| | |
|---|---|
| **Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik** | **15191 BG** |
| Name der Forschungsstelle 1 | AiF-Vorhaben-Nr. |
| **Fraunhofer Institut für Schicht- und Oberflächentechnik** | **01.04.2007 – 31.03.2009** |
| Name der Forschungsstelle 2 | Bewilligungszeitraum |

# Gemeinsamer Zwischenbericht für den Zeitraum: 01.04. – 31.12.2007

(Forschungsstelle 1 & 2 von 3)

zu dem aus Haushaltsmitteln des BMWA über die

AiF Otto von Guericke

geförderten IGF-Forschungsvorhaben

☒ Normalverfahren

☐ Fördervariante ZUTECH

Forschungsthema:

Angepasste Werkzeugbeschichtungen und Schmiermittel für das warme Umformen fester und hochfester Aluminiumlegierungen

Für ein ZUTECH-Vorhaben sind folgende zusätzliche Angaben zu machen:

Der fortgeschriebene Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

☐ ist beigefügt

☐ liegt bereits vor

☐ wird fristgerecht nachgereicht

| | |
|---|---|
| Chemnitz, | |
| Ort, Datum | Unterschrift des Projektleiters 1 |
| Braunschweig, | |
| Ort, Datum | Unterschrift des Projektleiters 2 |

# Zwischenbericht für den Zeitraum: 01.04. – 31.12.2007

## 1 Forschungsthema

Angepasste Werkzeugbeschichtungen und Schmiermittel für das warme Umformen fester und hochfester Aluminiumlegierungen

## 2 Wissenschaftlich- technische und wirtschaftliche Problemstellung

### 2.1 Ausgangssituation

Der Trend zum Leichtbau spielt eine dominierende Rolle im Fahrzeug- und Flugzeugbau, aber auch im allgemeinen Maschinenbau. In zahlreichen Publikationen wird die Notwendigkeit unterstrichen, das Gewicht von Fahrzeugen deutlich zu verringern, um den Kraftstoffverbrauch senken zu können. Ein Lösungsansatz zur Reduzierung des Fahrzeuggewichts ist die Verwendung von Aluminiumwerkstoffen.

Aluminiumwerkstoffe eignen sich aufgrund des möglichen Gewichtsvorteils aber auch wegen dem hervorragenden Energieaufnahmevermögen besonders für Anwendungen im Karosseriebau. Die Anwendung von Aluminiumlegierungen - speziell in Umformoperationen – stellt jedoch besondere Anforderungen an die Werkstück- und Werkzeugauslegung sowie die Prozessgestaltung. Das Umformverhalten von Aluminiumlegierungen unterscheidet sich aufgrund werkstoffspezifischer Besonderheiten erheblich von dem konventioneller Stahlwerkstoffe. Dazu gehören vor allem Differenzen bei den mechanischen Eigenschaften, dem Verfestigungsverhalten sowie dem sich ausbildende tribologische System zwischen der Werkzeugoberfläche und dem Blech. Daraus resultiert eine besondere Problemstellung für die an der Prozesskette bei der Verarbeitung von Aluminiumwerkstoffen beteiligten Unternehmen, die in Abschnitt 2.2 näher erläutert wird.

Den größten Anteil des Aluminiumeinsatzes in der Blechumformung für den Automobilbau nehmen zur Zeit Aluminiumlegierungen geringer und mittlerer Festigkeit ein, beispielsweise „naturharte“ bzw. „nichtaushärtbare“ 5xxxer Legierungen und „aushärtbare“ 6xxxer Legierungen. Sie verbinden das Potenzial des Leichtbauwerkstoffes mit guter Umformbarkeit, erreichen jedoch nicht die Festigkeiten von höherfesten Stahlwerkstoffen (vgl. Abb. 1).

Ein besonders großes Potenzial zur Realisierung von Leichtbaukonzepten bieten höher- und hochfeste Aluminiumlegierungen, z.B. 7xxxer Legierungen. Diese Legierungen weisen Zugfestigkeiten von 350 MPa bis 650 MPa (TITANAL© = AlZn7MgCuZr) auf, jedoch bei eingeschränkter Umformbarkeit. Temperierte Umformprozesse können hier Verbesserungen bringen. Für einen effektiven Einsatz der genannten Aluminiumlegierungen sind jedoch optimierte Fertigungstechnologien und die Berücksichtigung werkstoffspezifischer Eigenheiten erforderlich.

Anwendungsbereiche für hochfeste Aluminiumwerkstoffe finden sich neben dem Automobilbau vor allem im Flugzeugbau aber auch im Freizeit- und Sportgerätebau, wie z.B. beim Ski- und Skibindungsbau oder Inline-Skater-Bau sowie in der Fahrradfertigung. Aufgrund der geringen Verfügbarkeit prozesssicherer wirtschaftlicher Umformtechnologien überwiegen hierbei allerdings noch die Gussanwendungen gegenüber den Blechbauteilen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass höher- und hochfeste Aluminiumlegierungen ein großes Potenzial zur Realisierung von Leichtbaukonzepten besitzen und zur Steigerung der Leistungsfähigkeit von Bauteilen aus Leichtmetallen beitragen können. Ihrer breiteren Anwendung stehen zurzeit aber noch Hemmnisse im Wege, die nachfolgend näher erläutert werden sollen.

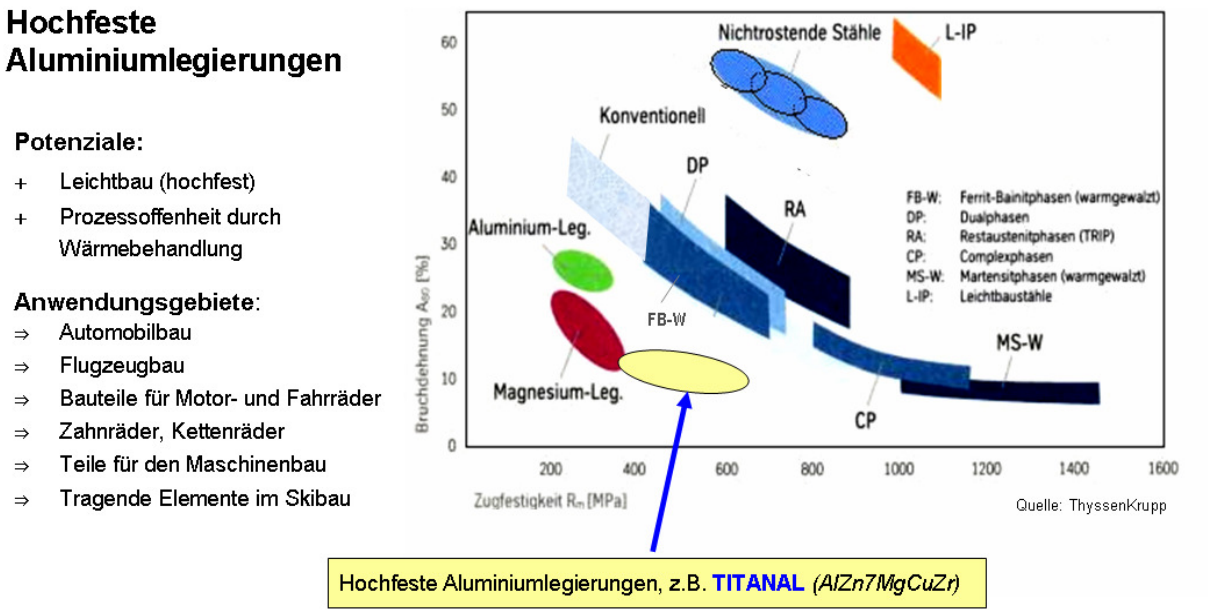



**Abb. 1** Eigenschaften, Potenziale, Anwendungsgebiete hochfester Aluminiumlegierungen

## 2.2 Problemstellung

Die Umformung und Schneiden von Aluminiumwerkstoffen - selbst niedriger Festigkeit - ist mit besonderen Problemen behaftet. Insbesondere Adhäsionserscheinungen auf der Werkzeugoberfläche und Flitterbildung führen zu erheblichen Problemen. Häufig ist die Werkzeugoberfläche bereits nach kurzer Zeit so stark mit Aluminiumanhaftungen belegt, dass keine Umformung mehr möglich ist. Eine aufwändige Reinigung der Werkzeuge, verbunden mit Maschinenstillstandszeiten ist die Folge.

Bei der Verarbeitung hochfester Aluminiumlegierungen ergeben sich zusätzliche Problemstellungen. Davon betroffen sind nicht nur die Unternehmen der Umformtechnik sondern auch die Unternehmen der Werkzeugbeschichtungstechnik, der Schmierstoffherstellung und der Lackiertechnik.

Die wesentlichen Problembereiche sind nachfolgend zusammengefasst:

- Starke Adhäsionsneigung der Aluminiumwerkstoffe auf der Werkzeugoberfläche
- Zunehmende Flächenpressung bei der Umformung höherfester Werkstoffe
  → *verstärkte Adhäsionsneigung und zunehmender Werkzeugverschleiß*
- Das geringe Umformvermögen hochfester Aluminiumlegierungen macht häufig eine temperierte Umformung (> 200°C) erforderlich. → *verstärkte Adhäsionsneigung*
- Häufig ist der Einsatz chlorhaltiger Schmierstoffe erforderlich.
- Ungünstige tribologische Eigenschaften konventioneller Werkzeugbeschichtungen (TiN, TiCN, ...) für die Aluminiumumformung → *unzureichender Schutz vor Adhäsion*
- Geringer Kenntnisstand über die Eigenschaften von Werkzeugbeschichtungen bei höheren Temperaturen und Drücken
- Geringer Kenntnisstand über Wechselwirkungen zwischen Werkzeugbeschichtungen und Schmierstoffen (Benetzungsverhalten, Ausbildung von Reaktionsschichten)
- Konventionelle Schmierstoffe für die Umformtechnik sind nur im Temperaturbereich bis ca. 180°C geeignet
- Korrosionsempfindlichkeit höherfester Aluminiumlegierungen
  → *Hohe Anforderungen an die Korrosionsschutzwirkung der Schmierstoffe, besonders, wenn die Beölung bereits im Walzwerk erfolgt*
- Die Vorschädigung der Bauteiloberfläche bei der Umformung erschwert eine nachfolgende Lackierung.

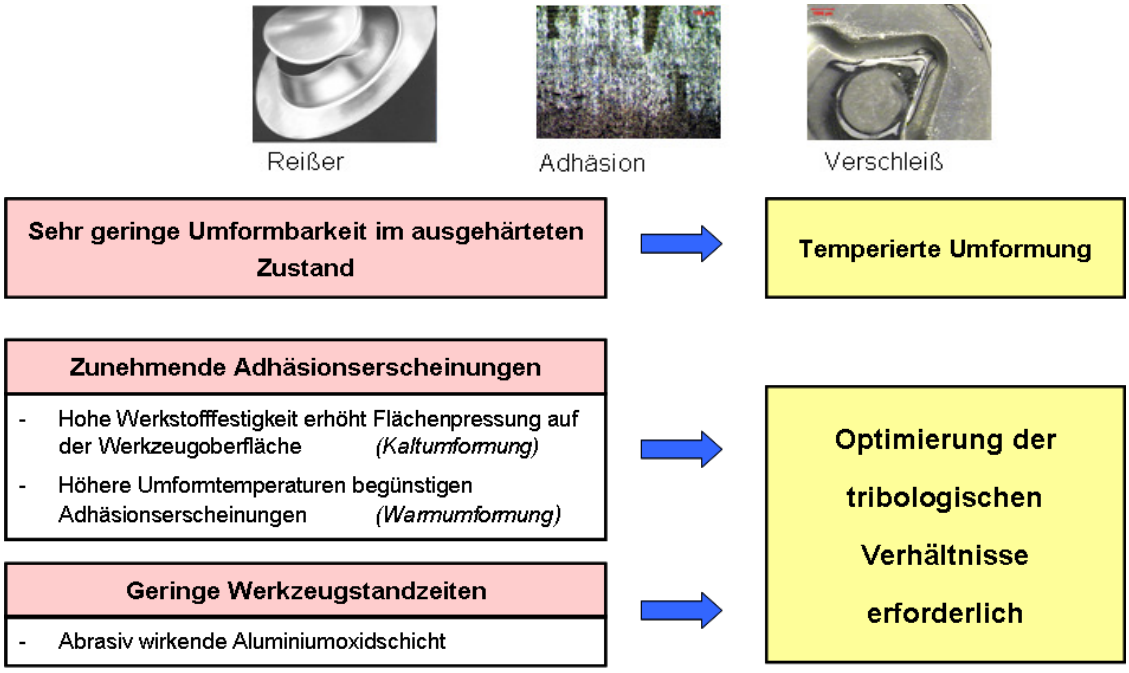



**Abb. 2** Problemstellung bei der Umformung hochfester Aluminiumlegierungen.

## 2.3 Stand der Forschung

Es wird schon länger versucht die bei der Umformung von Aluminiumlegierungen auftretenden Probleme durch geeignete Werkzeugbeschichtungen und Schmierstoffe zu lösen.

Während konventionelle titanbasierte Schichten wie TiN, TiCN und TiAlN mit Erfolg zur Vermeidung von adhäsivem und abrasivem Verschleiß bei der Stahlumformung verwendet werden, ist ihr Einsatz bei der Verarbeitung von Werkstoffen mit einer hohen Adhäsionsneigung, wie z.B. von Aluminiumlegierungen, noch unbefriedigend. Adhäsionserscheinungen und Flitterbildung können nicht ausreichend verhindert werden.

In einigen Fällen konnten Verbesserungen durch den Einsatz von CrN-Schichten erzielt werden. Bekannt sind Anwendungen zum Innenhochdruckumformen von Aluminiumlegierungen geringer Festigkeit. Problematisch sind aber auch in diesem Fall Adhäsionserscheinungen auf der Werkzeugoberfläche, die zur Riefenbildung auf den Bauteilen führen. Zusätzlich aufgebrachte Trockenschmierstoffschichten (z.B. $MoS_2$) können die tribologischen Bedingungen auf der Werkzeugoberfläche etwas verbessern.

Neuere Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass andere Schichtsysteme ein höheres Potenzial für die Umformung höherfester Aluminiumlegierungen aufweisen, besonders bei erhöhten Temperaturen. Insbesondere Kohlenstoffschichten haben sich bereits für die kalte Verarbeitung von Aluminiumlegierungen niedriger Festigkeit bewährt. Daneben werden borbasierte Schichten auf Basis von B-C-N bzw. Ti-B-N-System mit Erfolg für den Aluminiumdruckguss und beim Strangpressen von Aluminium eingesetzt. Anwendungsversuche mit CrVN-Schichten beim Strangpressen von Aluminium verliefen ebenfalls erfolgreich.

Ein hohes Potenzial für die Verbesserung der tribologischen Bedingungen auf der Werkzeugoberfläche wird auch durch den Einsatz an die Werkzeugbeschichtungen angepasster Schmierstoffe gesehen. Schmierstoffe, besonders die Schmierstoffadditive, werden hinsichtlich ihrer Wirkung in der Regel auf unbeschichtete Stahlwerkzeuge abgestimmt. Die chemischen Wirkmechanismen der oberflächenaktiven Additive auf metallischen Werkzeugoberflächen sind weitestgehend bekannt. Im Falle von Werkzeugbeschichtungen liegen chemisch gesehen jedoch völlig veränderte Verhältnisse vor. Dadurch ist eine gezielte Auswahl von Schmierstoffen für bestimmte Beschichtungen bisher nicht möglich. Die Einsatzeigenschaften von Schmierstoffen können auf Werkzeugbeschichtungen erheblich von denen auf unbeschichteten Werkzeugstählen abweichen. Deshalb ist eine gemeinsame Betrachtung von Beschichtung und Schmierstoff unbedingt erforderlich.

# 3 Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

## 3.1 Forschungsziel / Ergebnisse

Durch das geplante Forschungsvorhaben werden beschichtungs- und schmiermitteltechnische Neuerungen für den Bereich der temperierten Aluminiumumformung aufgenommen und für eine praxisnahe Anwendung aufbereitet. Neben Empfehlungen für den gezielten Einsatz der optimalen Schicht-Schmierstoffkombination werden Hinweise zu geeigneten Prozessparametern und zur konstruktiven Werkzeugauslegung gegeben; dabei wird auch die Lackierbarkeit der Bauteiloberfläche berücksichtigt. Dies führt zu einer direkten Kosten- und Zeitersparnis bei den Unternehmen. Durch Kenntnis vorhandener technologischer Grenzwerte ergibt sich eine Erhöhung der Prozesssicherheit und -stabilität in der Großserienproduktion. Der Erkenntnisgewinn hinsichtlich der Wechselwirkungen zwischen Schmierstoff und Werkzeugbeschichtung liefert Beschichtern und Schmierstoffherstellern eine wertvolle Wissensbasis für ihre zukünftige Produktentwicklung.

### Angestrebte wissenschaftlich-technische Ergebnisse

Vorrangiges Ziel ist es, eine wirtschaftliche Umformung höher- und hochfester Aluminiumlegierungen zu ermöglichen. Dazu sollen für die unter 2.2 näher erläuterten Problemstellungen Lösungen angeboten werden. Dies soll durch die Entwicklung angepasster Werkzeugbeschichtungen und Schmiermitteln realisiert werden. Im Hinblick auf die Weiterbearbeitung der umformtechnisch hergestellten Bauteile soll dabei auch deren spätere Lackierbarkeit berücksichtigt werden.

Wissenschaftlich-technische Ziele sind:

- eine wirtschaftliche Standmenge der Werkzeuge bei der warmen Umformung fester und hochfester Aluminiumwerkstoffe zu ermöglichen,
- die umformtechnischen Grenzen für diese Werkstoffe zu erweitern, d. h. das Spektrum der umformtechnisch herstellbaren Teile zu vergrößern,
- die Standmenge der Umformwerkzeuge im Vergleich zu konventionell beschichteten Werkzeugen um mindestens 25 % zu erhöhen,
- unzulässige Werkstoffanhaftungen auf den Werkzeugen bei der Verarbeitung von Werkstoffen mit hoher Adhäsionsneigung zu verhindern
- die Bauteilqualität zu erhöhen bzw. eine hohe Oberflächengüte und eine gute Einhaltung der Maßtoleranzen am Werkstück über einen längeren Zeitraum gewährleisten zu können,
- Korrosionserscheinungen an den Bauteilen zu vermeiden,
- den Schmierstoffeinsatz zu reduzieren und die Verwendung chlorhaltiger Schmierstoffe zu vermeiden,
- den Kenntnisstand über die tribologischen Verhältnisse und die Wechselwirkungen im System Werkzeugbeschichtung / Schmierstoff / höherfeste Aluminiumlegierungen zu erhöhen,
- Anwendungsempfehlungen für geeignete Kombinationen aus Werkzeugbeschichtungen und Schmierstoffen geben zu können,
- eine gute Lackierbarkeit der umformtechnisch hergestellten Bauteile zu gewährleisten.

### Angestrebte wirtschaftliche Ergebnisse

Mit dem Erreichen der wissenschaftlich-technischen Ziele sind folgende Effekte sind zu erwarten:

- Erschließung neuer Märkte für die Unternehmen der Umformtechnik, der Beschichtungs- und Schmierstofftechnik, die Hersteller von Aluminiumwerkstoffen sowie für die Unternehmen, die mit Bauteilen aus höherfesten Aluminiumlegierungen beliefert werden.
- Die angestrebten Standmengenerhöhungen und Verringerungen der Umrüst- und Einrichtaufwendungen besitzen bei Umformoperationen ein hohes Einsparpotenzial. Eine Produktivitätssteigerung von mindestens 5-10% wird erwartet.
- Die angestrebten Schmierstoffeinsparungen reduzieren den Aufwand für die Beschaffung und Entsorgung der Schmierstoffe sowie für die Reinigung der Bauteile.
- Der Know-how-Vorsprung bei der Umformung hochfester Aluminiumlegierungen trägt zur Sicherung von Arbeitsplätzen im Wirtschaftsstandort Deutschland bei.

## 3.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Der Lösungsweg zur Erreichung des Forschungszieles sieht folgende Arbeitspakete (AP) vor:

AP 1: Charakterisierung des kalt / warmen Umformprozesses und Verifikation der Schichtauswahl und des Schmiermittels in Wechselwirkung zueinander

AP 2: Ermittlung von Schichtkennwerten auf Referenzproben

AP 3: Tribologische Modellversuche mit dem Hochlasttribometer (temperiert) mit verschiedenen Schmierstoffen und Schichtsystemen (Screeningphase)

AP 4: Anpassung und Optimierung der Schichtsysteme und Schmierstoffe

AP 5: Beschichtung von Versuchswerkzeugen

AP 6: Charakterisierung der Versuchswerkzeuge

AP 7: Umformtechnische Praxistests (kalt/warm) im Labormaßstab

AP 7.1: Untersuchung der Bauteiloberflächen im Hinblick auf die Lackierbarkeit

AP 8: Fertigung und Beschichtung von Produktionswerkzeugen

AP 9: Umformtechnische Praxistests unter Produktionsbedingungen

AP 9.1: Untersuchung der Bauteiloberflächen im Hinblick auf die Lackierbarkeit, Vorschläge für die notwendige Oberflächenvorbereitung vor der Lackierung

AP 10: Auswertung, Systematisierung der Versuchsergebnisse

AP 11: Abschlussbericht

Nach neun Monaten Projektlaufzeit - nach Abschluss einer Screeningphase im Rahmen der tribologischen Modellversuche mit dem Hochlasttribometer - ist ein Meilenstein vorgesehen.

# 4 Im Berichtszeitraum durchgeführte Arbeiten

## 4.1 AP 1: Charakterisierung des Umformprozesses / Verifikation der Schichtauswahl und des Schmiermittels in Wechselwirkung zueinander

*Beginn:* *04/07* *Ende:06/07*
*Vorgelagerte AP:* *-* *Einrichtung:* *IWU / IST / FPL*

In Abstimmung mit dem Projektbegleitenden Ausschuss (PbA) wurden praxisrelevante exemplarische Umformprozesse ausgewählt und einer eingehenden Charakterisierung unterzogen. Daraus wurden folgende Eckdaten für die tribologischen Modellversuche abgeleitet:

Zu untersuchende Materialien: (Bereitstellung durch Amag und Novelis)

- Halbzeug: Feinblech $s_0$= 1…2 mm, plattiert und unplattiert
- Legierungsarten: 2024 (unplattiert/plattiert)
  7020 (plattiert)
  7075 (unplattiert/plattiert)
  6016
  bei Verfügbarkeit höherfeste 600er Legierung von Novelis

| | |
|---|---|
| Zu untersuchende Werkzeugwerkstoffe: | 1.2379<br>sprühkompaktiertes Aluminium |
| Zu untersuchende Schmierstoffe: | HotMelt E1<br>E1 synthetisch ( Bereitstellung durch Fa. Zeller Gmelin) |
| Zu untersuchende Werkzeugradien: | 5 mm |
| Umformtemperaturen: | 20, 200, 250, 300, 350°C |
| Temperaturführung: | Erwärmung – 1 min Verharrung - Umformung |
| Umformgeschwindigkeiten: | 1 mm/s, 50 mm/s |
| Flächenpressung: | eine konstante Flächenpressung |

Zu untersuchende Werkzeugbeschichtungen: Referenzschicht von Fa. CemeCon
Kohlenstoffbasierte Schichten (DLC)
Borbasierte Schichten (TiN/TiBN/$TiB_2$)
Chrombasierte Schichten (CrN, CrVN,...)

## 4.2 AP 2: Ermittlung von Schichtkennwerten auf Referenzproben

*Beginn:* *05/07* *Ende:09/07*
*Vorgelagerte AP:* *AP 1* *Einrichtung:* *IST*

Die ausgewählten Werkzeugbeschichtungen wurden auf Testsubstrate aufgebracht und zunächst bei Raumtemperatur hinsichtlich ihrer Eigenschaften untersucht. Ziel war es, geeignete Schichtsysteme für die nachfolgenden Modellversuche zu identifizieren.

Folgende Prüfverfahren sind dabei zur Anwendung gekommen:

- Haftfestigkeitsuntersuchungen mit dem Rockwell-Test nach VDI-Richtlinie 3198
- Ritztest nach DIN VENV 1071 Teil 3
- Ritztests in modifizierter Form (Multi-pass Scratch-Test) zur Simulation des Verschleißverhaltens und der Überlastsicherheit
- Härtemessung nach DIN 50359-1
- Verschleißmessung mit dem Kalottenschliffverfahren
- Schichtdickenbestimmung
- Reibwertermittlung (Pin-on-disk Test)

Um Änderungen der Schichteigenschaften als Folge einer thermischen Belastung abschätzen zu können, wurden Referenzproben jedes Schichtsystems einer 2-stündigen Wärmebehandlung bei Temperaturen von 300 bis 600°C unter Umgebungsluft unterzogen. Anschließend erfolgte stichprobenartig eine erneute Schichtcharakterisierung mit dem Kalottenschliffverfahren. Schichtsysteme, an denen signifikante Änderungen der Schichteigenschaften als Folge der Wärmebehandlung auftraten, wurden mit weitergehenden Verfahren wie der Raster-Elektronenmikroskopie (SEM) untersucht.

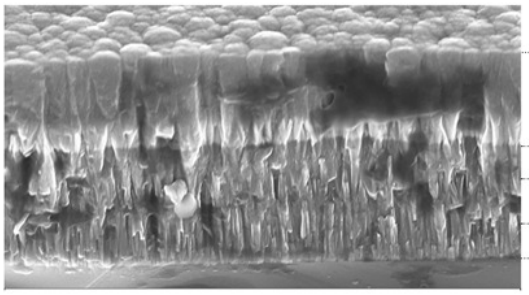
Folgende Schichtsysteme wurden auf Basis der Untersuchungsergebnisse für die weiteren Versuche ausgewählt:

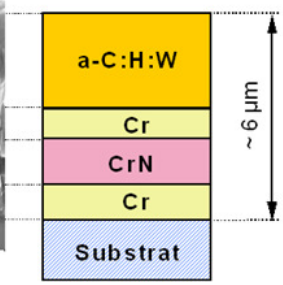
**CrN+a-C:H:W**

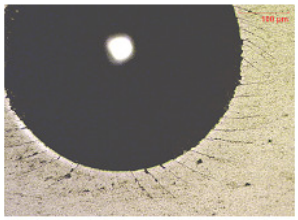
+ Sehr hohe kritische Last
- geringe Härte
- leicht erhöhter Reibungskoeffizient (im Vergleich zu a-C:H)

| Schichteigenschaften* | | |
|---|---|---|
| Schichtdicke | [µm] | 5-6,5 |
| Rockwell Haftung | [HF] | 1 |
| Kritische Last $Lc_2$ | [N] | 78 - 95 |
| Härte | [$HV_{0.05}$] | 1300 - 1500 |
| Verschleiß (Calotest) | [$10^{-15}m^3/mN$] | 2 - 5 |
| Reibungskoeffizient (Trocken vs. Al) | | 0.21 – 0.27 |

* auf Flachprobe aus 100Cr6, 61 HRC





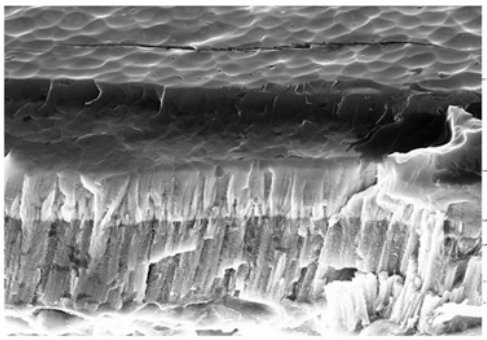



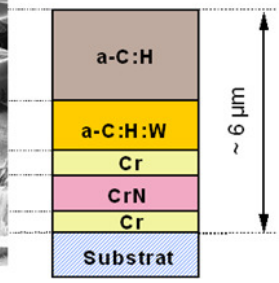
## CrN+a-C:H

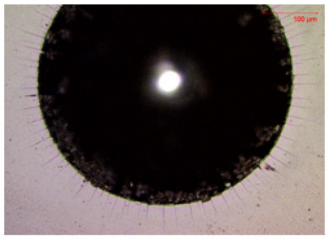
+ Wie a-C:H
+ Hohe kritische Last

| Schichteigenschaften* | | |
|---|---|---|
| Schichtdicke | [µm] | 5-6,5 |
| Rockwell Haftung | [HF] | 1 - 2 |
| Kritische Last $Lc_2$ | [N] | 47 - 56 |
| Härte | [$HV_{0.05}$] | 2400 - 2800 |
| Verschleiß (Calotest) | [$10^{-15}m^3/mN$] | 0.6 - 0.85 |
| Reibungskoeffizient (Trocken vs. Al) | | 0.14 - 0.22 |

* auf Flachprobe aus 100Cr6, 61 HRC





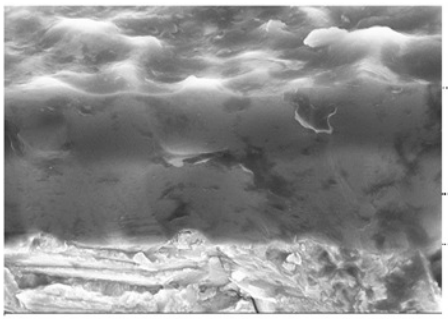



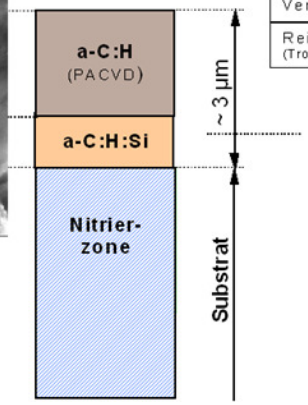
## PN+a-C:H

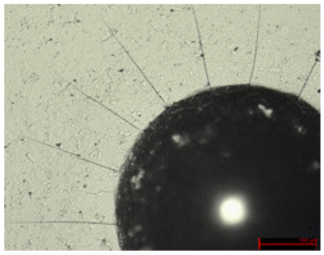
PN = Plasmanitrierung

| Schichteigenschaften* | | |
|---|---|---|
| Schichtdicke | [µm] | 2-3 |
| Rockwell Haftung | [HF] | 1 |
| Kritische Last $Lc_2$ | [N] | 52 - 56 |
| Härte | [$HV_{0.05}$] | 2400 - 2600 |
| Verschleiß (Calotest) | [$10^{-15}m^3/mN$] | 0.7 - 0.9 |
| Reibungskoeffizient (Trocken vs. Al) | | 0.18 - 0.22 |

* auf Flachprobe aus 1.2379, 60 HRC





+ Wie a-C:H
+ Hohe kritische Last
– erhöhte Rauheit
(ggf. Politur nach der Plasmanitrierung erforderlich)

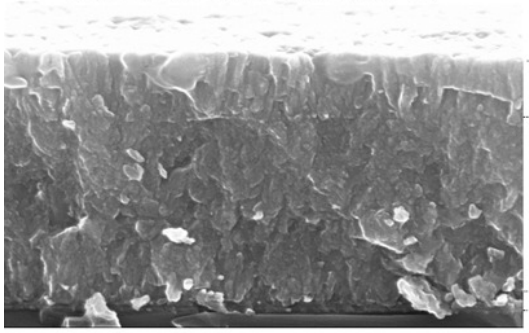
## PN+$TiB_2$/TiBN

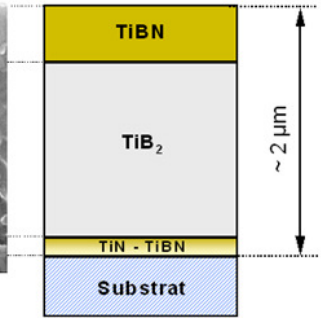
PN = Plasmanitrierung

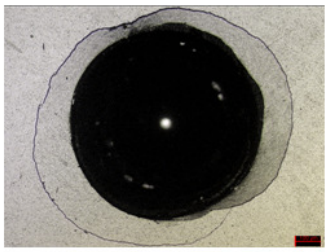
| Schichteigenschaften | | |
|---|---|---|
| Schichtdicke | [µm] | 2 - 3 |
| Rockwell Haftung | [HF] | 1 |
| Kritische Last $Lc_2$ | [N] | 25 – 54* |
| Härte | [$HV_{0.05}$] | 3200 - 4100 |
| Verschleiß | [$10^{-15}m^3/mN$] | 5 |
| Reibungskoeffizient (Trocken vs. Al) | | 0,8 – 1,0 |

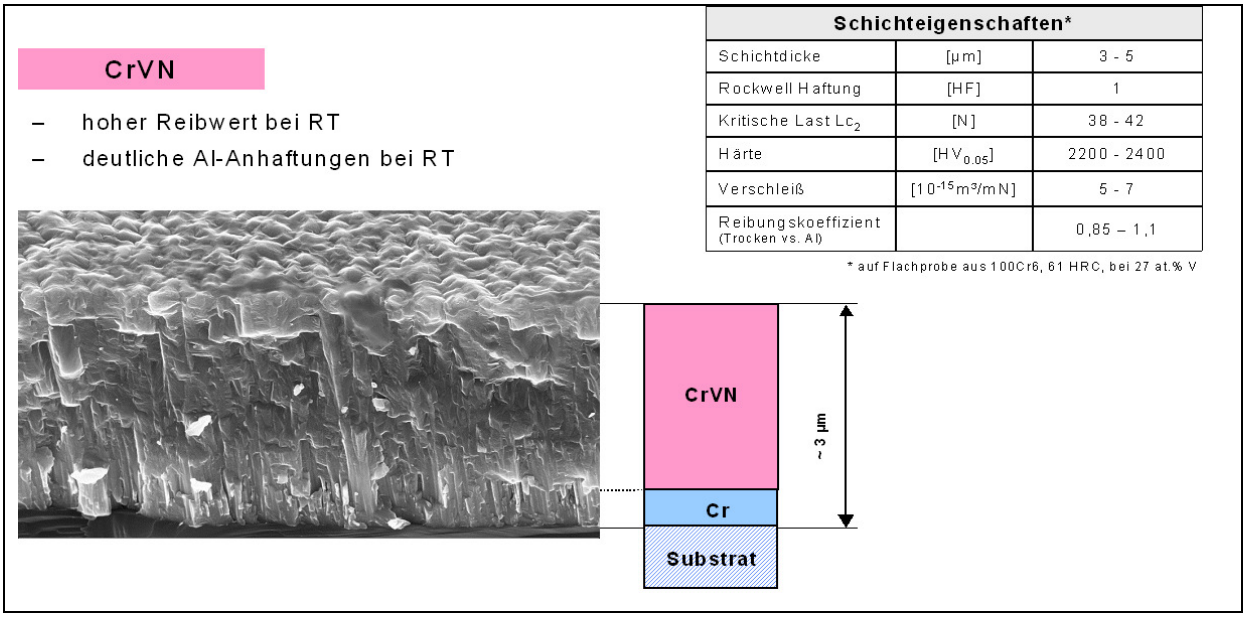
* Abhängig von Nitrierbehandlung

+ Sehr hohe Härte
– hoher Reibwert bei RT
– deutliche Al-Anhaftungen bei RT








| Schichteigenschaften* | | |
|---|---|---|
| Schichtdicke | [µm] | 3 - 5 |
| Rockwell Haftung | [HF] | 1 |
| Kritische Last $Lc_2$ | [N] | 38 - 42 |
| Härte | [$HV_{0.05}$] | 2200 - 2400 |
| Verschleiß | [$10^{-15} m^3/mN$] | 5 - 7 |
| Reibungskoeffizient (Trocken vs. Al) | | 0,85 – 1,1 |

* auf Flachprobe aus 100Cr6, 61 HRC, bei 27 at.% V

**Tabelle 1** Ausgewählte Schichtsysteme, Ergebnis der Schichtcharakterisierung auf Referenzproben

## 4.3 AP 3: Tribologische Modellversuche mit dem Hochlasttribometer

*Beginn:* *07/07* *Ende:03/08*
*Vorgelagerte AP:* *AP 1-2* *Einrichtung:* *IST / IWU*

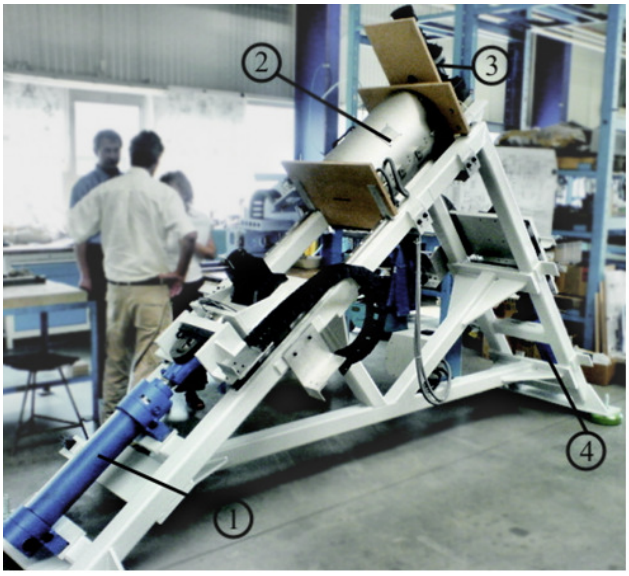
Ziel der tribologischen Modellversuche mit dem Hochlasttribometer war es, durch ein Screening geeignete Kombinationen aus Schmierstoffen und Werkzeugbeschichtungen für Anwendungstests herauszufinden und deren prinzipielle Eignung für den vorgesehenen Anwendungsfall nachzuweisen.

In Absprache mit dem PbA wurde auf die Versuche mit dem Hochlasttribometer verzichtet. Stattdessen wurden temperierte Streifenziehversuche in das Versuchsprogramm aufgenommen, die eine anwendungsnähere Abbildung des Umformvorganges erlauben. Dazu wurde eine Streifenziehanlage mit Temperiereinheit am Fraunhofer IWU aufgebaut (Abb. 2), die Ende 2007 einsatzbereit war. Ziehkanten aus 1.2379 und sprühkompaktierten Aluminium wurden gefertigt. Erste beschichtete Ziehkanten stehen mittlerweile für Streifenziehversuche zur Verfügung.

Zur Auswertung der Streifenziehversuche wurde in Abstimmung mit dem PbA folgendes Vorgehen festgelegt:

- Untersuchung der Blechstreifen bei Anlieferung und nach der Umformung
    - Makroskopische Aufnahmen
    - Mikroskopische Oberflächenaufnahmen
    - IR-Mikroskopie (flächenmäßigen Auswertung)
    - Rauhigkeitsmessung
- Untersuchung der Werkzeugoberfläche nach der Umformung
    - Makroskopische Aufnahmen
    - Mikroskopische Oberflächenaufnahmen
    - Vermessung der Verschleißerscheinungen mit konfokaler Lasermikroskopie
    - Rauhigkeitsmessung

Bedingt durch die Umstellung der tribologischen Modellversuche auf den Streifenziehversuch ist es zu Verzögerungen gekommen, so dass dieser AP über den ursprünglich vorgesehenen Zeitraum hinaus fortgesetzt wird.




1. Hydraulikzylinder 1 mit Kraftmessdose
2. Temperiereinheit
3. Umlenkeinheit mit Prüfkörpern
4. Hydraulikzylinder 2 mit Kraftmessdose

**Abb. 2** Streifenziehanlage mit Temperiereinheit

## 4.4 Meilenstein

*Termin: 12/07*

Als Kriterium für den Meilenstein wurde festgelegt, dass mindestens eine Schicht-/Schmierstoffkombination ein ausreichendes Potenzial für die Umformung von hochfesten Aluminiumlegierungen im Temperaturbereich bis 250°C besitzt. Dies ist dann als gegeben anzusehen, wenn bei Kontaktnormalspannungen, die denen der charakterisierten Umformprozesse aus AP 1 entsprechen, unzulässige Aluminiumanhaftungen an den Probekörpern verhindert werden können und die Beschichtung den Belastungen standhält.

Bedingt durch die Umstellung der tribologischen Modellversuche vom Hochlasttribometer auf den Streifenziehversuch (vergl. AP3) konnte erst nach 12/07 mit den Versuchen begonnen werden. Die Entscheidung über die Erreichung des Meilensteins musste daher auf die erste Sitzung des PbA 2008 (voraussichtlich 04/08) verschoben werden.

Für die notwendigen Untersuchungen mit der Streifenziehanlage benötigte Ziehkanten-Probanden sind bei der Firma Schmutzler Werkzeugbau, Aue gefertigt und am IST Braunschweig beschichtet worden.

| | |
|---|---|
| Werkzeugwerkstoffe: | 1.2379 und sprühkompaktiertes Aluminium (PEAK S 250) |
| Beschichtungsvarianten: | chemisch Nickel-Schichten, CrN+a-C:H:W; CrN + a-C:H:W; CrN + a-C:H |

**Abb. 3**: Beschichtete Ziehkante (R=5mm) aus sprühkompaktierten Aluminium (PEAK S250) mit chemisch Nickel Schicht (40µm, 400°C - 1h); re.: unbeschichtete Ziehkante aus PEAK S250

## AP 4: Anpassung und Optimierung der Schichtsysteme und Schmierstoffe

*Beginn:* *07/07* *Ende:06/08*
*Vorgelagerte AP:* *AP 2, 3, 6, 7* *Einrichtung:* *IST / IWU*

Auf Basis der Ergebnisse aus AP 2 wurde mit der Anpassung und Optimierung der ausgewählten Schichtsysteme begonnen.

Folgende Ansatzpunkte wurden dazu bisher verfolgt:

- *Schichtsytem a-C:H*
  - Kombination der Beschichtung mit einer Plasmanitrierbehandlung zur Verbesserung der Haftfestigkeit
  - Nachpolieren der Werkzeugoberfläche nach der Plasmanitrierung zur Beseitigung der prozessbedingten Aufrauung
  - Optimierung der Plasmadiffusionsbehandlung durch Variation folgender Prozessparameter:
    - Behandlungsdauer
    - Temperatur
    - Spannung
    - Pulsdauer/Pulspause
    - Gaszusammensetzung (N, H, Ar)
    - Verwendung verschiedener Generatoren (Sinusgenerator, Unipolar-, Bipolar-Pulsgenerator)

  Ergebnis: - erhöhte kritische Last
  - geringe Rauheit trotz Plasmanitrierbehandlung ohne Einbußen bei der Schichthaftung
  - verbesserte Homogenität der Schichteigenschaften

- *Schichtsystem TiN /TiB2*
  - Variation der Schichtfolgen und Anzahl der Einzelschichten

  Ergebnis: - verbesserte thermische Stabilität durch Multilayer-Schichtsystem (Abb. 3)

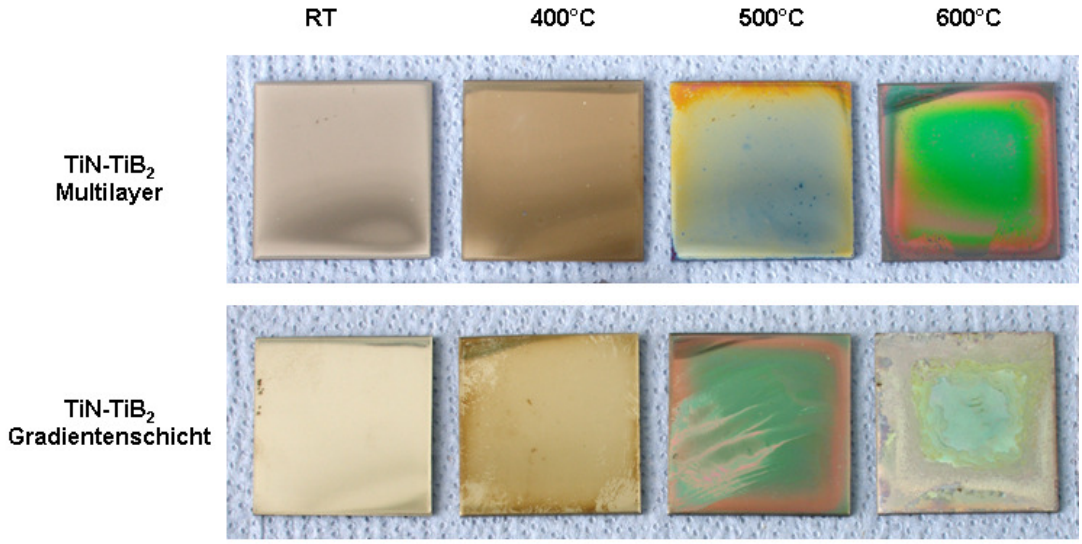



**Abb. 3** Verbesserte thermische Stabilität von $TiN/TiB_2$-Schichten durch Multilayeraufbau Schichten nach 2 Stunden Wärmebehandlung in Umgebungsluft

## 4.5 AP 5: Beschichtung von Versuchswerkzeugen

*Beginn:* *01/08* *Ende:05/08*
*Vorgelagerte AP:* *AP 2-4* *Einrichtung:* *IST / IWU*

Im Rahmen dieses Arbeitspunktes wurde vorzeitig mit der Fertigung der Werkzeugaktivteile für die umformtechnischen Praxistests im Labormaßstab (AP 7) begonnen. Erste Versuchswerkzeuge wurden bereits beschichtet (Abb. 4)

**Abb. 4** Beschichtete (chemisch Nickelschichten) Versuchswerkzeuge für Rechteckzug (Kantenlänge 50 mm, Kanten- und Eckenradius 5 mm)

Folgende Versuchswerkzeuge wurden für die umformtechnischen praxisnahen Untersuchungen unter Praxisbedingungen aus dem Werkzeugstahl 1.2379 und aus sprühkompaktierten Aluminium PEAK S 250 gefertigt und entsprechend beschichtet.

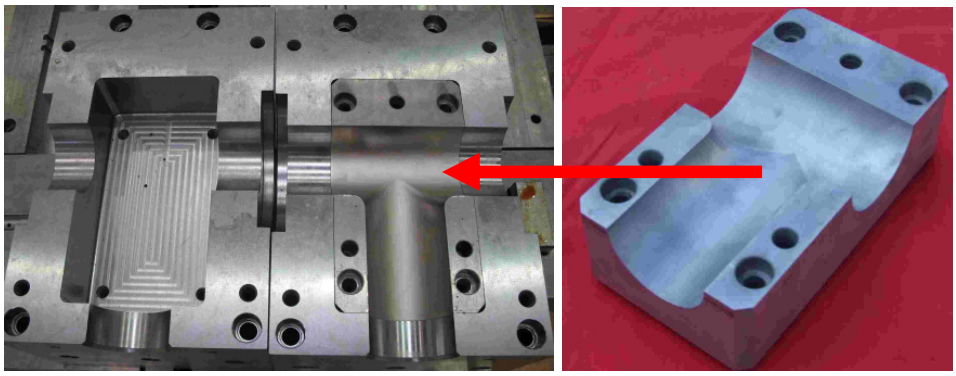


**Abb. 5** Werkzeugbaukasten mit wechselbaren Aktivteilelementen (Ausschnitten) für die temperierte T-IHU-Umformung mit Gas bei Temperaturen von bis zu 300°C

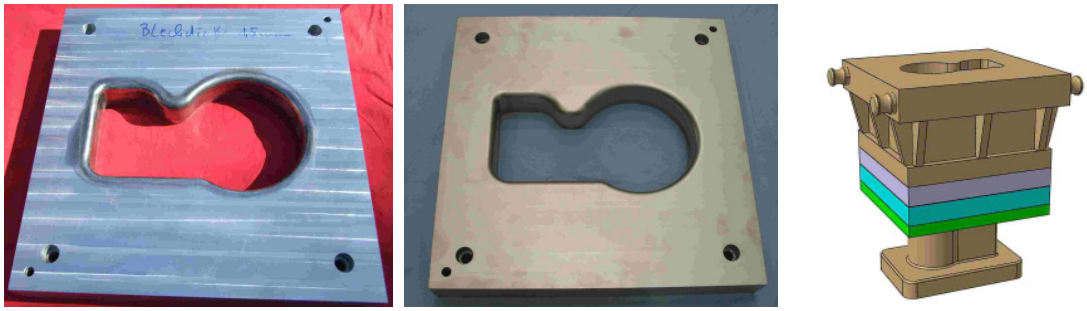


**Abb. 6** Fertigung von Ziehringen für das Umformteil „Schlüssel“ (links: unbeschichtet aus sprühkompaktierten Aluminium und rechts beschichtete mit chemisch Nickel) für ein flexibles Werkzeugsystem

## 4.6 AP 7: Untersuchung der Bauteiloberflächen im Hinblick auf die Lackierbarkeit

Zu den geplanten Arbeitsaufgaben in dem Berichtzeitraum gehörten, das Verhalten der Schmierstoffe bei verschiedenen Temperaturbelastungen bzw. bei der temperierten Umformung zu untersuchen. Es ist von essentieller Bedeutung, ob und wie sich die Schmierstoffe bei diesem Vorgang physisch und chemisch verändern. Eine weitere Aufgabe war, die Charakterisierung der Bauteiloberfläche vor und nach der Umformung sowie nach der Reinigung entsprechend den VDA-Richtlinien durchzuführen.

Nach der Auswahl der Schmierstoffe (Hotmelts) Drylube E1, Drylube E1-Plus und Drylube C1, die von der Fa. Zeller & Gmelin zur Verfügung gestellt wurden, und der Aluminiumwerkstoffe (Al 2024 pl./unpl., Al 6016 std., Al 7020 unpl. Al 7075 pl./unpl.), wurden die Voruntersuchungen durchgeführt. Dabei wurden die Schmierstoffe auf die Bleche bei den vorgeschriebenen Schichtdicken aufgetragen und bei drei verschiedenen Temperaturen (210°C, 250°C, 310°C) belastet. Die IR-spektroskopischen Untersuchungen fanden an folgenden Proben statt:

- Hotmelts (Drylube E1, Drylube E1-Plus und Drylube C1) und Reinigungsmittel nach VDA 230-202
- vor und nach Temperaturbelastungen der mit Hotmelts beschichteten Al-Bleche
- vor und nach der Reinigung von den mit Hotmelts beschichteten Al-Bleche.

Bei der Untersuchung der Schmierstoff-Temperaturbelastung wurde der Massenverlust gravimetrisch ermittelt. Zusätzlich wurden die TGA-Messungen von allen drei Hotmelts durchgeführt. Vor und nach der Temperaturbelastung der mit Hotmelts beschichteten und gereinigten Al-Bleche wurde die Oberflächenenergie nach Owens-Wendt vermessen. Die Reinigung der Prüfbleche erfolgte nach VDA-Norm 230-202.

IR-spetroskopische Untersuchungen haben ergeben, dass sich die Al-Bleche im Lieferzustand (mit Petrolether entfetteten) sowie mit Hotmelts beschichtet und gereinigt grundsätzlich nicht von einander unterscheiden. Somit konnten keine Rückstände von Hotmelts oder Reinigungsmitteln spektroskopisch nachgewiesen werden und die Al-Oberfläche nach der Reinigung kann als chemisch sauber betrachtet werden.

Die IR-Spektren von Hotmelt Drylube C1 haben ergeben, das dieses Produkt keine nachweisbare Empfindlichkeit bis 310°C zeigt. Die Temperaturbelastung bewirkt lediglich eine leichte Verschiebung der Wasser-Absorptionsbanden. Für Hotmelts Drylub E1 und E1-Plus wurde eine leichte chemische Veränderung infolge der Temperaturbelastung erkannt, die wahrscheinlich auf eine Oxidation der Schmierstoffe zurückzuführen ist. Für die beiden Schmierstoffproben wurde ebenfalls eine deutliche Steigerung der Oberflächenenergie nach der Temperaturbelastung festgestellt.

Für alle Proben haben die Belastung im Ofen bei 310°C sowie die TGA-Messungen Massenverluste zwischen 6 % und 16 % ergeben. Die spektralen Untersuchungen werden klären, welche Schmierstoffkomponenten für diese Verluste verantwortlich sind.

Im weiteren Verlauf des Projekts werden ähnliche Untersuchungen für die Al-Bleche der 2XXX-er und der 7XXX-er Serie wie auch Lackierversuche und weitere Labortests an den lackierten Oberflächen durchgeführt.

## 4.7 Verwendung der Fördergelder

Wie in den Arbeitspunkten 1, 2, 3, 4, 5 und 7 dargestellt wurden die Fördermittel im Hinblick auf die Charakterisierung der Feinblechoberfläche sowie der Werkzeugbeschichtung in Abhängigkeit der Belastungstemperatur und dem Schmiermittel verwendet.

Nach Optimierungsschleifen bzgl. Schmiermittel und Werkzeugbeschichtung incl. entsprechender Belastungstests wurden Versuchswerkzeuge im Grundlagenbereich und für die erweiterten umformtechnischen Untersuchungen gefertigt und beschichtet.

Erste praxisnahe Untersuchungen im Bereich der T-IHU-G Umformung sind momentan Bestandteil der Forschungsarbeiten und zeigten bereits qualitativ sehr gute Umformresultate; werden aber noch im Detail bewertet.

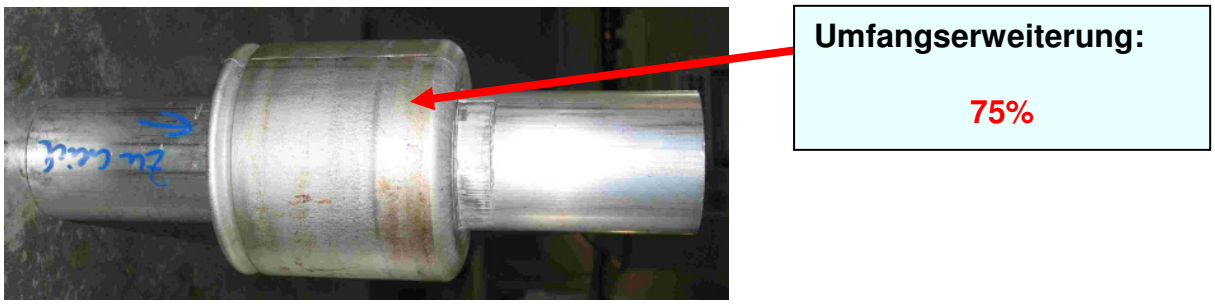



**Abb. 7** ausgeformtes Bauteil „Tonne“ mittels T-IHU-G - Umformung mit beschichteten (chemisch Ni + kubisch Bornitrid) Werkzeugen aus sprühkompaktierten Aluminium (PEAK S250)

# 5 Durchführende Forschungsstellen

Forschungsstelle 1:
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU) Chemnitz
Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. Reimund Neugebauer (Institutsleiter)
Dipl.-Ing. Matthias Demmler (Projektbearbeiter)

Forschungsstelle 2:
Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik (IST) Braunschweig
Prof. Dr. rer. nat. Günter Bräuer (Institutsleiter)
Dipl.-Ing. Martin Weber (Projektbearbeiter)

Forschungsstelle 3:
Forschungsinstitut für Pigmente und Lacke e.V. (FPL) Stuttgart
Prof. Dr. Claus D. Eisenbach (Institutsleiter)
Dr. Thadeus Schauer (Projektbearbeiter)