficult to develop a lubricant to optimise lubricity to reduce galling and tool pollution.

The art is to develop a product like PLT which is compatible over the entire process chain from mill applied application to full removal before painting

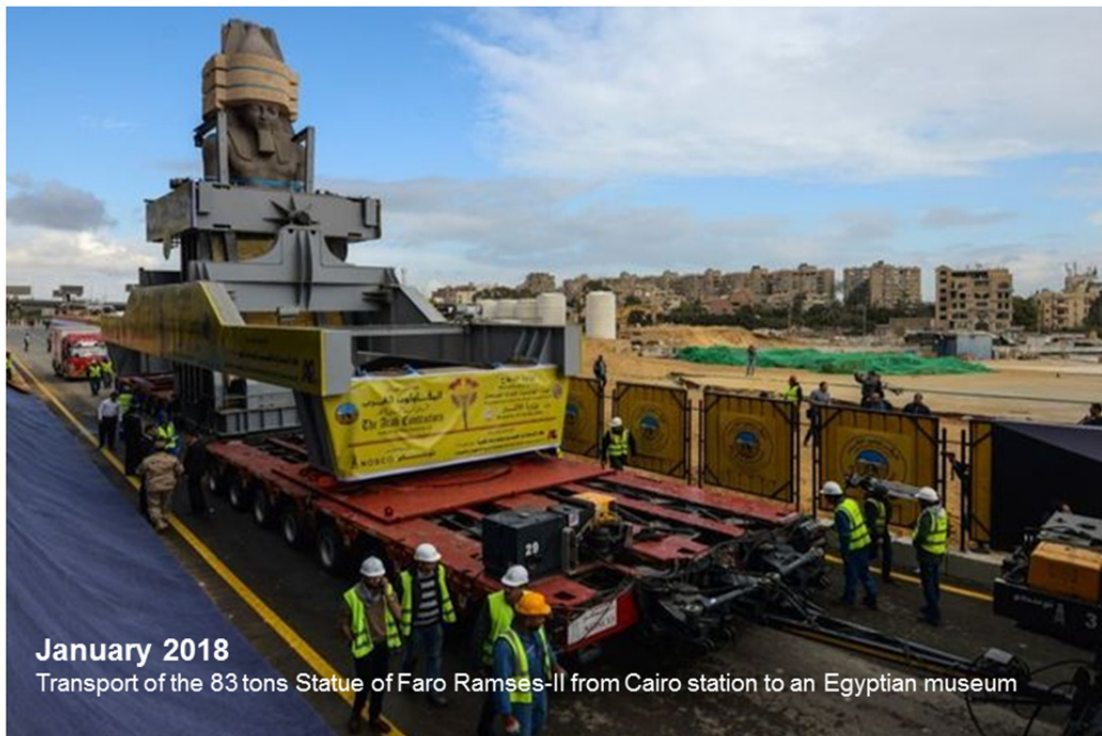
OEM's:

- Coilwash
- Blankwash
- Spotlube



Tata Steel developed together with a chemicals supplier **Prime Lubrication Treatment** to boost lubrication

1. Historical background: 2018: Egyptians move huge statue using wheels



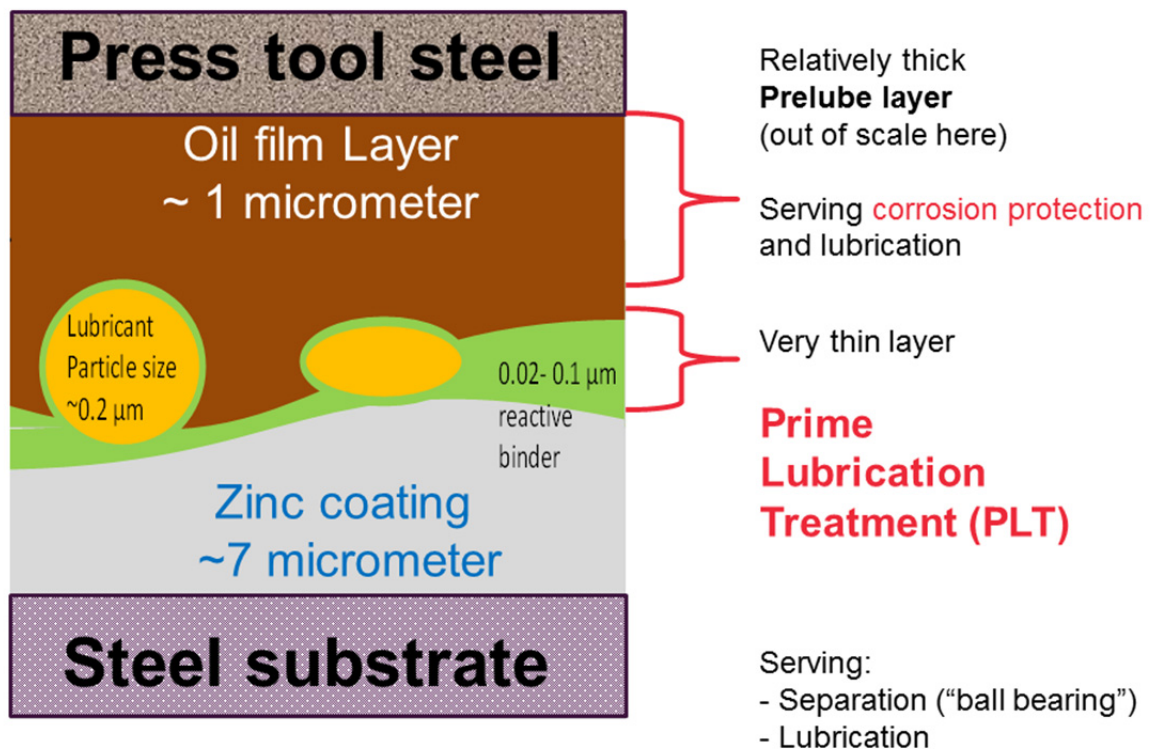
January 2018

Transport of the 83 tons Statue of Faro Ramses-II from Cairo station to an Egyptian museum

Content

1	Historical background
2	Total Performance approach PLT
3	PLT vlog
4	Trials
5	Skoda-Auto: first experiences with PLT
6	Conclusions

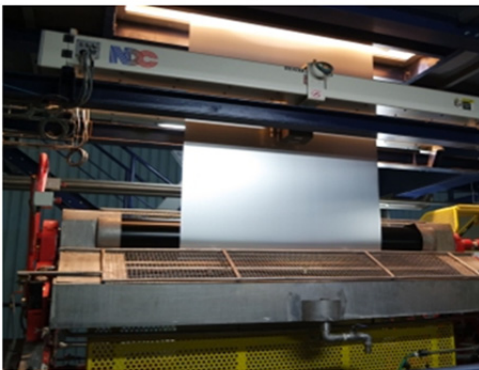
2. Total performance approach: what is PLT ?



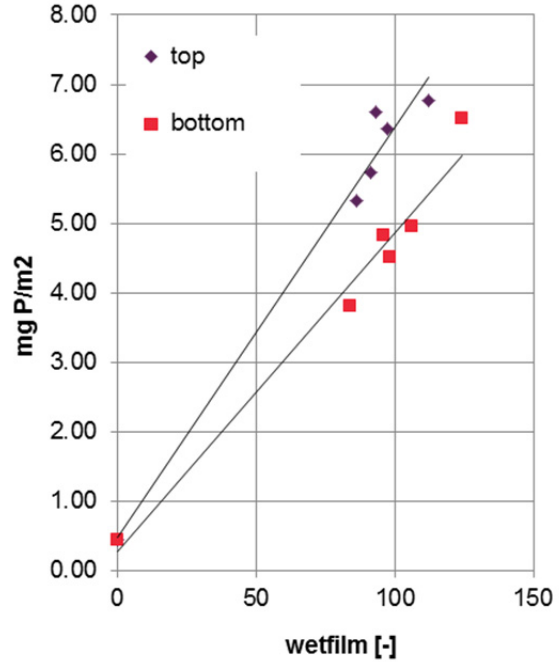
2. Total performance approach: application in HDG line

Application Process

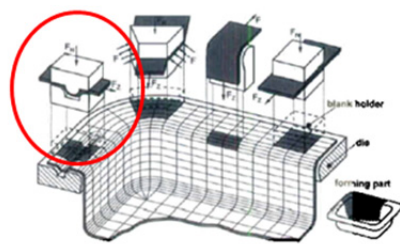
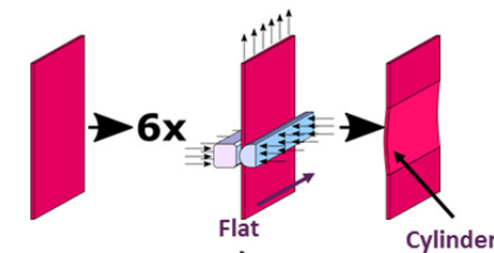
- Conventional chem-coater application at ~100 m/min
- Application of 1.5 – 4.5 ml/m² water based solution
- Drying by hot air (PMT= 40 – 80 °C)
- Optionally in-line followed by electrostatic oiling



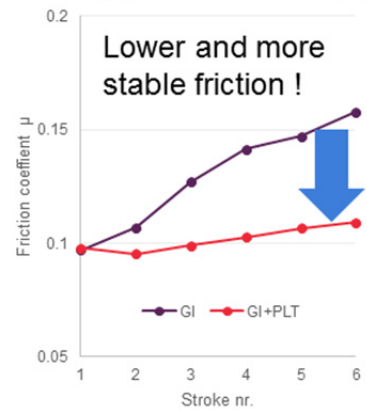
coating weight vs. in-line wetfilm



2. Total performance approach: galling behaviour in linear friction test



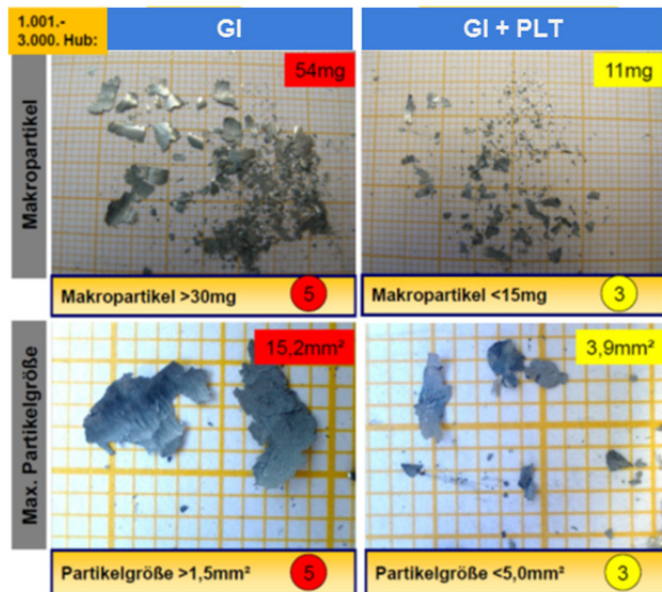
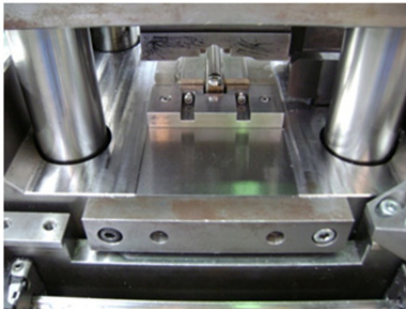
Source: PtU-Darmstadt



2. Total performance approach: Zinc abrasion trial at Filzek Tribotech



“Zinkabrieb” Drawbead tool pollution test



PLT very effective in reducing adhesive wear (galling) and
In reducing zinc abrasion

2. Total performance approach: Zinc abrasion at Tribotech

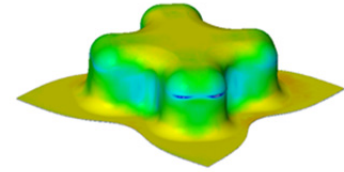
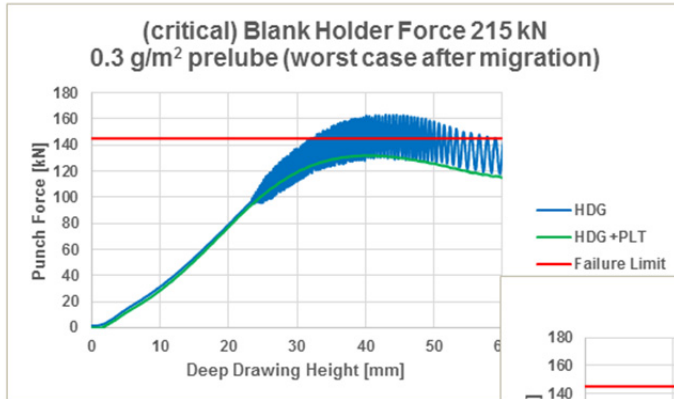


Ta02	GI							Gesamtbew.:
	Abrieb-zustand:	qualitativ im Werkzeug	Bew.	Partikelgewicht	Bew.	max. Partikelgröße	Bew.	
1.-300. Hub (300 Hübe)	Matrize: einzelne kleine Partikel; Umlenkung: viele kleine Partikel	3	Gesamt: 23mg Makropartikel: 5mg	2	1,3mm ²	2	2,33	3,6
301.-1000. Hub (700 Hübe)	Matrize: flächige Ansammlung; Umlenkung: viele kleine Partikel	4	Gesamt: 81mg Makropartikel: 13mg	3	13,2mm ²	4	3,67	
1.001-3000. Hub (2.000 Hübe)	Matrize: flächige Ansammlung; Umlenkung: viele kleine Partikel	4	Gesamt: 99mg Makropartikel: 54mg	5	15,2mm ²	5	4,67	

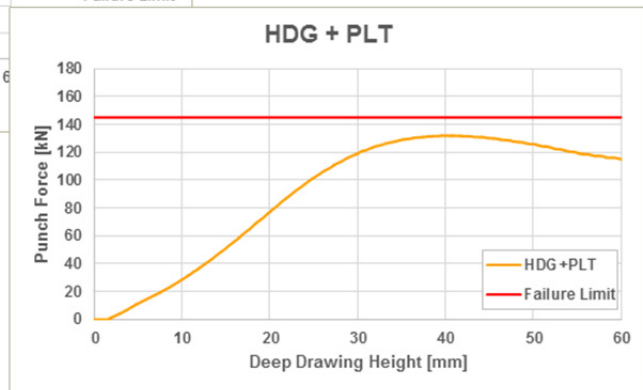
Ta01	GI + PLT							Gesamtbew.:
	Abrieb-zustand:	qualitativ im Werkzeug	Bew.	Partikelgewicht	Bew.	max. Partikelgröße	Bew.	
1.-300. Hub (300 Hübe)	Matrize: unauffällig; Umlenkung: unauffällig	1	Gesamt: 9mg Makropartikel: 3mg	1	0,7mm ²	2	1,33	2,1
301.-1000. Hub (700 Hübe)	Matrize: einzelne kleine Partikel; Umlenkung: einzelne kleine Partikel	2	Gesamt: 24mg Makropartikel: 5mg	2	1,4mm ²	2	2,00	
1.001-3000. Hub (2.000 Hübe)	Matrize: einzelne kleine Partikel; Umlenkung: viele kleine Partikel	3	Gesamt: 42mg Makropartikel: 11mg	3	3,9mm ²	3	3,00	

Zinc abrasion GI+PLT significantly better than GI without post-treatment

2. Total performance approach: deep drawing using Cross-die tool (Renault)



No Stick-slip
No "screaming" of GI



Lower friction due to PLT:
10% lower Punchforce,
Blank Holder Force can be higher until fracture occurs

Larger working window !

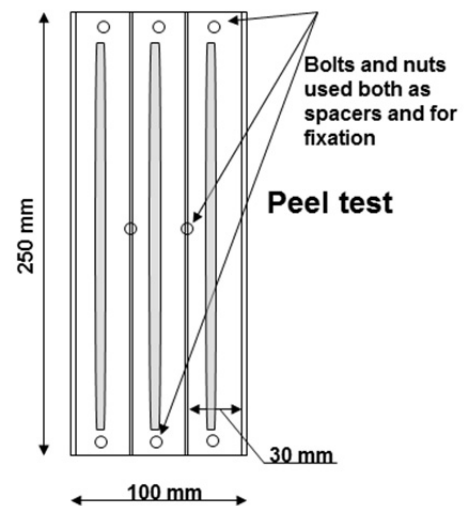
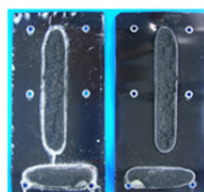
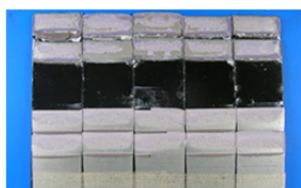
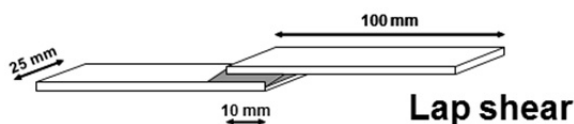
Triboform (Autoform) cards PLT available

2. Total Performance Approach PLT: joining



Resistance Spot Welding:
- No Electrode sticking
- Welding range and tip life time comparable with HDG reference

PLT promotes bonding performance of ZM !

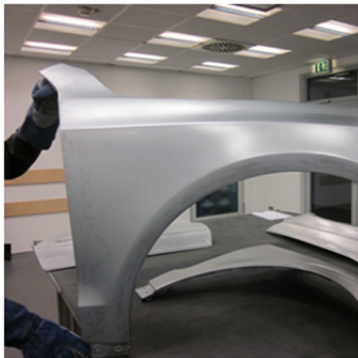


3. Prime Lubrication Treatment vlog

TATA STEEL

<https://www.tatasteeleurope.com/en/markets/automotive/technology/lubrication>

4. Trials: pressing, degreasing, removability, phosphating, painting



**Press & Paint
fenders**



**Press & Paint
Hoods**

bonding / welding



PLT – TATA STEEL, TRIBOLOGIE



ŠKODA
SIMPLY CLEVER



Lubomír Roleček

Technischer Service Presswerk und Karosseriebau, ŠKODA AUTO a.s.

09.05.2018

CONFIDENTIAL

PLT – TATA Steel, Tribologie

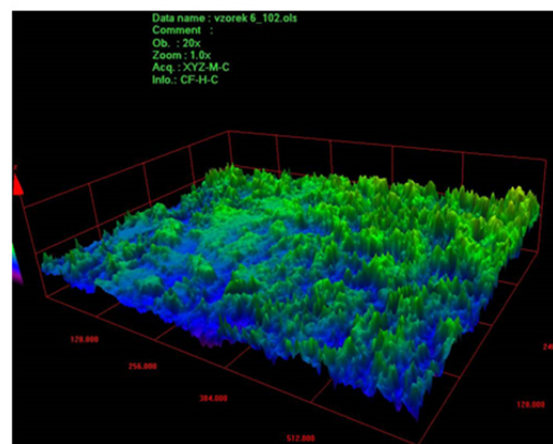
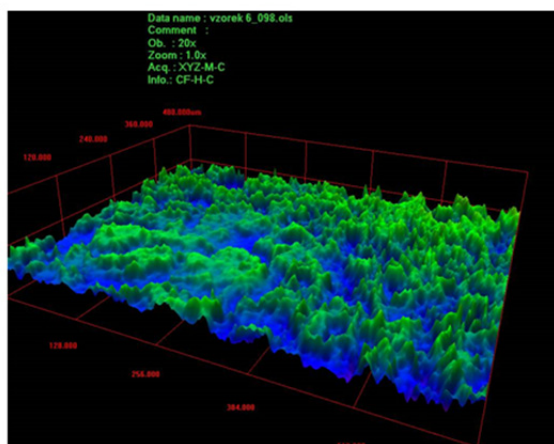
Material vom Versuch im Presswerk Mladá Boleslav am 18.04.2018

22

Oberfläche GI-FF

Kontrollierte Seite, Ra 1,10 µm, Pc 90 1/cm

Nicht kontrollierte Seite, Ra 1,07 µm, Pc 82 1/cm



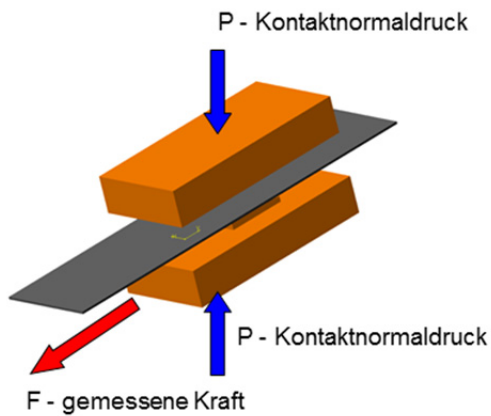
PLT – TATA Steel, Tribologie

Prüfanlage und Methode UNI in Liberec

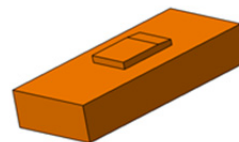


23

Schema und Bild



Backen: EN-GJS-700-2 (GGG70L), gehärtet
Kontaktfläche: 20x20 mm



3 Lubomír Roleček ŠKODA AUTO a.s., 9.5.2018

CONFIDENTIAL



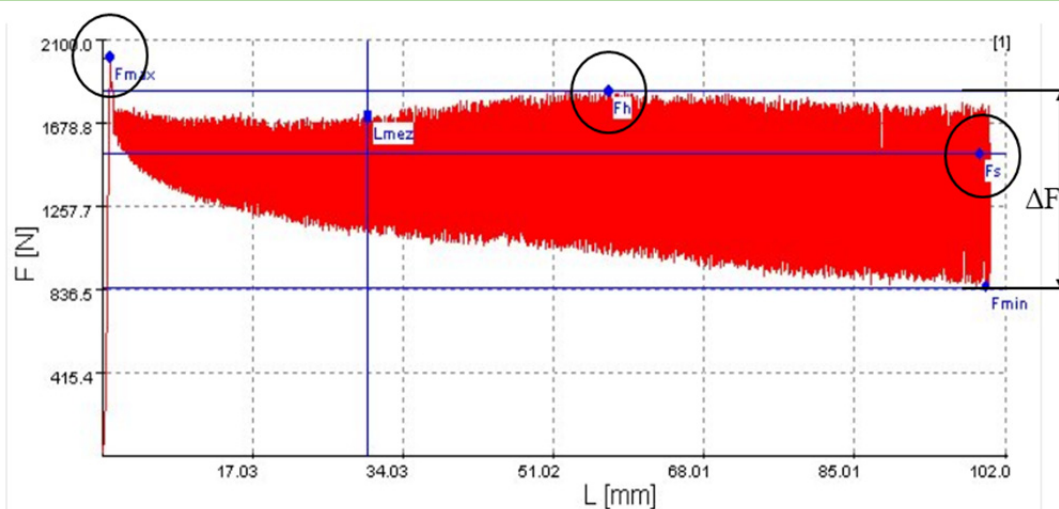
PLT – TATA Steel, Tribologie

Diagramm-Beschreibung



24

Erklärung der Kraft-Aufnahme



F_{max} ... maximale gemessene Kraft auf der Laufstrecke L
 F_h maximale gemessene Kraft auf der Laufstrecke L ohne Startreibung
 ΔF Schwingung der Kraft beim Stick-Slip-Effekt
 μ Reibzahl – berechnet von F_h

4 Lubomír Roleček ŠKODA AUTO a.s., 9.5.2018

CONFIDENTIAL



PLT – TATA Steel, Tribologie

Getestete Substrate

25

Bedingungen der Untersuchung

- **Substrat:** HDG TATA GI-FF beölt im Labor mit Anticorit PL 3803-39LV

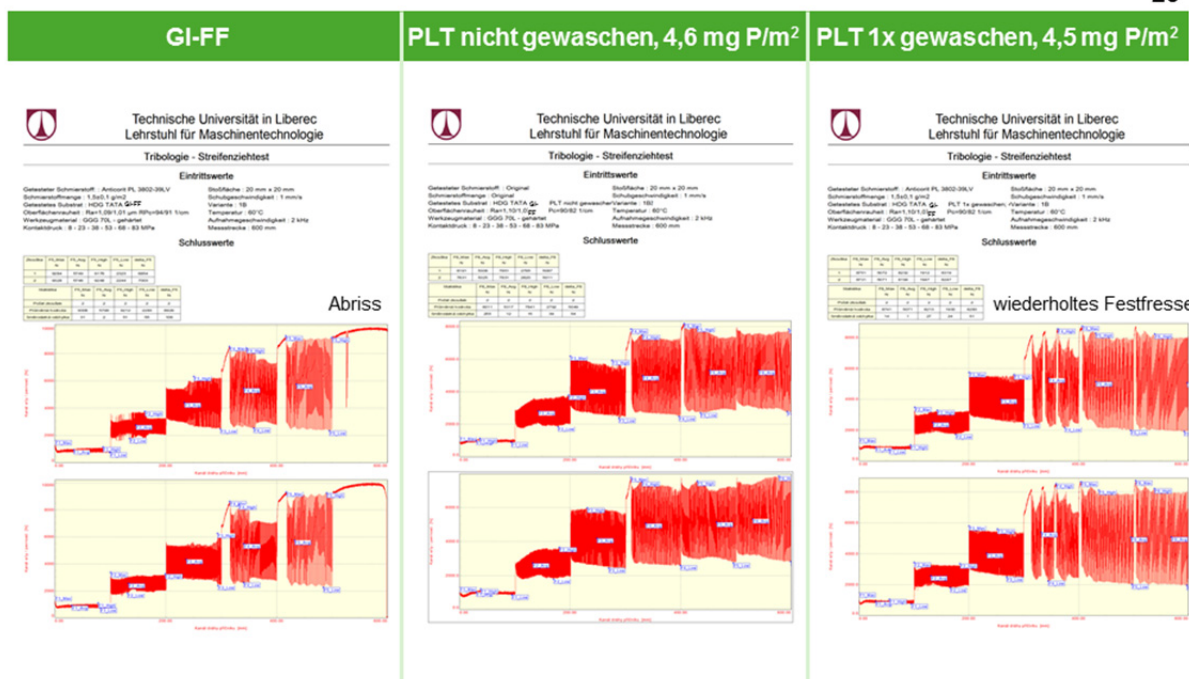
HDG TATA GI-FF PLT ~ 4,6 mg P/m², nicht gewaschen, beölt mit Multidraw PL61 im Stahlwerk

HDG TATA GI-FF PLT ~ 4,5 mg P/m² 1x gewaschen mit Anticorit PL 3803-39LV ,
- **Temperatur:** 60°C
- **Geschwindigkeit:** 1 mm/sec
- **Kontaktnormaldruck:** von 8 MPa bis 83 MPa (in Stufen je 15 MPa)

PLT – TATA Steel, Tribologie

Temperatur 60°C

26

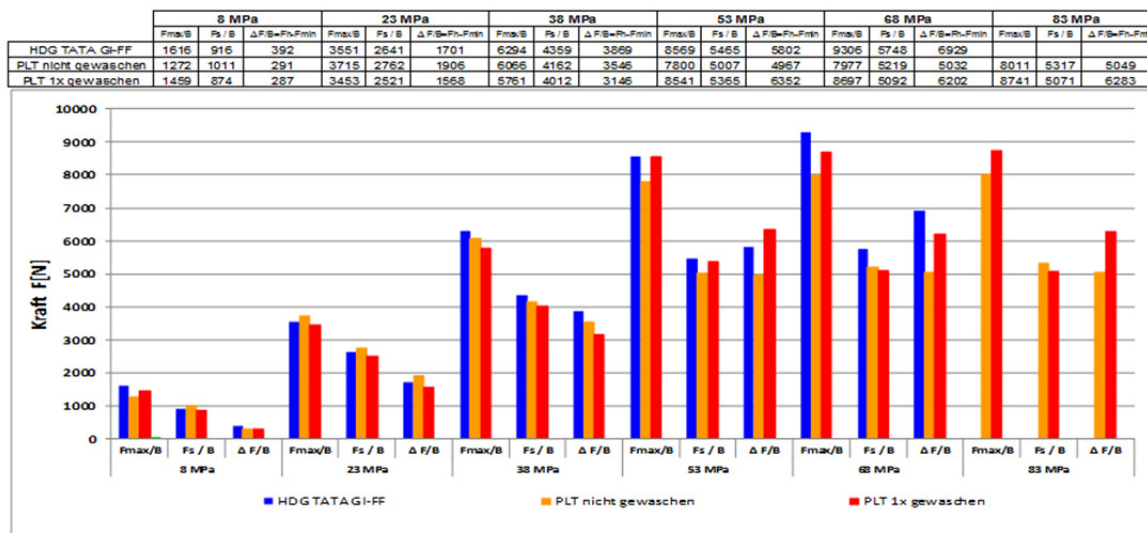


PLT – TATA Steel, Tribologie

Temperatur 60°C

27

Ergebnisse der Untersuchung - Kraft



7 Lubomír Roleček ŠKODA AUTO a.s., 9.5.2018

CONFIDENTIAL

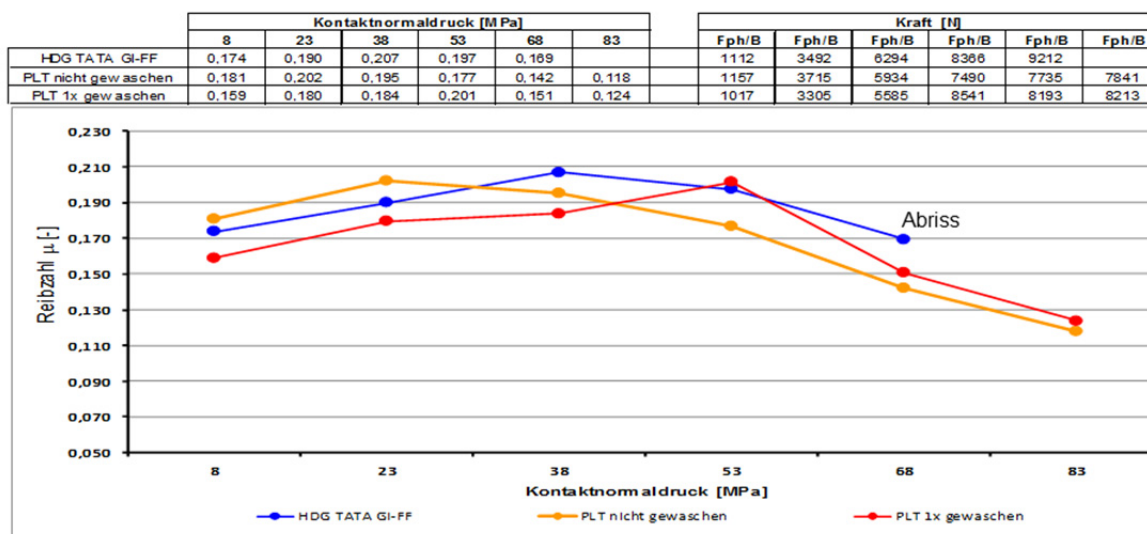


PLT – TATA Steel, Tribologie

Temperatur 60°C

28

Ergebnisse der Untersuchung - Reibzahl



8 Lubomír Roleček ŠKODA AUTO a.s., 9.5.2018

CONFIDENTIAL



PLT – TATA Steel, Tribologie

Zusammenfassung

29

- Das Versuchsmaterial wurde in Liege an der Verzinkungslinie hergestellt und mit PLT beschichtet.
- Die Menge der PLT bei den getesteten Blechen lag im Durchschnitt leicht unter 5 mg P/m².
- Ein Teil des Materials mit PLT wurde im Anlieferzustand geprüft.
- Ein Teil des Materials mit PLT wurde an der Coilanlage mit Anticorit PL 3802-39LV bei etwa 50°C gewaschen.
- Als Standard wurde das Material von TATA Steel MC Oberfläche GI-FF genommen und mit Anticorit PL 3802-39LV beölt.
- Die Untersuchung zeigte:
 - eine niedrigere Reibung bei GI-FF PLT ohne Waschen gegen GI-FF ohne PLT.
 - einen leicht negativen Einfluss des Waschprozesses auf die PLT Schicht.
- Weitere Versuche mit dem Material mit PLT aus der Fertigung in Liege sind vorgesehen.

9 Lubomír Roleček ŠKODA AUTO a.s., 9.5.2018

CONFIDENTIAL



ŠKODA

10. Triboforum

Tata Steel

Slide 30

Conclusions

- Prime Lubrication Treatment is a “booster” lubricant that reduces the amount of tool pollution during pressing of hot-dip galvanized outer panels
- PLT reduces galling sensitivity
- PLT is compatible to all conventional car manufacturing processes, like spotwelding and adhesive bonding, and can be easily removed in the cleaning bath prior to phosphating
- PLT promotes bonding performance of ZM
- PLT reduces stick slip during critical deep drawing operations
- PLT compensates the negative effects on lubricity after migration
- The product allows the car or part manufacturer to save costs and increase productivity while making use of hot-dip galvanized material for the outer panels

Together we make the difference

TATA STEEL

Prelubes, Drylubes & CO

Neue Schmierstoffkonzepte für die Automobilkarosserie

Dr. Achim Losch, Agnes Fundus, Christian Damian
Fuchs Schmierstoffe GmbH

Friesenheimer Str. 19
68169 Mannheim
+49 621 3701 1602
christian.damian@fuchs-schmierstoffe.de

Wegen steigender Anforderungen an den Korrosionsschutz und das Fahrzeuggewicht werden für die automobilen Rohkarosserie Bleche aus verzinktem Stahl und zunehmend auch aus Aluminium eingesetzt. Dies stellt sowohl die Presswerker als auch die Vorbehandler und Lackierer vor neue Herausforderungen.

Anders als bei elektrolytisch verzinkten Blechen wird die Oberflächentextur bei feuerverzinkten Güten in die weichere Zinkschicht eingeprägt. Zudem kommt es wegen des Aluminiumzusatzes zur Ausbildung einer dünnen oberflächlichen Schicht aus Aluminiumoxid. In dieser Hinsicht sind sich die Oberflächen von Feuerzink- und Aluminiumblechen ähnlich.

In Bezug auf die Reibung verhalten sich diese weicheren Oberflächen eher günstig. Sie weisen in den meisten tribologischen Tests niedrigere Reibungszahlen und eine höhere Fresslast auf. Allerdings kommt es vermehrt zu Abrieb und Auftragsverschleiß – dem sogenannten Galling. Beide Effekte stellen insbesondere bei anspruchsvollen Umformprozessen deutliche Nachteile dar.

Moderne Schmierstoffe tragen diesem Umstand Rechnung:

Bei den walzwerkseitig aufgetragenen Ölen, den sogenannten Prelube-Ölen, gibt es eine konsequente Weiterentwicklung auch im Hinblick auf Feuerzink und Aluminium. Ein Beispiel hierfür ist das Forming-Prelube Anticorit PLS 100 T.

Die bereits vor Jahren entwickelten und meistens auf Aluminium eingesetzten Hotmelts wie Anticorit PL 39 SX bieten nochmals zusätzliches Potenzial für Verbesserungen. Beide Klassen – Öle und Hotmelts – sind sowohl für Stahl als auch für Aluminium konzipiert und einsetzbar.

Verzichtet man auf die Eignung für Stahl, bieten sich weitere, erhebliche technologische Vorteile. Neue Trockenschmierstoffe, speziell entwickelt für den Einsatz auf Aluminium, zeigen in Laborversuchen kaum noch Abrieb. Die Reibung wird drastisch reduziert und die Fresslast signifikant erhöht. Trotz ihrer ausgezeichneten Leistungsfähigkeit und ihrer hohen mechanischen Filmstabilität sind die Daten zur Prozessverträglichkeit gut. Sie sind mit normalen Vorbehandlungen leicht entfernbar und zeigen eine gute Kleberhaftung. Wir dürfen gespannt sein, wie sich solche Systeme in der Praxis bewähren.



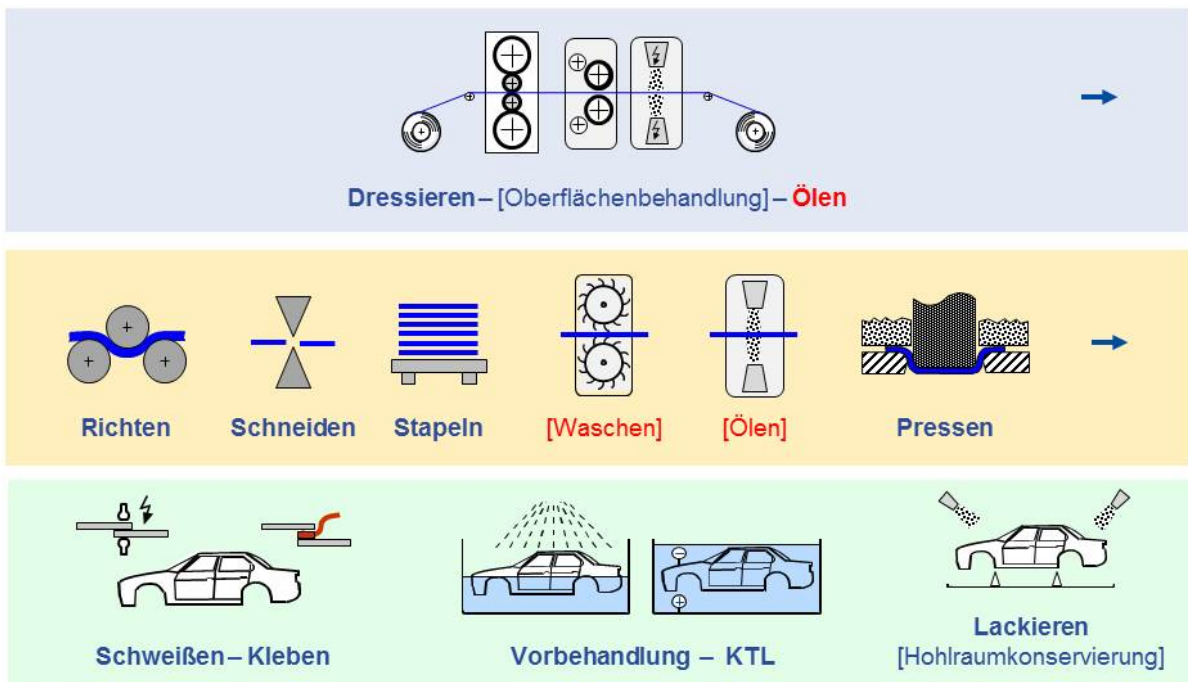
Prelubes, Drylubes & CO

Neue Schmierstoffkonzepte
für die Automobilkarosse

| 07. Juni 2018 | Forum Tribologie Darmstadt
| Dr. Achim Losch, Agnes Fundus, Christian Damian



Gesamtprozess Rohkarosse



Allgemeine Anforderungen

Gestern – heute – morgen

VDA 230-213 (2008):
 Rohkarosenschmierstoffe für
 „beschichtete und unbeschichtete
Aluminium- und Stahlbleche“

- Applikationsfähigkeit
- Korrosionsschutz
- Reibeigenschaften
- Ablaufhemmung
- Klebstoffverträglichkeit
- Entfernbarkeit
- KTL-Verträglichkeit

Neuere Wünsche aus der Praxis

- Abrieb ↓
- Materialübertrag (galling) ↓
- Reibung/Verschleiß (U)HSS ↓
- Filmstabilität ↑
- Reinigungstemperatur ↓
- Arbeits- / Umweltschutz ↑
- ...

I 3

© Fuchs Schmierstoffe GmbH

Schmierstoffe Stahl vs. Aluminium

Was ist gleich? Was ändert sich?

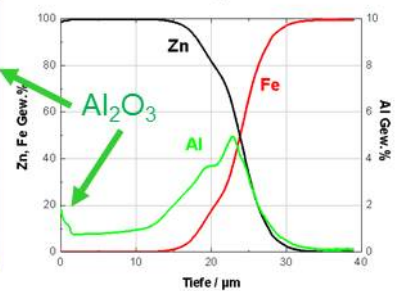
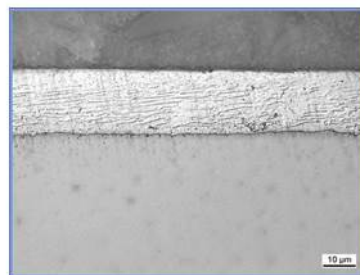
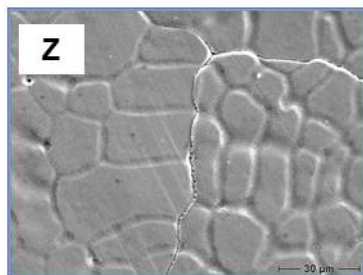
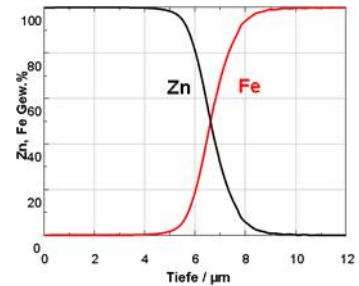
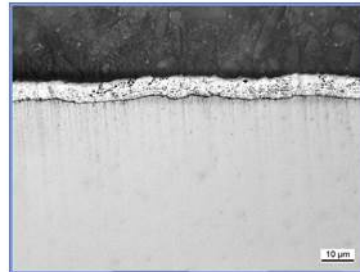
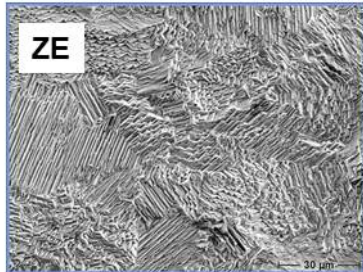
	CRS	ZE	Z	Alu
Oberflächenchemie	Fe Oxide, Hydroxide	Zn Oxide, Hydroxide, Carbonate	Zn Oxide, Hydroxide, Carbonate + Al₂O₃	Al₂O₃
Korrosion Coil	Rotrost	Weißrost	Weißrost	-
Staining Coil	-	Vergrauung	Vergrauung	Staining
Härte ↓ / Galling ↑	sehr hart	weich Textur im Stahl	weich Textur im Zink	weich
Schweißen / Kleben	sehr gut	gut	noch gut	schwierig

I 4

© Fuchs Schmierstoffe GmbH

Oberflächenchemie Metalle

Ähnlichkeiten Feuerzink (Z) ↔ Aluminium



REM

Querschnitt

GOEDS Tiefenprofil

15

© Fuchs Schmierstoffe GmbH

Fotos, Diagramme:
Salzgitter Mannesmann Forschung



Die Schmierstoffkonzepte

Öle

Das konventionelle Schmierstoffkonzept

Was ist das ?

- Klare oder thixotrope (trübe) Öle unterschiedlicher Viskosität
- Korrosionsschutzöle, Prelube-Öle oder Ziehöle

Wofür ?

- Geringe bis mittlere Umformgrade / Festigkeiten
- Durchgängiges System Coil → Waschen → Nachschmierung
- Ausgezeichnet prozessverträglich, da bewährte Produkte
- Gute Entfernsbarkeit trotz niedriger Vorbehandlungstemperatur
- Dominierend bei Stahl

17

© Fuchs Schmierstoffe GmbH

Hotmelts

Stand der Technik für Aluminium

Was ist das ?

- Weichwachs mit 40-50°C Schmelzpunkt, sonst analog Prelube-Öl

Wofür ?

- Mittlere bis höhere Umformgrade / Festigkeiten
- Stabiler Film ohne Inselbildung, kein Auslaufen aus Coil
- In der Regel als Ein-Schmierstoff-System, ohne Waschen/Nachölen
- Gut prozessverträglich bei normaler Vorbehandlungstemperatur
- Auch für Stahl einsetzbar

18

© Fuchs Schmierstoffe GmbH

Trockenschmierstoffe

Spezialisten (nur) für Aluminium

Was ist das ?

- Hartwachs oder Seife mit hohem Schmelzpunkt auf wässriger Basis

Wofür ?

- Höhere Umformgrade / Festigkeiten
- Stabiler Film ohne Inselbildung, kein Auslaufen aus Coil
- Häufig als Ein-Schmierstoff-System
- Prozessverträglich mit abgestimmter Vorbehandlung
- In der Regel nur für Aluminium

I 9

© Fuchs Schmierstoffe GmbH

Hybride

Das beste aus zwei Welten ?

Was ist das ?

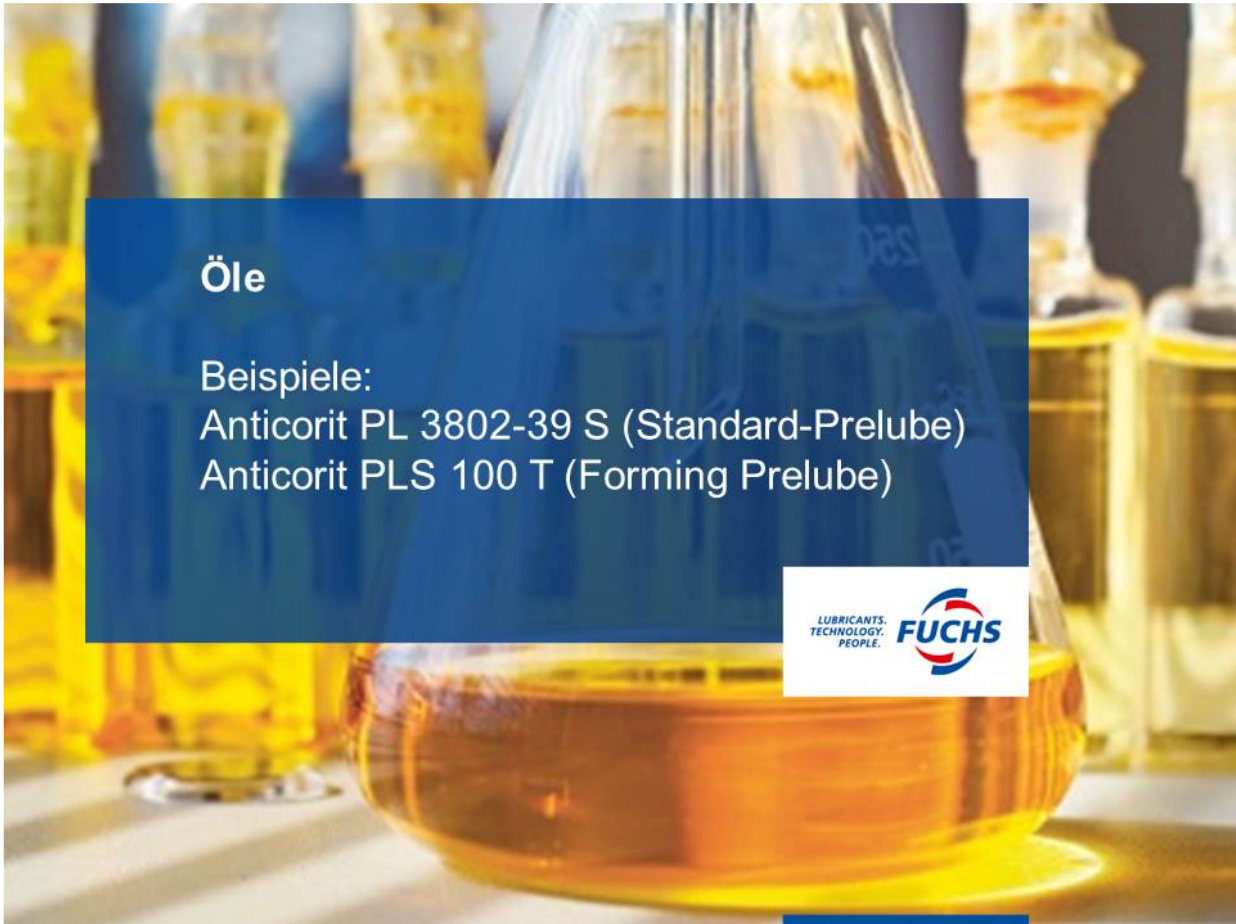
- Separate Hybridprodukte oder Kombinationen von Einzelprodukten
- Zur Direktapplikation oder wasserverdünnt

Wofür ?

- Zur Verbesserung der reinen Systeme mit unterschiedlichen Zielen
- (Noch) höhere Umformgrade / Festigkeiten
- (Noch) mechanisch stabilerer Film
- (Noch) bessere Applikation
- Prozessverträglichkeit und –eignung analog Einzelprodukte

I 10

© Fuchs Schmierstoffe GmbH



Öle

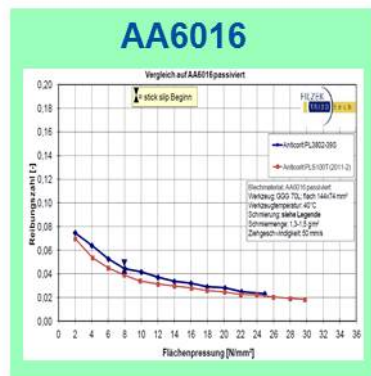
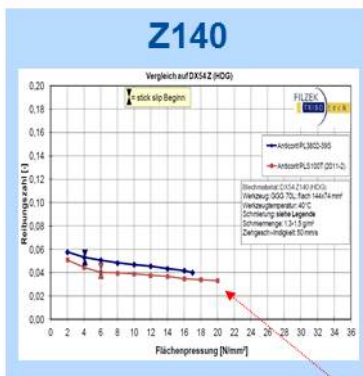
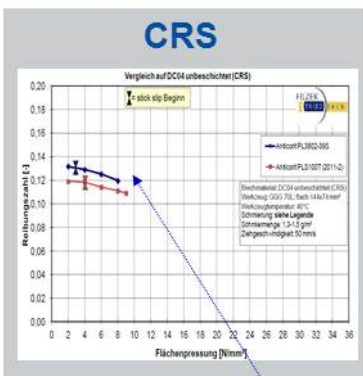
Beispiele:
 Anticorit PL 3802-39 S (Standard-Prelube)
 Anticorit PLS 100 T (Forming Prelube)



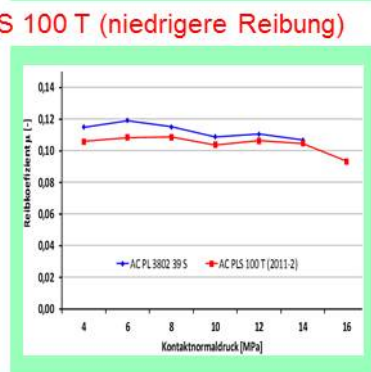
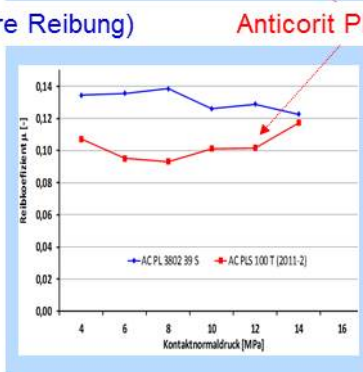
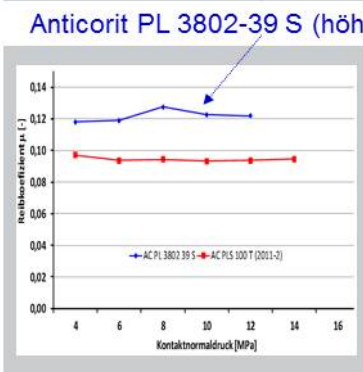
Reibung: Streifenziehversuche Flachbahn



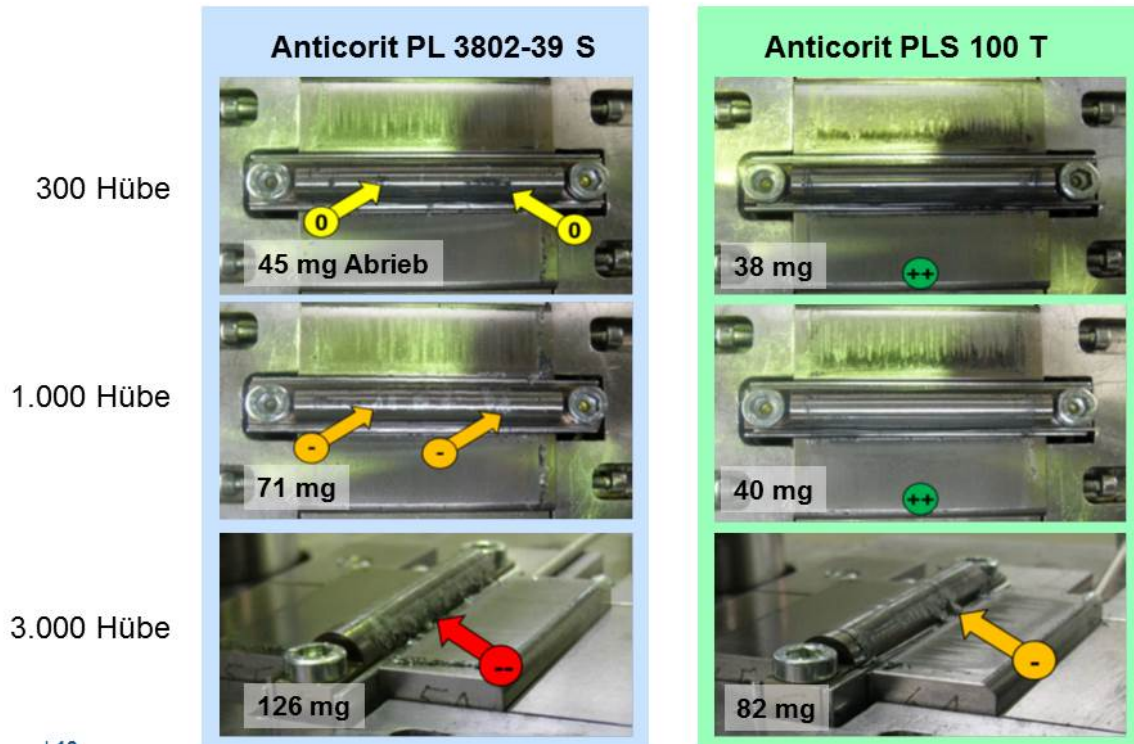
↓
 PtU Darmstadt 50 mm/s
 ↓



↓
 TU Liberec 1 mm/s
 ↓



Abrieb: Ziehsickenversuche auf Z100



I 13

© Fuchs Schmierstoffe GmbH

Erkenntnisse

Öle

- Anticorit PLS 100 T deutlich besser als Standard
- Höhere Fresslast und geringere Reibung auf allen Blechsorten
- Weniger Abrieb auf Z

Blechsorten

- Höhere Fresslast und geringere Reibung CRS → Z → Alu
- Weichere Substrate ebenen unter Druck stärker ein

Reibung / Abrieb

- Streifenziehversuch in Deutschland weitgehend anerkannt
- In anderen Regionen weniger verbreitet
- Abrieb immer wichtiger, besonders auf weichen Oberflächen (Z, Alu)

I 14

© Fuchs Schmierstoffe GmbH

Aluminium-Trockenschmierstoffe

Beispiel:

Pickup Truck Aluminiumkarosse

Anticorit PLX 60H (Hartwachs)

Anticorit PLX 65F (Weichwachs)



Prozess

Aluminium AA5182

- 1 – 3 mm, mill finish
- Mittlere bis schwere Umformung

Anticorit PLX 60 H

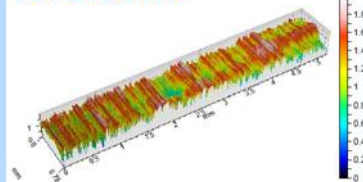
- Hartwachs Smp ~ 100°C
- Wässrige Dispersion

Anticorit PLX 65 F

- Weichwachs Smp ~ 50°C
- Wässrige Dispersion oder Direktapplikation



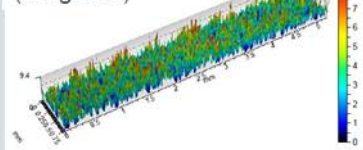
AA 5182 MF



$R_a = 0.25 \mu\text{m}$



AA 6016 EDT
(Vergleich)

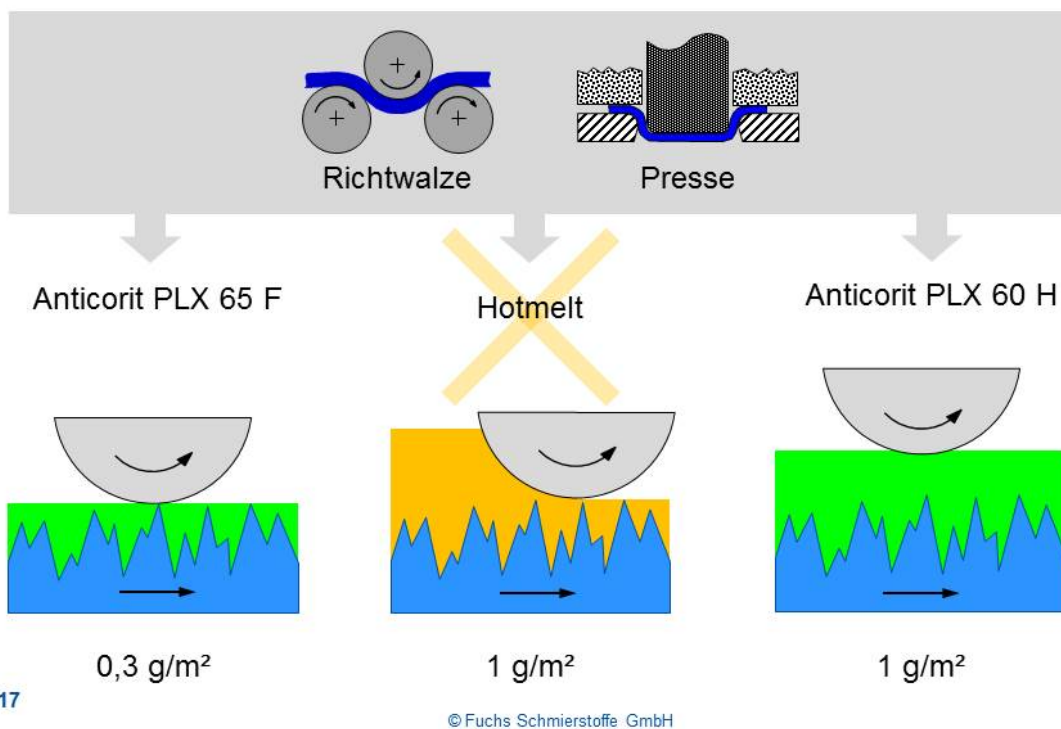


$R_a = 0.99 \mu\text{m}$



Hotmelt: Aufbau auf Walzen / im Werkzeug

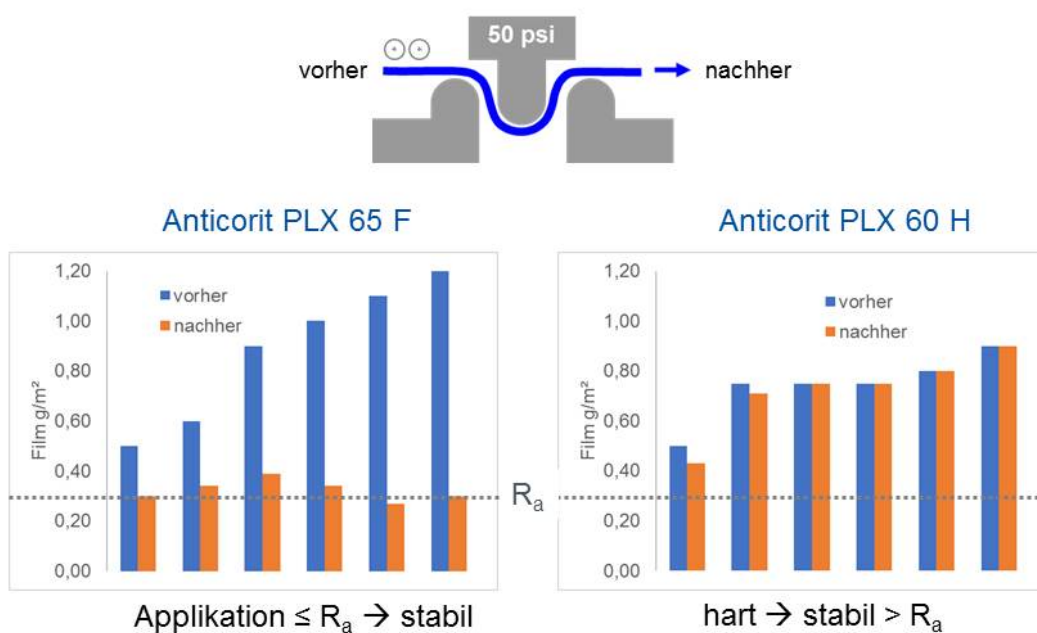
Lösung: ultra-dünn oder ultra-hart



I 17

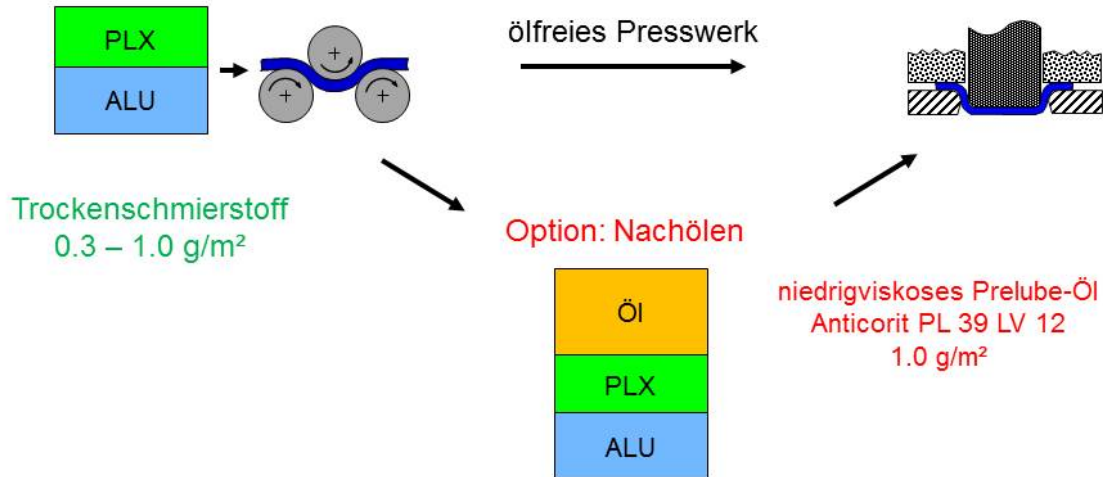
Abstreifen Trockenschmierstoff

Simulation durch Ziehsickenversuch



I 18

Option: Nachölen



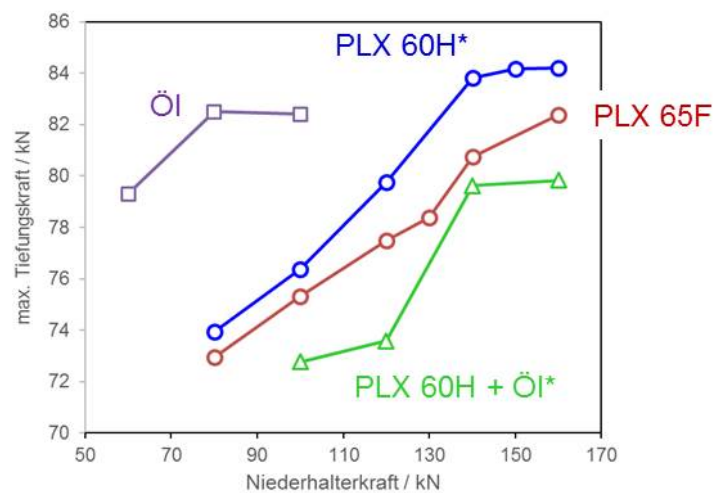
I 19

© Fuchs Schmierstoffe GmbH

Reibung: Napfziehversuch



AA 5182 (1,5 mm / mill finish)
 $\beta = 1,9$
 $\varnothing = 50 \text{ mm}$
 $v = 10 \text{ mm/s}$
 PLX = 0,5 g/m²
 Öl = 1,0 g/m² (Anticorit PL39LV12)



* kein Abrieb

I 20

© Fuchs Schmierstoffe GmbH

Erkenntnisse Pickup Truck

Aluminiumbleche

- Pickup-Karosse umformtechnisch schwerer als PKW-Türen/Klappen
- Mill-finish, hohe Blechdicken, Alu 5000er als Herausforderung

Trockenschmierstoff Hartwachs

- sehr hohe mechanische Festigkeit
- höhere Leistung als Öle oder Hotmelt, kein Abrieb
- in Verbindung mit Öl bestes Ergebnis
- abwaschbar und klebstoff-verträglich

Trockenschmierstoff Weichwachs

- wirksam trotz sehr geringer Schichtdicke
- gute Prozessverträglichkeit
- wassergemischt oder unverdünnt einsetzbar

I 21

© Fuchs Schmierstoffe GmbH



Streifenziehversuch

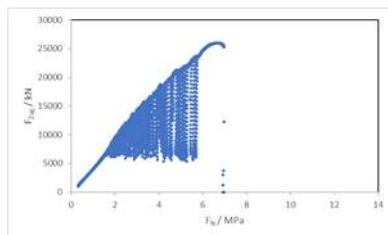


- AA6016 EDT
- Ziehgeschwindigkeit 10 mm/s
- Rampe 0,2 MPa / s
- Werkzeug 144mm x 74mm

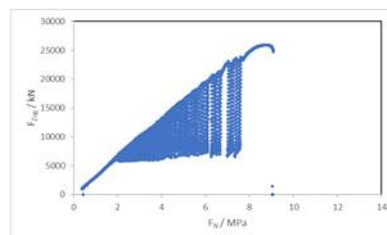
I 23

© Fuchs Schmierstoffe GmbH

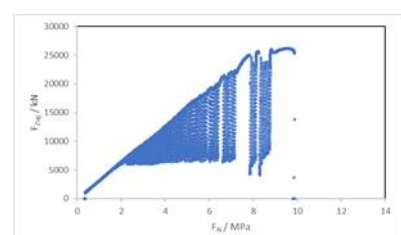
Streifenziehversuch Einzelergebnisse



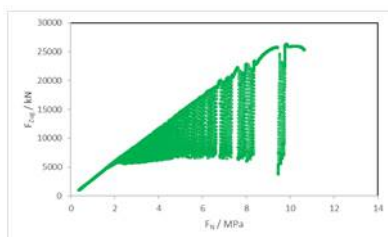
Anticorit RP 4107 LV



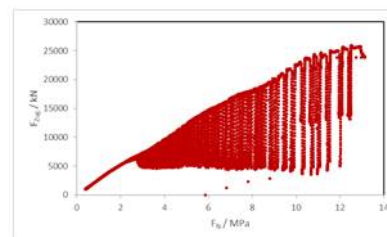
Anticorit PL 3802-39 S



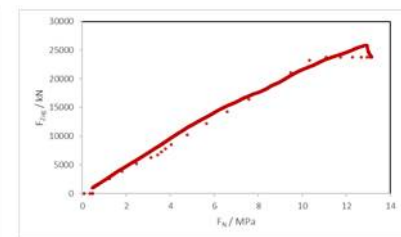
Anticorit PLS 100 T



Anticorit PL 39 SX



Anticorit PLX 65 F



Anticorit PLX 60 H

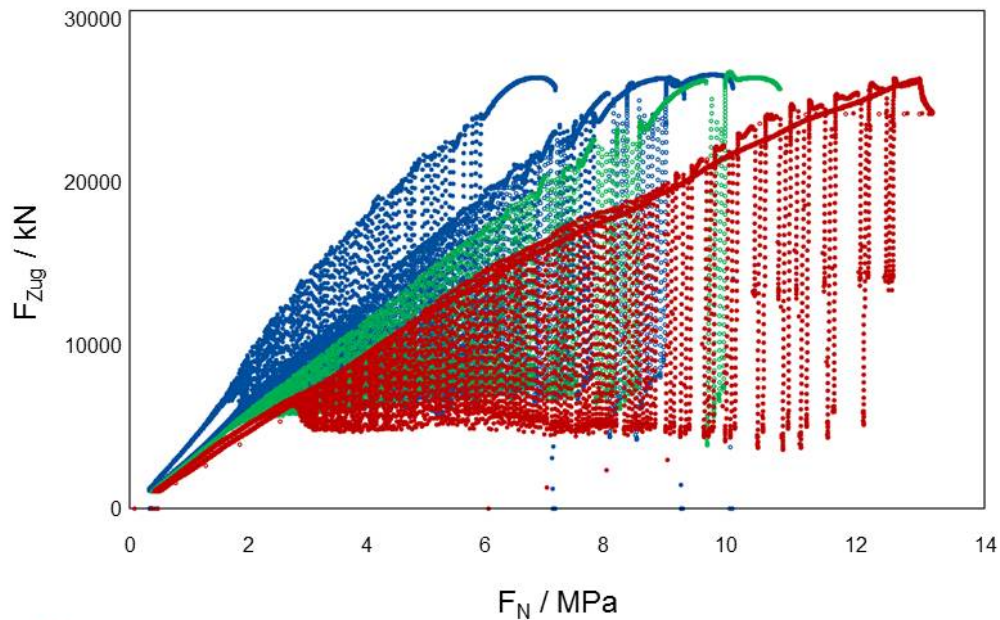
I 24

© Fuchs Schmierstoffe GmbH

Ergebnisse überlagert



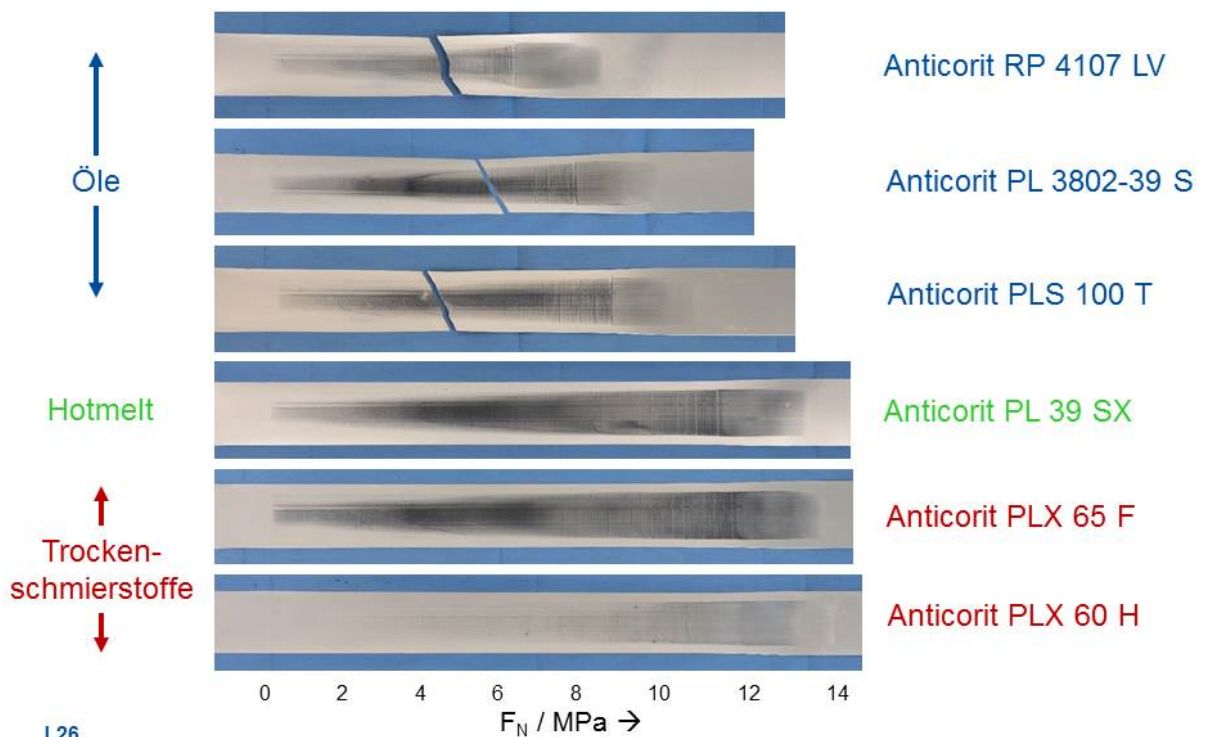
Öle → Hotmelt → Trockenschmierstoffe



I 25

© Fuchs Schmierstoffe GmbH

Ergebnisse visuell



I 26

© Fuchs Schmierstoffe GmbH

Erkenntnisse

Verbesserung Reibung / Fresslast (Reihenfolge)

1. Korrosionsschutzöl
2. Prelube Standard
3. Forming Prelube
4. Hotmelt
5. Trockenschmierstoff Weichwachs
6. Trockenschmierstoff Hartwachs

127

© Fuchs Schmierstoffe GmbH



bewährte und neue
Schmierstoffkonzepte für Aluminium

Fazit

bewährte und neue Schmierstoffkonzepte



Blechsorten

- zunehmende Herausforderungen von harten zu weichen Oberflächen
CRS → ZE → Z (ZM) → Alu
- große Bandbreite bei Blechdicken, Texturen, Beschichtungen

Schmierstoffe heute

- Öle für moderate Anforderungen mit ausgezeichneter Verträglichkeit
- Hotmelts für Stahl und Aluminium als Stand der Technik
- höhere Vorbehandlungstemperaturen mit steigendem Hotmelt-Einsatz

Neue Trockenschmierstoffe für Aluminium

- Verzicht auf Eignung für Stahl ermöglicht deutliche Verbesserungen
- optimale Senkung von Reibung, Verschleiß, Abrieb
- gut prozessverträglich



Verschleißdetektion durch Messung von thermoelektrischem Strom und elektrischem Widerstand im Streifenziehversuch

Yutian Wu

Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU),
Technische Universität Darmstadt

Otto-Berndt-Straße 2
64287 Darmstadt, Deutschland
+49 6151-16-23314
wu@ptu.tu-darmstadt.de

Die steigende Nachfrage nach hoch- und höchstfesten Stählen in der Metallumformung führt zu neuen Herausforderungen für die Entwicklung tribologischer Prozesse. Beispielweise neigt der Ölfilm des tribologischen Systems zum frühzeitigen Versagen, wenn hoch- und höchstfesten Stähle eingesetzt werden. Auch eine beschleunigte Verschleißentwicklung führt zu schlagartigen Ausfällen von Umformwerkzeugen wie zum Beispiel Werkzeuge für das Tief- und Streckziehen, die von hoher wirtschaftlicher Relevanz sind. Um die Bedingungen für den Werkzeugausfall besser zu verstehen, ist es erforderlich, ein Messsystem zur Verschleißdetektion zu entwickeln, das durch eine hohe Auflösung und Empfindlichkeit charakterisiert wird. Ein vielversprechendes Konzept zur Realisierung eines solchen Systems ist die Messung des elektrischen Widerstandes und des thermoelektrischen Stromes zwischen Grund- und Gegenkörper.

In diesem Vortrag wird ein Messsystem präsentiert, das die Bestimmung des elektrischen Widerstandes und des thermoelektrischen Stromes zwischen zwei Werkzeugen und dem Blech ermöglicht. Ein anwendungsorientierter Streifenziehversuch, der an reale Prozesse der Blechumformung angelehnt ist wird als Modellversuch eingesetzt. Das Verschleißverhalten unterschiedlicher tribologischer Systeme wird getestet, bis der Ausfall der Werkzeuge auftritt. Während dieser Testläufe werden die Entwicklung des elektrischen Widerstandes und des thermoelektrischen Stromes sowie die Oberflächenrauheit des Blechs aufgezeichnet.

Durch die Analyse der Änderung charakteristischer Messwerte während der gesamten Versuchsreihe kann auftretender Verschleiß detektiert werden. Mittels Abgleich mit etablierten Methoden wie Oberflächenanalysen des Bleches erfolgt die Bewertung der Messmethode. Die Ergebnisse zeigen, dass der Werkzeugverschleiß durch die Messung des elektrischen Widerstandes und des thermoelektrischen Stromes zwischen den Umformwerkzeugen und dem Blech höhere Empfindlichkeit und Präzision verglichen mit klassischen Messmethoden aufweisen.



10. Forum Tribologische Entwicklungen in der Blechumformung



Verschleißdetektion durch Messung von
thermoelektrischem Strom und elektrischem
Widerstand im Streifenziehversuch

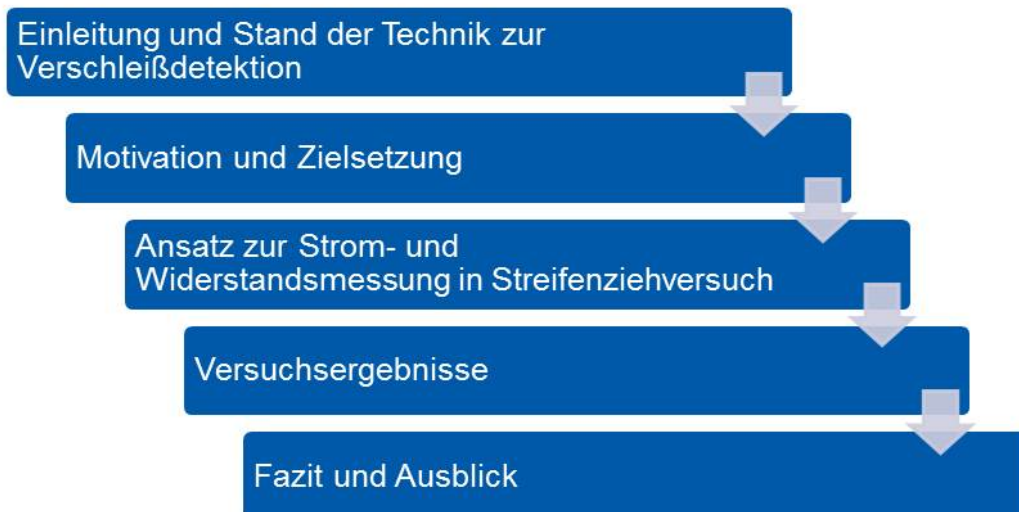


Yutian Wu, M. Sc.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Tribologie
Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU)
Technische Universität Darmstadt

23. Mai 2018 | Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen | 1



Agenda

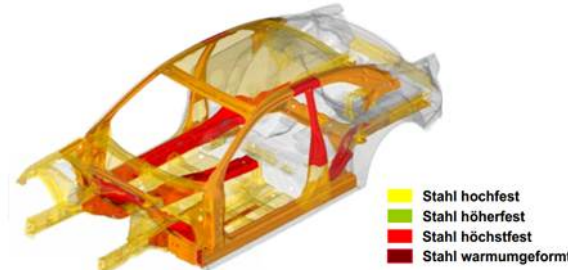


23. Mai 2018 | Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen | 2



Einleitung

- Zunehmender Einsatz von hoch- und höchstfesten Stählen und weitere Leichtbauwerkstoffe in der Blechumformung
 - hohe tribologische Beanspruchung beim Karosserieteilziehen



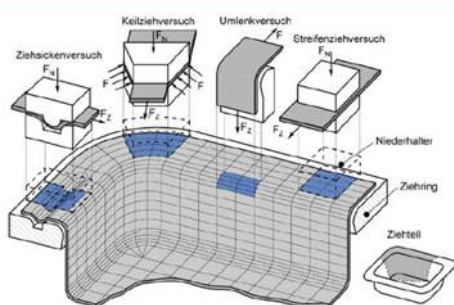
Einsatz von höher- und höchstfesten Stählen im Automobilbau [Audi]

- Folge: frühzeitiger Ausfall des Werkzeugs
- Wünschenswert:
 - das Verschleißverhalten der Werkzeuge in einem tribologischen System zu verstehen
 - den starken Verschleiß (Ausfall) der Werkzeuge frühzeitig zu erkennen

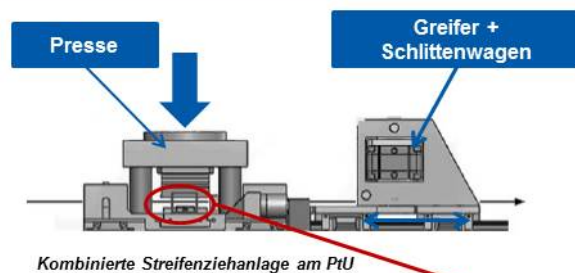
Optimierung des Prozesses zur Verschleißdetektion erforderlich

Stand der Technik Modellversuch zur Verschleißdetektion

Streifenziehversuch: Modellierung der Reibzustände in der Blechumformung



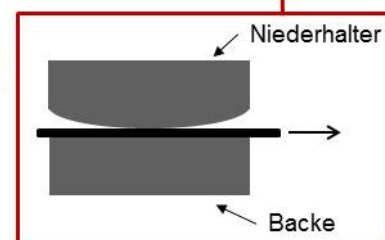
Die Reibzonen beim Tiefziehen und die Varianten des Streifenziehversuchs [Net95]



Kombinierte Streifenziehanlage am PtU

Prüfstand am PtU: kombinierte Streifenziehanlage

- Normalkraft der hydraulischen Presse: max. 150kN
- diskontinuierlich
 - 100mm/Hub, $v_{max} = 100\text{mm/s}$
- Zylinder-Ebene-Versuch: Modellierung der Beanspruchungen zwischen Niederhalter und Ziehling



Zylinder-Ebene-Verschleißversuch

Stand der Technik

Aktuelle Methodik zur Verschleißdetektion



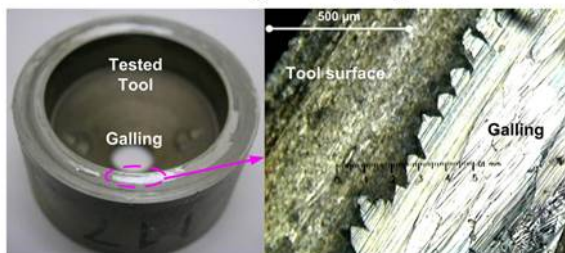
Klassische Messmethode: direkte Messung der Werkzeugoberfläche

Visuelle Beurteilung – direkte Beobachtung der Verschleißmarke

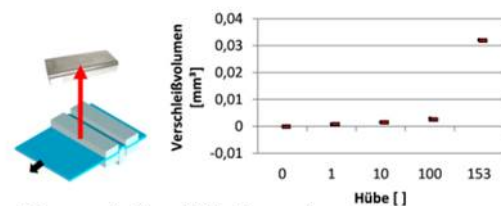
- Abhängigkeit von der Erfahrung des Prüfers
- Nur qualitativ, nicht quantifizierbar

Messung der Verschleißvolumina der Werkzeuge durch Weißlichtmikroskop

- Messung nach bestimmtem Intervall
- Mangelhafte Effektivität
- Inline Monitoring nicht möglich



Adhäsiiver Verschleiß auf Umformwerkzeuge [Kim08]



Messung des Verschleißvolumens im Ziehstickenversuch [Chr13]

Eine zeitnahe Verschleißdetektion ist nicht möglich

Stand der Technik

Aktuelle Methodik zur Verschleißdetektion



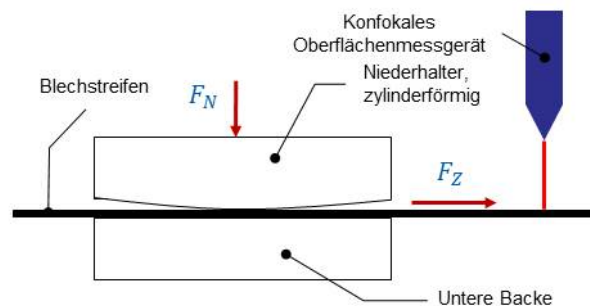
Indirekte Messung: Messung Oberflächenrauheit der Bauteile

Industrielle Betrachtung

- Langsame Messung wegen der feinen Auflösung des Konfokalmikroskops im Vergleich zur Taktzeit der Fertigung → Nur Offline Messung möglich, keine Echtzeitinformationen

Modellversuch

- Unterbrechung zur Oberflächenmessung → Beeinflussung des tribologischen Systems
- Linienförmige Messstrecke → kleine Messfläche
- Online eine Messung pro Hub möglich



Messung Oberflächenrauheit des Bleches zur Verschleißdetektion

Kleine Messfläche → Viele Informationen fehlen

Motivation

Gibt es eine Messmethode, die ...

- eine sehr hohe Auflösung besitzt und eine größere Messfläche erfassen kann
- den Oberflächenzustand der Kontaktzone zwischen Blech und Werkzeug direkt erfassen kann
- als inline Messung möglich ist
- eine Verschleißdetektion in Echtzeit ermöglicht

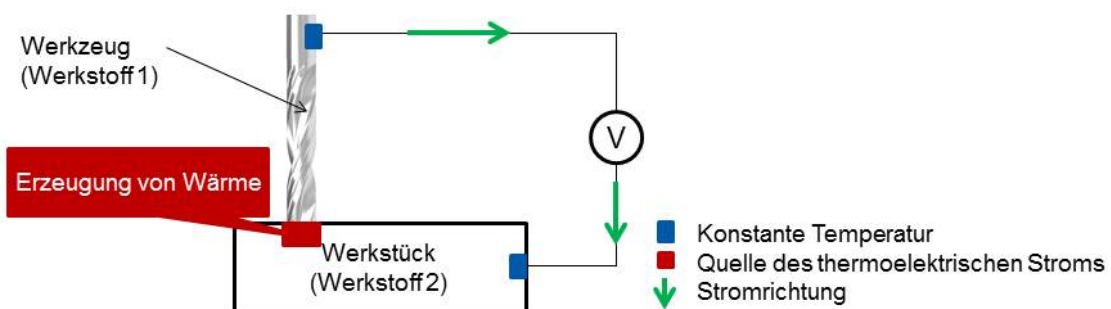
Mögliche Ansätze

- Messung des elektrischen Widerstands zur Verschleißdetektion [Hir65]
- Messung des thermoelektrischen Stroms [Fil88]

Prinzip der Messmethode

Messung des thermoelektrischen Stroms

Messung des thermoelektrischen Stroms in einer Bohrung [Fil88]

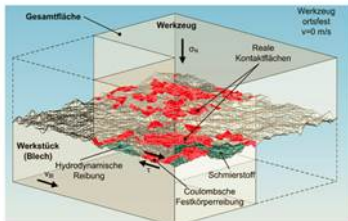


Voraussetzung: zwei unterschiedliche Materialien
Vorgehensweise:
Auftreten des Verschleißes
Erzeugung von Wärme
Potentialänderung entsprechend des Seebeck-Effekts
Erzeugung eines thermoelektrischen Stroms
Die Richtung des Stroms ist abhängig von den Werkstoffen [Trö17]

Prinzip der Messmethode

Messung des thermoelektrischen Stroms

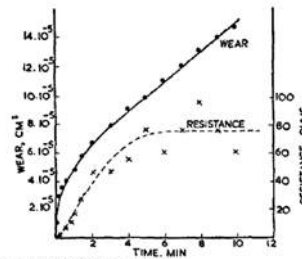
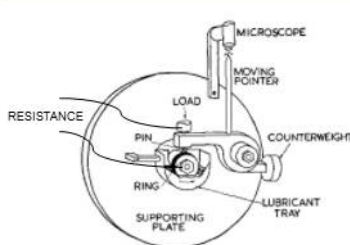
Wahre Kontaktfläche eines tribologischen Systems



Wahre Kontaktfläche

- Die technische Oberfläche ist nie ideal glatt
- Die wahre Kontaktfläche ist viel kleiner als die Gesamfläche
- Annahme: der elektrische Widerstand verändert sich infolge der Veränderung der wahren Kontaktfläche nach dem Auftreten vom Verschleiß

Einsatz von Hirst im Pin-on-disc Tribometer [Hir65]



Messung elektrischer Widerstand in Pin-on-disc Tribometer [Hir65]

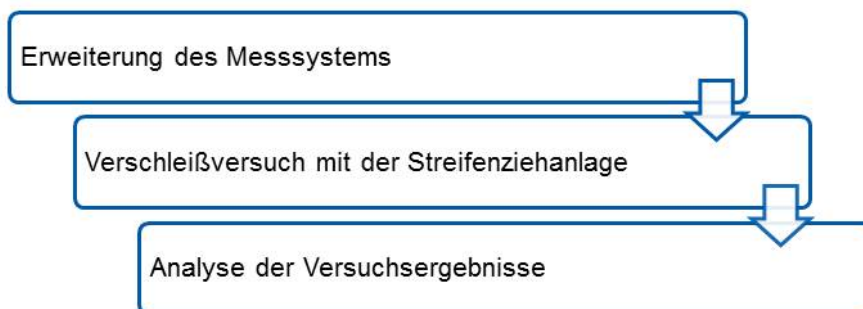
23. Mai 2018 | Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen | 9

Zielsetzung und Vorgehensweise

Ziel der Forschung

- Umsetzung der Methode zur Verschleißdetektion durch Messung des triboelektrischen Stroms und elektrischen Widerstands im Streifenziehversuch
- Untersuchung des Zusammenhangs zwischen triboelektrischem Strom sowie elektrischem Widerstand und Verschleiß.

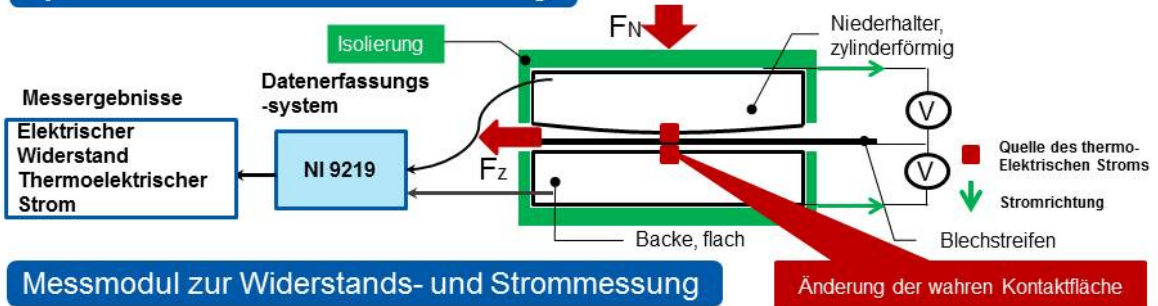
Vorgehensweise



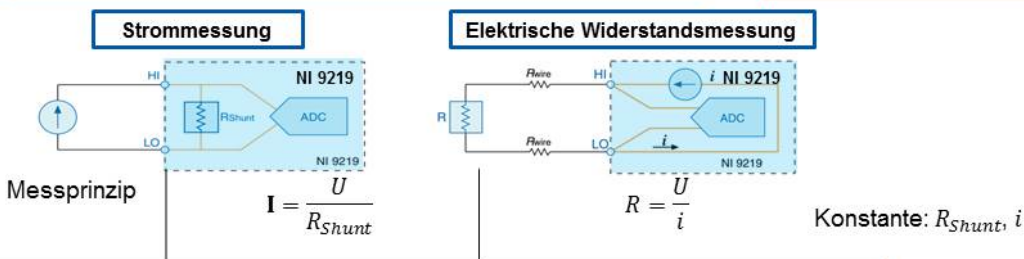
23. Mai 2018 | Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen | 10

Experimenteller Ansatz

Zylinder-Ebene-Versuch mit Isolierung



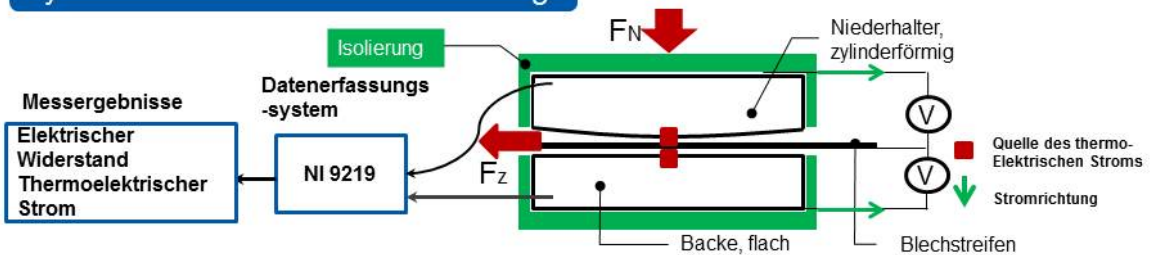
Messmodul zur Widerstands- und Strommessung



Gemessen: Spannung; Berechnet: Strom I und Widerstand R

Versuchsplan

Zylinder-Ebene-Versuch mit Isolierung



Randbedingungen	
Schmierstoff	PL61 (2 g/m ²)
Zuggeschwindigkeit	100 mm/s
Normalkraft	10 kN

	Material	
	Werkzeug	Blech
Versuch A	Kaltarbeitsstahl 1.2379	H630LA
Versuch B	Grauguss EN-GJL-250	H630LA

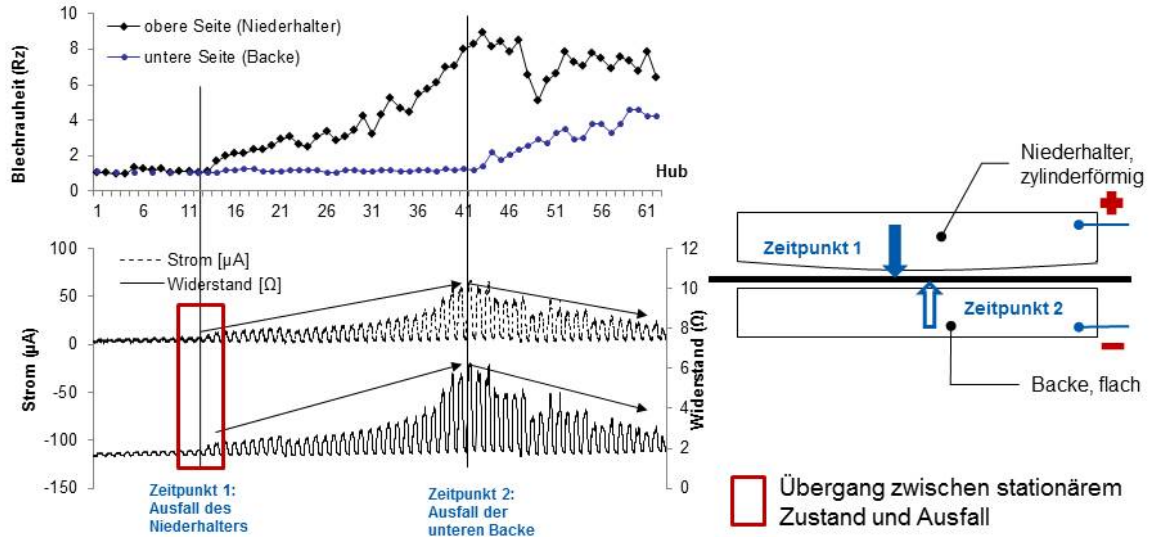
Blechwerkstoff H630LA: Mikrolegierter Stahl mit hoher Adhäsionsneigung
→ ideal zum Test des Messsystems

Versuchsergebnisse

Versuch A (Versuchswerkzeug: 1.2379)



- Kabelwiderstand: 1,6 Ω



Thermoelektrischer Strom entsteht nach dem Auftreten des Werkzeugausfalls
 Der elektrische Widerstand und thermoelektrische Strom zeigen hohe Korrelation
 Der wahre elektrische Widerstand verändert sich kaum

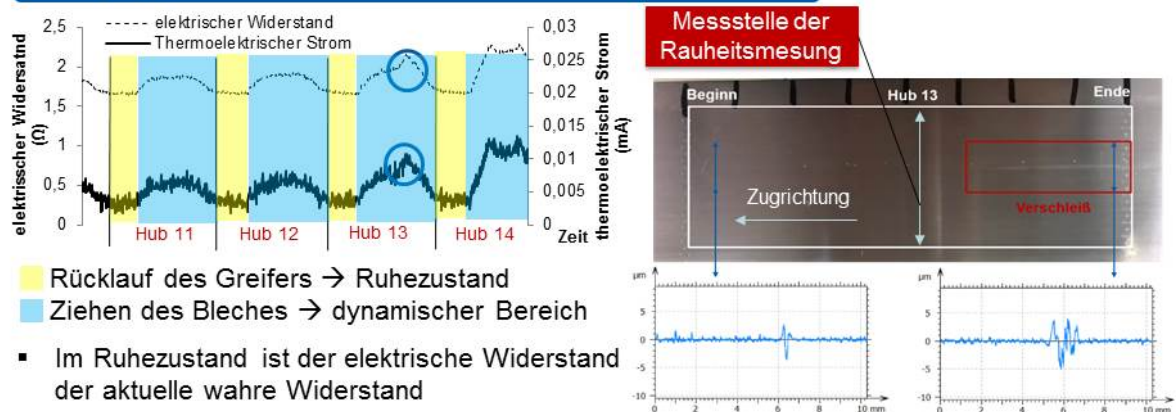


Versuchsergebnisse

Diskussion der Ergebnisse: Versuch A



Übergang zwischen stationärem Zustand und Verschleiß



- Rücklauf des Greifers → Ruhezustand
- Ziehen des Bleches → dynamischer Bereich
- Im Ruhezustand ist der elektrische Widerstand der aktuelle wahre Widerstand

▪ Infolge der Auflösung von Rauheitsmessung (1 Linie pro Hub) wird der Verschleiß erst später detektierbar

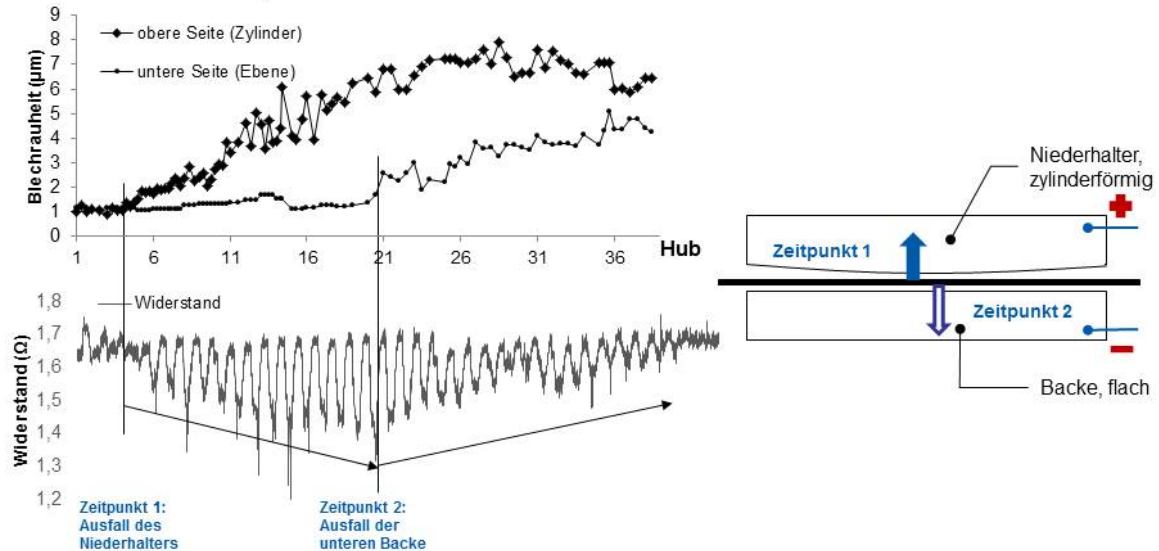
- Höhere Empfindlichkeit und Genauigkeit bei Strom- und Widerstandsmessung
- Der wahre elektrische Widerstand verändert sich kaum nach dem Auftreten des Verschleißes



Versuchsergebnisse

Versuch B (Versuchswerkzeug: Grauguss)

- Kabelwiderstand: $1,6 \Omega$



Unterschiedliche Evolution des Widerstands im Vergleich zum Versuch A

Versuchsergebnisse

Diskussion der Ergebnisse

Thermoelektrischer Strom entsteht nach dem Auftreten des Verschleißes

Versuch A (Werkzeugwerkstoff: Kaltarbeitsstahl)

- Zeitpunkt 1: Zunahme des Stroms und Widerstands
- Zeitpunkt 2: Abnahme des Stroms und Widerstands

Versuch B (Werkzeugwerkstoff: Grauguss)

- Zeitpunkt 1: Abnahme des Stroms und Widerstands
- Zeitpunkt 2: Zunahme des Stroms und Widerstands

Unterschiedlicher Werkzeugwerkstoff führt zur unterschiedlichen Polung des Stroms und Widerstands

Der elektrische Widerstand im Ruhezustand...

... verändert sich kaum.

Die Veränderung der wahren Kontaktfläche nach dem Auftreten des Verschleißes verändert den elektrischen Widerstand kaum.

Fazit und Ausblick



Fazit

- Durch Messung von elektrischem Widerstand und thermoelektrischem Strom ist Werkzeugverschleiß erkennbar
 - mit höherer Empfindlichkeit und Genauigkeit
- Die Verläufe von elektrischem Widerstand und thermoelektrischem Strom zeigen eine hohe Korrelation.
 - Die Potentialänderung spielt eine Rolle.
- Der Werkzeugwerkstoff bestimmt die Polung des elektrischen Widerstands und thermoelektrischen Stroms.
- Der wahre elektrische Widerstand verändert sich kaum.

Ausblick

- Kriterien der Grenzwerte des Verschleißes definieren
- Implementierung im realen Umformprozess



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Literaturverzeichnis



- [Chr13] Christiany, M.; Groche, P.: Qualifizierung neuer Tribosysteme für die Kaltumformung höchstfester Stahlbleche, Schlussbericht Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. (EFB); 2013.
- [Fil88] Fildes, John M.; Krueger, Robert H.: Cutting tool wear monitor, Google Patents; 1988.
- [Hir65] Hirst, W.; Lancaster, J.: Surface Film Formation and Metallic Wear; S. 1057–1065; 1956
- [Kim08] Kim, Hyunok, et al.: Investigation of galling in forming galvanized advanced high strength steels (AHSSs) using the twist compression test (TCT), Journal of Materials Processing Technology. 205; 2008.
- [Net95] Netsch, T.: Methode zur Ermittlung von Reibmodellen für die Blechumformung; Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 1995
- [Trö17] Tröber, Philipp, et al.: On the correlation between thermoelectricity and adhesive tool wear during blanking of aluminum sheets, International Journal of Machine Tools and Manufacture. 118-119; 2017.

Kriterien zur Bewertung von Pretex[®]-Strukturen

Georg Stüdlein
Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH

Eisenhüttenstraße 99
38239 Salzgitter
Germany
Telefon: +49 5341 21-2055
E-Mail: g.stuedlein@sz.szmf.de
www.szmf.de

Vor allem der Automobilbau stellt stetig höhere Anforderungen an die Werkstoffe. Neben der Entwicklung von immer höherfesten Stahlgütern, sollen sich diese aber immer noch gut umformen lassen. Dabei ist gerade die Tribologie von entscheidender Bedeutung, um komplexe Bauteile prozesssicher und in großen Stückzahlen herstellen zu können.

Wie bereits Untersuchungen in der Vergangenheit gezeigt haben, lässt sich durch die Texturierung der Blechoberfläche der tribologische Anteil am Umformverhalten beeinflussen. Ein besonders vorteilhaftes Reibverhalten zeigte dabei die sog. Pretex[®]-Struktur [1].

In diesem Vortrag wird zunächst das allgemeine Anforderungsprofil einer Oberflächentextur hinsichtlich Lackerscheinung und Tribologie aufgezeigt, bevor schwerpunktmäßig auf die tribologische Charakterisierung unterschiedlicher Pretex[®]-Varianten eingegangen wird - denn Pretex[®] ist nicht gleich Pretex[®]. Durch eine Variation von Anzahl und Größe der Schmiertaschen lassen sich verschiedene Strukturprägungen erzeugen, die sich in Rauheit und Spitzenzahl unterscheiden. Die experimentellen Reibuntersuchungen nach VDA-Prüfvorschrift 230-213 an zwei unabhängigen Prüfstellen zeigen, dass sich mithilfe einer hohen Spitzenzahl der Reibwiderstand reduzieren lässt. Außerdem ist durch die dreidimensionale Oberflächenanalyse ein unterschiedliches Einglätungsverhalten der Pretex[®]-Varianten zu erkennen, wodurch ein verbessertes Verständnis des Reibverhaltens ermöglicht wird.

[1] Engel, U.; Neudecker, Th.; Filzek, J.; Dogan, N.: Abschlussbericht: Machbarkeitsstudie „3D-Oberflächenkenngrößen“. Verbundprojekt: LFT Erlangen, PtU Darmstadt, IFU Stuttgart, Laufzeit: 01.07.1997 – 30.06.1998.



Kriterien zur Bewertung von Pretex[®]-Strukturen

10. Forum »Tribologische Entwicklungen in der Blechumformung«

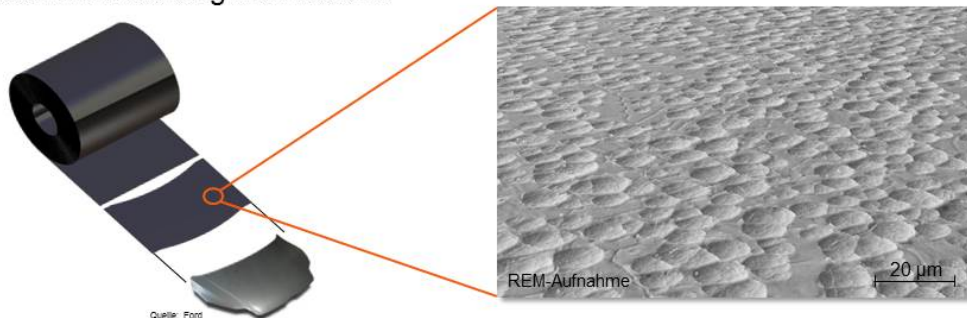
06./07. Juni 2018

Georg Stüdlein, Michael Maxisch, Martin Bretschneider

Kriterien zur Bewertung von Pretex[®]-Strukturen

Agenda

- Motivation – Anforderungen an die Textur
- Verbesserung der Lackerscheinung durch Pretex[®]focar[®]
- Tribologische Charakterisierung unterschiedlicher Pretex[®]-Varianten
- Zusammenfassung und Ausblick



Motivation - Anforderungen an die Textur

Lackerscheinung

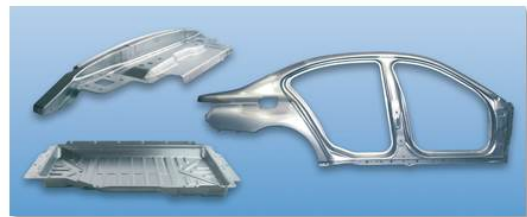
- ▶ Gute Lackhaftung
- ▶ Geringe Welligkeit
- ▶ Vermeidung von Moiré - Effekten
- ▶ Vermeidung von „Orangenhaut“



Quelle: Mercedes-Benz

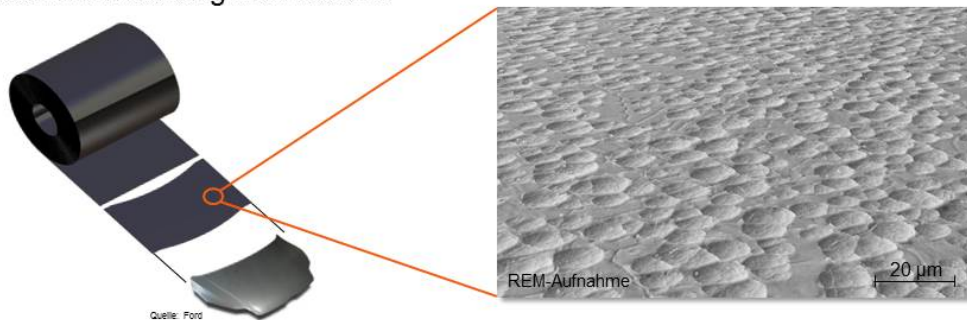
Tribologie

- ▶ Geringer Reibwiderstand
- ▶ Gleichmäßiges Reibverhalten im Serienprozess
- ▶ Hohe geschlossene Schmieraschenanzahl



Agenda

- Motivation – Anforderungen an die Textur
- Verbesserung der Lackerscheinung durch Pretex®focar®
- Tribologische Charakterisierung unterschiedlicher Pretex®-Varianten
- Zusammenfassung und Ausblick



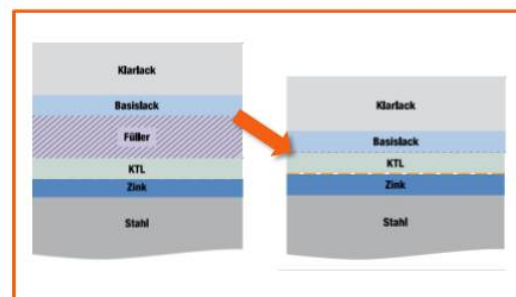
Folie 4 07.05.2016 Georg Stöckh, SZM/FES&U

Anforderungen hinsichtlich der Lackerscheinung

- Lackerscheinung
 - Gute Lackhaftung
 - Geringe Welligkeit
 - Vermeidung von Moiré - Effekten
 - Vermeidung von „Orangenhaut“ (speckig, grießige Lackanmutung)



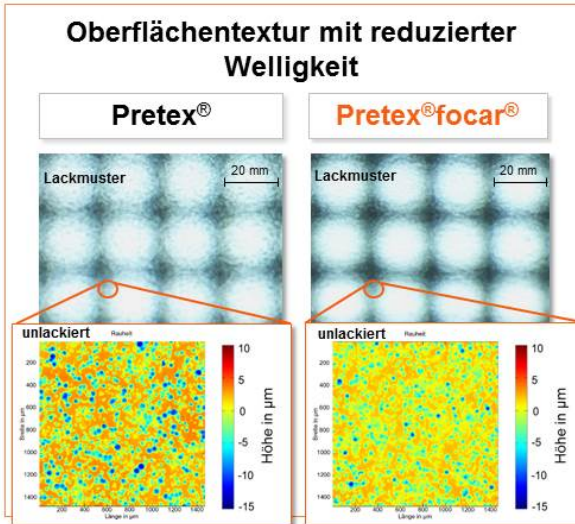
- Füllerloser Lackierprozess mit reduzierter Lackschichtdicke



→ Höhere Anforderung an die Blechoberfläche

Folie 5 07.05.2016 Georg Stöckh, SZM/FES&U

Pretex®focar® für eine verbesserte Lackerscheinung



Pretex®focar® - Welligkeitsspezifikation

	Güte	Wsa(1-5)	Wsa(1-5)* verformt
UC	CR1 – CR5, CR180BH	< 0,34 µm	-
EG	CR210BH	< 0,34 µm	< 0,35 µm
GI	CR1 – CR5, CR180BH	< 0,29 µm	< 0,35 µm

*Marciniak Napf. 5% Haupt-/Nebenformänderung

Welligkeit

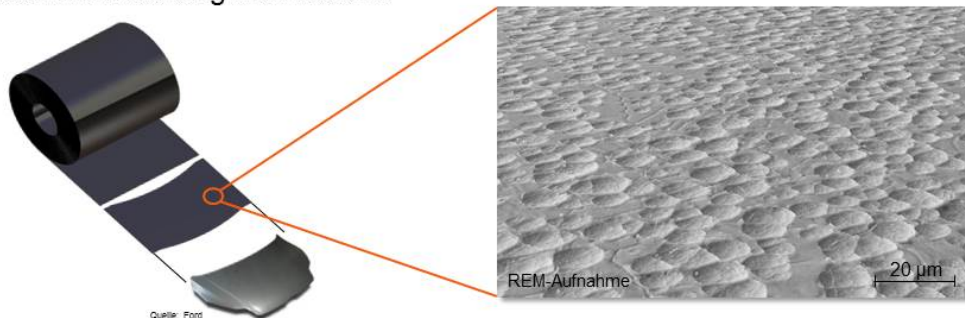
- Strukturwellenlänge 0,1 - 10 mm
- Sichtbar durch unterschiedliche Neigungswinkel der Strukturelemente
- Beschreibbar durch arithmetischen Mittelwert der Welligkeit (Wsa)



Folie 6 07.06.2016 Georg Stöckh, SZM/FESU

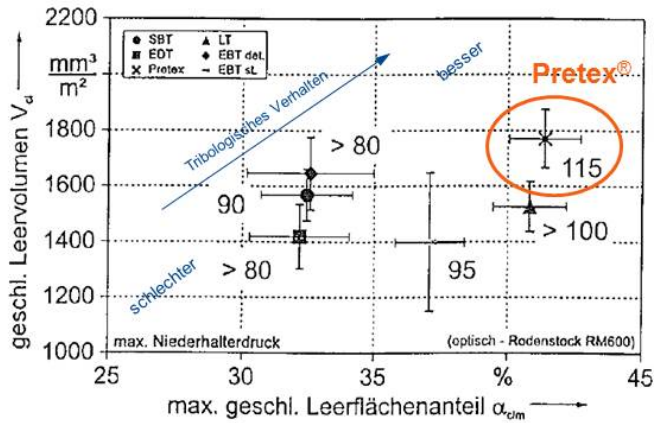
Agenda

- Motivation – Anforderungen an die Textur
- Verbesserung der Lackerscheinung durch Pretex®focar®
- Tribologische Charakterisierung unterschiedlicher Pretex®-Varianten
- Zusammenfassung und Ausblick

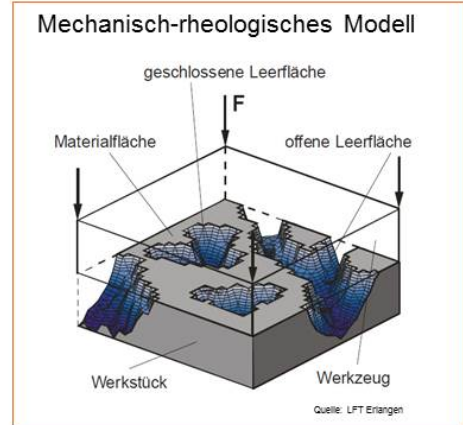


Folie 7 07.06.2016 Georg Stöckh, SZM/FESU

Untersuchungen im Presswerk



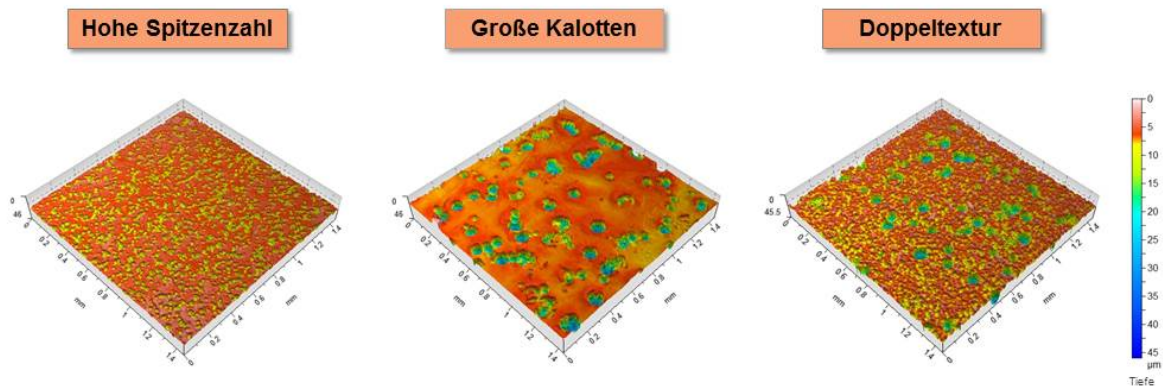
Quelle: Abschlussbericht zur Machbarkeitsstudie „3D-Oberflächenmetriken“
Verbundprojekt: LFT Erlangen, PIU Darmstadt, IFU Stuttgart, 1998



↳ Lässt sich das tribologische Verhalten von Pretex® noch weiter verbessern?

Folie 8 07.05.2016 Georg Stöckh, SZM/FES&U

Unterschiedliche Pretex®-Varianten



↳ Welche Pretex®-Variante ist tribologisch von Vorteil?

Werkstoff: CR3-GI60/60
Blechdicke: 0,7 – 0,8 mm

Folie 9 07.05.2016 Georg Stöckh, SZM/FES&U

Kriterien zur tribologischen Bewertung von Pretex®



Folie 10 07.05.2016 Georg Schöhl, SCMT/RS&U

Topografien und Oberflächenkennwerte

	Intensitätsmessung	Rauheitsmessung
Hohe Spitzenzahl Ra = 1,13 µm RPC = 123 cm ⁻¹ Sa = 1,11 µm Smr = 58,07 % Ssk = -1,68 W(80%) = 0,57 ml/m ² Kd = 315,56 mm ⁻² Kr = 12,22 µm		
Große Kalotten Ra = 4,24 µm RPC = 26 cm ⁻¹ Sa = 2,80 µm Smr = 79,57 % Ssk = -3,76 W(80%) = 1,65 ml/m ² Kd = 40,89 mm ⁻² Kr = 28,94 µm		
Doppeltextrur Ra = 2,65 µm RPC = 72 cm ⁻¹ Sa = 2,16 µm Smr = 75,97 % Ssk = -3,44 W(80%) = 1,06 ml/m ² Kd = 211,06 mm ⁻² Kr = 18,30 µm		

Messgerät Nanofocus µsurf mobile
Messfläche 1500 µm x 1500 µm
Farbeinteilung der 3D-Rauheitsmessung



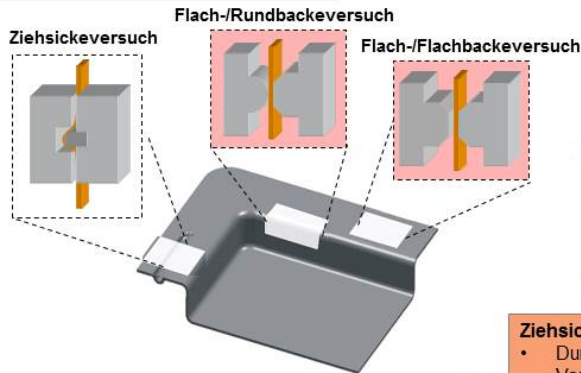
2D-Rauheitsmessung: Mahr Perthometer M3, Mittelwerte aus jeweils 6 Einzelmessungen quer zur Walzrichtung auf Ober- und Unterseite

3D-Rauheitsmessung: Nanofocus µsurf mobile, Mittelwerte aus jeweils 18 Einzelmessungen auf Ober- und Unterseite

Folie 11 07.05.2016 Georg Schöhl, SCMT/RS&U

Unterschiedliche Streifenziehversuche

Verfahrensfreie Modellversuche



Allg. ist bei tribologischen Untersuchungen besonders auf die **Probenvorbereitung** und den **Werkzeugzustand** zu achten (z. B. Reinigung, Entgraten, Schmierstoffauftrag, Verschleiß etc.)

Flach-/Flachbackeversuch nach VDA 230-213

- Abbildung eines ebenen Reibzustands
- Geeignet zur klassischen Bestimmung von Reibzahlen
- Wichtig: möglichst große, verdrehsichere Reibflächen

Flach-/Rundbackeversuch in Anlehnung an Renault Test Method D31_1738

- Reibverhalten unter einer erhöhten lokalen Belastung ohne Umlenkung
- Abbildung einer Mangelschmiersituation

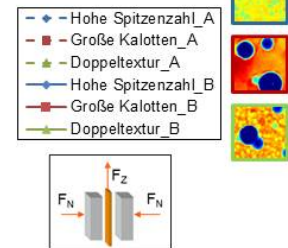
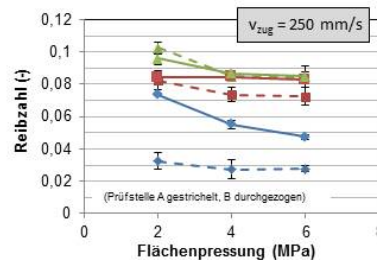
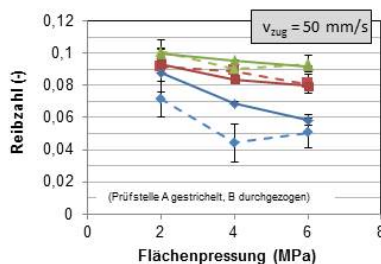
Zihsickeversuche

- Durchführung von Abrieb- und Verschleißuntersuchungen
- Untersuchung der Kennwertbeeinflussung nach Sickenbruchlauf

Folie 12 07.06.2016 Georg Stahn, SZM/FS&U

Streifenziehversuch nach VDA 230-213

Bestimmung des Reibverhaltens an zwei unabhängigen Prüfstellen A und B



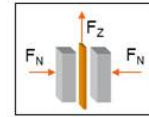
- An beiden Prüfstellen zeigt sich eine ähnliche Abhängigkeit der Reibzahl von Flächenpressung und Zugeschwindigkeit
- Geringster Reibwiderstand Hohe Spitzenzahl gefolgt von Großen Kalotten und Doppeltextrur
- VDA-Streifenziehversuch zur tribologischen Differenzierung (relativen Betrachtung) von Texturen geeignet

Einheitliche Parameter an den Prüfstellen A und B
 Beölung: ca. 1,20 g/m²
 Ölart: PL3002/39s
 Reibbacken: CJS-700 (GGG-70L), R_a = 1,0 – 1,6 µm
 Temperatur der Reibbacken: ca. 40 °C
 Reibfläche: 10000 mm²
 Auswertebereich: 200 – 250 mm
 Wiederholungen pro Versuch: 3

Folie 13 07.06.2016 Georg Stahn, SZM/FS&U

Stick-Slip-Effekte beim VDA-Streifenziehversuch

Textur	Zuggeschwindigkeit (mm/s)	Flächenpressung (MPa)	Prüfstelle A		Prüfstelle B	
			Beölung (g/m ²)	Verhalten	Beölung (g/m ²)	Verhalten
Hohe Spitzenzahl	50	2	1,51	Stick-Slip	1,21	Stick-Slip
		4		Stick-Slip		Stick-Slip
		6		Stick-Slip		Stick-Slip
	250	2	1,51	Kein Stick-Slip	1,21	Kein Stick-Slip
		4		Kein Stick-Slip		Kein Stick-Slip
		6		Kein Stick-Slip		Kein Stick-Slip
Große Kalotten	50	2	1,06	Stick-Slip	1,17	Stick-Slip
		4		Stick-Slip		Stick-Slip
		6		Stick-Slip		Stick-Slip
	250	2	1,06	Kein Stick-Slip	1,17	Kein Stick-Slip
		4		Stick-Slip		Stick-Slip
		6		Stick-Slip		Stick-Slip
Doppeltextur	50	2	1,12	Stick-Slip	1,10	Leicht Stick-Slip
		4		Stick-Slip		Stick-Slip
		6		Stick-Slip		Stick-Slip
	250	2	1,12	Kein Stick-Slip	1,10	Kein Stick-Slip
		4		Kein Stick-Slip		Kein Stick-Slip
		6		Leicht Stick-Slip		Leicht Stick-Slip

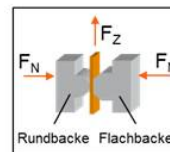
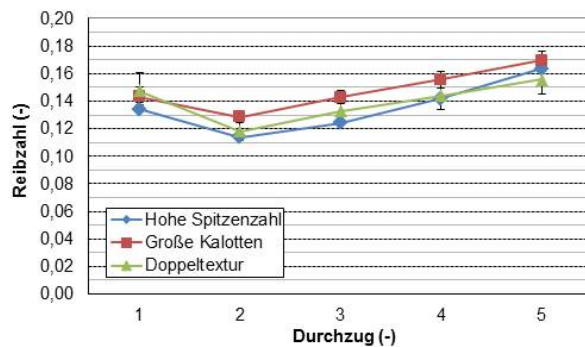


Bestimmung der Ölaufage:
Messgerät Amepa OFIS 2.0
Parallelmessungen min. 5

Stick-Slip-Effekte sind bei höheren Zuggeschwindigkeiten von der Textur abhängig → Hohe Spitzenzahl reduziert das Auftreten von Stick-Slip-Effekten

Streifenziehversuch mit Flach-/Rundbacke

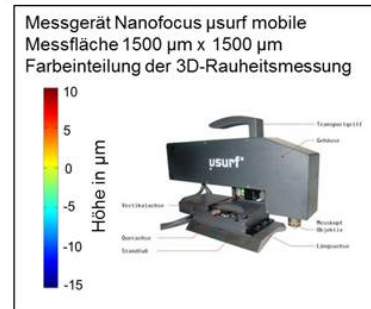
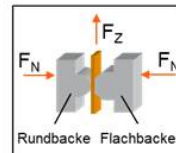
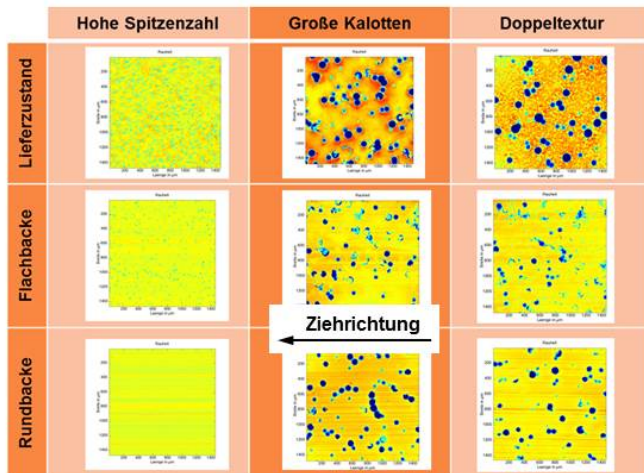
Bestimmung des Reibverhalten unter einer erhöhten lokalen Belastung



Parameter
In Anlehnung an Renault Test Method D31_1738
V_{Zug} = 15 mm/s
l_{1. Zug} = 105 mm
l_{2. Zug} = 100 mm
Beölungsmenge = 1,2 g/m²
Ölsorte: PL3802/39S
F_N = 5 kN
T = RT
Reibkörper: 1,2379, 60HRC
Jeweils 3 Parallelproben

In diesem Modellversuch kein signifikanter Unterschied im Reibverhalten der Pretex®-Varianten

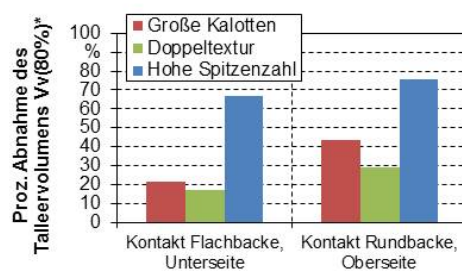
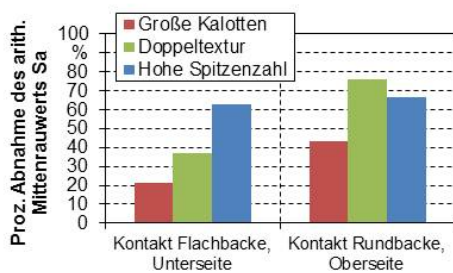
Qualitative Einglättung nach Flach-/Rundbackeversuch



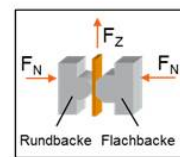
Unterschiedliches Einglättingsverhalten → Nur große Pretex®-Kalotten überstehen höhere Belastungen

Folie 16 07.06.2016 Georg Stahn, SZM/RESU

Quantitative Einglättung nach Flach-/Rundbackeversuch



* Volumen der Leerräume bei einem geg. Materialanteil (ISO 25178-2)

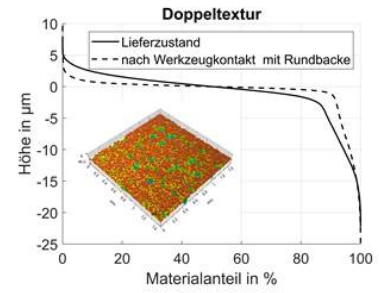
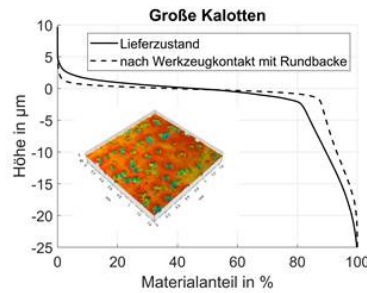
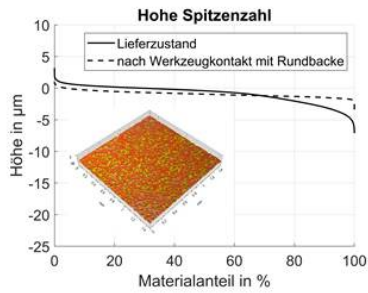


3D-Rauheitsmessung:
Nanofocus μsurf mobile,
je 9 Einzelmessungen
auf 3 Parallelproben

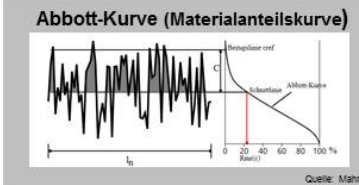
- Bei allen Texturen lässt sich die Einglättung in der Abnahme des arith. Mittenrauwerts und des Talleervolumens erkennen
- Aufgrund der höheren Belastung durch die Rundbacke glättet die Textur auf dieser Seite stärker ein
- Vor allem in der Abnahme des Talleervolumens wird die starke Einglättung der Hohen Spitzenzahl sehr gut sichtbar

Folie 17 07.06.2016 Georg Stahn, SZM/RESU

Einglättungsverhalten anhand der Abbott-Kurve



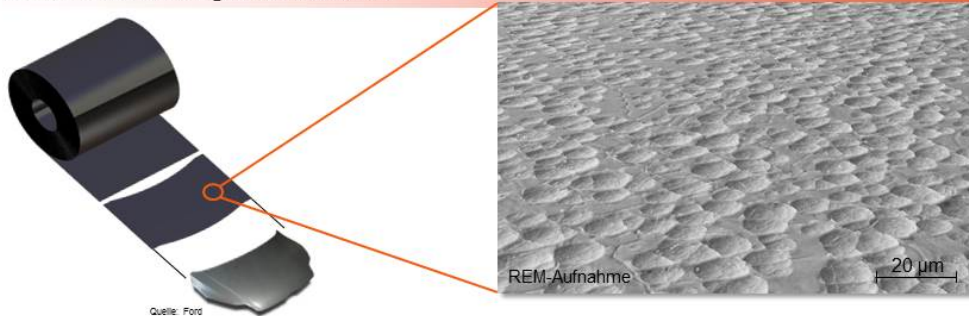
- Einglättung der Spitzen und Abnahme des Talleervolumens nach Werkzeugkontakt bei allen drei Texturen gut zu beobachten
- Textur mit hoher Spitzenzahl glättet fast vollständig ein, während die anderen beiden Texturen ein verbleibendes Talleervolumen besitzen
- Nur große Pretex®-Kalotten überstehen höhere Belastungen



Folie 18 07.06.2016 Georg Steinhilber, SZWF/RSW

Agenda

- Motivation – Anforderungen an die Textur
- Verbesserung der Lackerscheinung durch Pretex®focar®
- Tribologische Charakterisierung unterschiedlicher Pretex®-Varianten
- Zusammenfassung und Ausblick



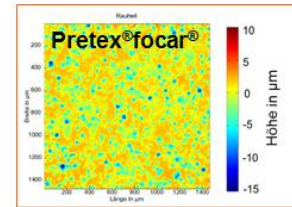
Quelle: Ford

Folie 19 07.06.2016 Georg Steinhilber, SZWF/RSW

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- Mit Pretex® lassen sich unterschiedliche Texturen erzeugen
- Pretex®focar® verbessert die Lackerscheinung durch eine reduzierte Welligkeit
- VDA-Streifenziehversuch eignet sich zur tribologischen Differenzierung (relativen Betrachtung) von Texturen → Geringster Reibwiderstand Hohe Spitzenzahl gefolgt von Großen Kalotten und Doppeltextur
- Stick-Slip-Effekte sind bei höheren Zuggeschwindigkeit von der Textur abhängig → Hohe Spitzenzahl reduziert Stick-Slip-Effekte
- Betrachtung des Einglättingsverhaltens → Nur große Pretex®-Kalotten überstehen höhere Belastungen



Ausblick

- Weitere Bauteilversuche für den Transfer vom Labor in die Praxis notwendig
- Bisher alle Untersuchungen mit weichen Tiefziehgüten → Übertragung auf höherfeste Werkstoffe offen



Quelle: Opel



Alles zum Schmieren aus einer Hand



Kontakt-
beölung

Kontaktlose
Beölung

Dosier-
systeme

Umform-
schmierstoffe

Kontaktbeölung

für die spanlose Fertigung (Tiefziehen, Stanzen, Feinschneiden, Biegen, Profilieren)

Kontaktlose Beölung

für dosiertes, sektorielles oder partielles Beölen von Bandmaterial, Platinen und Formteilen

Dosiereinheiten

zur hochpräzisen Dosierung
von Umformölen

Umformschmierstoffe

für die Metallbearbeitung





Industrie 4.0 im Presswerk – Von Materialeigenschaften zur Anlagensteuerung

Karl-Heinz Fröhning
EMG Automation GmbH

Industriestraße 1
57482 Wenden
+49 (0) 2762 612-0

Stefan Werner
evopro systems engineering AG

Im Gewerbepark A 52
93059 Regensburg
+49 (0)941 899645-0

Die evopro systems engineering AG versteht sich als Spezialist für technologieübergreifende Lösungen im Industrieumfeld. Mit unseren rund 65 Mitarbeitern entwickeln wir für unsere Kunden aus den verschiedensten Branchen hochwertige, kundenspezifische Systemlösungen und Technologien in den Geschäftsfeldern Automatisierung, Maschinenbau, Software, Bildverarbeitung, Elektronik und Prüftechnik. Durch die Synergie dieser Technologiebereiche können wir interdisziplinäre Gesamtlösungen anbieten.

Im Presswerk wird dieses Zusammenspiel besonders gut sichtbar. Vom Beschriftungssystem in der Schnittanlage, über die Auslesestationen in der Umformpresse bis hin zur datentechnischen Anbindung aller Anlagenteile und Qualitätssysteme, wie Ölschichtdicken-, Zugfestigkeits- und Rauheitsmesssystem, kommt dabei alles aus einer Hand.

Die Herausforderung im Presswerk ist hierbei die räumliche und zeitliche Trennung der verschiedenen Arbeitsschritte vom Kaltband bis hin zum Bauteil, die eine kontinuierliche Aufnahme von Materialeigenschaften sowie die Rückführung als Regelgrößen im Umformprozess erschweren.

Durch Beschriftung und Auslesen von Merkmalen und Identifikationsnummern auf den Bauteilen, kann diese Hürde jedoch überwunden werden und im Sinne der Industrie 4.0 ein Regelkreis mit materialbedingten Einflüssen realisiert werden.

Die Zusammenarbeit mit Messsystemherstellern, wie z.B. der Firma EMG, ist dabei ein wichtiger Teil für eine reibungslose Integration in den kontinuierlichen Datenstrom an Eingangsgrößen für den Folgeprozess.



Industrie 4.0 im Presswerk – Von Materialeigenschaften zur Anlagensteuerung

evopro systems engineering AG – Stefan Werner
EMG Automation GmbH – Karl-Heinz Fröhning

06./07. Juni 2018 – TU Darmstadt

Inhalt

1. Vorstellung
2. Prozessablauf im Presswerk
3. Unsere Interpretation von Industrie 4.0 im Presswerk
4. EMG - Ölschichtdickenmessung – Ein Schritt in Richtung Industrie 4.0
5. Datenerfassung in der Schnittanlage und Umformpresse
6. Datenverarbeitung und Anlagensteuerung
7. Mögliche Anwendungen im Presswerk

Vorstellung



Stefan Werner

Dipl.-Inf. (FH) – FH Regensburg
Leiter der Softwareentwicklung

evopro systems engineering AG

Firmensitz Regensburg – Zwei Standorte
21.08.2009 Gründung der evopro systems engineering GmbH
22.06.2011 Umwandlung zur AG
Heute 69 Mitarbeiter und 17 Studenten

Unternehmensbereiche

Automatisierungstechnik, Maschinenbau
Hardware-Entwicklung, Prüftechnik
Softwareentwicklung, Bildverarbeitung

© evopro systems engineering AG

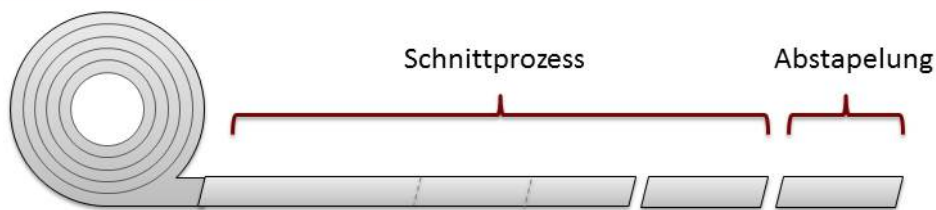
10. Forum - Tribologische Entwicklung in der Blechumformung

06./07. Juni 2018

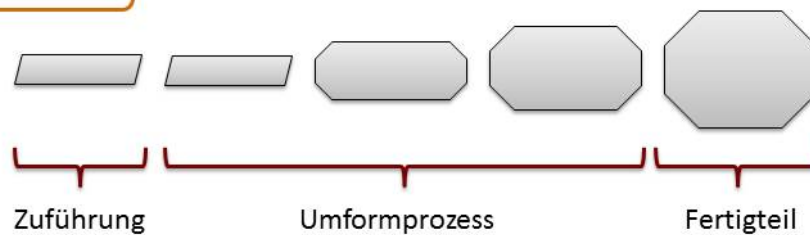
Prozessablauf im Presswerk



Schnittanlage



Umformpresse



© evopro systems engineering AG

10. Forum - Tribologische Entwicklung in der Blechumformung

06./07. Juni 2018

Motivation:

- Wertschöpfung für Bauteile erhöhen
- Ausschuss reduzieren
- Qualität erhöhen
- Kosten senken

Voraussetzungen:

- Datenerhebung
 - Prozessparameter der Schnitthanlage und Umformpresse
 - Materialeigenschaften der Platinen
- Rückführung von Qualitätsdaten
- Aufbauen eines Regelkreises für den Umformprozess

Problematiken:

- Materialeigenschaften müssen erfasst werden
- Identifizierung der Platinen in einem zeitlich und räumlich getrennten Fertigungsschritt



EMG – Ihr Partner für die Industrie

EMG bietet:

- langjährige Erfahrung bei den Stahlherstellern; wir kennen die Anforderungen Ihrer Lieferanten und somit auch einige der Ihren
- harmonisierte Hard- und Software für alle Systeme, auf hohem Niveau
- sehr hohe Fertigungstiefe
- pünktliche, komplette Lieferung
- eine motivierte Mannschaft in der Entwicklung, Konstruktion und Fertigung
- weltweiten, professionellen Vertrieb und Service für alle Produkte



**EMG in Wenden –
Erfahrung und Kompetenz seit 1946**



<http://www.emg-automation.com/>



EMG SOLID® IR – Einsatzgebiete

▪ Band-Beölung:

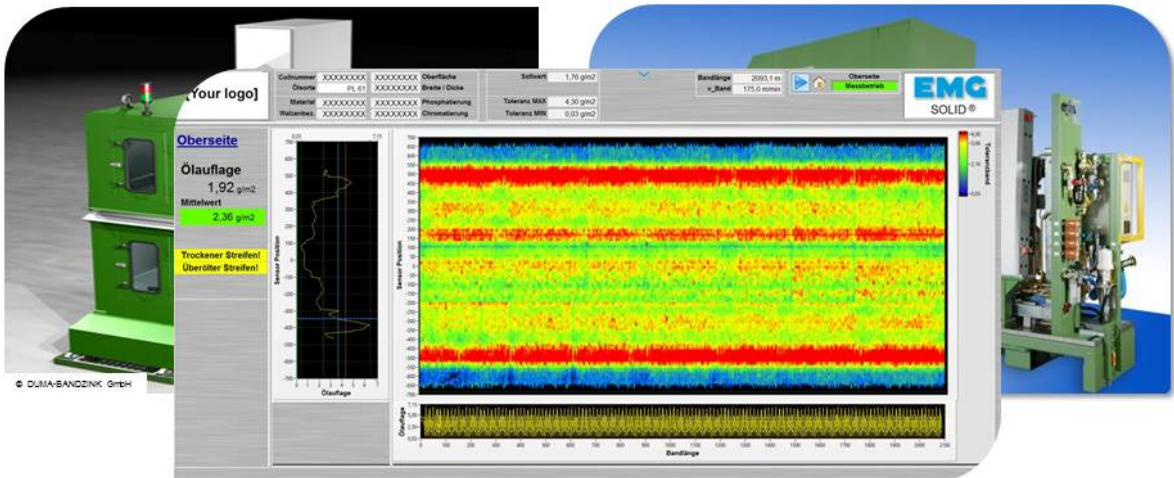
▪ Spot-Beölung:



EMG SOLID® IR – Einsatzgebiete

▪ Band-Beölung:

▪ Spot-Beölung:





EMG SOLID® IR – Einsatzgebiete

- Band-Beölung:
- Spot-Beölung:

© DUMA-BANDZINK GmbH

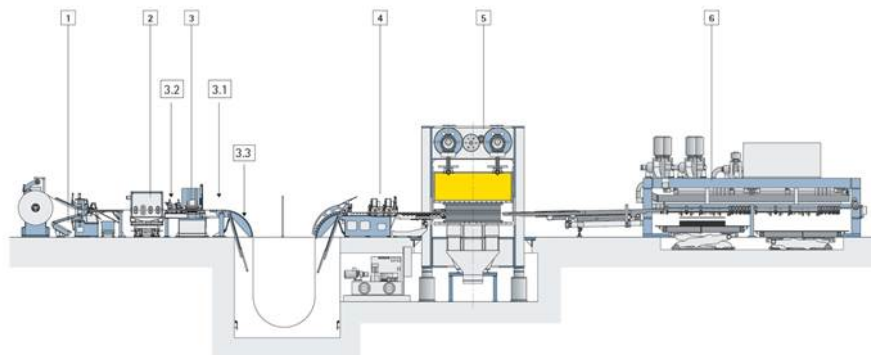
Zehnhittel	Sprühluft
Oben 1,50 bar	1,50 bar
Unten 1,50 bar	1,50 bar
Offset 0 mm	
Platinenlänge 1900 mm	
Intervall oben: 1	
Intervall unten: 1	

9 EMG Automation GmbH • EMG SOLID®



EMG SOLID® IR – Einbau Platinenschneidanlage

PLATINENSCHNEIDANLAGE MIT SERVOPRESSE



LEGENDE

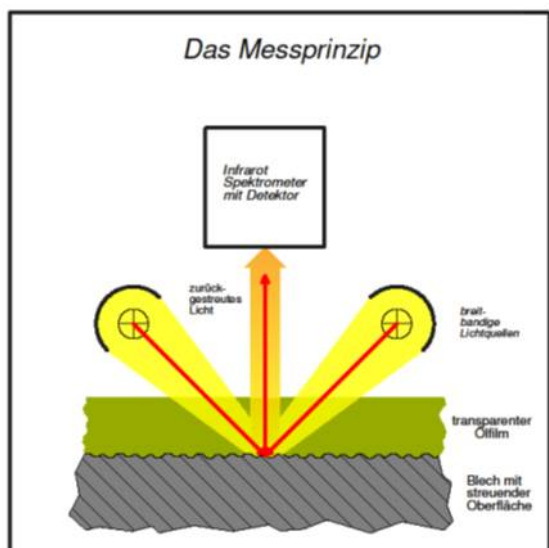
- | | | |
|------------------|--------------------|---|
| 1 Bandeinführung | 3.1 EMG SOLID | 4 Walzenschub |
| 2 Waschmaschine | 3.2 EMG IMPOC | 5 Schnittpresse mit ServoDirekt-Technologie |
| 3 Richtkassette | 3.3 EMG SORM 3plus | 6 Stop2Drop-Platinenstapler |

Quelle: Schuler Automation GmbH & Co. KG

10 EMG Automation GmbH • EMG SOLID®



EMG SOLID® IR – Messprinzip



Quelle: Infralytic GmbH

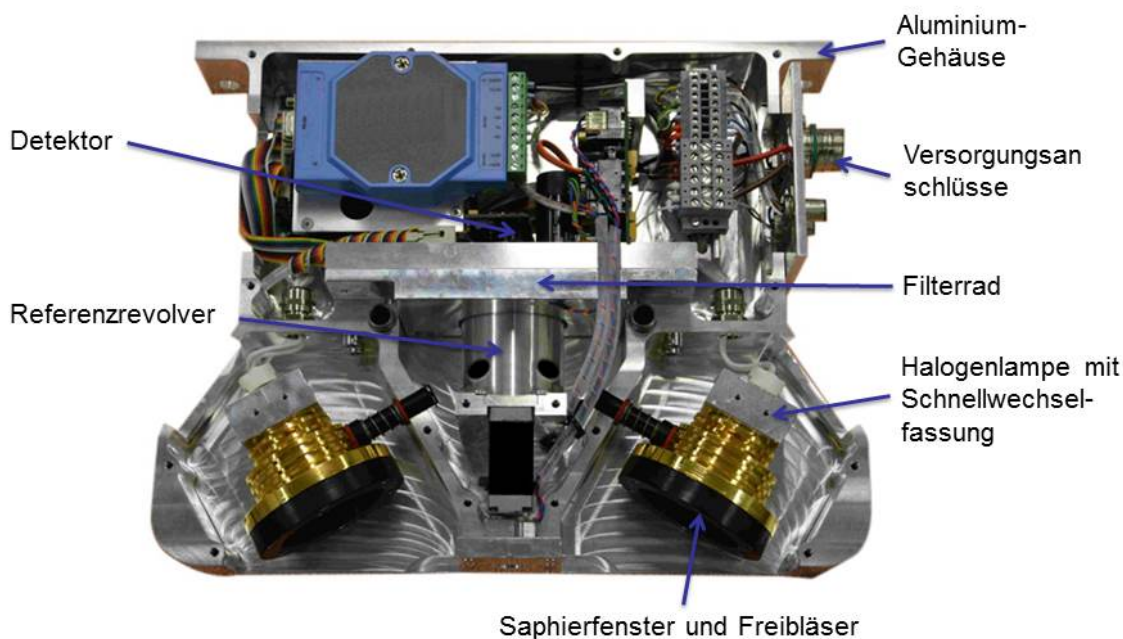
1. Das von EMG SOLID® IR erzeugte Infrarotlicht durchdringt die Ölschicht, wird von der Bandoberfläche reflektiert und durchdringt die Ölschicht nochmals.
2. Dabei wird die Intensität spezifischer Wellenlängen von der Ölschicht gedämpft.
3. Nach dem Lambert-Beer'schen Gesetz wird dann aus dem Logarithmus der Absorption die Schichtdicke berechnet.
4. Die stoffspezifische Absorption zeigt nicht nur die Unterscheidung der zu messenden Substanz, sondern erlaubt in ihrer Intensität auch den Rückschluss auf die Menge der Substanz.



11 EMG Automation GmbH • EMG SOLID®



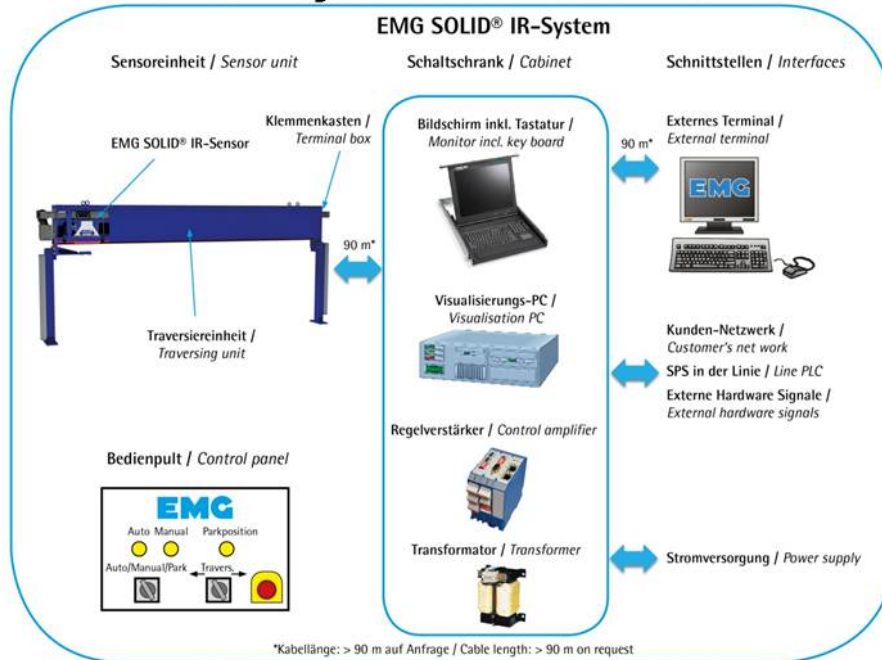
EMG SOLID® IR – MesskopfkompONENTEN



12 EMG Automation GmbH • EMG SOLID®



EMG SOLID® IR – Systemaufbau



13 EMG Automation GmbH • EMG SOLID®



EMG SOLID® IR – Vorteile

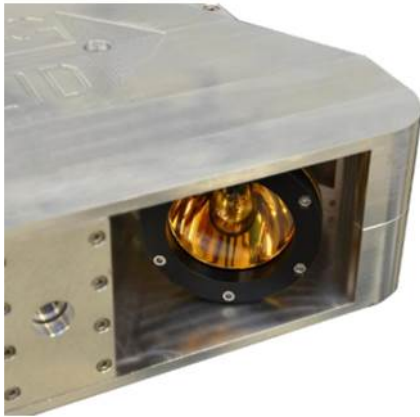
- Unabhängig von Ölvermischungen
- Einfache Kalibrierung neuer Ölarten und übersichtliche Ölarten-Zuordnung durch Gruppenkalibrierung
- Hohe Wiederholgenauigkeit 0,0015 g/m²
- Absolut und Relativmessung möglich
- Keine Verfälschung durch ungleich aufgebrachte metallische Passivierungen
- Spezielle EMG-Lösung zur Reinhaltung der Optik
- Automatischer Systemcheck über eingebaute Referenzmessung
- Sicherer Messabstand von 120 mm
- Hohe Messgenauigkeit



14 EMG Automation GmbH • EMG SOLID®



EMG SOLID® IR – Technische Daten



Messverfahren	Infrarot-spektroskopisch
Messgröße	Flächengewicht der Schmierstoffauflage in g/m ²
Messbereich	0,1 – 6 g/m ² (Messungen ab 0,05 g/m ² mit Sonderkalibrierung möglich)
Messgenauigkeit	Messbereich 0,1 - 0,5 g/m ² : +/- 0,025 g/m ² Messbereich 0,5 - 2 g/m ² : +/- 0,2 g/m ² Messbereich > 2 g/m ² : +/- 10 % vom Messwert
Wiederholgenauigkeit	Min. 0,0015 g/m ²
Materialien	Alle metallischen und nicht-metallischen Oberflächen mit geringem Glanzgrad, z. B.: • Stahl – Kaltband, feuerverzinkt, elektrolytisch verzinkt, phosphatiert, aluminisiert, ZnMg-Oberflächen, glavannealed • Aluminium – unbeschichtet, vorbehandelt
Schmierstoffe	Mineralöl, Mineralöl thixotrop, Hotmelts, Wachse
Arbeitsabstand (Messposition)	120 mm (traversierend)
Bandhöschwankungen	+/- 10 mm
Umgebungstemperatur	+5 °C bis +50 °C (erweiterter Temperaturbereich mit Kühlung)
Messfrequenz	60 Hz
Max. Traversiergeschwindigkeit	0 bis 1 m/s

15 EMG Automation GmbH • EMG SOLID®



EMG-Lösungen für Ihre Lieferung an die Automobilindustrie

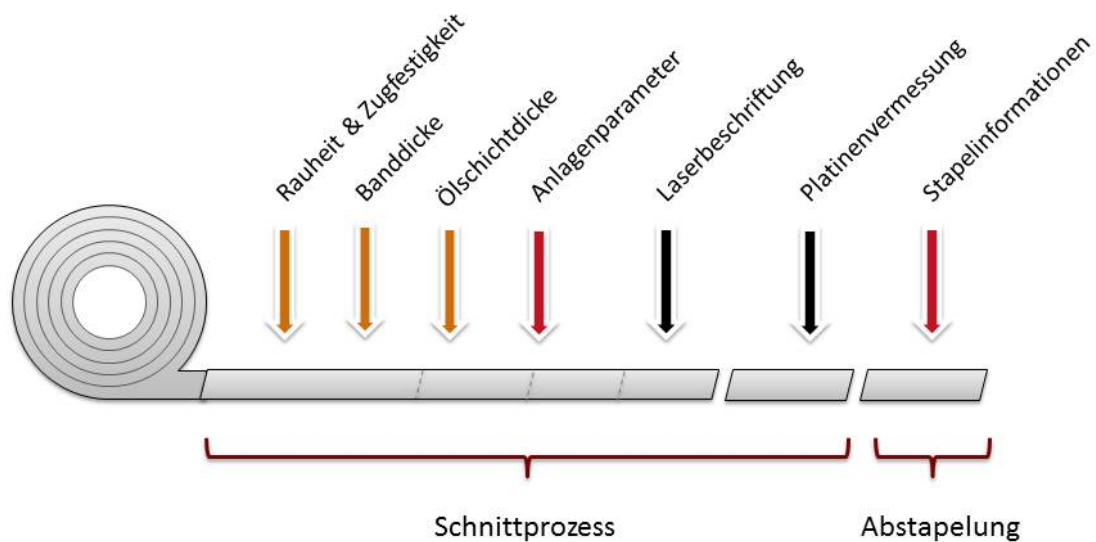
Vorteile der EMG-Systemlösungen:

- Transparenz über die wesentlichen Qualitätsmerkmale für jede Blechtafel bzw. jedes Bund
- Intelligente Kombination der Systeme: elektro-mechanisch und bezgl. Software
- Zusatzsysteme: Dickenmessung/Lasermarkierung können integriert werden
- Lieferung und Systemintegration aus einer Hand

Konsequenzen für die Produktion im Presswerk:

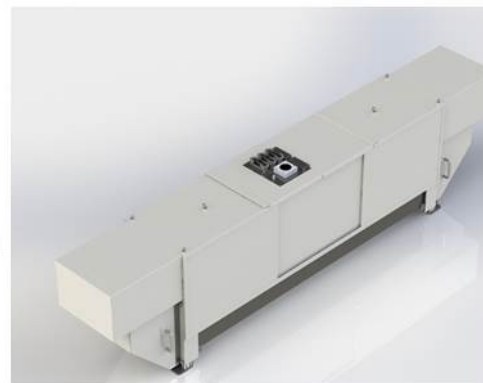
- Gesteigerte Prozessstabilität und -sicherheit
- Transparenz über Eingangsqualität und gezielte Steuerung des Pressvorgangs
- Minimierter Ausschuss und sichere Freigabe durch gemeinsame Datenbank und kombinierte Visualisierung der Messergebnisse

16 EMG Automation GmbH • EMG SOLID®

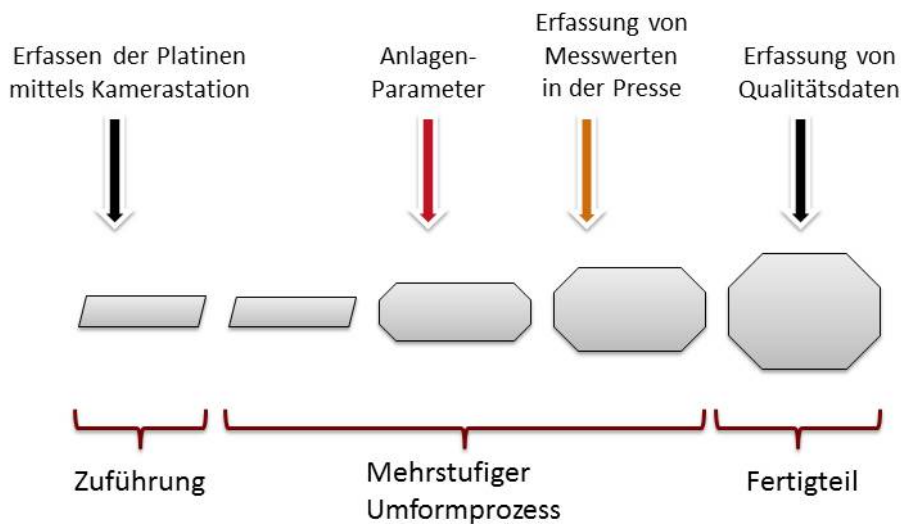


Laserbeschriftung

- „On-the-fly“ Beschriftung der Platinen
- Beschriftung von alphanumerischen Zeichenketten mit Prüfsumme
- 11 Zeichen pro Beschriftung
- Positioniergenauigkeit von +/- 1 mm in Durchlaufrichtung
- Bis zu vier Laser pro Anlage
- Bis zu vier Beschriftungen pro Platine und Laser
- Abstand von 200 mm zwischen den Beschriftungen
- Maximale Vorschubgeschwindigkeit von 3500 mm/s



Datenerfassung - Umformpresse

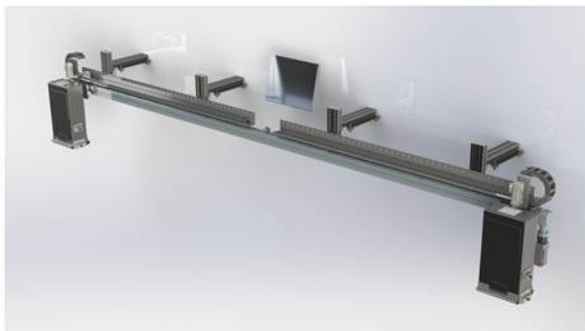


© evopro systems engineering AG

10. Forum - Tribologische Entwicklung in der Blechumformung

06./07. Juni 2018

Kamerastation

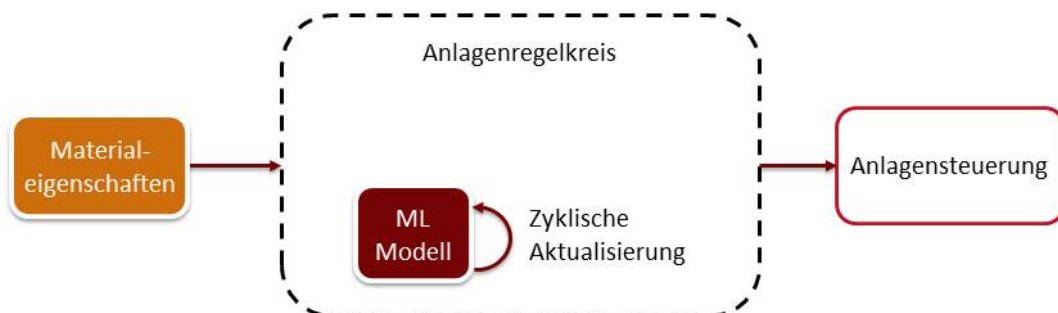
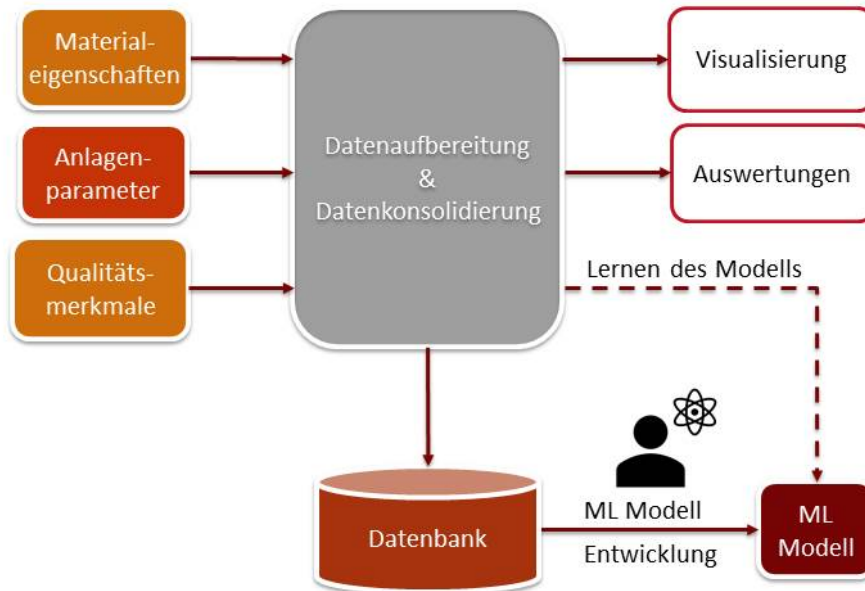


- Einlesen der beschrifteten Platinen auf Transportband
- Maximale Geschwindigkeit des Förderbands 5500mm/s
- Kamerasichtfeld 200 x 200 mm
- Eigenentwickelte Beleuchtungen und Algorithmen
- Speziell abgestimmte Bildverarbeitung für unterschiedliche Oberflächenstrukturen

© evopro systems engineering AG

10. Forum - Tribologische Entwicklung in der Blechumformung

06./07. Juni 2018



Schrittweise Einführung:

1. Analyse der Ergebnisse des ML Modells
2. Empfehlungen für Anlagenführer
3. Übermittlung der Ergebnisse an Anlage mit manueller Übernahme
4. Automatische Anlagensteuerung auf Basis des ML Modells

- Frühzeitiges Ausschleusen von Platinen, die nicht verarbeitet werden können
- Optimierung der Logistik im Presswerk
- Steuerung der Nachbeölung
- Steuerung der Pressenparameter
- Vereinfachtes Ausschleusen von Bauteilen mit Defekten zur Nacharbeit oder Verschrottung
- Belegbare Reklamationen an Zulieferer
- ...



Vielen Dank!

Integration tribologischer Effekte in die Umformsimulation von Karosseriebauteilen

Florian Dietrich
Opel Automobile GmbH

Bahnhofspatz
65423 Rüsselsheim am Main
Germany
Telefon: +49 4961 42754664
E-Mail: florian.dietrich@opel.com

Aufgrund von immensen Bestrebungen den Leichtbau im Karosseriebau voranzutreiben und gleichzeitig die wachsenden Ansprüche an das Design der automobilen Karosserie zu erfüllen, ergeben sich zunehmend kleinere Prozessfenster für die robuste Produktion.

In diesem Kontext ist die Finite-Elemente-Methode unverzichtbares Werkzeug bei der Auslegung der Umformmethode geworden. Hierbei ist die erreichbare Vorhersagegüte der numerischen Berechnung abhängig von den physikalischen Modellierungen der realen Zusammenhänge im Prozess.

Während Materialmodelle innerhalb der letzten Jahrzehnte stetig weiterentwickelt wurden und an Komplexität gewannen, wurden die realen Verhältnisse im Bereich der Kontaktbeschreibung und Tribologie zumeist unzureichend berücksichtigt. Dabei haben gerade die tribologischen Effekte eine maßgebende Bedeutung bei der prozesssicheren Herstellung komplexer Bauteile.

In diesem Vortrag wird eine Methode vorgestellt, tribologische Effekte innerhalb der FE-Umformsimulation der Methodenplanung wiederzugeben. Dabei wird im ersten Schritt eine Analyse der im Prozess auftretenden tribologischen Prozess-, System- und Lastgrößen erstellt. Nachfolgend wird ein optimierter Versuchsplan für den Streifenzugversuch nach VDA-Prüfvorschrift 230-213 abgeleitet, um ein geeignetes empirisches Reibgesetz auf Basis der Ergebnisse zu formulieren. Dem angeschlossen erfolgt die Integration des Reibgesetzes innerhalb der Umformsimulation mithilfe einer Software. In diesem Zuge ermöglicht die Software die Einbindung der realen hubzahlabhängigen Pressenkinematiken zur präzisen Bestimmung der Relativgeschwindigkeiten. Eine Segmentierung des Werkzeuges nach Kontaktflächengeometrie und Abbildung der Schmierstoffmengenverteilung über die Coillbreite gehören ebenfalls zum Leistungsumfang der Software. Abschließend erfolgt eine Validierung der Methode an einem tribologisch sensitiven Realbauteil.





INTEGRATION TRIBOLOGISCHER EFFEKTE IN DIE UMFORMSIMULATION VON KAROSSERIEBAUTEILEN.

Florian Dietrich, M.Sc. ^{1,2}

Viktor Recklin, M.Sc. ²

¹ Opel Automobile GmbH, Abteilung ME Body Systems

² Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen TU Darmstadt

AGENDA



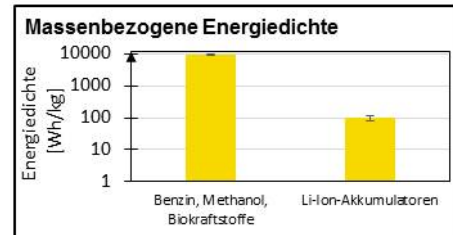
1. Einleitung
2. Motivation und Zielsetzung
3. Vorgehensweise & Methodik
4. Zusammenfassung

EINLEITUNG



Hintergrund:

1. Erhöhtes Umweltbewusstsein → Nutzung neuer Energieträger mit geringerer Energiedichte
Karosseriebau: Leichtbaubestrebungen → Reduktion Materialstärke & Erhöhung der Materialfestigkeit
2. Wechsel der Designsprache: Skulpturale Formgebung Karosseriebau: Deutlich komplexere Bauteilgeometrien



Insgesamt:

Tendenz zur Verkleinerung des Prozessfensters

Schlüssel:

Steigerung der Abbildungsgüte der FE-Umformsimulation

Ansatzpunkt:

Realitätsgetreue Beschreibung des Kontaktes

3

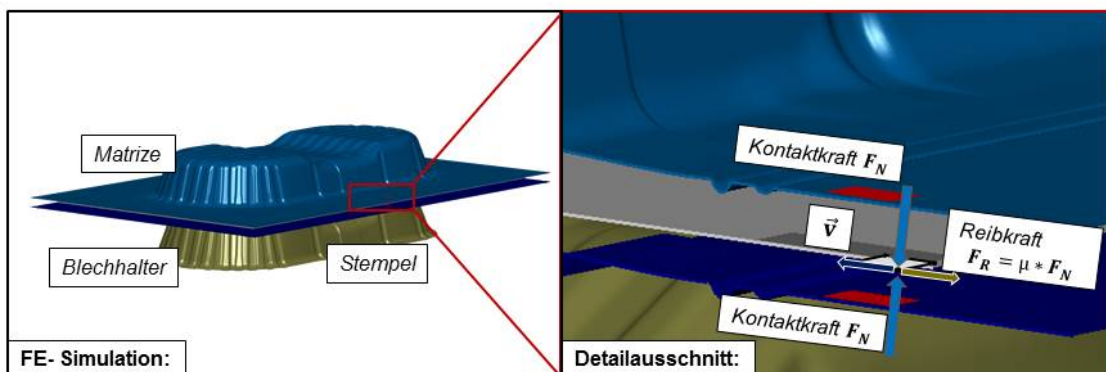
MOTIVATION UND ZIELSETZUNG



Rahmenforderung: Realitätsnahe Formulierung des Kontaktes

Industrielle Ausgangssituation:

- Berücksichtigung der Reibung innerhalb der Kontaktformulierung als konstanter Coulombscher Reibwert: Für $\vec{v} > 0$ und $F_N > 0$: $F_R = \mu(\text{const.})F_N$
- Bezug auf einzelnen Knoten eines finiten Elementes im Kontaktpaar Werkzeug-Blech
- Reibkräfte wirken entgegen Relativbewegungen von Werkzeug und Blechknotenpaar
- Reibwert nicht einheitlich bei verschiedenen FE-Umgebungen („Fitting-Faktor“)



4

MOTIVATION UND ZIELSETZUNG



Rahmenforderung: Realitätsnahe Formulierung des Kontaktes

Industrielle Ausgangssituation:

- Berücksichtigung der Reibung innerhalb der Kontaktformulierung als konstanter Coulombscher Reibwert: Für $\vec{v} > 0$ und $F_N > 0$: $F_R = \mu(\text{const.})F_N$
- Bezug auf einzelnen Knoten eines finiten Elementes im Kontaktpaar Werkzeug-Blech
- Reibkräfte wirken entgegen Relativbewegungen von Werkzeug und Blechknotenpaar

Widerspricht Stand der Forschung & Technik:
Reibwert μ ist abhängig von Last-, System- und Prozessparametern
des tribologischen Systems

FE- Simulation:

Detailausschnitt:

4

MOTIVATION UND ZIELSETZUNG



Stand der Technik:

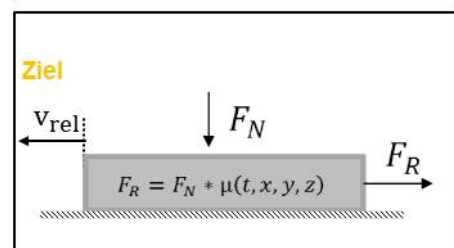
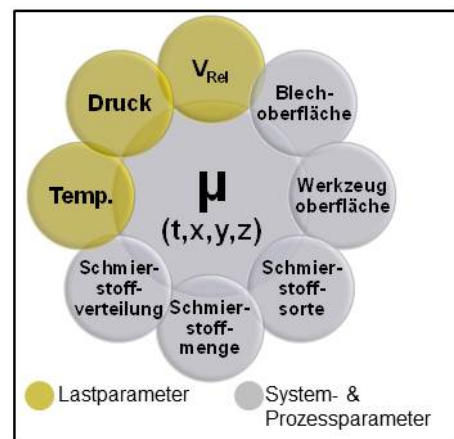
- Reibwert resultiert aus dem Zusammenwirken des tribologischen Systems bestehend aus: Kontaktflächenpaar, Schmierstoff und Umgebung
- Unterteilung der Einflussgrößen in Last-, System- und Prozessparameter

Ziel: Integration tribologischer Effekte in die Umformsimulation beim Endanwender im Automobilbau

- Einsatz eines empirischen Reibgesetzes
 - Erhöhung Prozessrobustheit
 - Analyse und Steuerung der Einflussfaktoren

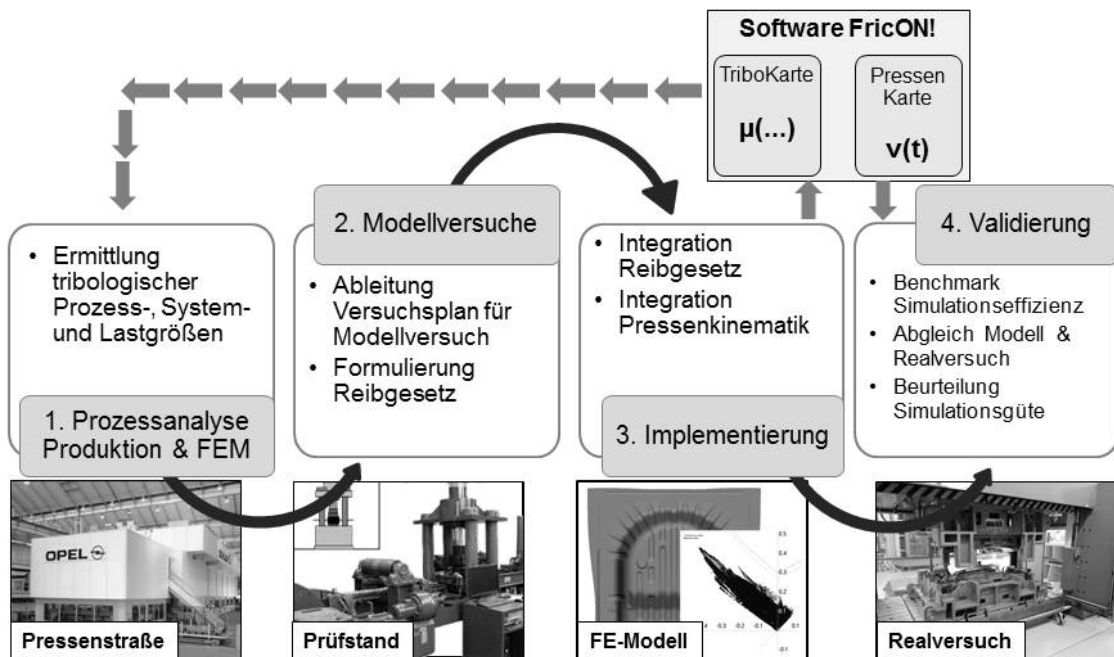
Forderungen:

- Keine Erhöhung der Simulationszeit
- Einbindung in verschiedenen FE-Umgebungen
- Kosteneffizienter Versuchsplan
- Nutzung von Tribologiekarten
- Abbildbarkeit verschiedener Pressensysteme



6

VORGEHENSWEISE & METHODIK



7

VORGEHENSWEISE & METHODIK



1. Prozessanalyse der Produktion & FEM

Aufbau optimierter Versuchsplan für Streifenziehversuch (VDA 230-213)

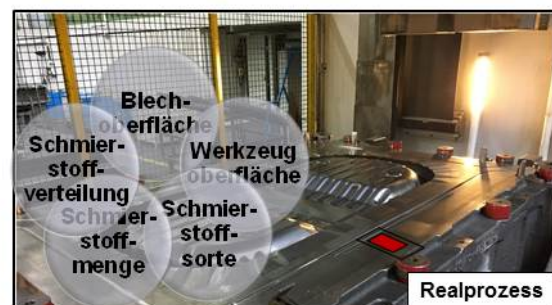
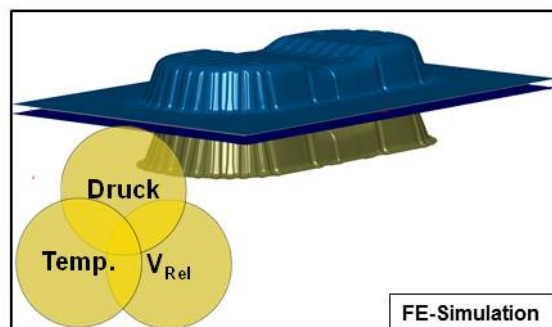
- Analyse der Einflussgrößen
- Analyse von Störgrößen

Lastparameter:

- Relativgeschwindigkeit, Druck und Temperatur aus FE- Modell (validiert durch Realversuch)

System- und Prozessparameter:

- Statistische Analyse tribologischer Bedingungen
- Schwankungsbreite



8

VORGEHENSWEISE & METHODIK



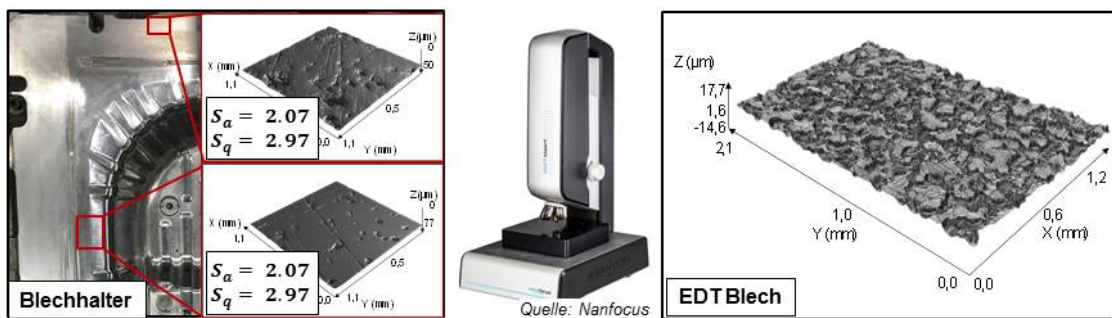
1. **Prozessanalyse der Produktion:** Analyse Oberfläche Werkzeug/ Blech mit Konfokalmikroskopie

Blechoberfläche

- Bauteilspezifisch beeinflussbar (EDT, Pretex etc.)
- Klassifizierung zur Katalogisierung innerhalb Datenbank

Werkzeugoberfläche

- Theoretisch: Normiert aufgrund Werkzeugbauvorschrift
- Praktisch: Variationsbreite aufgrund Bearbeitungssituation und Abnutzungsgrad
- Ziel: Übertragung statistisch relevanter Ergebnisse auf Modelversuch



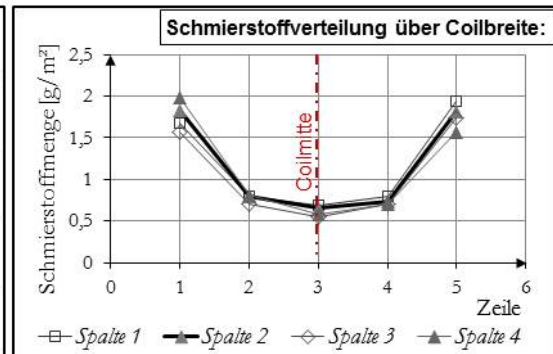
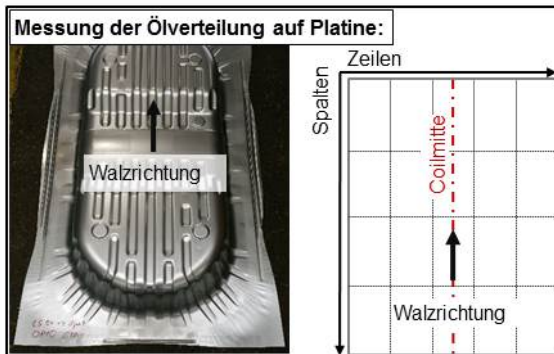
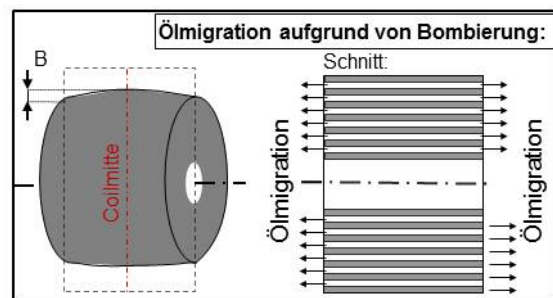
9

VORGEHENSWEISE & METHODIK



1. **Prozessanalyse der Produktion:** Schmierstoffmenge und Verteilung

- Ölmenge messung mithilfe Lichtabsorptionsprinzip (AMEPA OFIS)
- Blechdicke eines Coils in Coilmitte geringfügig stärker → Bombierung Coils → Druckgradient → Ölmigration
- Typische Ölverteilung: „Wannenform“



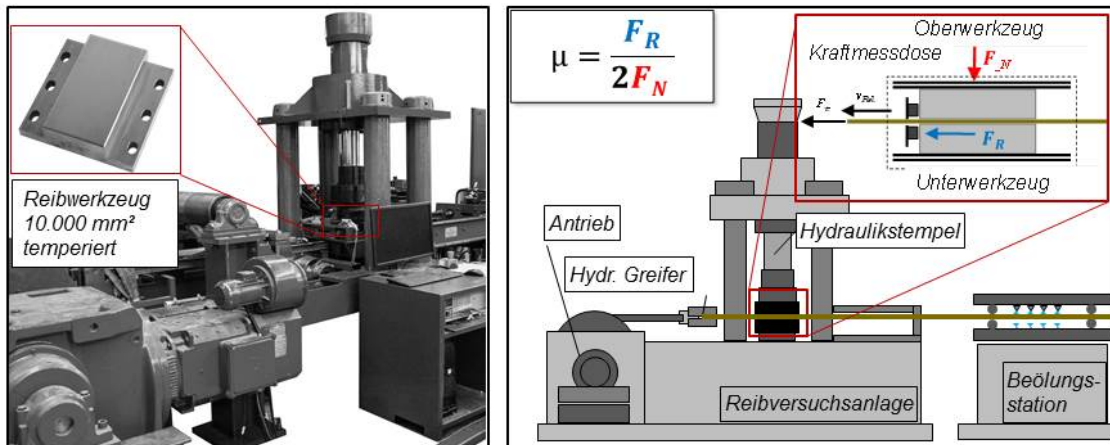
10

VORGEHENSWEISE & METHODIK



2. Modellversuche: VDA Streifenzugversuch an Reibversuchsanlage (RVA)

- Abstraktion des ebenen Bereichs im Umformwerkzeug
- Messung Reibwert in Abhängigkeit von Lastparameter
- Werkzeug, Blech und Schmierstoff entsprechend den Prozess und Systemparametern vorbereitet



11

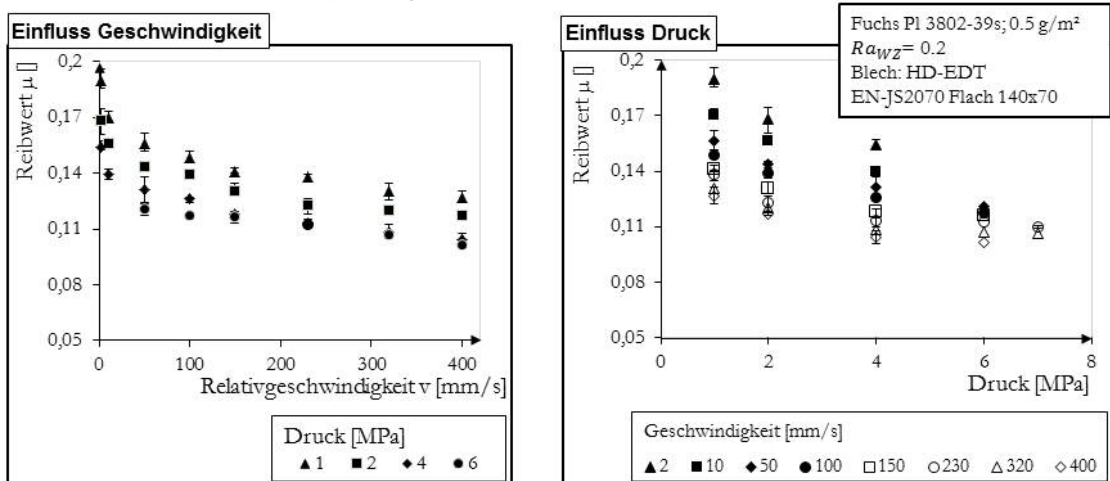
VORGEHENSWEISE & METHODIK



2. Modellversuche: Statistische Analyse RVA Ergebnisse (Beispielsysteme)

Identifizierung charakteristischer Verläufe in relevanten tribologischen Systemen:

- Druckabhängigkeit: Stetig abnehmender Reibwert für steigenden Druck bis ca 6-10 MPa
- Geschwindigkeitsabhängigkeit: Abnehmender Reibwert für steigende Geschwindigkeit
- Beides beschreibbar durch Exponentialfunktion



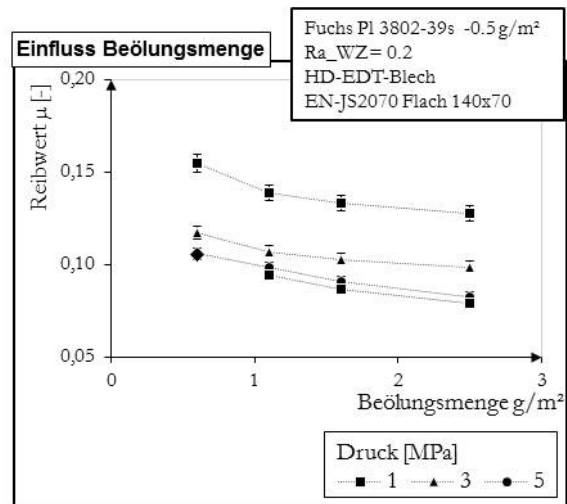
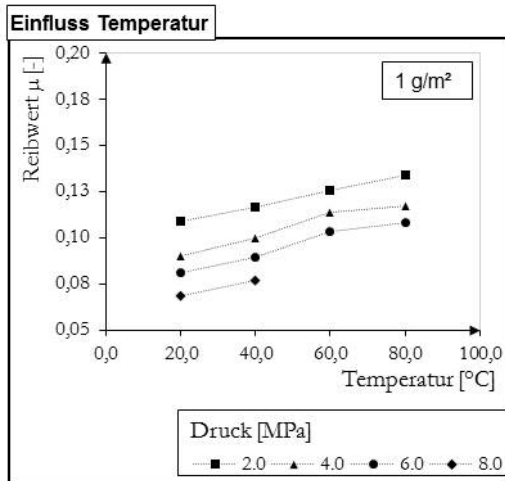
12

VORGEHENSWEISE & METHODIK



2. Modellversuche: Statistische Analyse RVA Ergebnisse (Beispielsystem)

- Temperaturabhängigkeit: Stetig zunehmender Reibwert für steigenden Temperatur
- Schmierstoffmenge: Abnehmender Reibwert für zunehmende Schmierstoffmenge 0.3- 2.5 g/m² (relevanter Bereich)



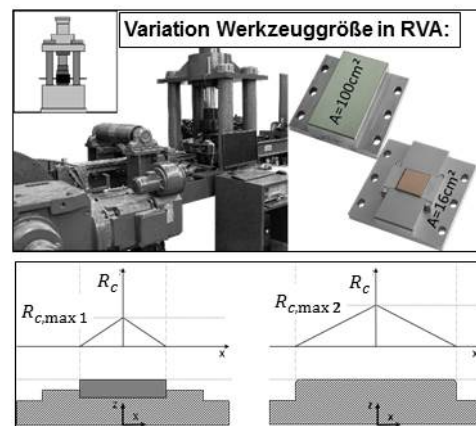
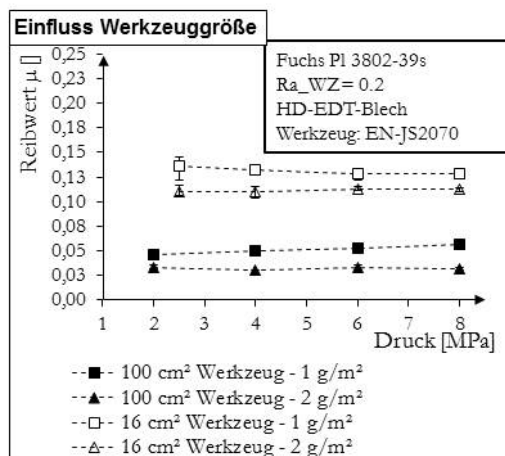
13

VORGEHENSWEISE & METHODIK



2. Modellversuche: Einfluss von Werkzeuggröße und Prüfstand auf den Reibwert

- Deutliche quantitative Unterschiede des Reibwertes zwischen den verwendeten Werkzeuggrößen bei allen getesteten Schmierstoffmengen und Geschwindigkeiten
- Geringe Abhängigkeit des Reibwertes vom verwendeten Prüfstand



Recklin, V., Dietrich, F.; Groche, P.: Influence of Test Stand and Contact Size Sensitivity on the Friction Coefficient in Sheet Metal Forming Lubricants, 2018

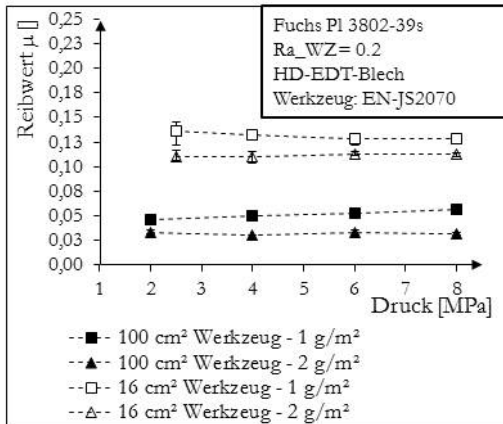
14

VORGEHENSWEISE & METHODIK



2. Modellversuche: Einfluss von Werkzeuggröße und Prüfstand auf den Reibwert

- Deutliche quantitative Unterschiede des Reibwertes zwischen den verwendeten Werkzeuggrößen bei allen getesteten Schmierstoffmengen und Geschwindigkeiten
- Relativ kleine Abhängigkeit des Reibwertes vom verwendeten Prüfstand (bei gleicher Werkzeuggröße)



Schlussfolgerungen:

- Ergebnisse verschiedener Prüfstände ggf. nicht kombinierbar oder quantitativ vergleichbar
- Reibgesetz sollte makroskopische Effekte berücksichtigen (Kontaktflächengröße, Schmierstoffmigration)
- Kontaktfläche des Prüfstands sollte in Relation zur Bauteilkontaktfläche/-größe stehen

Recklin, V., Dietrich, F.; Groche, P.: Influence of Test Stand and Contact Size Sensitivity on the Friction Coefficient in Sheet Metal Forming Lubricants; 2018

15

VORGEHENSWEISE & METHODIK



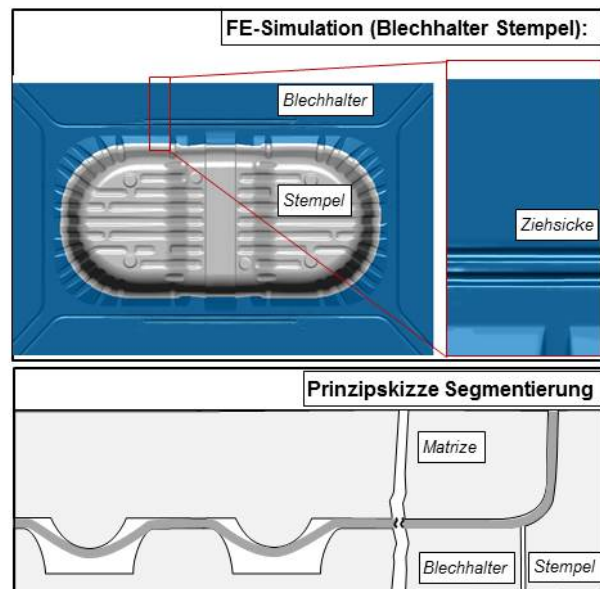
3. Implementierung: Softwarelösung „Friction ON“ und Erstellung Reibmodell

Programmteil „ReibMat“: Datenbank zur Analyse und Darstellung

- Qualitative Beurteilung tribologischer Systeme

Programmteil „Tribology“: Ausgabe Tribologiekarten

- Nutzung Fehlerquadratmethode zur Parameterbestimmung von Reibmodellen
- Berücksichtigung der Kontaktflächengeometrie (eben, Radius) durch Segmentierung der FE-Werkzeuge nach Belastungszonen



16

VORGEHENSWEISE & METHODIK



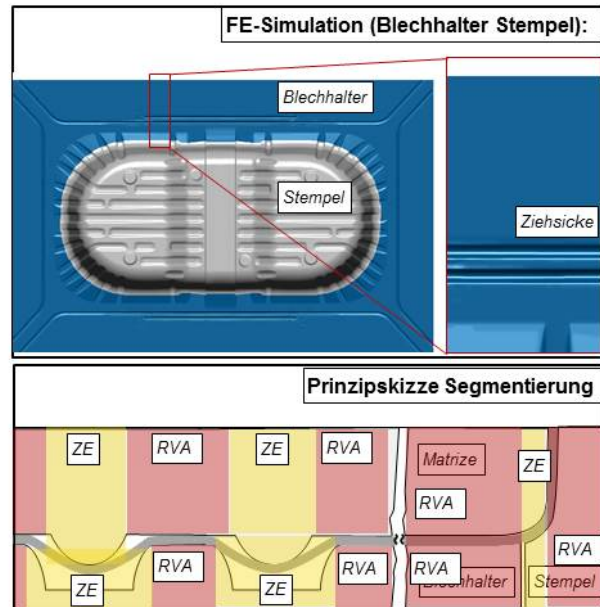
3. Implementierung: Softwarelösung „Friction ON“ und Erstellung Reibmodell

Programmteil „ReibMat“: Datenbank zur Analyse und Darstellung

- Qualitative Beurteilung tribologischer Systeme

Programmteil „Tribology“: Ausgabe Tribologiekarten

- Nutzung Fehlerquadratmethode zur Parameterbestimmung von Reibmodellen
- Berücksichtigung der Kontaktflächengeometrie (eben, Radius) durch Segmentierung der FE-Werkzeuge nach Belastungszonen
 - ZE= Zylinder Ebenen Versuch
 - RVA = VDA Streifenzugversuch
- Berücksichtigung Ölabbstreifen nach Ziehstärke



17

VORGEHENSWEISE & METHODIK



3. Implementierung: Statistische Analyse und Aufbereitung

- Berücksichtigung Ölverteilungen auf Produktionsplatte

- 1. Generation: $\mu(p, v) = \mu_{ref} * \left(\frac{p}{p_{ref}}\right)^{e-1} - a * \ln\left(\frac{\max(v_{rel}, v_{ref})}{v_{ref}}\right)$

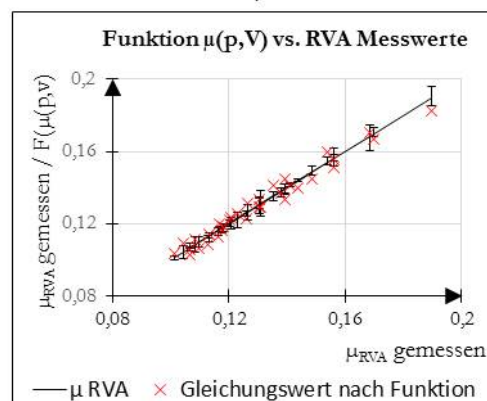
Def.: $T = konst.$; $M_{oil} = konst.$; eben

- 2. Generation $\mu(p, v, M) = \mu_{ref} * \left(\frac{p}{p_{ref}}\right)^{e-1} - a * \ln\left(\frac{\max(v_{rel}, v_{ref})}{v_{ref}}\right) - m \left(\frac{M_{oil}}{b}\right)^{c-1}$

Def.: $T = konst.$; eben

a = Geschwindigkeitsparameter
 V_rel = Relativgeschwindigkeit
 V_ref = Referenzgeschwindigkeit [mm/s]
 M_oel = Ölmenge [g/m²]
 B = Ölparameter [g/m²]
 μ_ref = Referenzreibungwert
 P_ref = Referenzdruck [MPa]
 p = Druck [MPa]
 e = Druckparameter

- FQM: Nicht-linearer Solver inkl. physikalische Randbedingungen z.B. $\mu < 0$
- Abweichungen der Regressionskurven < 5 % zu Mittelwert der experimentell ermittelten Messwerte
- Optimaler Prüfplan je System (vollfaktoriell):
 - 3 Drücke
 - 3 Beölungsmengen
 - 3 Geschwindigkeiten
 - 2-3 Temperaturen



18

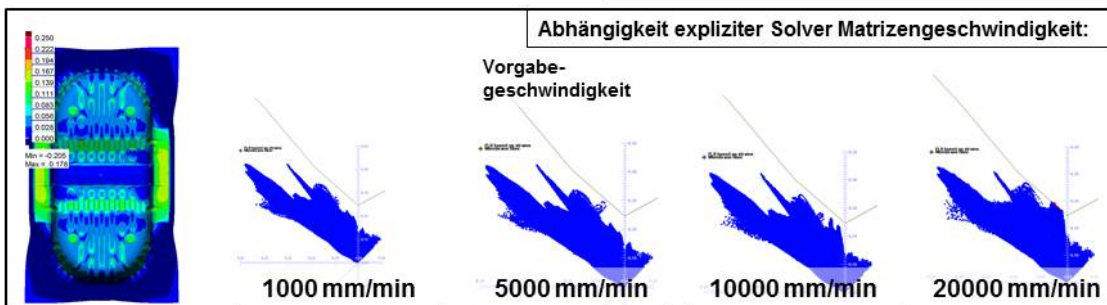
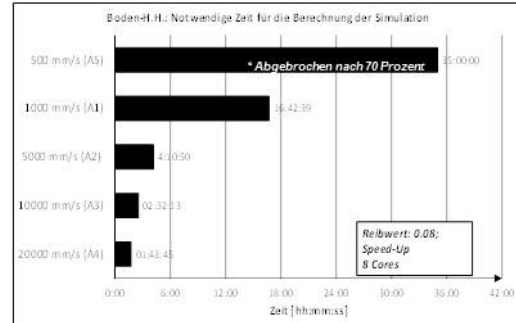
VORGEHENSWEISE & METHODIK



3. Implementierung: FrictionOn! „Kinematik“

Expliziter Solver: Direkte Übertragung der Pressenkinematik durch Geschwindigkeitskurven bewirkt Energieskalierung:

- Veränderung benötigter Simulationszeit
- Simulationsergebnisse variieren
- Variation der Matrixgeschwindigkeit ($\mu = \text{konstant}$, Materialmodell nicht geschwindigkeitsabhängig)



19

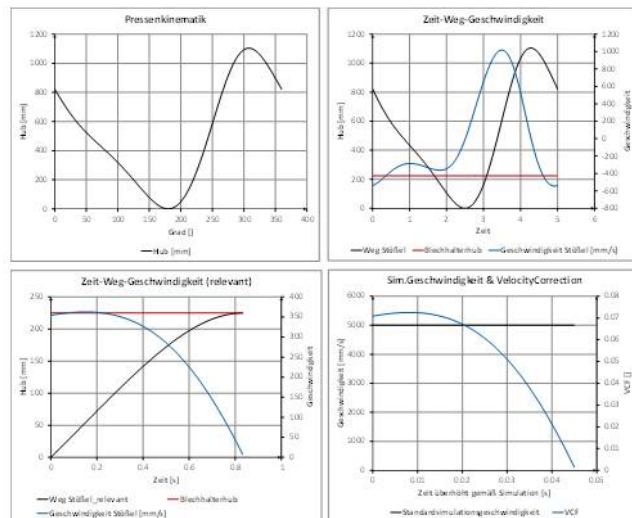
VORGEHENSWEISE & METHODIK



3. Implementierung: FrictionOn! „Kinematik“:

- Nutzung von Geschwindigkeitsübertragungsfunktionen:

$$v_{real} = \frac{v_{vorgabe}}{VCF(t_{usberhoeh}, Kinematik Presse)}$$
- Extraktion des relevanten Bereichs (nach Blechhalteschließen) der Basissimulation
- Export von Kinematikkarten für Autoform & Pam Stamp 2G
- Keine Beeinflussung der Simulationszeit und Güte
- Nutzung der Hubzahl innerhalb der Robustheitsbetrachtung
- Direkter Import in Basissimulation



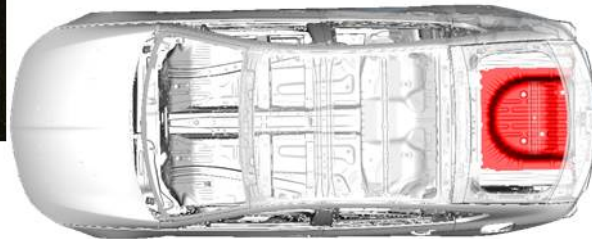
20

VORGEHENSWEISE UND METHODIK



4. Valdierung: Demonstratorbauteil Radmulde Insignia (Boden –Hinten- Hinten)

- Hohe Ziehtiefe (255 mm)
- Hohe Werkstofffestigkeit (Bake-Hardening-Steel)
- Herstellung in 4 Operationen
- Tribologisch sensitiv in Produktion (Ölverteilung, Temperatur)



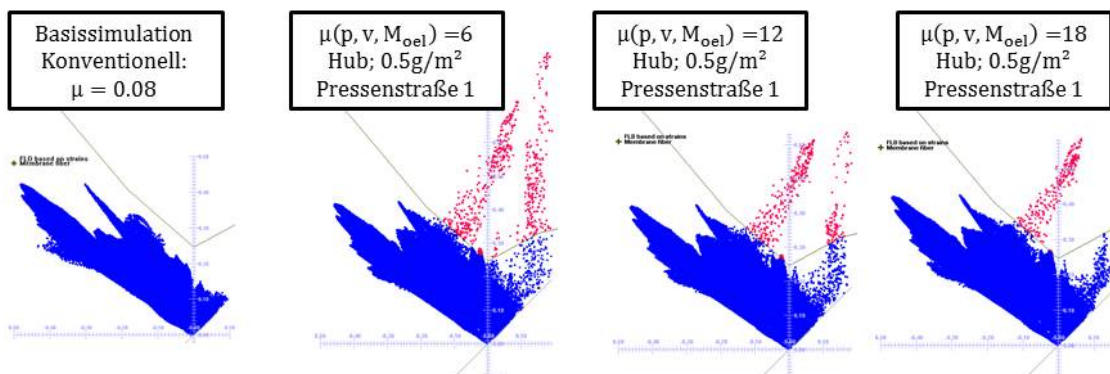
21

VORGEHENSWEISE UND METHODIK



4. Valdierung: Demonstratorbauteil Radmulde Insignia („Boden –Hinten- Hinten“)

- Integration eines Reibmodells mit Abhängigkeit von Druck, Relativgeschwindigkeit, Beölungsmenge & Verteilung und Pressenstraße
- Ausschnitt Robustheitsanalyse: Überprüfung des Einflusses von Hubzahl und Beölungsmenge auf das Prozessergebnis
- Eingangsgrößen: Basissimulation, Pressenstraße, Hubzahl (Variation), Schmierstoff, Beölungsverteilung
- Erprobung: Minimalbeölung 0.5g/m² konstante Verteilung, Schmierstoff: PL3802/39s



22

VORGEHENSWEISE UND METHODIK



4. Valdierung: Demonstratorbauteil Radmulde Insignia („Boden –Hinten- Hinten“)

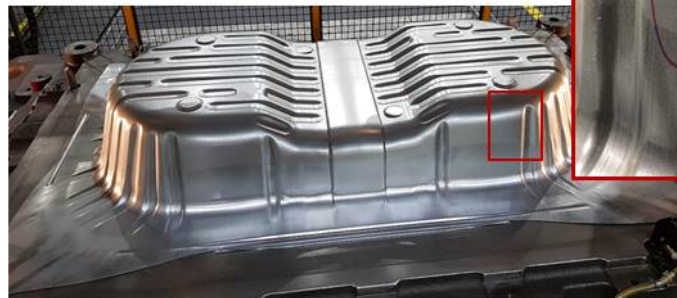
- Integration eines Reibmodells mit Abhängigkeit von Druck, Relativgeschwindigkeit und

- Beölung
- Ausrichtung
- Beölung
- Einbau
- Beölung
- Erprobung

Abgleich durch Validierungsversuch:

- 12 Hub/min
- 0.5 g/m² Prelube (gleichförmig beölt)

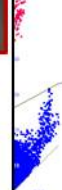
**Ergebnis bestätigt Vorhersage der Simulation:
Bauteil NOK**



Basis
Konst
μ



18
1



22

VORGEHENSWEISE UND METHODIK



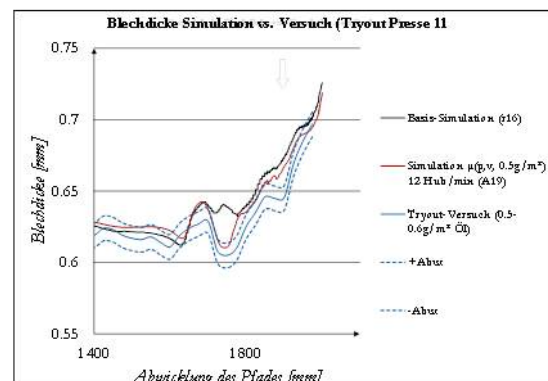
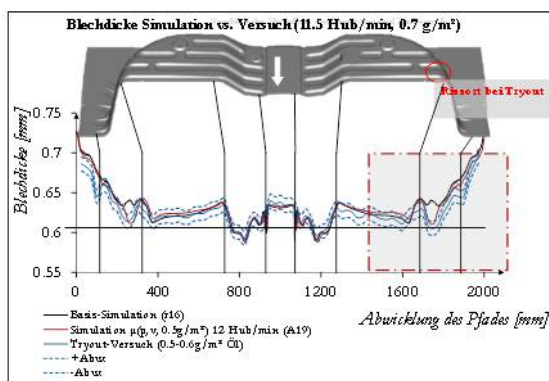
4. Valdierung: Demonstratorbauteil Radmulde Insignia („Boden-Hinten-Hinten“)

Integration eines Reibmodells mit Abhängigkeit von Druck, Relativgeschwindigkeit und Beölungsmenge

Reengineering eines Tryoutversuchs zur Valdierung der Simulation

- Definierte Blechteileinlage
- Definierte Platinen und Werkzeugbeölung

Die Simulation mit Reibmodellierung kann kritischen Bereich prognostizieren



23

ZUSAMMENFASSUNG



- Die tribologischen Effekte werden zumeist unvollständig in der Umformsimulation des Endanwenders erfasst
- Keine optimale Nutzung des Prozessfensters
- Es wurde eine empirische Methode vorgestellt um tribologische Effekte aufgrund von Geschwindigkeit, Druck und Ölmengenverteilung innerhalb der Simulation wiederzugeben
- Mithilfe einer Geschwindigkeitsübertragungsfunktion konnte dabei die Güte gesteigert und die benötigte Zeit für die Simulation beibehalten werden
- Die Methode konnten anhand von kritischen Bauteilen validiert werden

24

Florian Dietrich, M.Sc.



**VIELEN DANK FÜR IHRE
AUFMERKSAMKEIT.**

25



Werkzeugbeschichtungen für die Kalt- und Warmumformung von Leichtmetalllegierungen

Martin Weber
Fraunhofer Institut für Schicht- und Oberflächentechnik

martin.weber@ist.fraunhofer.de
Bienroder Weg 54E
38108 Braunschweig
+49(0)531-2155-507

Umformtechnisch hergestellte Bauteile aus Leichtmetalllegierungen auf Basis von Aluminium, Magnesium oder Titan sind für den modernen Leichtbau unverzichtbar. Je nach Legierung, erforderlicher Umformtemperatur und Bauteilgeometrie werden unterschiedliche Anforderungen an die Werkzeuge gestellt. Während viele Aluminium- und Reintitanlegierungen kalt umgeformt werden können, sind für die Umformung von Magnesium-, höherfesten Aluminium- und Titanlegierungen temperierte Umformprozesse erforderlich, wobei in Einzelfällen Temperaturen bis oberhalb 900°C erreicht werden.

Diesen Leichtmetalllegierungen gemeinsam ist die hohe Adhäsionsneigung gegenüber der Oberfläche metallischer Werkzeuge, bedingt durch die hohe Reaktivität der Werkstoffe beim Aufreißen der nativen Oxidschicht. Dies führt zu spezifischen Verschleißerscheinungen am Werkzeug, verursacht häufig Riefenbildung und Reißen am Bauteil und senkt die Wirtschaftlichkeit der Umformprozesse. Um dem zu begegnen muss häufig mit hohem Schmierstoffeinsatz oder Ziehfolien gearbeitet werden.

Als Alternative bietet sich die Verwendung geeigneter Werkzeugbeschichtungen oder Diffusionsbehandlungen an. Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung sind das Verständnis der wirkenden Verschleißmechanismen sowie die Kenntnis der zur Verfügung stehenden Lösungsansätze. An Hand von Beispielen aus dem Bereich der Aluminiumumformung werden die wirkenden Verschleißmechanismen erörtert. Daraus wird ein Maßnahmenkatalog für die Randschichtbehandlung der Werkzeuge abgeleitet. Daran schließt sich eine Vorstellung der geeigneten Schichtsysteme und Diffusionsbehandlungen an, deren Einsatz an Hand von Fallbeispielen erläutert wird.



Werkzeugbeschichtungen für die Kalt- und Warmumformung von Leichtmetalllegierungen

10. Forum »Tribologische Entwicklungen in der Blechumformung«, Darmstadt



Dipl.-Ing. Martin Weber
Fraunhofer IST, Braunschweig
martin.weber@ist.fraunhofer.de, Tel.:
0531/2155-507



© Fraunhofer

Gliederung

- Vorgehen bei der Werkzeugoptimierung
- Verschleißmechanismen bei der Leichtmetallformgebung
 - Beispiel: Aluminium-Blechumformung
 - Beispiel: Aluminium-Druckguss
 - Ableitung von Abhilfemaßnahmen
- Diffusionsbehandlungen und Beschichtungen
 - Nitrieren, Borieren
 - Kohlenstoff-, Bor-, Chrombasierte Schichten
- Fallbeispiele
 - Schmiermittelfreie Aluminium-Blechumformung
 - Rückwärtsfließpressen von Aluminium
 - Strangpressen von Aluminium
 - Aluminium-Druckguss

© Fraunhofer IST



Vorgehen bei der Werkzeugoptimierung:

Standmengenproblem des Kunden



© Fraunhofer

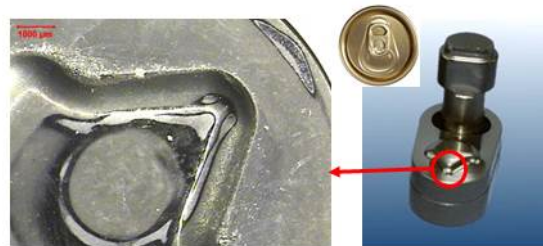
Fraunhofer
IST

Verschleißmechanismen: Aluminium-Blechumformung

■ Abrasion

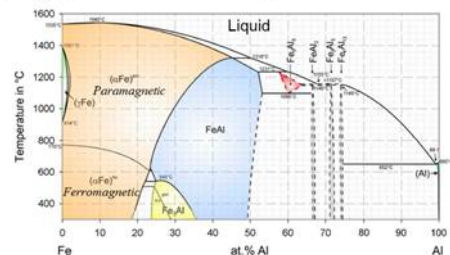
- Abrasive Wirkung der nativen Oxidschicht der Blechoberfläche
→ Härte $Al_2O_3 \approx 2000\text{ HV}$

Abrasierer Verschleiß an einem beschichteten Umformwerkzeug für die Getränkedosenherstellung



■ Adhäsion

- Nach Aufreißen der Oxidschicht direkter Kontakt der weichen reaktiven Aluminiumoberfläche mit dem Werkzeug
→ Abhängig vom Umformgrad und der Oberflächentopographie des Werkzeugs
- Entstehung initialer Anhaftungen durch mechanische Verklammerung oder Bildung intermetallischer Phasen



Zamanzade, M.; et. al.: A Review on the Properties of Iron Aluminide Intermetallics. Crystals 2016, 6, 10

© Fraunhofer IST

Fraunhofer
IST

Verschleißmechanismen: Aluminium-Blechumformung

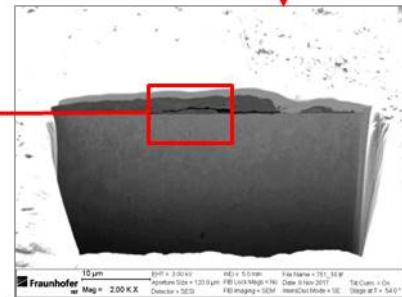
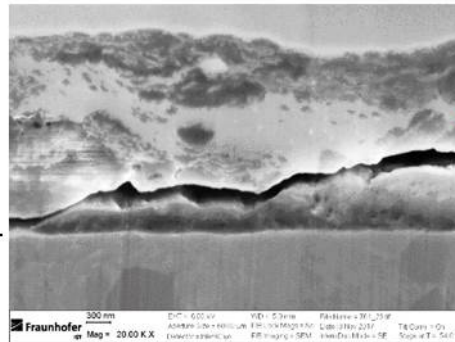
■ Adhäsionen im Detail

- Veränderung der initialen Anhaftungen durch
 - Oxidation
 - Anlagerung weiteren Materials
 - mechanische Verfestigung
 - Ausbrechen, Ablösen



Anhaftung
 $Al + Al_2O_3 (+ Fe)$

Stahl

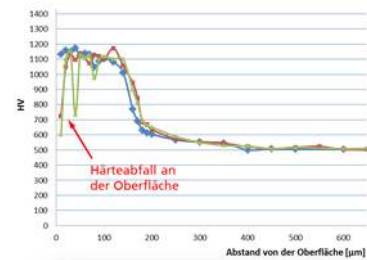
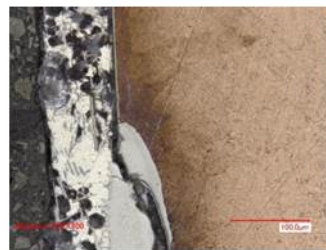


© Fraunhofer IST

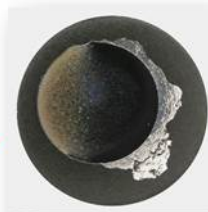
Fraunhofer
IST

Verschleißmechanismen: Aluminium-Druckguss

- Korrosiver Angriff durch die Metallschmelze
- Thermische Entfestigung des Grundwerkstoffes
- Rissbildung durch Thermoschock
- Adhäsion



Pinolen für den Aluminiumdruckguss



Querschnitt nach der Anwendung

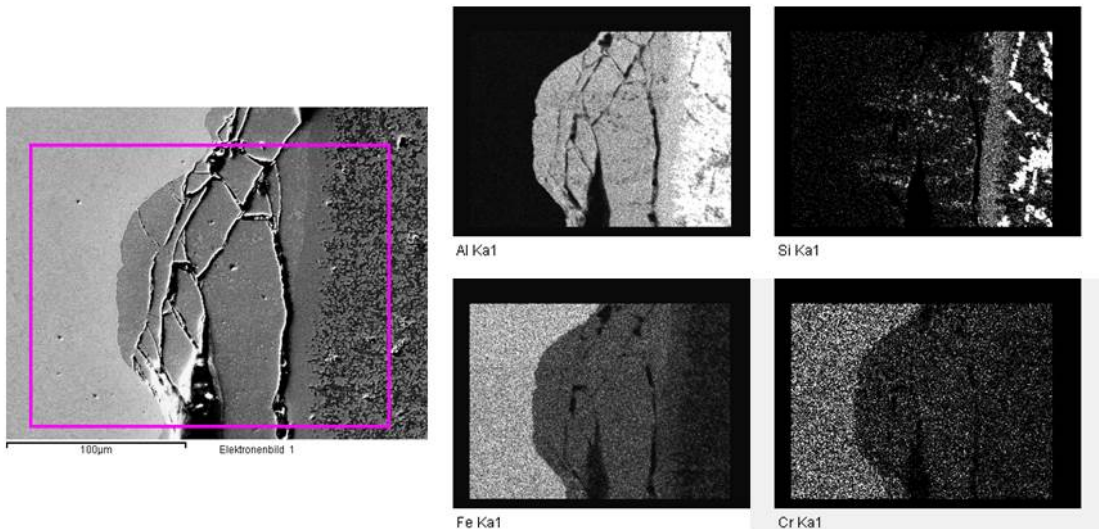


© Fraunhofer IST

Fraunhofer
IST

Verschleißmechanismen: Aluminium-Druckguss

- Korrosiver Angriff durch die Metallschmelze
 - Bildung spröder FeAl-Phasen



© Fraunhofer IST

Fraunhofer
IST

Verschleißmechanismen: Ableitung v. Abhilfemaßnahmen

Überhitzung	Rissbildung	Abrasion	Adhäsion	Korrosion
<ul style="list-style-type: none"> → Anlasseffekte → Plastische Deformation → Verstärkte Abrasion 	<ul style="list-style-type: none"> → Ansatzpunkte für Abrasion, Adhäsion, Korrosion → Werkzeugbruch 	<ul style="list-style-type: none"> → Fortschreitende Materialabtrag → Geometrieänderungen 	<ul style="list-style-type: none"> → Anhaftungen → Riefenbildung am Bauteil → Schlechte Entformung 	<ul style="list-style-type: none"> → Angriff durch Metallschmelze → Oxidation
↓	↓	↓	↓	↓
<ul style="list-style-type: none"> → Nitrieren mit großer Nht → Anderer Werkstoff 	<ul style="list-style-type: none"> → Keine / schwache Nitrierung → Anderer Werkstoff 	<ul style="list-style-type: none"> → Beschichtung → Nitrierung mit hoher Härte → (Borieren) 	<ul style="list-style-type: none"> → Beschichten → Nitrieren mit Verbindungsschicht → (Borieren) 	<ul style="list-style-type: none"> → Beschichten → Nitrieren mit Nachoxidation (bei Oxidation)

© Fraunhofer IST

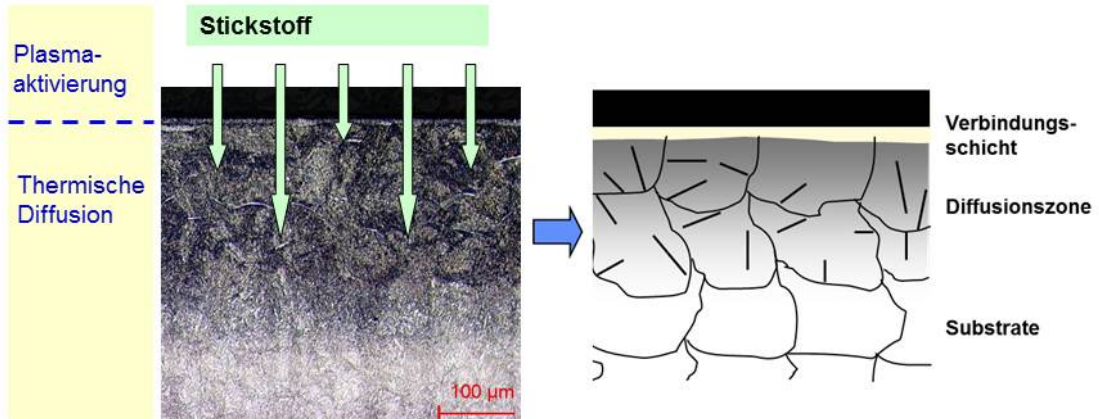
Fraunhofer
IST

Diffusionsbehandlungen und Beschichtungen

Plasmanitrieren

■ Grundlagen

- Aktivierung des Stickstoffs im Plasma und Diffusion in den Werkstoff
- Bildung sehr harter Nitride → *Verbindungsschicht*
- Bildung von Ausscheidungen → *Diffusionszone*



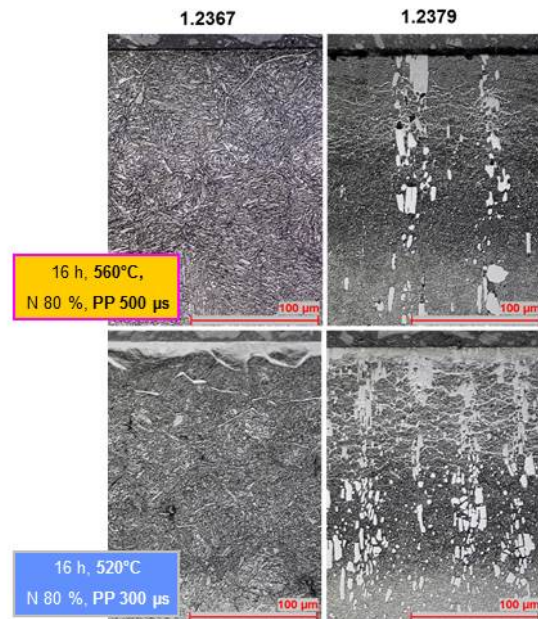
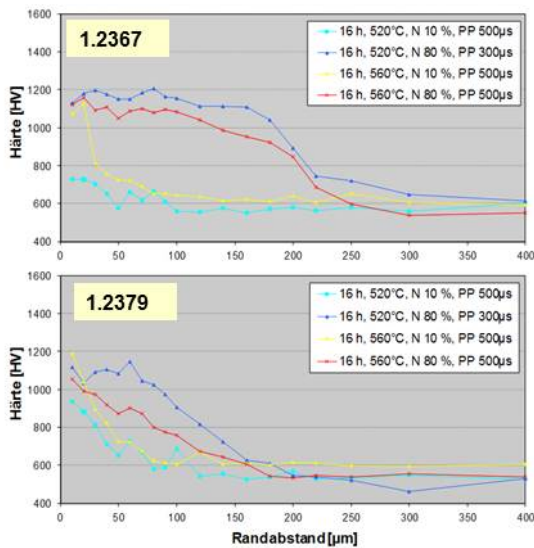
© Fraunhofer IST

Fraunhofer
IST

Diffusionsbehandlungen und Beschichtungen

Plasmanitrieren

■ Abhängigkeit des Nitrierergebnisses vom Werkstoff und den Prozessparametern



© Fraunhofer IST

Fraunhofer
IST

Diffusionsbehandlungen und Beschichtungen

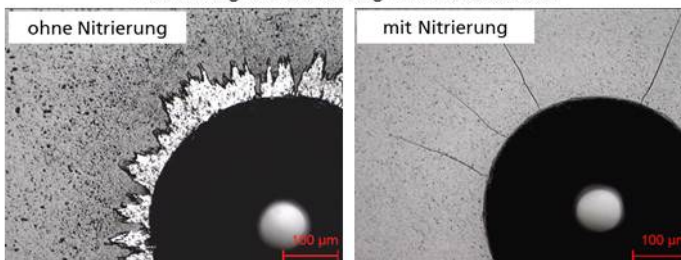
Plasmanitrieren

- Anwendungseigenschaften
 - + Verbesserte Schichthftung
 - + Höhere Beständigkeit gegen Abrasivverschleiß
 - + Thermische Stabilisierung der Randzone bis ca. 800°C
- (+) Verringerte Adhäsionsneigung
- Verändertes Rissverhalten
- Verändertes Korrosionsverhalten

Verhalten bei Thermoschockbelastung



Auswirkung auf die Haftung einer DLC-Schicht



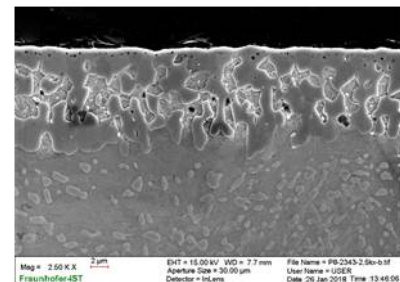
© Fraunhofer IST



Diffusionsbehandlungen und Beschichtungen

Plasmaborieren

- Grundlagen
 - Eindiffundieren von Bor in den Werkstoff
 - Bildung sehr harter Eisenboride → Härte ca. 2000 HV
 - Schichtdicken 10-20 µm
 - Nachhärtung erforderlich → Gefahr von Verzug
- Anwendungseigenschaften
 - + Hohe Verschleißbeständigkeit
 - + Geringe Adhäsionsneigung gegenüber Al



Borierte Randzone in Stahl 1.2343



Reibspur gegen Aluminium



Bauteile im Plasma

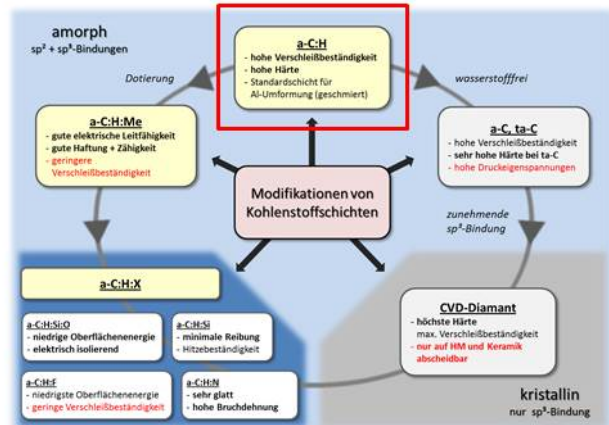
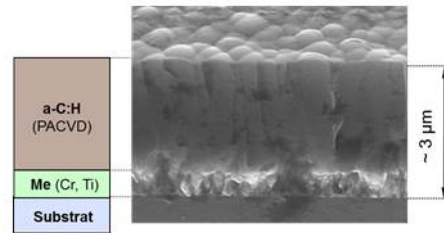
Borieranlage am Fraunhofer IST

© Fraunhofer IST



Diffusionsbehandlungen und Beschichtungen Kohlenstoffschichten

- Amorphe Kohlenstoffschichten a-C:H
 - Herstellung: PACVD- oder PVD-Verfahren
 - Hohe Härte: 2500 – 3000 HV
 - Hohe Verschleißbeständigkeit
 - Niedriger Reibungskoeffizient
 - Sehr geringe Adhäsionsneigung gegen Aluminium
 - Maximale Anwendungstemperatur < 400°C
 - Geringe Überlastsicherheit
→ Gefahr von Schichtausbrüchen



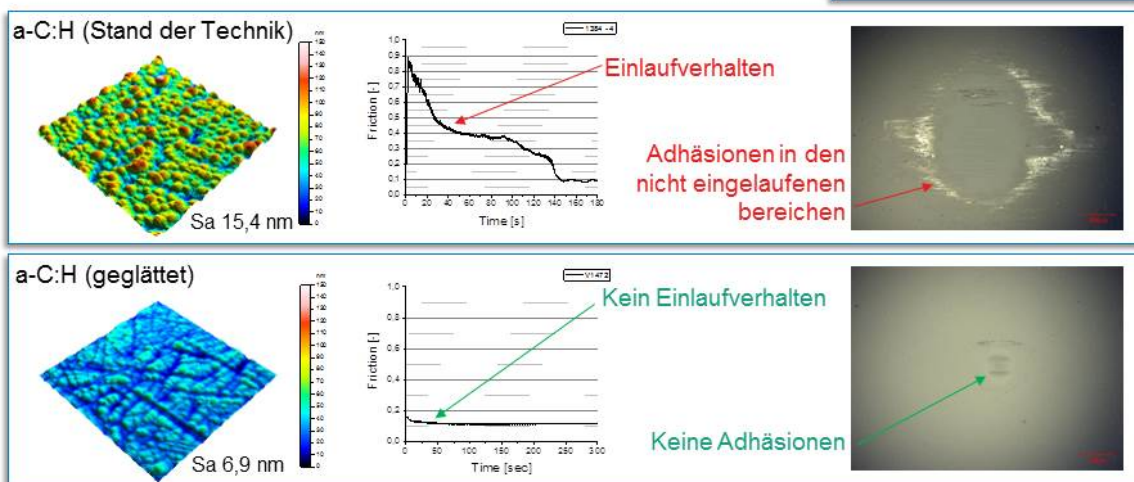
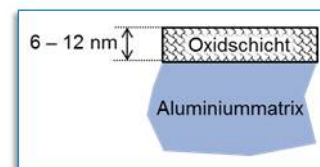
■ Anwendung:
➢ Kaltumformung von Aluminium

© Fraunhofer IST



Diffusionsbehandlungen und Beschichtungen Kohlenstoffschichten

- Bedeutung Schichtrauheit und Einlaufverhalten
 - Furchung der Oxidschicht durch Rauheitsspitzen der Schicht
→ Kontakt der Werkzeugoberfläche mit stark adhäsivem Al



© Fraunhofer IST



Diffusionsbehandlungen und Beschichtungen

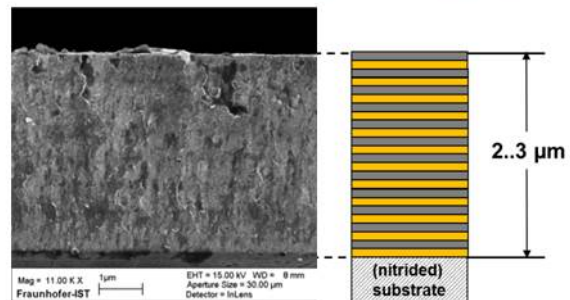
Borbasierte Schichten

- TiN-TiBN-TiB₂
 - Herstellung: PACVD-Verfahren
 - Hohe Härte: 3000 – 4200 HV
 - Geringe Löslichkeit von B und Al
 - *Hohe Beständigkeit gegen Aluminiumschmelze*
 - Kombination mit Plasmanitrierung
 - *Schutz vor Anlasseffekten in der Randzone*
 - *Verbesserung der Schichthftung*



- Anwendung:

 - *Aluminium-Druckguss*
 - *Strangpressen von Aluminium*
 - *Schmieden von Aluminium*



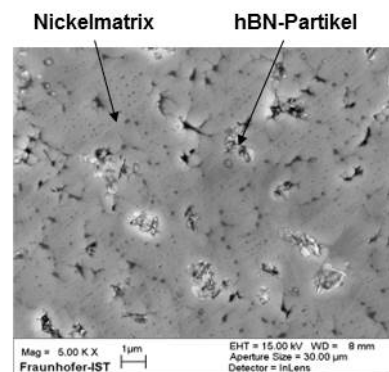
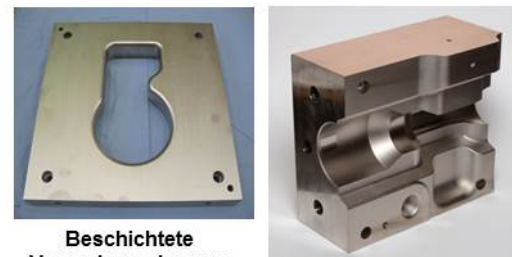
© Fraunhofer IST

Fraunhofer
IST

Diffusionsbehandlungen und Beschichtungen

Borbasierte Schichten

- Nickel/hBN-Dispersionsschichten
 - Herstellung: Nasschemisch (stromlos)
 - *Schichtdicke bis ca. 50 µm möglich*
 - *Homogene Innenbeschichtung von Bohrungen*
 - Einlagerung von bis ca. 30 Vol-% hBN in chemisch Nickel
 - *Sehr gute Trennwirkung bei höheren Temperaturen*
 - Härte bis max. 1000 HV (mit Wärmebehandlung)



- Anwendung:

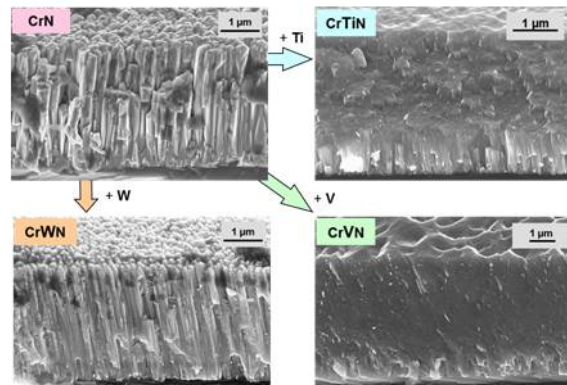
 - *Temperierte Umformung von hochfesten Aluminiumlegierungen*
 - *Temperierte Umformung von Titanlegierungen*

© Fraunhofer IST

Fraunhofer
IST

Diffusionsbehandlungen und Beschichtungen Chrombasierte Schichten

- Eigenschaften von CrN
 - gute Duktilität/Zähigkeit
 - gute thermische Beständigkeit (~ 700°C)
 - gute Korrosionsbeständigkeit



- Eigenschaften von CrXN
 - höhere Härte
 - X = Al, Si, Ti → höhere thermische Beständigkeit (~ 900... 1000°C)
 - X = V, W, (Ti) → geringere Reibung

- Anwendung
 - Zerspan-, Umform- und Schneidwerkzeuge für die Bearbeitung von NE-Metallen
 - Aluminiumdruckguss
 - Strangpressen von Aluminium

© Fraunhofer IST

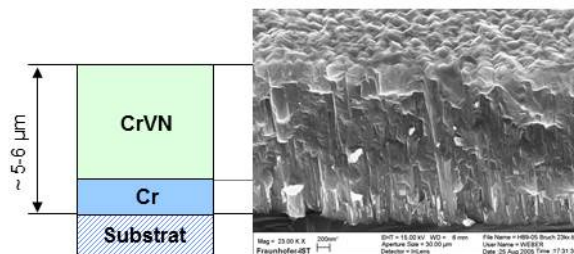
Fraunhofer
IST

Diffusionsbehandlungen und Beschichtungen Chrombasierte Schichten

- Beispiel CrVN
 - Herstellung: PVD (Sputter-, Arc-Verfahren)
 - Sehr gute Beständigkeit gegen Aluminiumschmelze
 - Anwendung bei höheren Temperaturen (> 500°C)
 - Gute Beständigkeit gegen NaOH
 - Einfache chemische Entfernung von Al-Rückständen
 - Bei Kombination mit Plasmanitrierung
 - Schutz vor Anlaseffekten in der Randzone
 - Verbesserung der Schichthaftung

Schichteigenschaften		
Rockwell Haftungsklasse		1
Kritische Last LC_2	[N]	38 - 67*
Härte	[HV 0,05]	1600 - 2400*
Verschleiß	[10 ⁻¹⁵ m ³ m/N]	5 - 11**
Thermische Stabilität		600-800°C*

* Abhängig vom Vanadiumgehalt (13...30 at. %)



- Anwendung:
 - Aluminium-Druckguss
 - Strangpressen von Aluminium

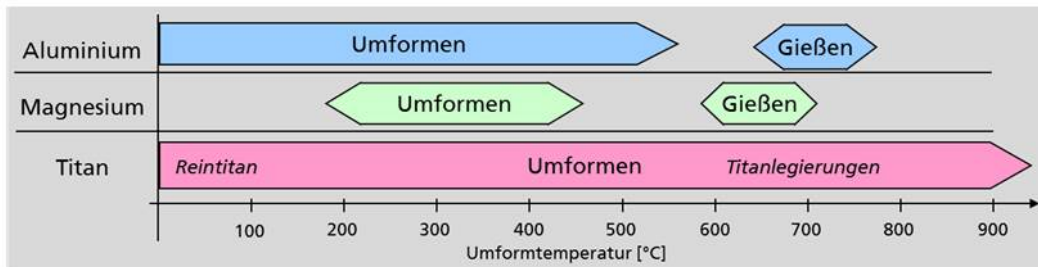
© Fraunhofer IST

Fraunhofer
IST

Diffusionsbehandlungen und Beschichtungen

Anwendungsbereiche der Schichten

■ Umformtemperatur



■ Kohlenstoffschichten (DLC)

- a-C:H, ta-C → Al-Umformung kalt, Ti-Umformung kalt
- a-C:H:W → Mg-Umformung

■ Borbasierte Schichten

- TiBN / TiB₂ → Al-Druckguss, Al-Strangpressen
- Ni/hBN → Al-Umformung warm, Temperierte Ti-Umformung

■ Chrombasierte Schichten

- CrVN, CrWN → Al-Druckguss, Al-Strangpressen

© Fraunhofer IST



Fallbeispiel: Schmiermittelfreie Aluminiumblechumformung

■ Napfziehversuche trocken

Blech: EN AW-5083, 1 mm, mill-finish

DLC



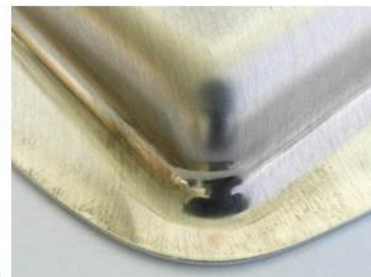
1 Hub



DLC nachpoliert



250 Hub

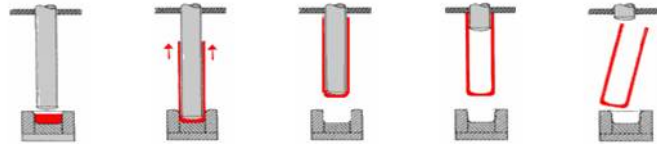


© Fraunhofer

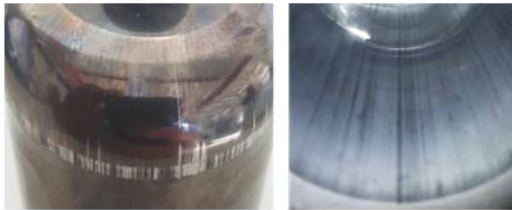


Fallbeispiel: Kaltmassivumformung von Aluminium

- Rückwärtsfließpressen von Aluminium



Hartstoffschicht
nach 10 gepressten Teilen



Stempel

Pressteil

DLC-Schicht
nach > 1500 gepressten Teilen



Stempel

Pressteil

Material 6xxx Aluminium, keine Zusatzschmierung

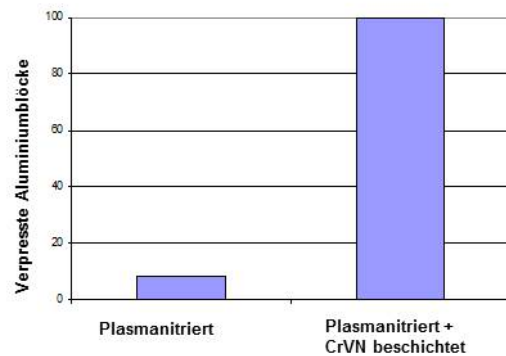
© Fraunhofer IST

Fraunhofer
IST

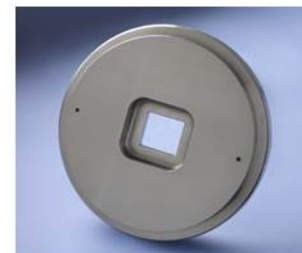
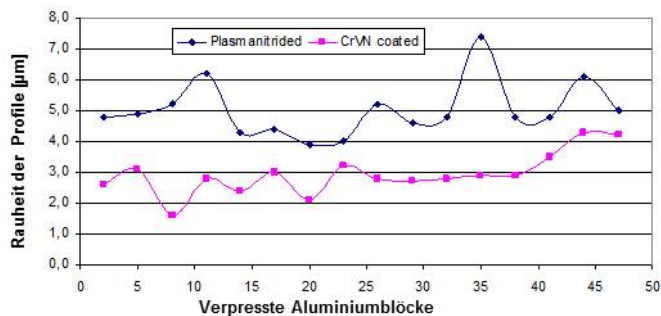
Fallbeispiel: Strangpressen Aluminium

- Auswirkungen einer CrVN Beschichtung
 - Standmengenerhöhung
 - Bessere Strangqualität

→ *Problem: bisher nur bei einfachen Werkzeuggeometrien realisierbar*



Strangqualität

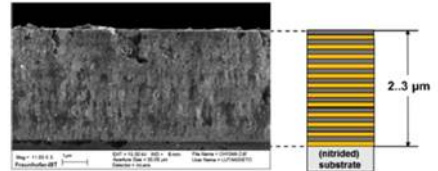
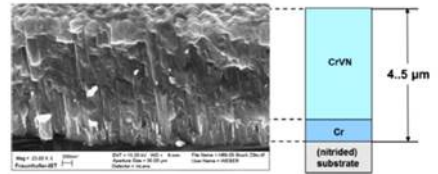
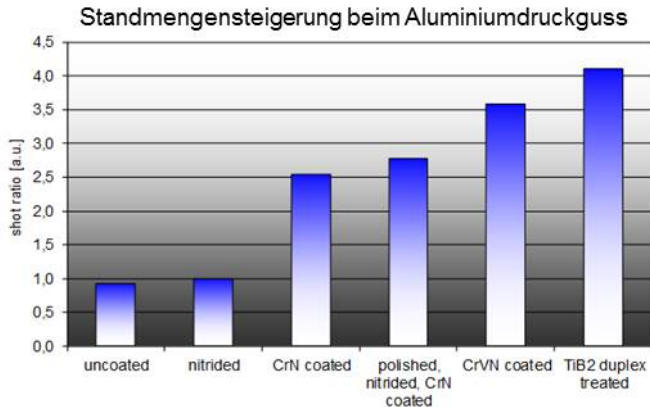


© Fraunhofer IST

Fraunhofer
IST

Fallbeispiel: Aluminiumdruckguss

- CrVN und TiB₂ Beschichtung
 - Schutz vor Angriff der Schmelze
 - Verringerte Anhaftung von Aluminium
 - Bis zu 400 % höhere Werkzeugstandmenge



© Fraunhofer IST

Fraunhofer
IST

Unser Angebot:



© Fraunhofer

Fraunhofer
IST

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Kontakt:

Dipl.-Ing. Martin Weber
Fraunhofer Institut für Schicht- und Oberflächentechnik (IST)
Bienroder Weg 54 E
38108 Braunschweig
martin.weber@ist.fraunhofer.de
Tel.: 0531/2155-507



ASPECT – Analyse der Reibungsveränderung durch instationäre Werkzeugtemperaturen für die Prozessauslegung und -kontrolle

Jan Filzek, Holger Schröder, Daniel Keil
FILZEK TRIBOtech

filzek@tribotech.de
Weingartenstr. 31
64367 Mühlthal
+49 (0)6151 1623149

Die zunehmende Komplexität von modernen Prozessketten macht eine immer detailliertere Beschreibung und Analyse von Prozessdaten notwendig. Trends zur Reduzierung der Losgrößen unter Beibehaltung oder sogar Verbesserung der Ausbringung erfordern eine verstärkte Fokussierung auf die Prozessstabilität, um die Ausschussrate zu reduzieren und somit die Produktivität zu steigern. Hierbei spielt auch die instationäre Prozess- bzw. Werkzeugtemperatur eine wichtige Rolle, da sie die Schmierwirkung und damit die Reibung verändert.

Diese Thematik der temperaturinduzierten Reibungsveränderung wird im Rahmen des europäischen Forschungsprojektes ASPECT untersucht. Dies ist ein Projektkonsortium aus 13 Partnern, die in nordwest-europäischen Ländern ihren Sitz haben und durch das INTERREG NWE Programm gefördert werden. Ziel ist es, Reibungseffekte bei Umformprozessen vorherzusagen und zu beherrschen. Im Speziellen sollen Änderungen der Reibungsverhältnisse, welche durch Temperaturänderungen während des Produktionsanlaufs hervorgerufen werden, erkannt und durch ein Regelsystem kompensiert werden. Experimentelle Basis dieser Reibungsberücksichtigung in FEM und Prozessregelung sind Reibuntersuchungen, um das Reib-Temperaturverhalten zu beschreiben sowie für die spätere Modellierung Eingangs- und Validierungsdaten zu liefern.

Im Vortrag werden zunächst Ergebnisse zur temperaturinduzierten Reibungserhöhung im Streifenziehversuch gezeigt. Anschließend wird die Entwicklung eines reibsensitiven und beheizbaren Labor-Umformdemonstrators präsentiert, der die Auswirkungen der temperaturinduzierten Reibungsveränderung auf das Umformergebnis zeigen soll. Zugleich soll damit die prinzipielle Strategie der Prozesskontrolle aufgezeigt werden.



ASPECT - Analyse der Reibungsveränderung durch instationäre Werkzeugtemperaturen für die Prozessauslegung und –kontrolle*

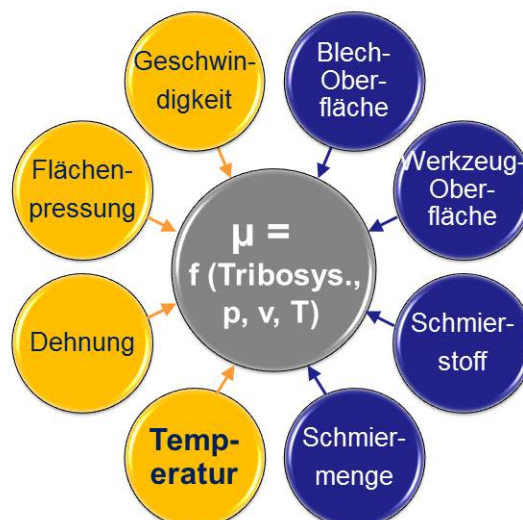
Dr.-Ing. Jan Filzek; M.Sc. Holger Schröder, B.Sc. Daniel Keil
 FILZEK TRIBOtech, D-64367 Mühlthal

Inhalt:

1. Einführung und Motivation
2. Übersicht EU-Projekt ASPECT
3. Reibversuche zum Einfluss der Werkzeugtemperatur
4. ASPECT Demo Line für temperaturinduzierte Reibungsveränderung
5. Ausblick

Einführung und Motivation

Einflussgrößen auf die Reibung



Einführung und Motivation

Problemstellung der variablen Werkzeugtemperatur

- immer kleinere Produktionsschichten, Unterbrechungen durch Pausen und Qualitätsprobleme

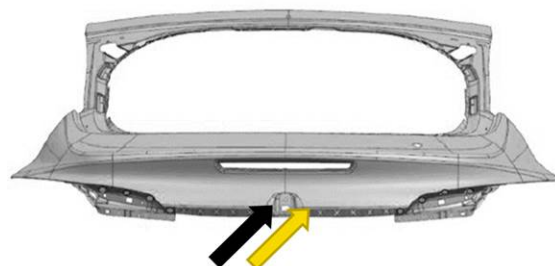
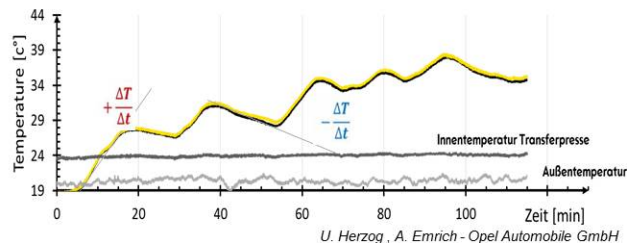
=> **zunehmend instationäre Temperaturverhältnisse im Werkzeug!**

=> **schwankende Reibungsbedingungen!**

=> potentielle Erhöhung der Ausschussrate, insbesondere bei Produktionsanlauf

- AKTUELLE ABHILFE:**

Manuelle Nachregelung der Prozesskräfte aufgrund Erfahrung



Übersicht EU-Projekt ASPECT



Analyse der Reibungsveränderung durch instationäre Werkzeugtemperaturen für die Prozessauslegung und -kontrolle*

Grundlage

- Ausgangssituation:** Produktivitätsverluste von bis zu 25% aufgrund von nicht kontrollierbarer temperaturabhängiger Reibungseffekte.
- Gesamtziel:** Maximierung der Produktivität von Produktionslinien der Blechumformung mittels modellbasierter Berücksichtigung der temperaturinduzierten Reibungserhöhung während Produktionsanlauf.
- Effekt:** Kostenreduktion von bis zu 40%, um Produktionstechnologie in Europa zu halten

Teilziele

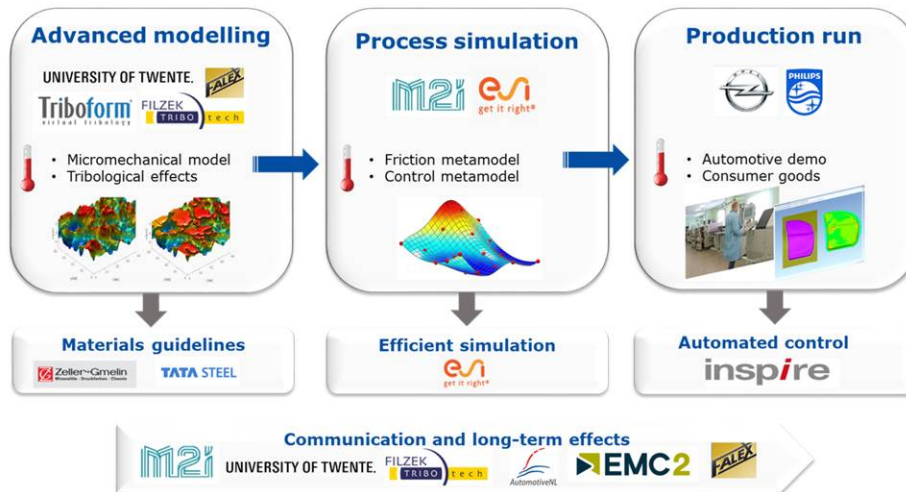
- Entwicklung und Validierung eines **Reibmodells zur Implementierung in effizienten FE Simulationen**
- Entwicklung einer **adaptiven Prozessregelung**
- Aufbau / Nachweis eines **stabilen und effizienten Prozesses zur Blechbauteilfertigung**, mit modellbasierter Regelung der temperaturinduzierten Reibungserhöhung

*: <http://www.nweurope.eu/aspect/>

Übersicht EU-Projekt ASPECT



Projektübersicht



© Dr.-Ing. Jan Filzek

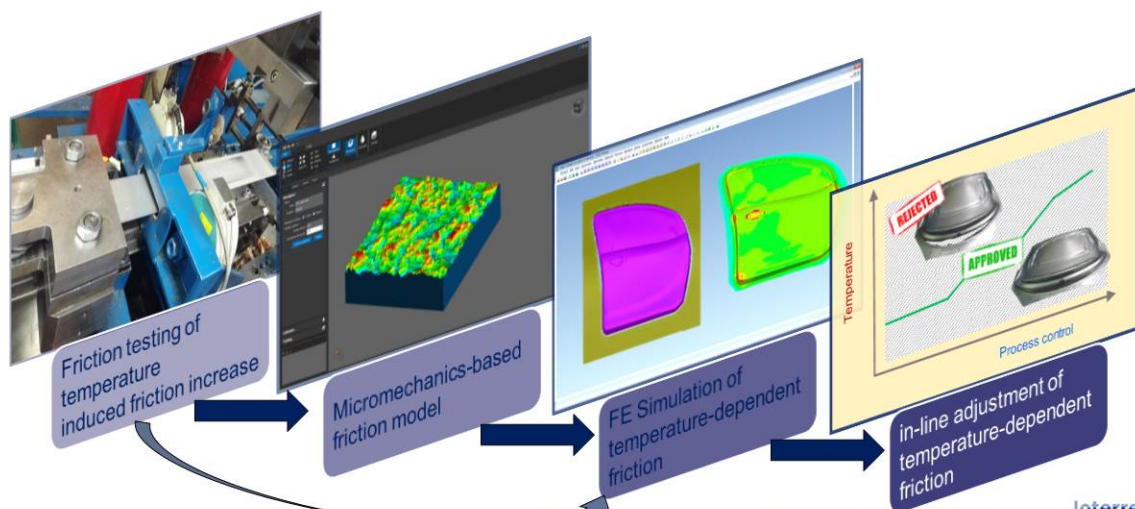
www.tribotech.de

Triboforum 06/2018_S. 5

Übersicht EU-Projekt ASPECT



Prinzipielle Prozesskette



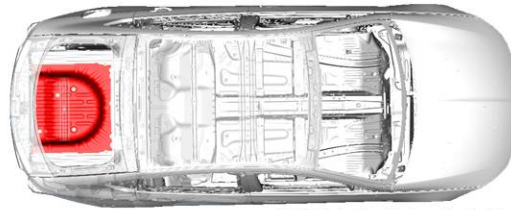
© Dr.-Ing. Jan Filzek

www.tribotech.de

*: <http://www.nweurope.eu/aspect/> Triboforum 06/2018_S. 6

Übersicht EU-Projekt ASPECT

Demonstrator-Bauteil bei Opel



F. Dietrich - Opel Automobile GmbH



Aktorik:

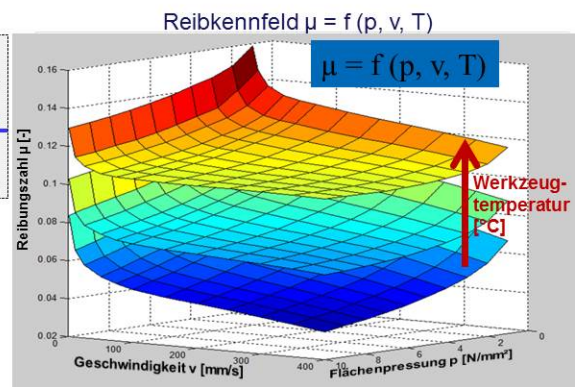
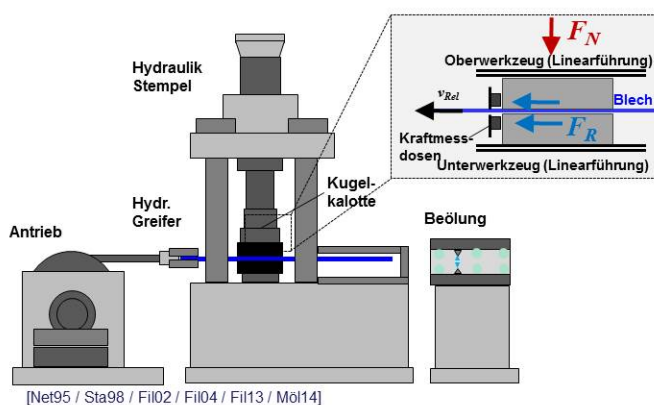
- Kontrollierbare Multipunkt Ziehkissen
- Werkzeugdistanzen

Sensorik

- Echtzeitmessung Prozesstemperatur
- Echtzeitmessung Draw-In

Reibversuche zum Einfluss der Werkzeugtemperatur

Etablierte Streifenziehmaschine der TU Darmstadt



- Reibprüfung nach VDA-Richtlinie 230/213 spezifiziert
- DoE-Methodik zur Reduktion des Versuchsumfanges möglich
- Weiterverarbeitung in Software FrictionGenerator

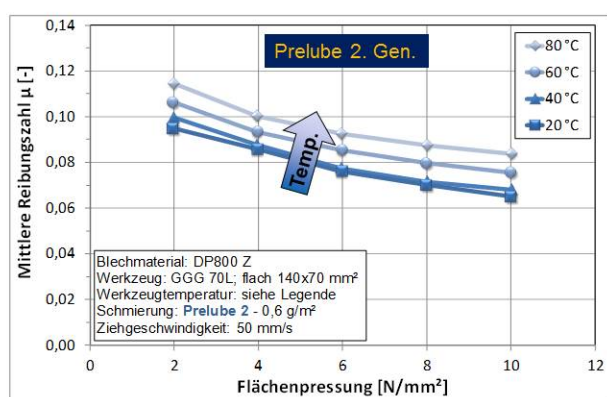
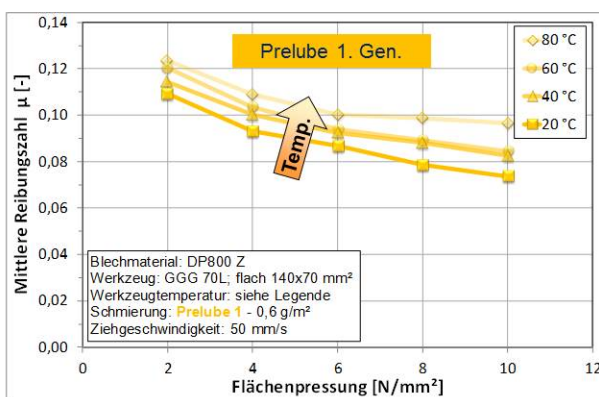
Reibversuche zum Einfluss der Werkzeugtemperatur

ASPECT Versuchsprogramm für Reibversuche

	DX56 Z	Zeller+Gmelin PL61	1 Tool, GGG70L, 140x70mm ² ,	Ra=0,15-0,2µm	20, 40, 60, 80 °C
	DX56 ZM				
	BH180 Z				
	DP800 Z	Z+G PL61 SE			
	AlSi420	Castrol	Ceratzid		
	Stainless Steel	Z+G ZS 10 Basic			

Reibversuche zum Einfluss der Werkzeugtemperatur

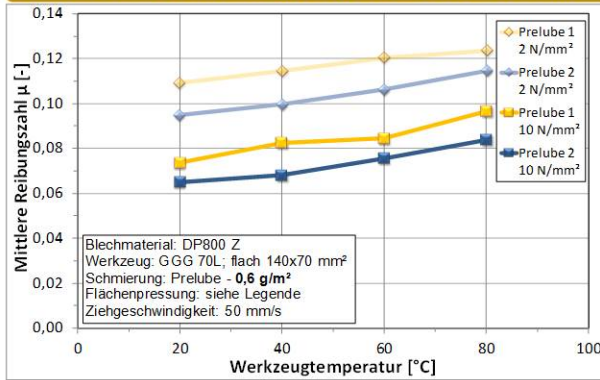
Reibkurven bei verschiedenen Werkzeugtemperaturen



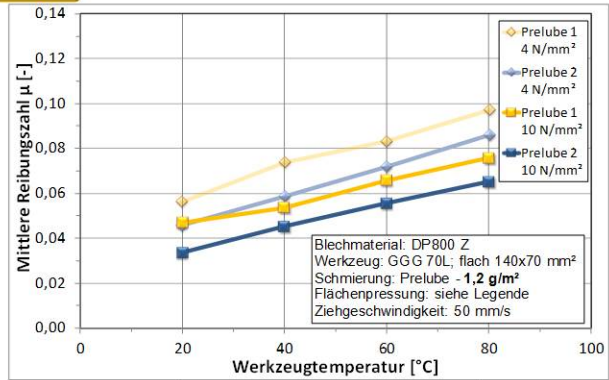
- bei beiden Prelubes steigt die Reibkurve mit zunehmender Temperatur an!
- Reibkurven bei Prelube 2 liegen etwa 10 – 15 % niedriger!

Reibversuche zum Einfluss der Werkzeugtemperatur

Einfluss der Werkzeugtemperatur und Schmiermenge



Prelube	Ölmenge	mittleres $\Delta\mu$ bez. auf 20 °C		
		40 °C	60 °C	80 °C
Pl 1.Generation	0,6 g/m²	+9%	+12%	+20%
Pl 2.Generation	0,6 g/m²	+3%	+13%	+23%

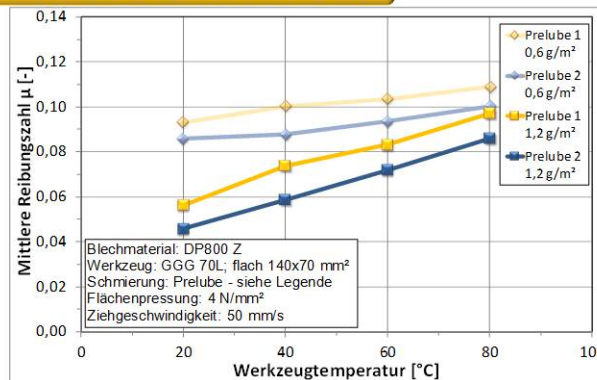


Ölmenge	mittleres $\Delta\mu$ bez. auf 20 °C		
	40 °C	60 °C	80 °C
1,2 g/m²	+23%	+44%	+67%
1,2 g/m²	+31%	+61%	+91%

➤ mit zunehmender Schmiermenge steigt die Reibung über der Temperatur stärker an

Reibversuche zum Einfluss der Werkzeugtemperatur

Einfluss der Werkzeugtemperatur und Schmiermenge



Prelube	Ölmenge	mittleres $\Delta\mu$ bez. auf 20 °C		
		40 °C	60 °C	80 °C
Pl 1.Generation	0,6 g/m²	+9%	+12%	+20%
Pl 2.Generation	0,6 g/m²	+3%	+13%	+23%

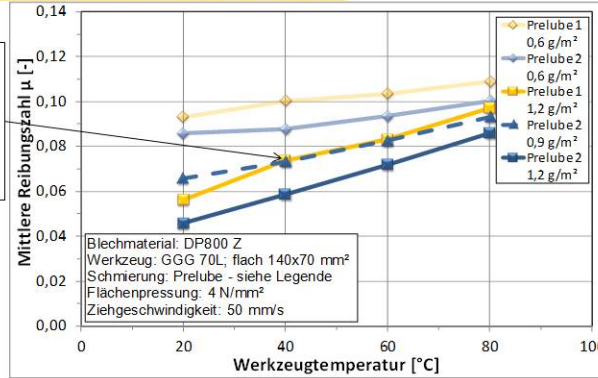
Ölmenge	mittleres $\Delta\mu$ bez. auf 20 °C		
	40 °C	60 °C	80 °C
1,2 g/m²	+23%	+44%	+67%
1,2 g/m²	+31%	+61%	+91%

➤ mit zunehmender Schmiermenge steigt die Reibung über der Temperatur stärker an

Reibversuche zum Einfluss der Werkzeugtemperatur

Schmiermengenreduktion und Temperatureinfluss

- Ziel / Annahme:
gleiche Reibleistung
beider Prelubes
bei 40°C



- für gleiches Reibniveau (40°C) reicht bei Prelube 2 weniger Schmiermenge (-0,3 g/m²) aus!
➤ weniger Schmiermenge des Prelube 2 führt zu geringerer temperaturinduzierter Reiberhöhung:

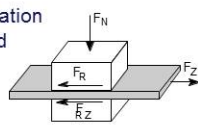
Ölmenge	mittleres $\Delta\mu$ bez. auf 20 °C		
	40 °C	60 °C	80 °C
1,2 g/m²	+23%	+44%	+67%
0,9 g/m²	+13%	+29%	+46%

ASPECT Demo Line für temperaturinduzierte Reibungsveränderung

ASPECT-Demonstrationslinie

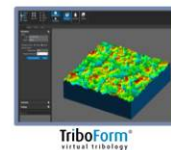
1. Strip Drawing Test:

experimental demonstration
of temperature induced
friction increase



2. Triboform Software Demonstrator:

prediction of friction



4. Demo Deep Drawing:

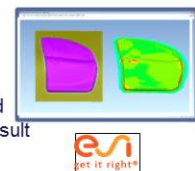
exp. demonstration of ...

- effects of temperature induced friction increase on forming result and part failure
- (principal) control possibilities for compensation of temperature effects



3. FEM Pamstamp Demonstrator:

virtual demonstration of the effects of temperature induced friction increase on forming result



ASPECT Demo Line für temperaturinduzierte Reibungsveränderung



Beheizbarer Umform-Demonstrator

Ziel:

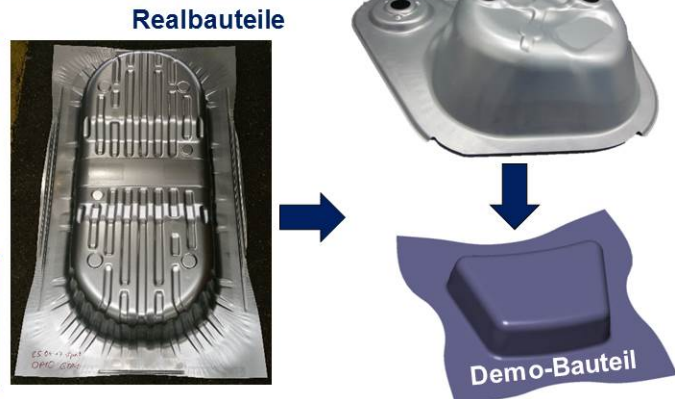
- Realitätsnaher Tiefziehprozess zur Demonstration des Einflusses der temperaturinduzierten Reibungsveränderung auf das Umformergebnis
- Darstellung der prinzipiellen Möglichkeit zur Gegensteuerung der störenden Reibungserhöhung mittels Anpassung der Blechhalterkraft

Anforderungen:

- komplexe, realitätsnahe Bauteilgeometrie
- **hohe Reibsensitivität**
- beheizbar bis 80 °C
- flexible Blechhalterkräfte
- zusätzliche Messung von Stempelkraft

Untersuchte Prinzipien:

- Runder Tiefziehnapf
- Rechtecknapf
- verschiedene realitätsnähere Geometrien



© Dr.-Ing. Jan Filzek

www.tribotech.de

Triboforum 06/2018_S. 15

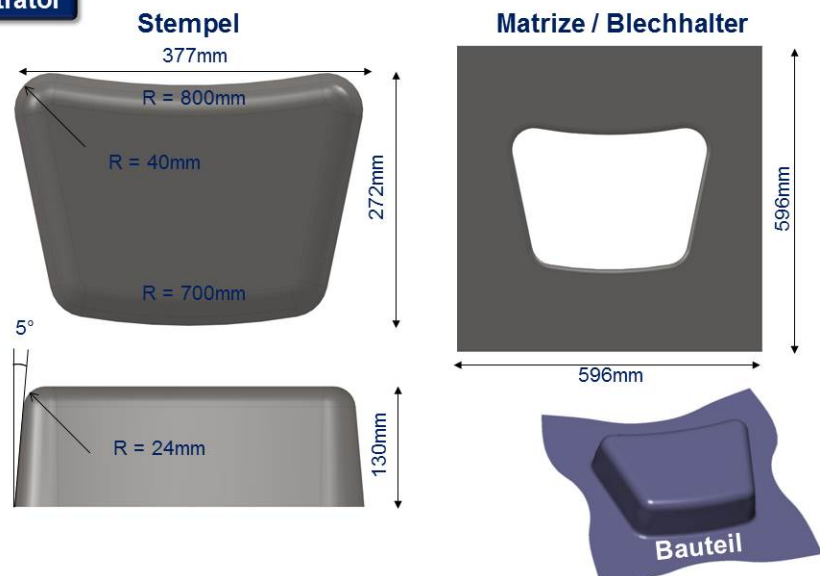
ASPECT Demo Line für temperaturinduzierte Reibungsveränderung



Beheizbarer Umform-Demonstrator

Finale Geometrie:

- komplexe Bauteilgeometrie
 - Trapezförmiger Stempel
 - konkave und konvexe Zonen
 - geneigte Bauteilwand
- ausgeprägte Ähnlichkeit zu Automobilteilen
- ausgeprägte Reibsensitivität



© Dr.-Ing. Jan Filzek

www.tribotech.de

Triboforum 06/2018_S. 16

ASPECT Demo Line für temperaturinduzierte Reibungsveränderung

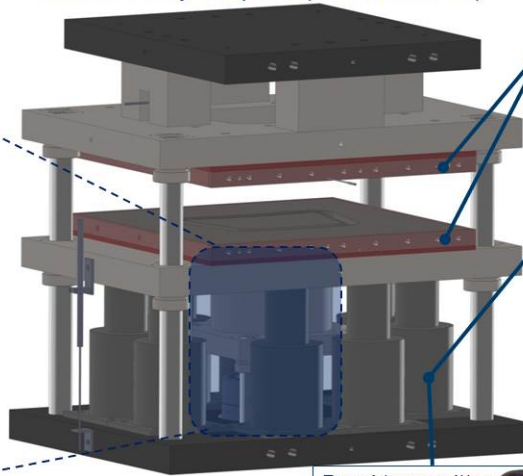
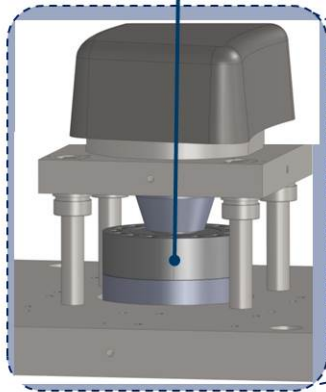


Aufbau beheizbarer Umform-Demonstrator

500 kN DMS-Kraftmessdose für Stempelkraft



Betrieb auf Syncro press ($F_{max}=2.500 \text{ kN}$)



beheizte und isolierte Matrize + Blechhalter mit je 4 unabhängigen Temperatur-Regelkreisen

8 Stickstoff-Gasfedern für Blechhalterkraft bis 1.200 kN



Bauteil



Drucktransmitter Blechhalterkraft



© Dr.-Ing. Jan Filzek

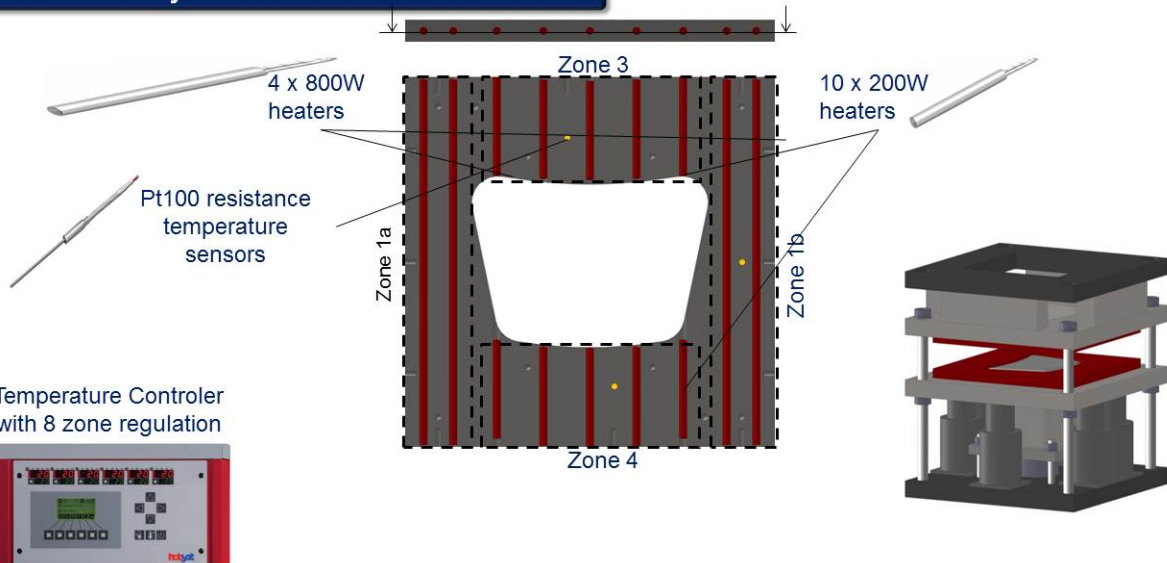
www.tribotech.de

Triboforum 06/2018_S. 17

ASPECT Demo Line für temperaturinduzierte Reibungsveränderung



8 Zonen-Heizsystem für Matrize und Niederhalter



© Dr.-Ing. Jan Filzek

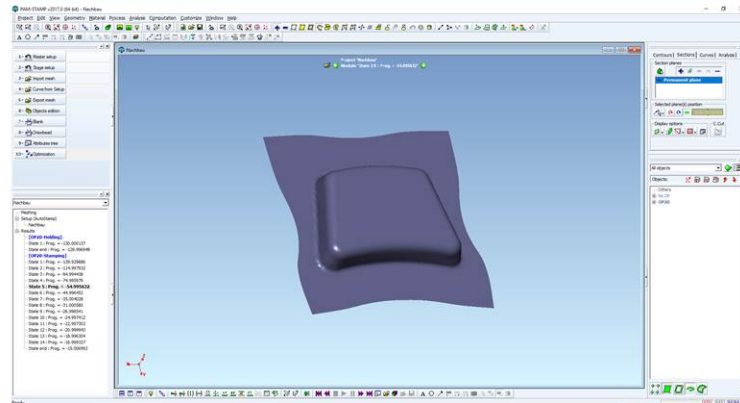
www.tribotech.de

Triboforum 06/2018_S. 18

ASPECT Demo Line für temperaturinduzierte Reibungsveränderung

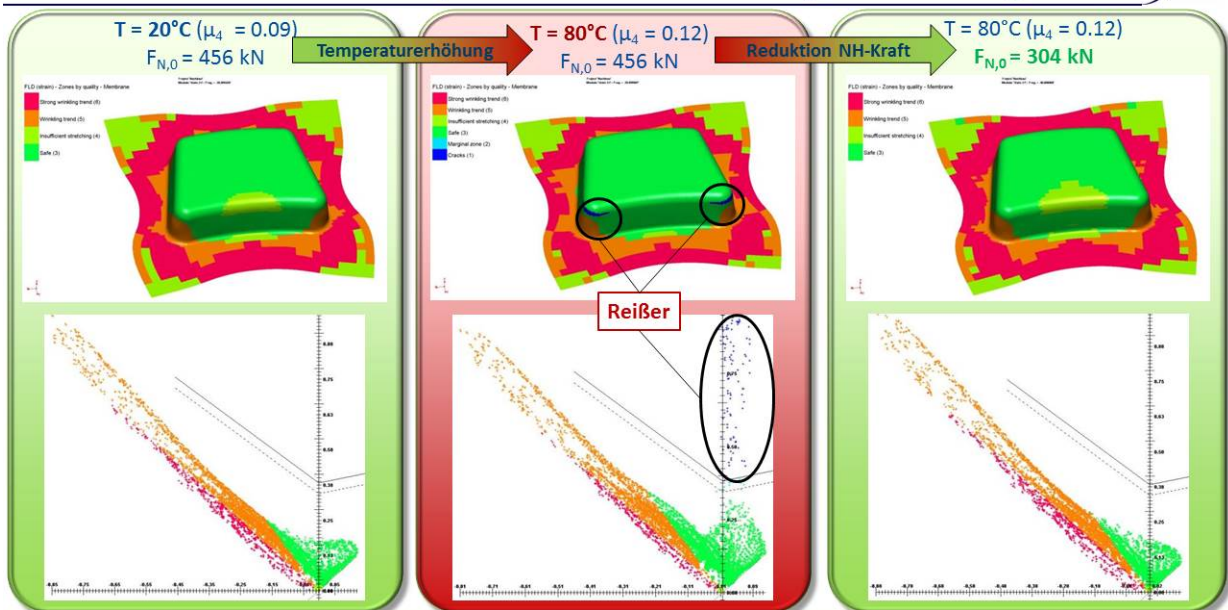


- FE Simulation für Demo Line:**
- PAM-STAMP Simulationen der Demonstrator-Geometrie
 - Nachweis der Reibsensitivität
 - Reibungsberücksichtigung zum Nachweis der temperaturinduzierten Reibungsveränderung
 - Nachweis der prinzipiellen Regelungsmöglichkeit



esi PAM-STAMP V2017.0

ASPECT Demo Line für temperaturinduzierte Reibungsveränderung



Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung:

- EU-Projekt ASPECT zur Analyse der Reibungsveränderung durch instationäre Werkzeugtemperaturen für die Prozessauslegung und –kontrolle*
- teilweise deutlicher Anstieg der Reibung über der Werkzeugtemperatur (bis zu 90 %)
- mit zunehmender Schmierleistung (Viskosität, Schmiermenge) noch deutlicherer Anstieg der Reibung über der Temperatur
- Aufbau einer Demonstrationslinie für temperaturinduzierte Reibungsveränderung

Ausblick:

- Reibtests von weiteren Tribosystemen bzgl. Temperatureinfluss
- Industrielle Demonstratoren (bei Opel und Philips) mit Prozessregelung des Temperatureinflusses bis Mitte 2019
- zeitnahe Inbetriebnahme von ASPECT Umform-Demonstrator und Demo Line, 1. Gratis-Schulungstag zu temperaturinduzierter Reibungsveränderung am 16.10.2018



