
BESCHICHTUNG VON UMFORMWERKZEUGEN

Reibungs- und Verschleißuntersuchungen

Dipl.-Ing. Thomas Druwe (Fraunhofer IWU)

Dipl.-Ing. Matthias Milbrandt (Fraunhofer IWU)

Dr.-Ing. Otmar Zimmer (Fraunhofer IWS)

Dipl.-Ing. Frank Kaulfuß (Fraunhofer IWS)



Fraunhofer
IWU



Fraunhofer
IWS

BESCHICHTUNG VON UMFORMWERKZEUGEN

- Beschichtungen am IWU – Massivumformung
- Kooperation IWU – IWS
- Beschichtungsvarianten
- Reibungs- und Verschleißuntersuchungen
 - Tribometer-Versuche (IWS)
 - Umformversuche (IWU)
- Zusammenfassung
- Ausblick

Beschichtungen am IWU – Massivumformung

■ Dorn zur Warmumformung von Innensechskant für Schraube M30



fertig bearbeiteter
Dorn



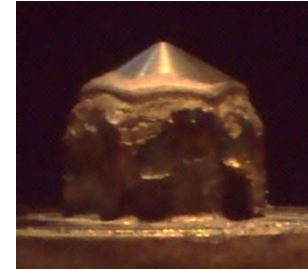
Werkstück nach
Umformung



Dorn nach 48
Umformungen,
Laser-Pulver-
auftragsgeschweißt,
(Ti,W)C-Basis



Dorn nach 20
Umformungen,
CVD-beschichtet,
TiC-TiCN-TiN



Dorn nach 5
Umformungen,
thermische
Spritzschicht

■ Matrize für Kaltumformung (Axialformen)



innenverzahnte Hartmetall-Matrize mit CVD-Beschichtung (TiN)



verzahnte Bauteile



Kooperation IWU - IWS

Projekthalt

Verbesserung der Gebrauchseigenschaften von Werkzeugen für die Massivumformung und Bauteilen in Reibpaarungen durch:

- Strukturierung der Werkzeug-/Bauteiloberfläche (IWU)
 - Entwicklung eines ultraschallgestützten, umformenden Strukturierungsverfahrens
- Beschichtung mit einer verschleißbeständigen und reibungsmindernden Hartstoffschicht (IWS)
 - Entwicklung angepasster Schichtsysteme für die Umformtechnik
- Evaluation des Entwicklungsfortschrittes (IWU+IWS)
 - Erprobung von Struktur- und Schichtsystemen (Tribometer, Ringstauchversuch)



Beschichtungsvarianten

■ am IWS untersuchte PVD-Schichtvarianten:

- im Arc-Verfahren hergestellte Nitride
- teilweise Einsatz von zwei Quellen
- Schichtdicken ca. 10 μm
- Zusammensetzungen:
 - TiN, AlN, CrN
 - $\text{Al}_{67}\text{Ti}_{33}\text{N}$
 - $\text{Al}_{70}\text{Cr}_{30}\text{N}$
 - $\text{Al}_{58}\text{Cr}_{26}\text{Ti}_{16}\text{N}$
 - $\text{Al}_{60}\text{Cr}_{30}\text{Si}_{10}\text{N}$
 - $\text{Al}_{66}\text{Cr}_{29}\text{Si}_5\text{N}$
 - $\text{Al}_{50}\text{Cr}_{25}\text{Ti}_{18}\text{Si}_7\text{N}$

Reibungs- und Verschleißuntersuchungen

■ Tribometer-Versuche (IWS)

- Tribometer Optimol SRV4
- Kugel-Scheibe-Anordnung
- oszillierende Beanspruchung
- Kugel aus 100Cr6 (gehärtet)
- Scheiben Ø24 mm aus verschiedenen Substraten (1.2379; 1.2367)
- unterschiedliche Schichten, Referenz: unbeschichtet

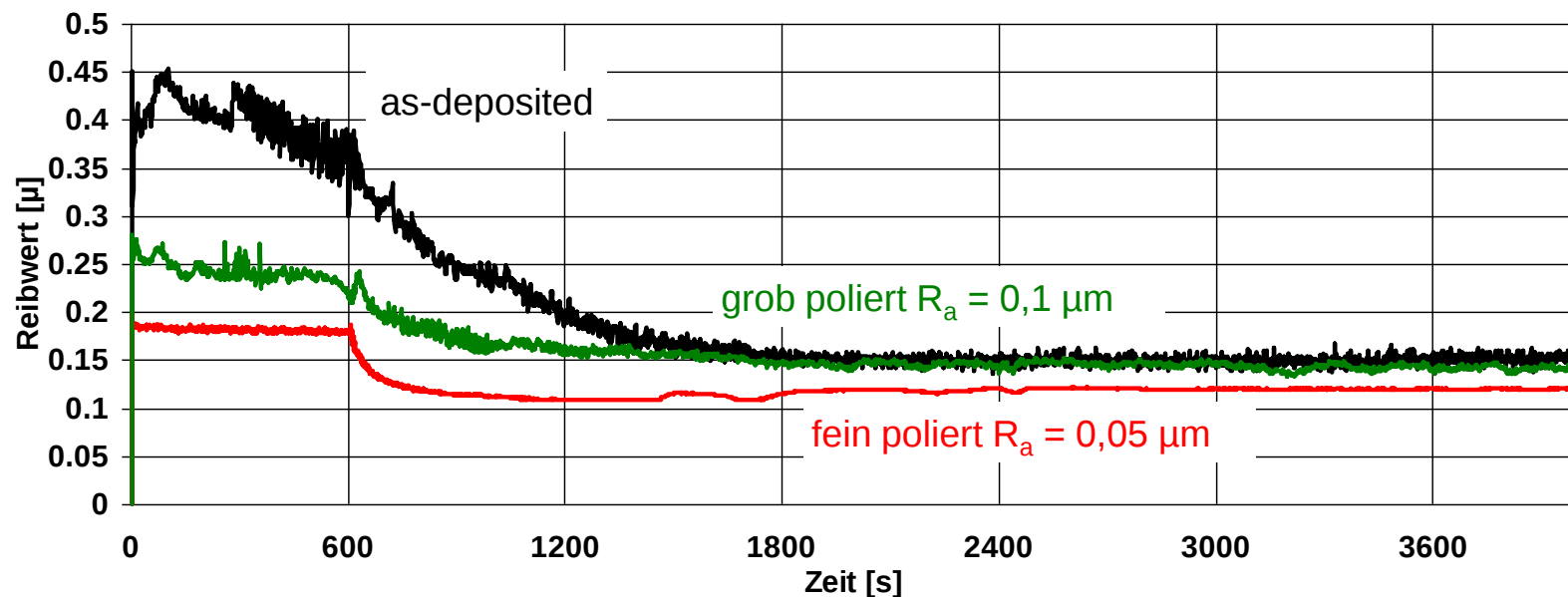


optimol-instruments.de

Tribometer-Versuche (IWS)

■ Einfluss der Oberflächenqualität auf das Reibverhalten

■ AlCrSiN/TiN in verschiedenen OF-Qualitäten

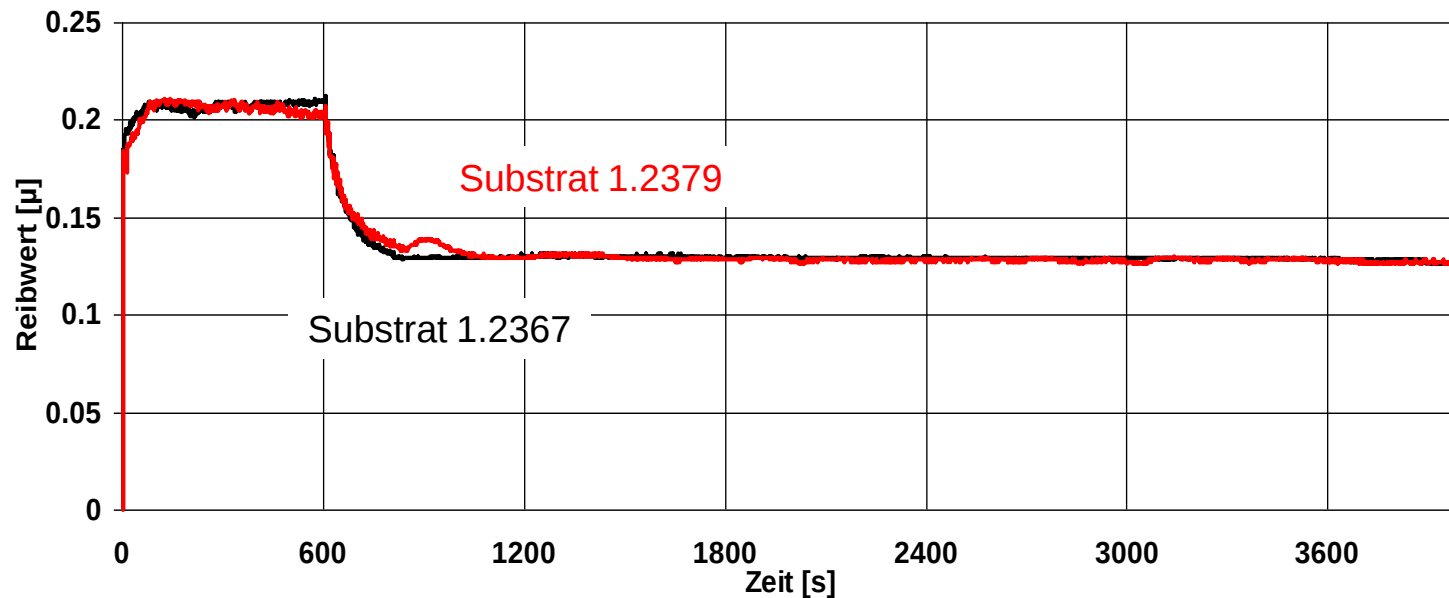


➔ Polieren nach der Herstellung erforderlich

Tribometer-Versuche (IWS)

■ Einfluss des Substratwerkstoffes auf das Reibverhalten

- AlCrTiN auf unterschiedlichen Stahlsubstraten

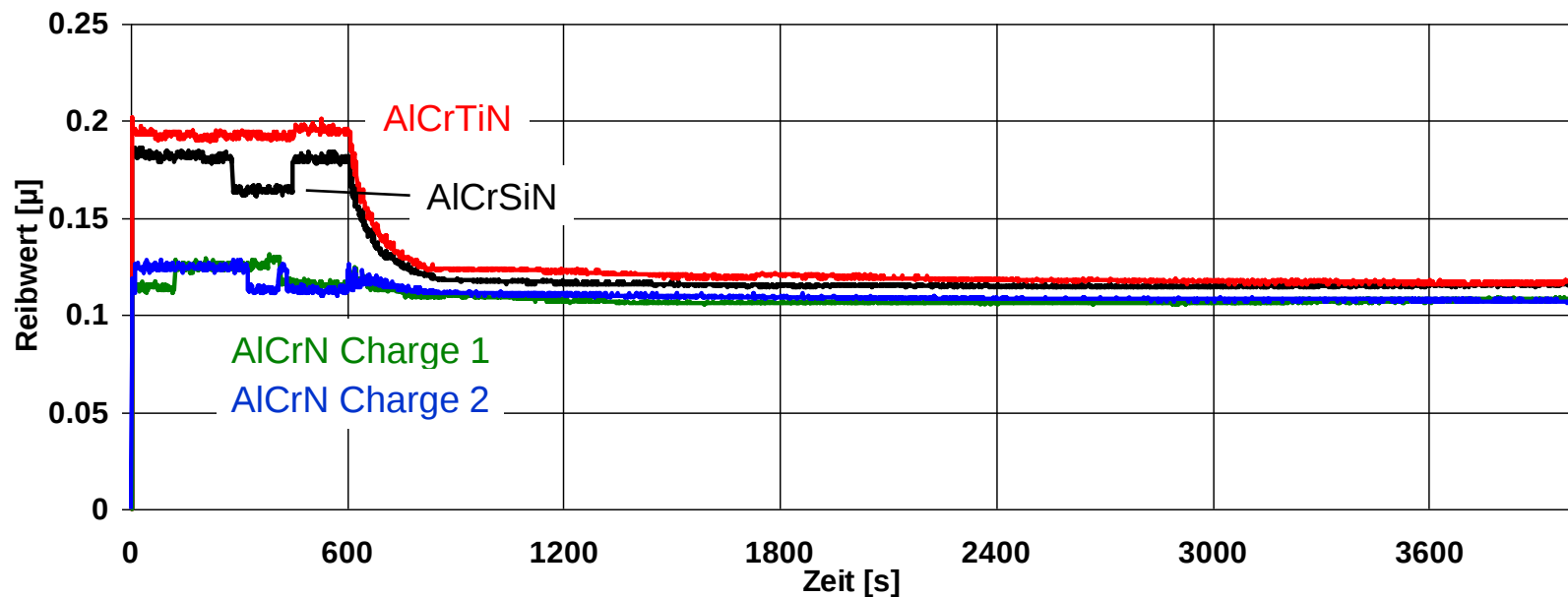


➡ **kein Einfluss des Substrats**

Tribometer-Versuche (IWS)

■ Einfluss des Schichtsystems auf das Reibverhalten

■ unterschiedliche Schichten, Chargen



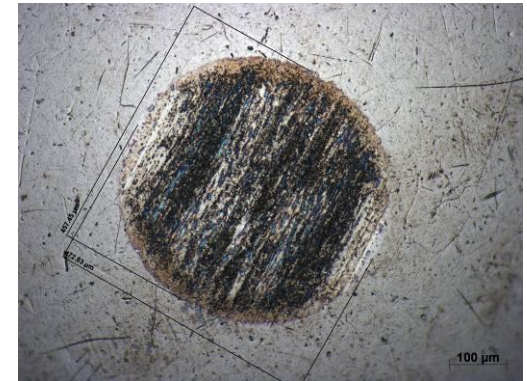
➡ gleiche Reibwerte nach Einlaufphase

➡ reproduzierbare Schichtqualität

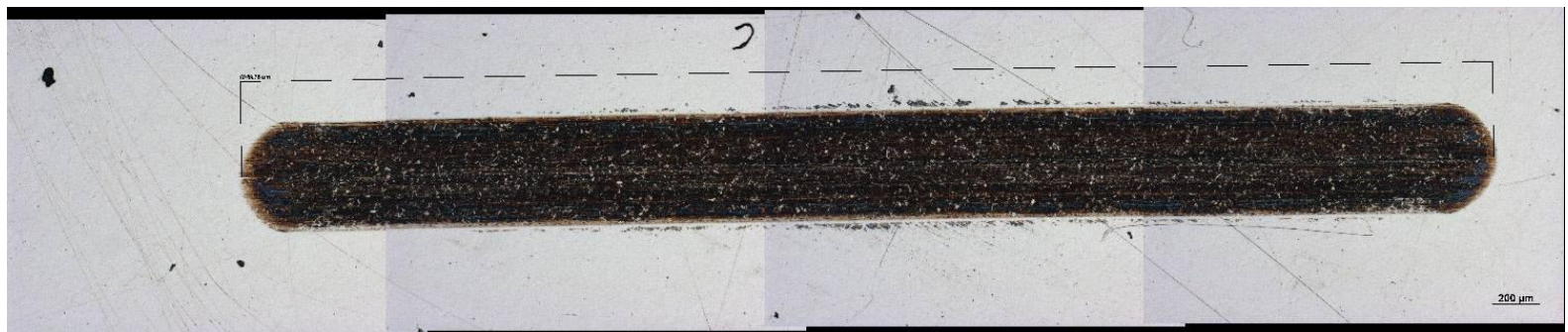
Tribometer-Versuche (IWS)

■ Referenzversuch auf einer unbeschichteten, polierten Scheibe

- Substrat X155CrMoV12-1 (1.2379), $R_a = 0,1 \mu\text{m}$
- Schmierung mit Öl (EP 32)
- $\mu = 0,11$
- $p = 1750 \text{ MPa}$



Verschleißspur Kugel

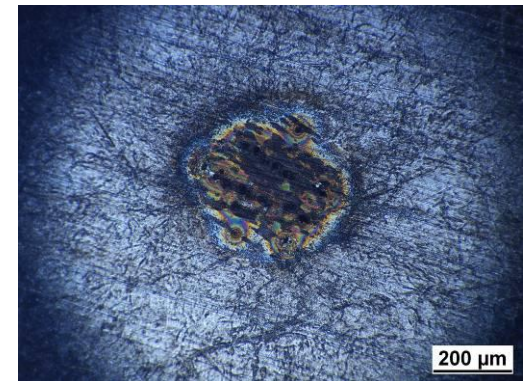


Verschleißspur Scheibe

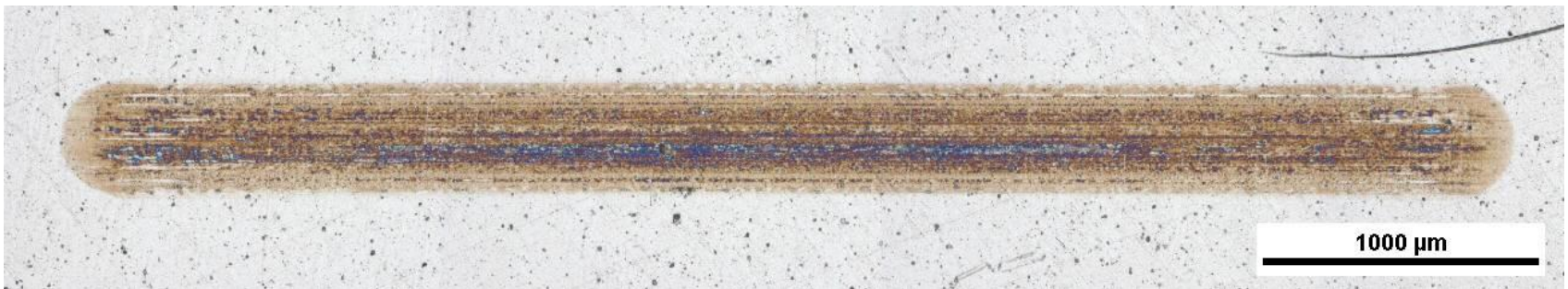
Tribometer-Versuche (IWS)

■ Versuch mit beschichteter, polierter Scheibe

- Substrat X155CrMoV12-1 (1.2379)
- Beschichtung AlCrSiN, $R_a = 0,1 \mu\text{m}$
- Schmierung mit Öl (EP 32)
- $\mu = 0,12$
- $p = 2050 \text{ MPa}$
- farbige Niederschlagsschicht



Verschleißspur Kugel



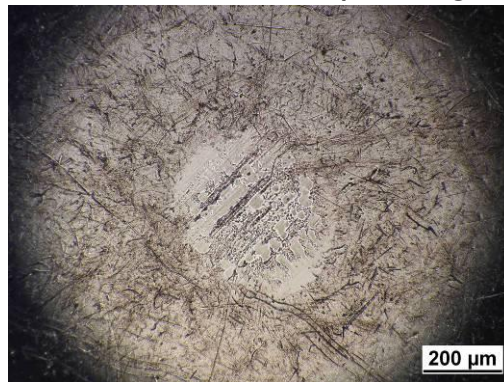
Verschleißspur Scheibe

Tribometer-Versuche (IWS)

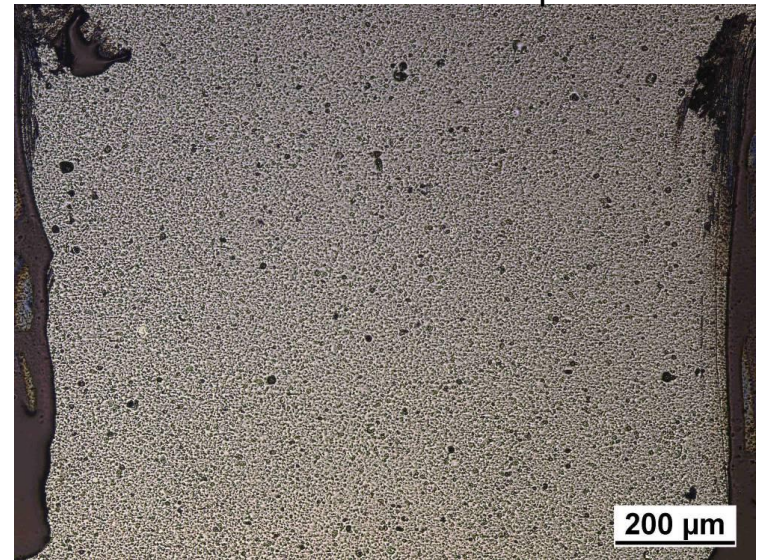
■ Versuch mit beschichteter, fein polierter Scheibe – bestes Ergebnis

- Substrat X155CrMoV12-1 (1.2379)
- Beschichtung AlCrTiN, $R_a = 0,05 \mu\text{m}$
- Schmierung mit Öl (EP 32)
- Verschleißspur mit bloßem Auge nicht zu erkennen
- $\mu = 0,11$
- **$p = 2250 \text{ MPa}$**

Verschleißspur Kugel



Verschleißspur Scheibe



➡ Hohe Flächenpressungen stellen für die Schichten kein Problem dar.

Tribometer-Versuche (IWS)

■ Ergebnisse Tribometer-Versuche:

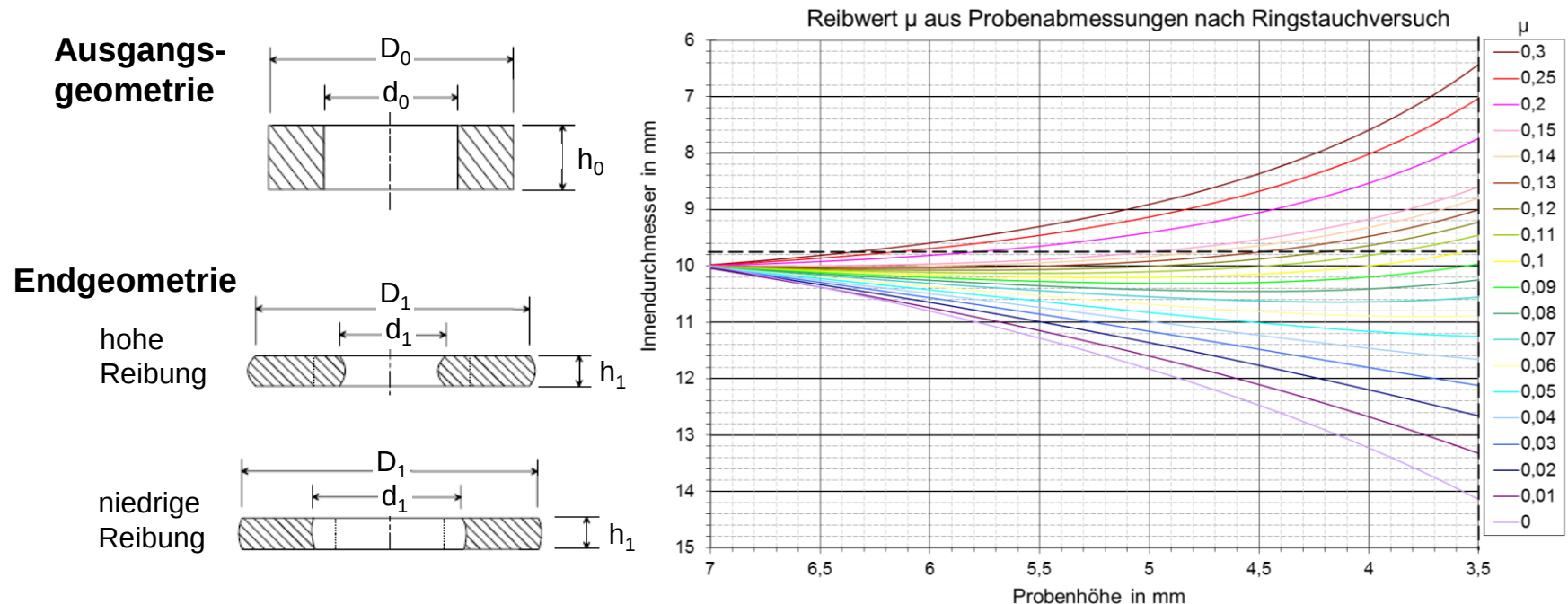
- hohe Flächenpressungen möglich
- kein Einfluss auf den Reibwert, kein Einfluss des Substrats
- hohe Reproduzierbarkeit der Schichtqualität

Schicht	Dicke	Härte	S_a pol.	μ	E-Modul	Verschleißbeständigkeit	Rang
HM-Probe	-	16 GPa	0,025 μm	0,125	576	sehr gute Verschleißbeständigkeit	
TiN	9,5 μm	24 GPa	0,049 μm	0,119	407	Ausbrüche bei Kalotte, gute Verschleißbeständigkeit	7
AlN	19 μm	26 GPa	0,087 μm	0,139	190	geringe Verschleißbeständigkeit	9
CrN	9,5 μm	20 GPa	0,024 μm	0,126	275	gute Verschleißbeständigkeit	8
AlTiN 66/33	9,5 μm	33 GPa	0,038 μm	0,126	347	sehr gute Verschleißbeständigkeit, kein Schichtversagen bei doppelter Kraft (Set 2)	5
AlCrN 70/30	9 μm	29 GPa	0,030 μm	0,119	418	gute Verschleißbeständigkeit, kein Schichtversagen bei doppelter Kraft und Dauer (Set 2 und 3)	2
AlCrTiN 58/26/16	9 μm	31 GPa	0,051 μm	0,108	466	sehr gute Verschleißbeständigkeit, kein Schichtversagen bei Set 2 und 3	1
AlCrSiN 60/30/10	11 μm	30 GPa	0,029 μm	0,114	282	gute/sehr gute Verschleißbeständigkeit	3
AlCrSiN 66/29/5	9,5 μm	31 GPa	0,025 μm	0,119	322	gute Verschleißbeständigkeit	4
AlCrTiSiN 50/25/18/7	12 μm	29 GPa	0,032 μm	0,114	369	gute Verschleißbeständigkeit, Schichtversagen bei Set 2	6

Reibungs- und Verschleißuntersuchungen

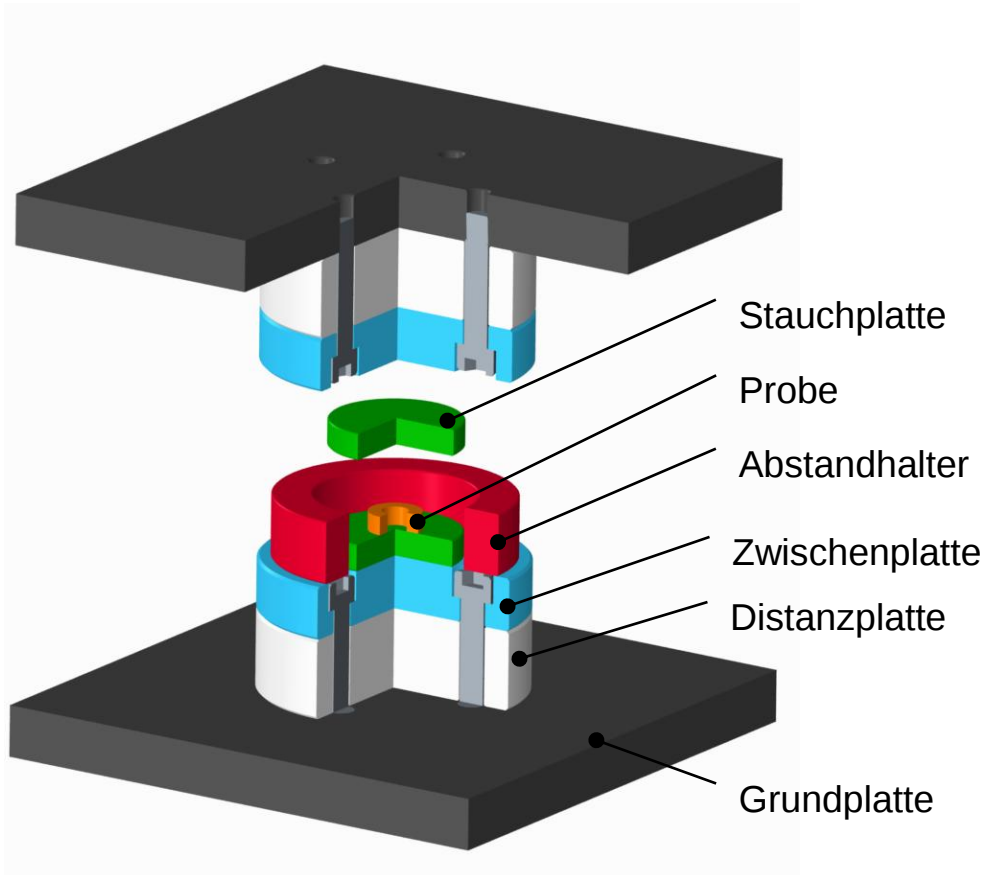
■ Umformversuche (IWU)

- Ringstauchversuch nach Burgdorf
- Vermessung der Ringproben-Geometrie vor und nach der Stauchung
- Ablesen des Reibwertes im Auswertenomogramm



Umformversuche (IWU)

■ Versuchsaufbau:



hydraulische Presse HD 315

Umformversuche (IWU)

■ Versuchsprogramm:

- Probengeometrie: $D=20$ / $d=10$ / $h=7$ mm
- Probenwerkstoff: 16MnCr5
- Werkzeugwerkstoffe:
 - X155CrMoV12-1 (1.2379), 60 HRC
 - C45U (1.1730), 58 HRC
- Beschichtungen: - AlCrN
 - AlCrTiN
 - AlCrSiN
- Schmiermittel: - MoS₂-Paste
 - Fett
- Anzahl der Versuche:
 - je 5 Versuche zur Reibwertermittlung
 - je 50 Versuche zur Verschleißbeurteilung

Probe
vor der Umformung



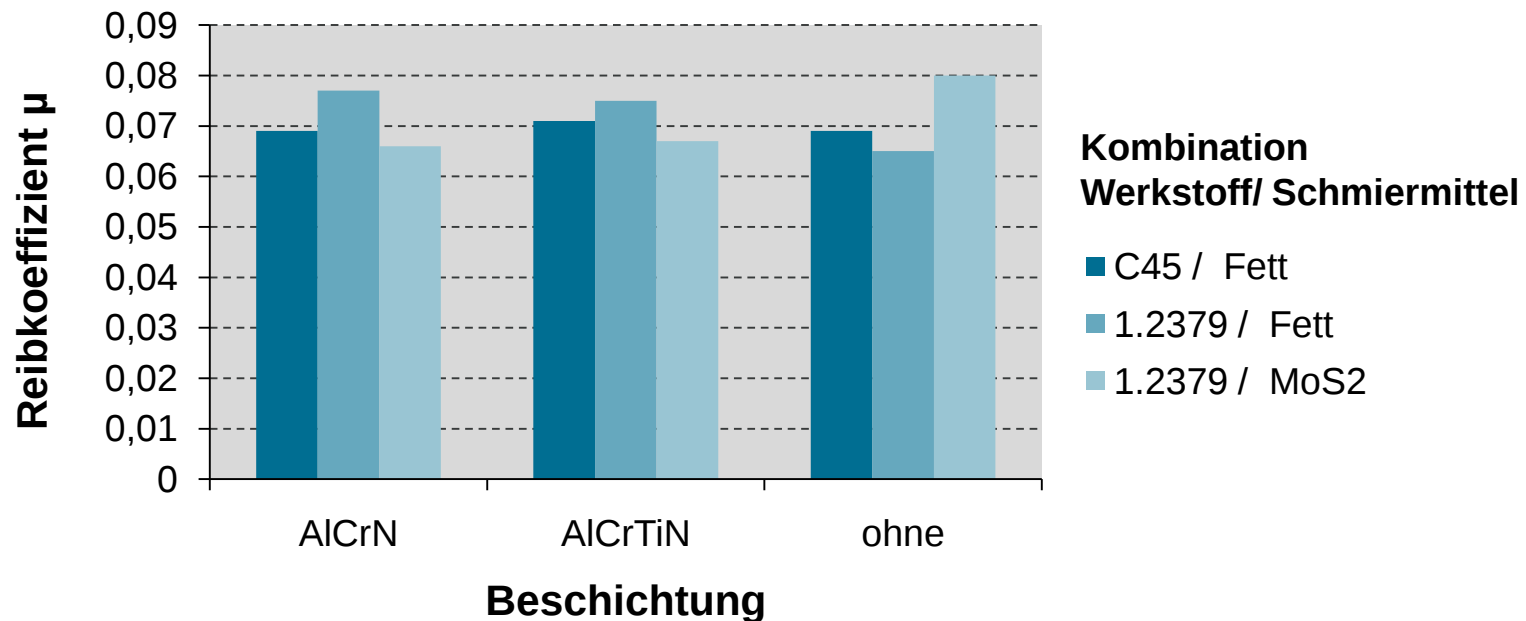
nach der Umformung



Umformversuche (IWU)

■ Versuchsergebnisse Reibwertermittlung:

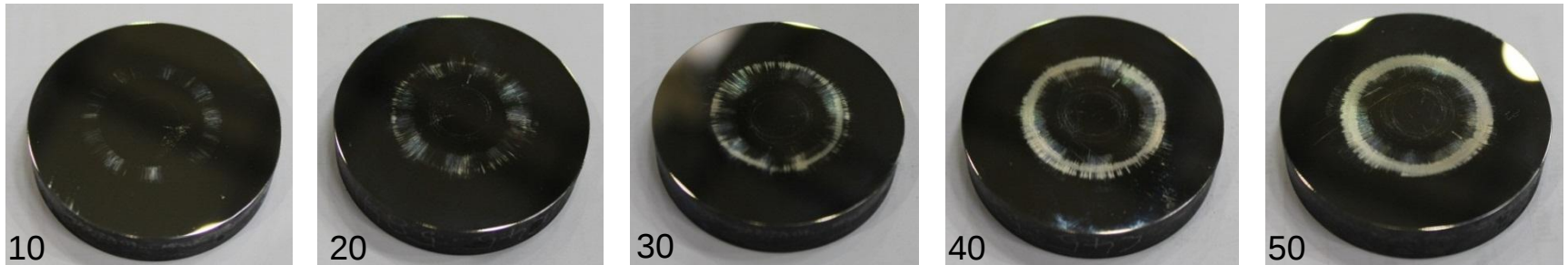
- Reibwerte mit Fett und MoS₂-Paste nahezu identisch
- Beschichtung hat keinen Einfluss auf Reibkoeffizient
- Polieren der Werkzeuge vor und nach dem Beschichten erforderlich



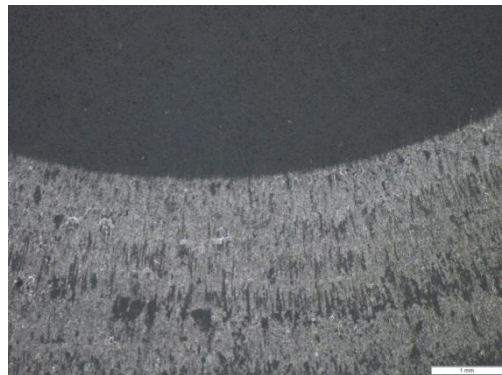
Umformversuche (IWU)

■ Versuchsergebnisse Verschleißuntersuchung:

- Referenz: Platte aus 1.2379, poliert
- deutliche Verschleißspuren
- Verschleißmechanismen: Riefenbildung, Materialübertrag



Anzahl der Umformungen

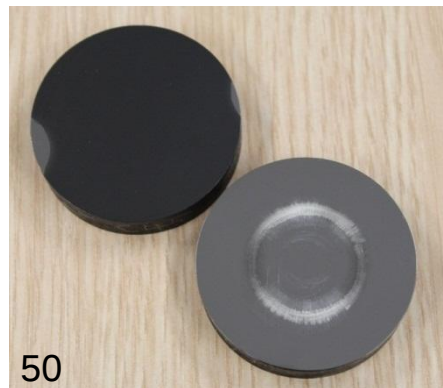
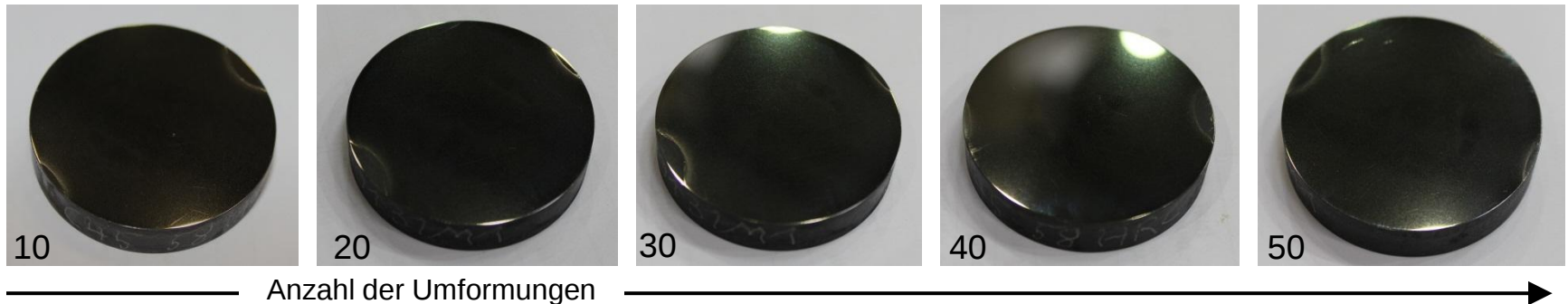


Verschleiß durch
Materialabtrag

Umformversuche (IWU)

■ Versuchsergebnisse Verschleißuntersuchung:

- drastische Reduzierung des Verschleiß durch AlCrN, AlCrTiN und AlCrSiN (nach 50 Umformvorgängen kein Verschleiß feststellbar)
- Bilder: Platte aus C45 mit AlCrN, poliert



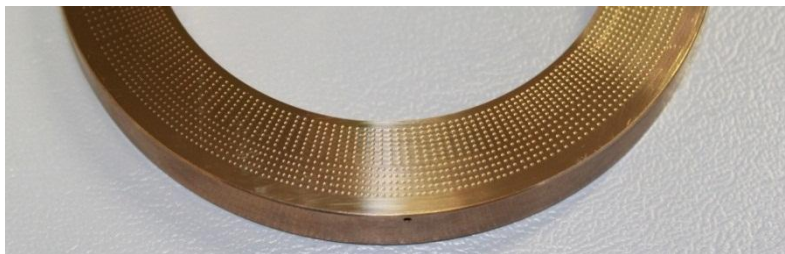
Stauchplatten nach jeweils 50 Umformvorgängen
links: C45 mit AlCrN
rechts: 1.2379 ohne Beschichtung

Zusammenfassung

- Die untersuchten Schichten AlCrN, AlCrSiN und AlCrTiN ertragen sehr hohe Flächenpressungen.
- Die Beschichtungen haben keinen Einfluss auf den Reibwert.
- Vereinzelt bildete sich eine Niederschlagsschicht aus Additiven des Schmiermittels (Phosphor, Schwefel).
- Die untersuchten Beschichtungen bieten die Möglichkeit, den Verschleiß an Umformwerkzeugen drastisch zu senken.
- Dadurch wird bei geeigneten Randbedingungen der Einsatz kostengünstiger Werkstoffe möglich.
- Voraussetzung ist eine polierte Oberfläche vor der Beschichtung sowie eine abschließende Politur der Schichten.

Ausblick

- Beschichtete Umformwerkzeuge
 - Standmengenuntersuchungen mit realen Werkzeugen
 - Betrachtung der Wirtschaftlichkeit für verschiedene Einsatzfälle
 - Prüfung der Anwendbarkeit von kostengünstigeren Grundwerkstoffen
- Ultraschall-strukturierte Bauteile
 - Weiterentwicklung des Verfahrens (Kompaktierung der Bearbeitungseinheit)
 - Optimierung der Strukturgeometrie in Abhängigkeit der Einsatzbedingungen



strukturierter Ring für
Tribometerversuche



Fließpresstempel
mit AlCrN-
Beschichtung

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

Kontakt:

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU)

Massivumformung

Dipl.-Ing. Thomas Druwe

Reichenhainer Straße 88

09126 Chemnitz

Tel: +49 (0)371 5397 1333

Fax: +49 (0)371 5397 61333

E-Mail: thomas.druwe@iwu.fraunhofer.de

www.iwu.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik (IWS)

Dr.-Ing. Otmar Zimmer, Gruppenleiter PVD- Schichten

Winterbergstraße 28

01277 Dresden

Tel: +49 (0)351 83391 3257

Fax: +49 (0)351 83391 3300

E-Mail: otmar.zimmer@iws.fraunhofer.de

www.iws.fraunhofer.de