

Mechanismus der Oberflächenmodifikation durch Schlagverdichten

DI Christoph Lechner

23. November 2011



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Vienna University of Technology

Labor für Produktionstechnik





1

Verfahren

2

Oberflächenbeeinflussung

3

Prozessmodellierung

4

Härtesteigerung

5

Druckeigenstressen

6

Oberflächenglättung, -strukturierung

7

Zusammenfassung

Das Verfahren



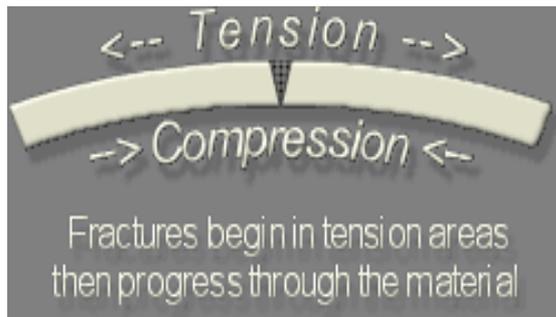
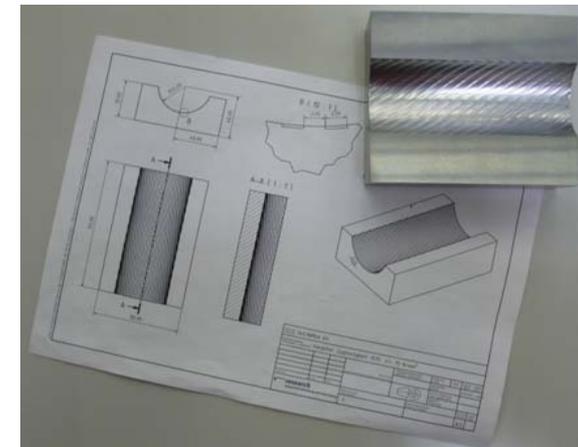
■ Der Prozess

- Aktuator axial geführte Hartmetallkugel in oszillierender Bewegung (bis 500 Hz)
- Gezielte und steuerbare Beeinflussung der Werkstückoberfläche



■ Maßgebliche Effekte

- Einbringung von Druckeigenspannungen
- Erhöhung der messbaren Randschichthärte
- maschinelles Polieren von beliebigen Freiformoberflächen





1

Verfahren

2

Oberflächenbeeinflussung

3

Prozessmodellierung

4

Härtesteigerung

5

Druckeigenstressen

6

Oberflächenglättung, -strukturierung

7

Zusammenfassung



■ Versuchsansatz

Aneinandergereihte Einzelbahnen unterschiedlicher Länge:

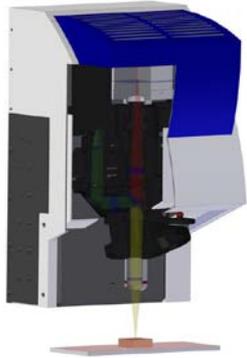
- Erste Bahn: Länge $l = 70\text{mm}$
- Zweite Bahn: Länge $= \frac{3}{4} * l$
- Dritte Bahn: Länge $= \frac{1}{2} * l$
- Vierte Bahn: Länge $= \frac{1}{4} * l$

dadurch wird die Möglichkeit geschaffen, die Verschiebung des Material unter dem Stößel nach jeder Bahn zu untersuchen.





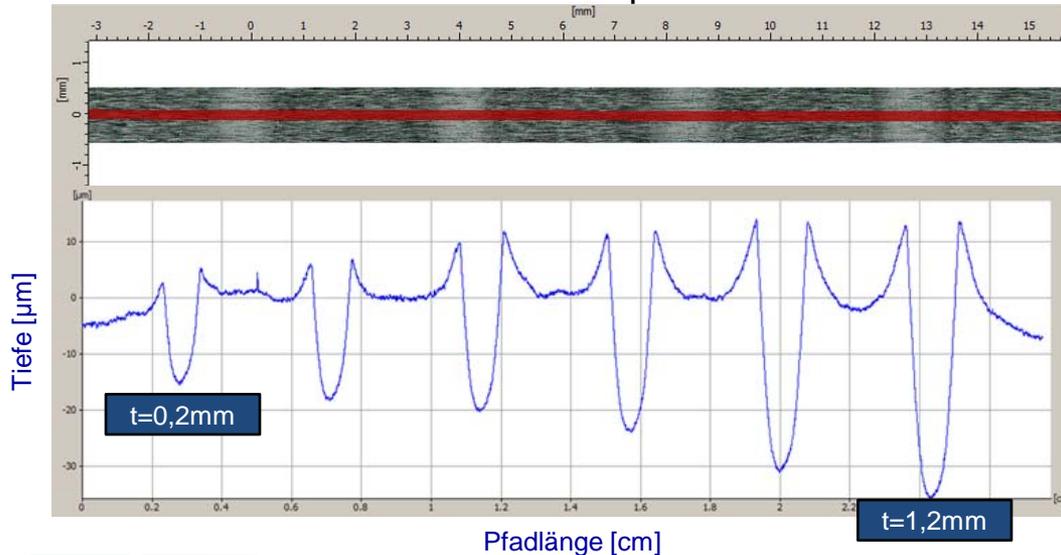
■ Auswertung mittels InfiniteFocus (Alicona)



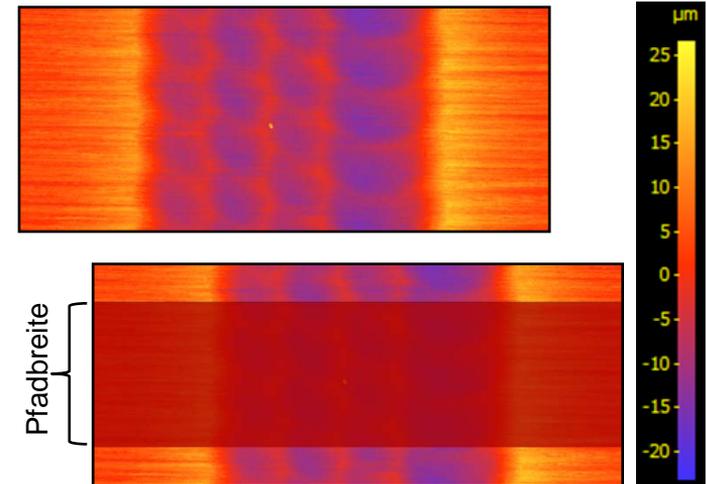
- Durch das 3D-Oberflächenmesssystem lassen sich dreidimensionale Messdatensätze der Probe messen
- Unter Verwendung des geeigneten Messmodules können Schnittprofile extrahiert werden
- Exportieren der gemessenen Profile in Tabellenform



Einzelbahnen mit variiert Stößelspitzen/Werkstück-Distanz t



Profilpfadlage Datensatz: Vier Bahnen

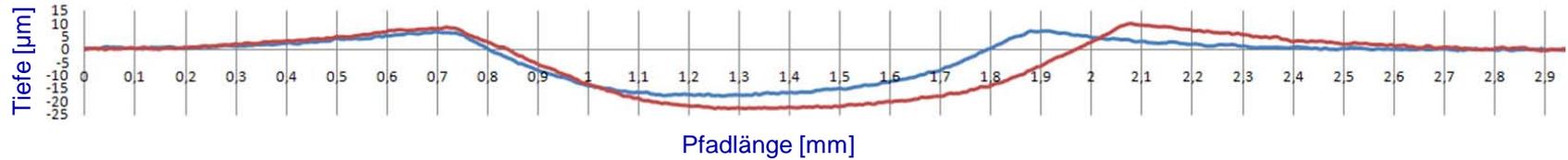


Oberflächenbeeinflussung

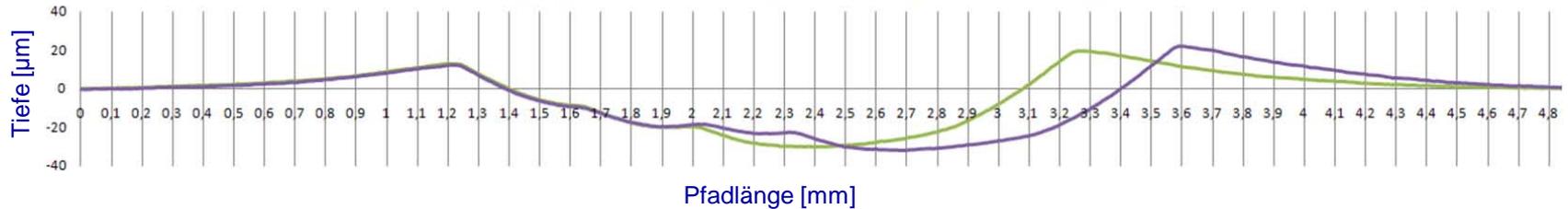


- Diese gemessenen Profile können nun übereinander gelegt werden

Side step 0,1 mm; distance 0,4 mm (Single tool-path vs. Two paths)



Side step: 0,3 mm; distance 1,2 mm mm (Three vs. Four paths)

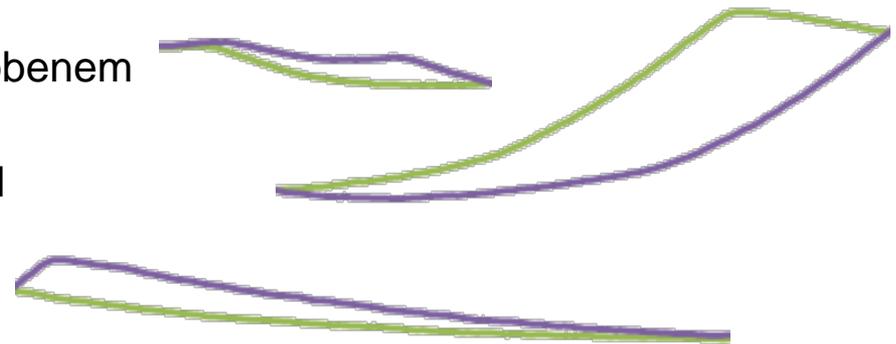


- Hierdurch können die Differenzflächen von gegen die Prozessrichtung geschobenem

durch den Stößel verdrängtem und

in Prozessrichtung verschobenen

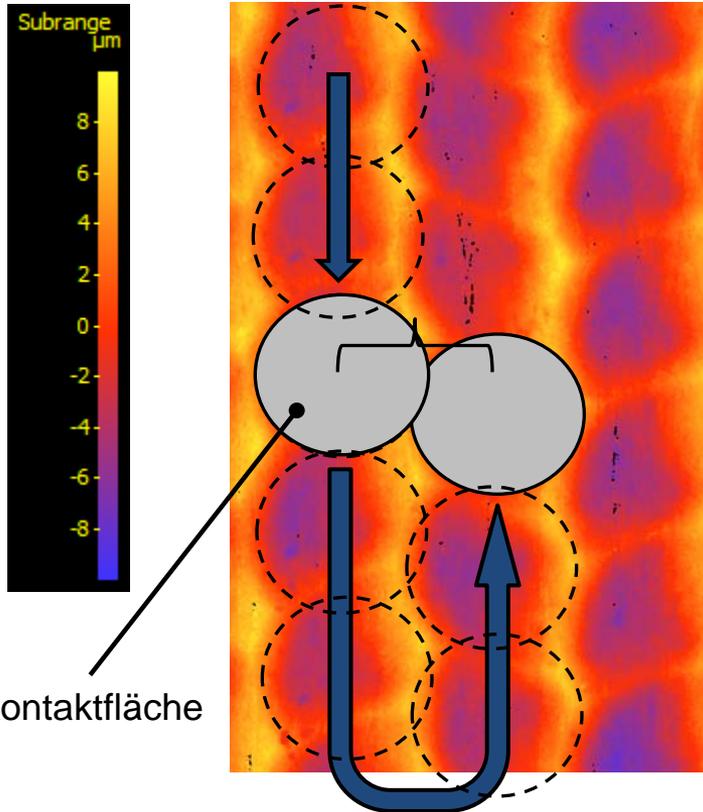
Material errechnet werden



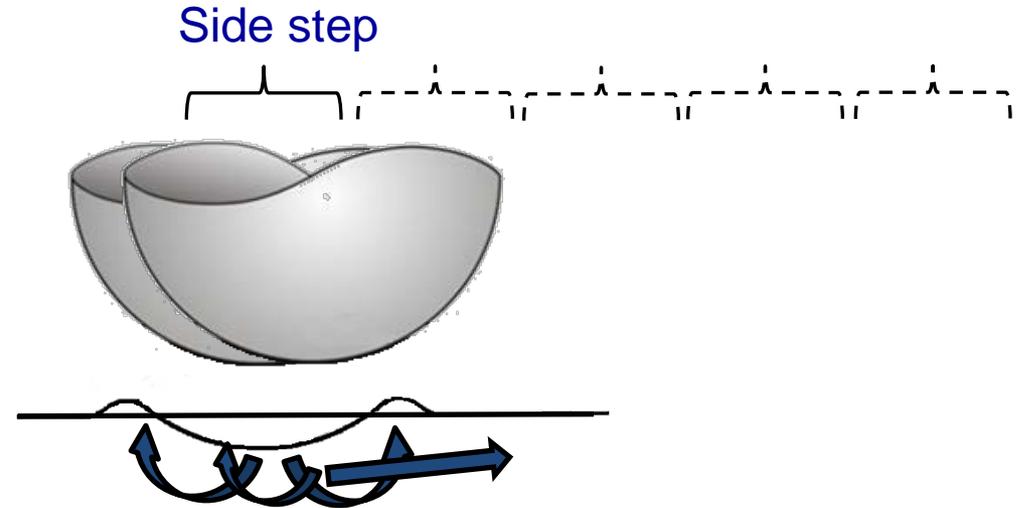
Prozess-
richtung



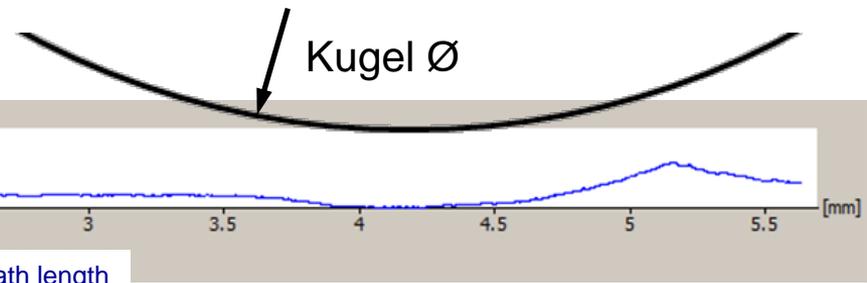
■ Ergebnis:



Kontaktfläche



- Es gibt Materialfluss während des Prozesses
- Dieser konnte anhand von Messwerten erfasst und näher definiert werden





1

Verfahren

2

Oberflächenbeeinflussung

3

Prozessmodellierung

4

Härtesteigerung

5

Druckeigenstressen

6

Oberflächenglättung, -strukturierung

7

Zusammenfassung



■ Modellbildung:

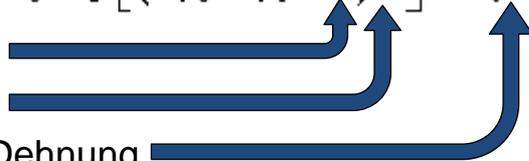
- über die Schlagfrequenz (200Hz) und die Schwingamplitude (~Distanz t) kann die Schlagdauer und damit letztlich die Dehnrates abgeschätzt werden
- Zerilli-Armstrong Modell für kubisch-raumzentrierte Werkstoffe

$$\sigma = \Delta\sigma_G + B_0 \exp\left[(-\beta_0 - \beta_1 \ln \dot{\epsilon})T\right] + K_0 \epsilon^n$$

Dehnrates

Temperatur

plastische Dehnung



Materialabhängige Konstanten: C45E

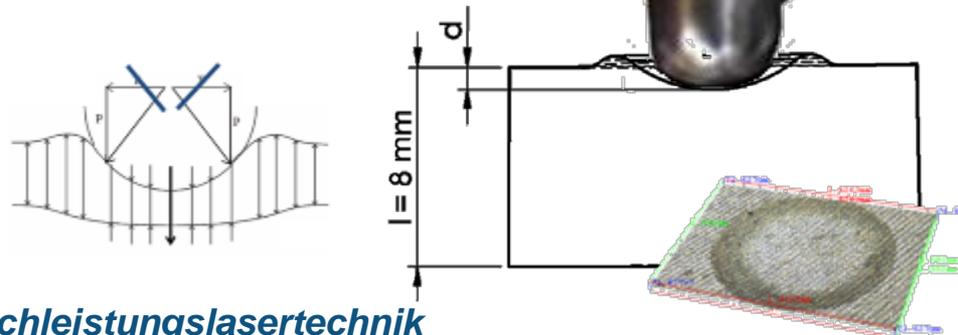
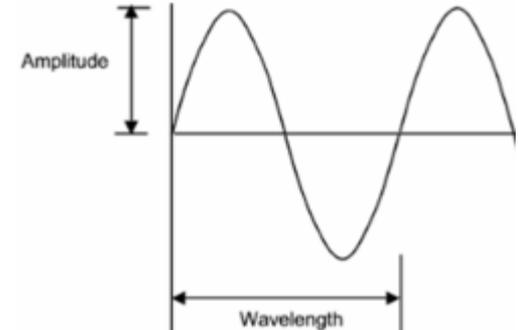
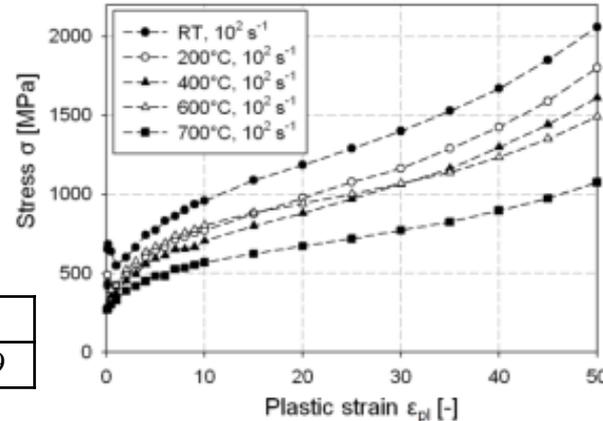
$\Delta\sigma_G$ [MPa]	B_0	β_0	β_1	K_0	n
190	871	0,003	0,0008	511	0,49

Temperature: $T = T_{\text{Raum}} = 22^\circ$ (295,15K)

■ Kraftberechnung:

Korrekturfaktoren

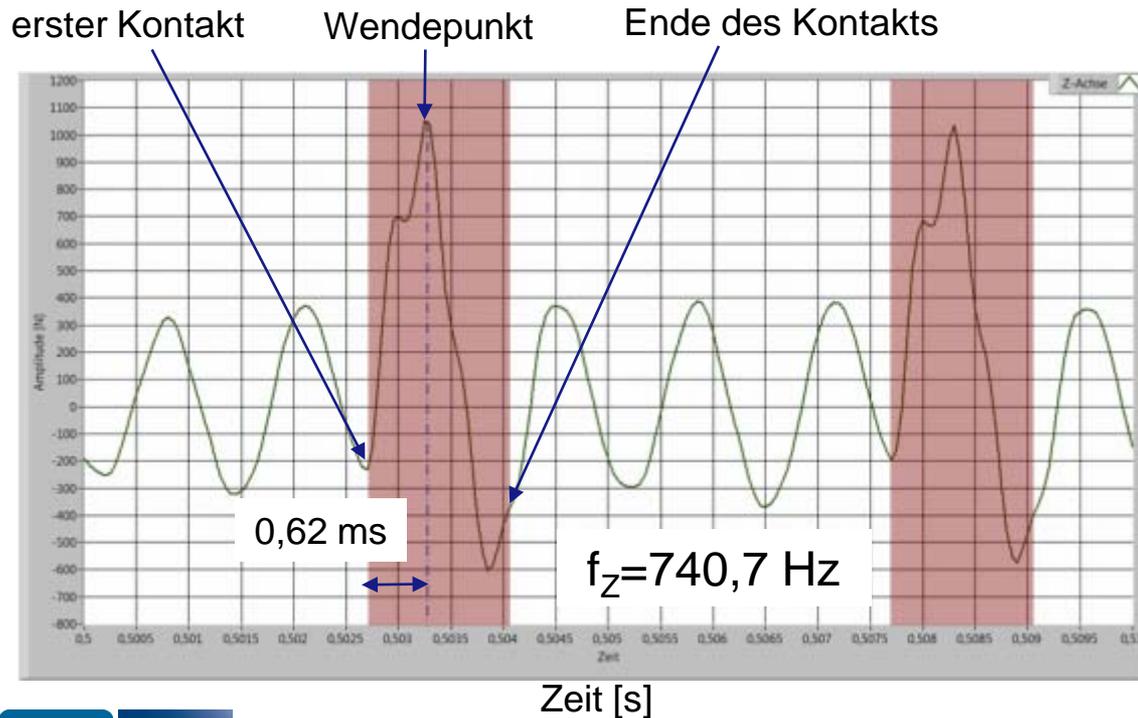
$$F = \sigma(\epsilon, \dot{\epsilon}, T) * a_{pr} * \Phi_\alpha * \Phi_h * \Phi_r$$





- Messtechnische Untersuchungen
 - Verifizierung der Modellergebnisse durch Versuch
 - Abhängigkeit der Schlagkraft von Distanz t

Aktuator
3-Achs-Dynamometer Kistler Z3392
Messbereich: x,y $\pm 10\text{kN}$; z $\pm 20\text{kN}$

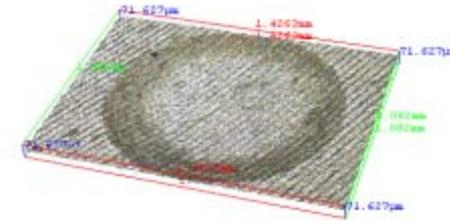
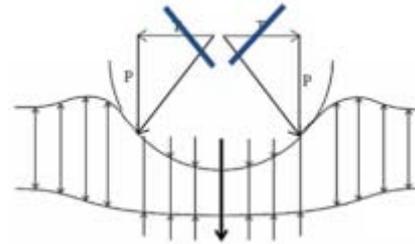




■ Ergebnis:

Kraftberechnung:

$$F = \sigma(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T) * a_{pr} * \overbrace{\Phi_{\alpha} * \Phi_h * \Phi_r}^{\text{Korrekturfaktoren}}$$



Distanz t [mm]	Eindrucktiefe [µm]	Dehnung ε [-]	Kontaktzeit [s]	Dehnrage [1/s]	Kraft berechnet [N]	Kraft gemessen [N]
0,2	19	0,002375	7,86684E-06	301,9	573	541
0,3	20	0,0025	8,27815E-06	302	604	856
0,4	22	0,00275	9,09993E-06	302,2	665	703
0,5	23	0,002875	9,51042E-06	302,3	695	697
0,6	28	0,0035	1,15588E-05	302,8	848	726
0,7	31	0,003875	1,27846E-05	303,1	940	906
0,8	29	0,003625	1,19676E-05	302,9	879	966
0,9	32	0,004	1,31926E-05	303,2	971	956
1	36	0,0045	1,48221E-05	303,6	1094	1076
1,1	39	0,004875	1,60415E-05	303,9	1186	1088
1,2	38	0,00475	1,56353E-05	303,8	1155	1223
1,3	40	0,005	1,64474E-05	304	1217	1378
1,4	0	0	0	---	---	---





1

Verfahren

2

Oberflächenbeeinflussung

3

Prozessmodellierung

4

Härtesteigerung

5

Druckeigenstressen

6

Oberflächenglättung, -strukturierung

7

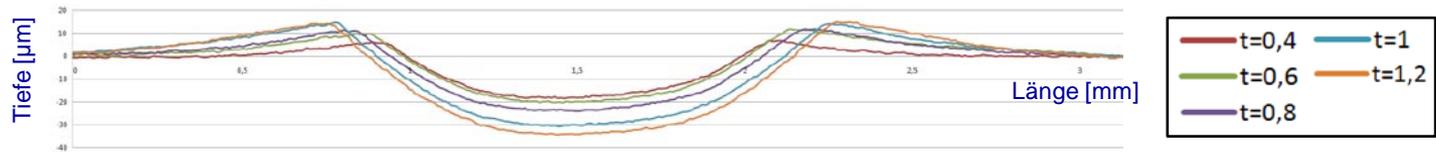
Zusammenfassung

Härtesteigerung



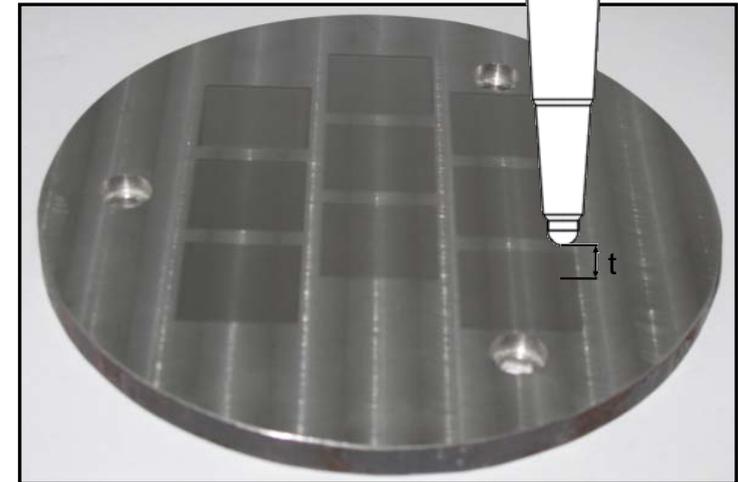
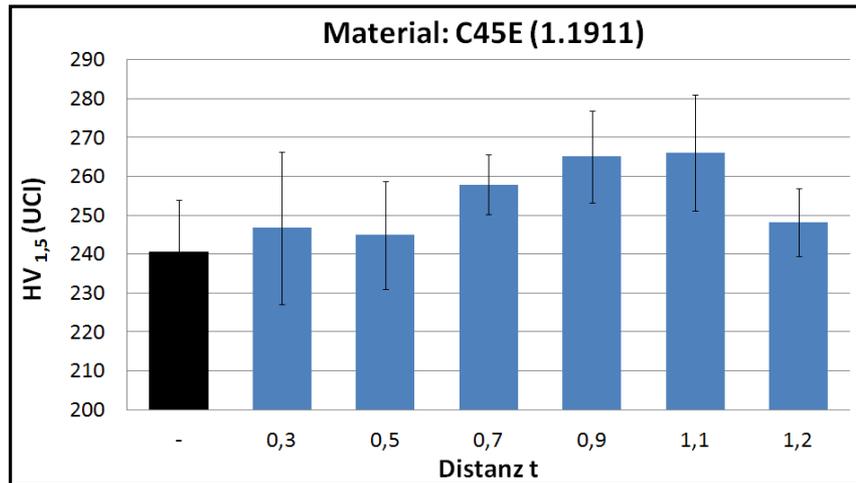
■ Versuchsansatz:

- Erhöhung der Distanz t bedingt höhere Umformung ➡ höhere Energieeinbringung
- Probenfelder mit variierten Distanzen t
- Untersuchung unterschiedlicher Werkstoffe C45E (1.1191); X155CrVMo12-1 (1.2379); ...



■ Ergebnis:

- Härtesteigerung bei allen geklopfen Probefeldern
- Deutlicher Einfluss der Distanz t (Stößelspitze / Werkstückoberfläche)



Schwarzer Balken ... ungeklopfte Referenzfläche

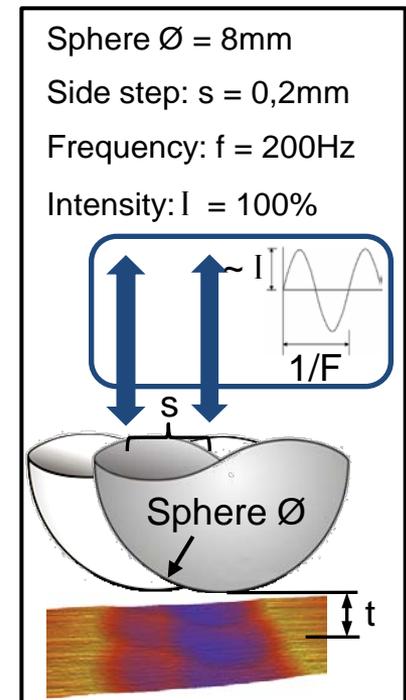
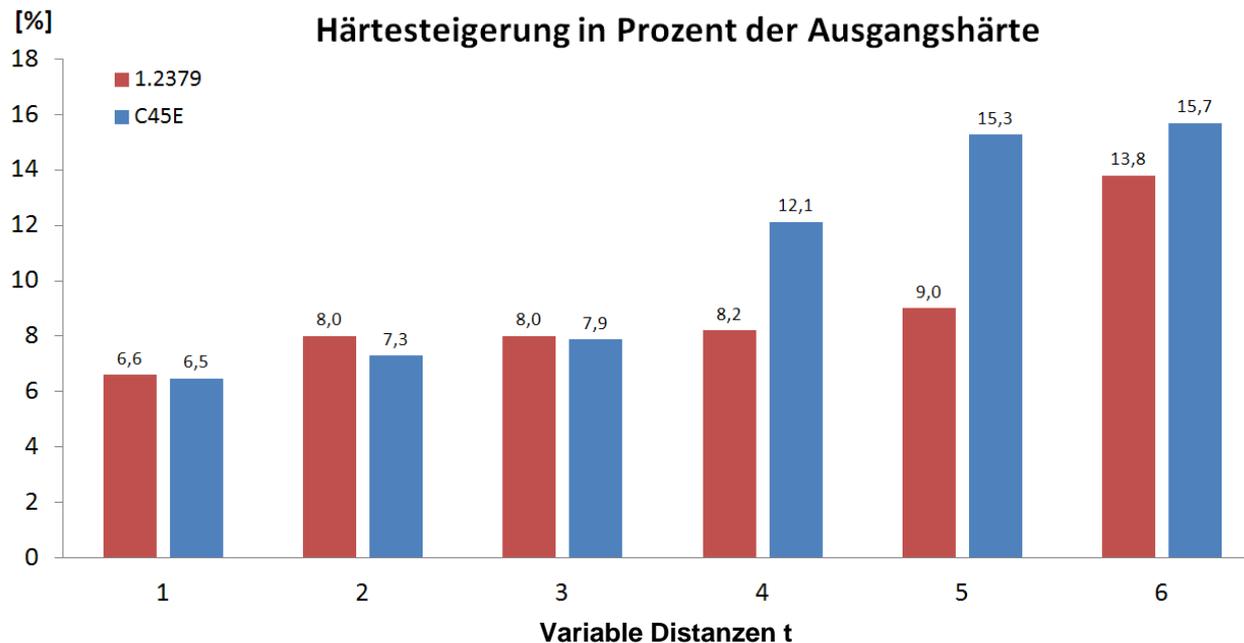
Blaue Balken ... Felder mit variiert Distanz t

... Standartabweichung (n=9)



■ Ergebnis:

- Effektive Härtesteigerung in Abhängigkeit der Distanz t ist zudem stark Werkstoffabhängig
- Maximale Härtesteigerung:
1.1191 (C45E) → 15,7% Hohe Härtesteigerung über relativ großen t -Bereich
1.2379 (X155CrVMo 12-1) → 13,8% für relativ engen t -Bereich





1

Verfahren

2

Oberflächenbeeinflussung

3

Prozessmodellierung

4

Härtesteigerung

5

Druckeigenstressen

6

Oberflächenglättung, -strukturierung

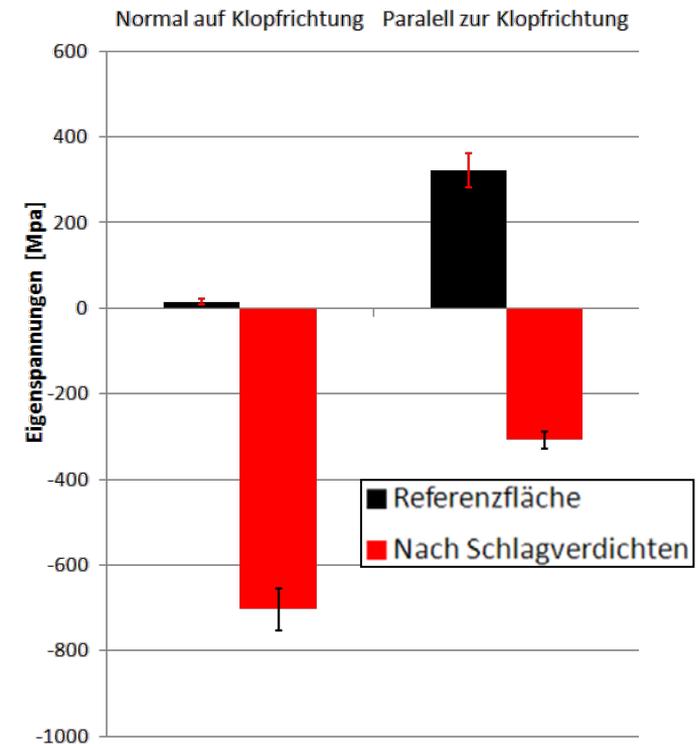
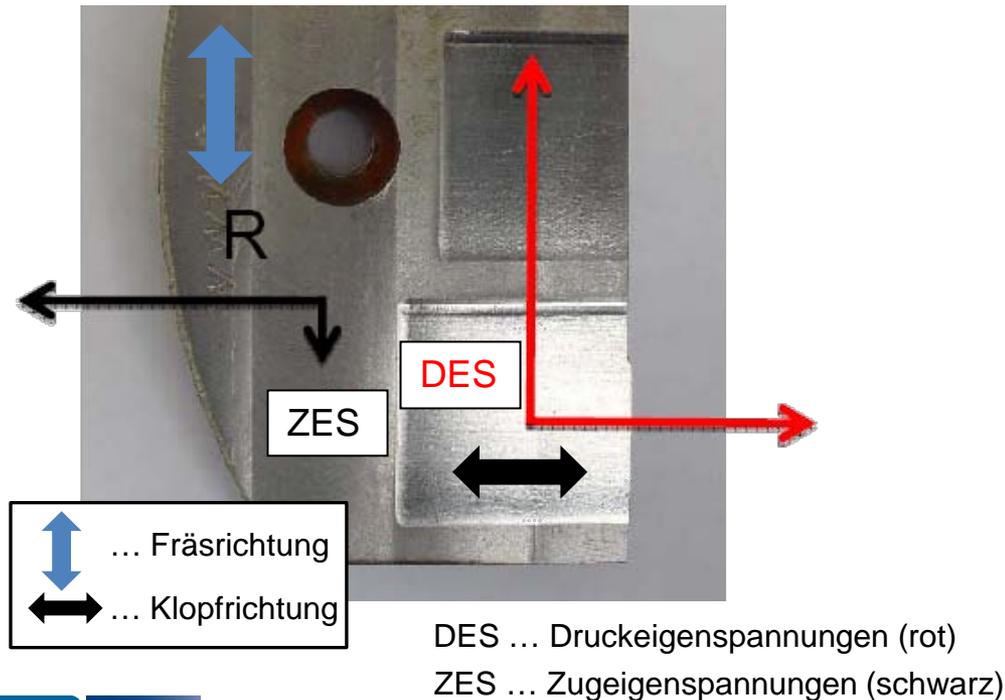
7

Zusammenfassung



■ Erste Ergebnisse:

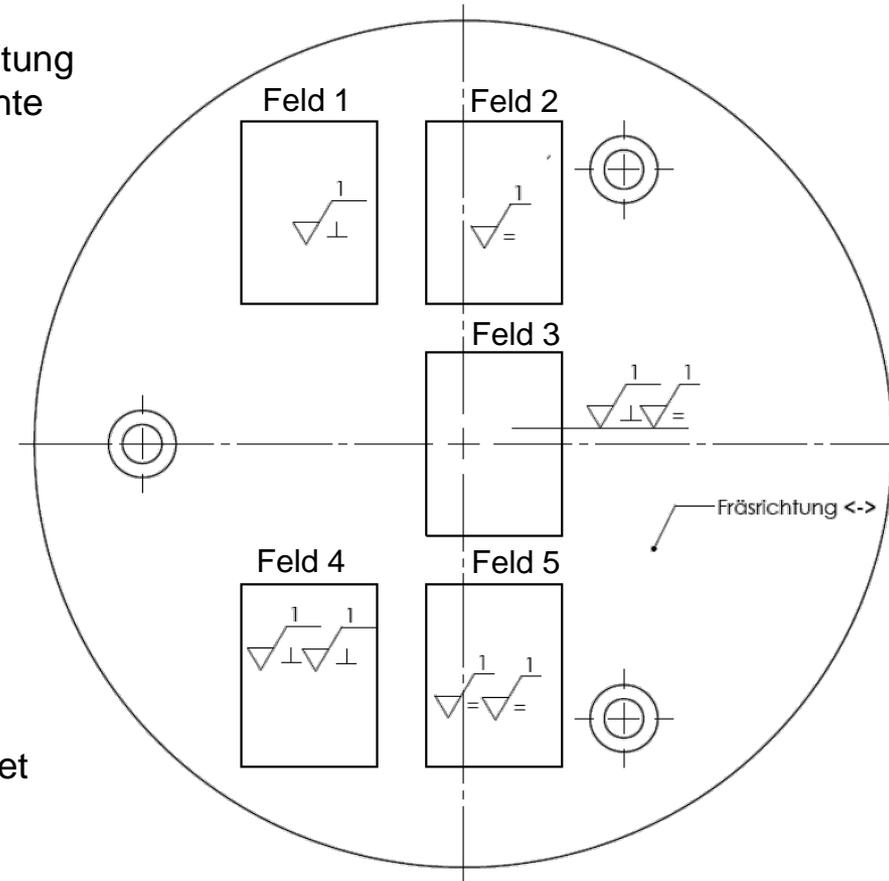
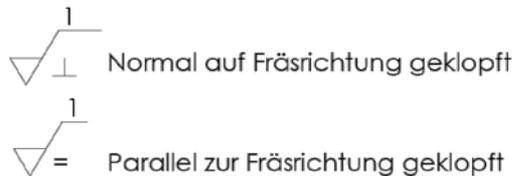
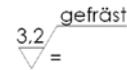
- Plangefräste Referenzfläche (R) weist in beiden Richtungen (quer und normal zur Klopfrichtung) Zugeigenstressen auf
- Nach der Klopfbearbeitung wurden diese in deutliche Druckeigenstressen gewandelt
- Eigenspannungsdifferenz und damit eingebrachte Druckeigenstressen im Bereich von etwa 600 - 700 MPa





■ Weiterführende Untersuchungen

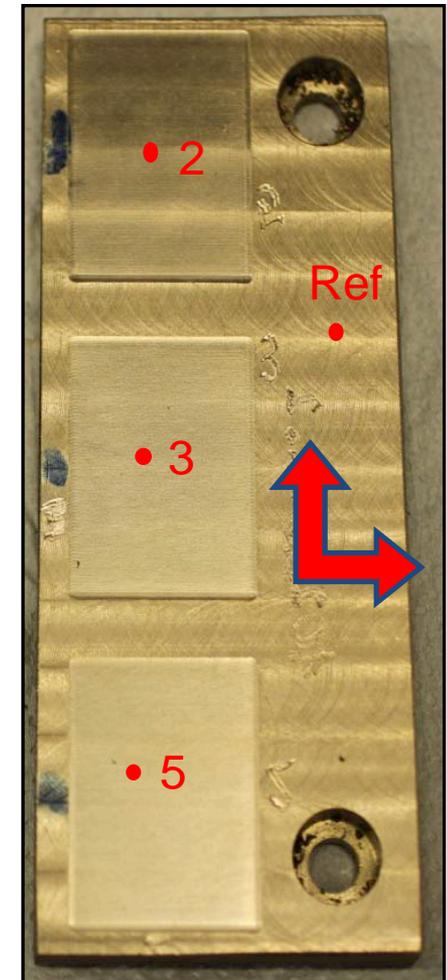
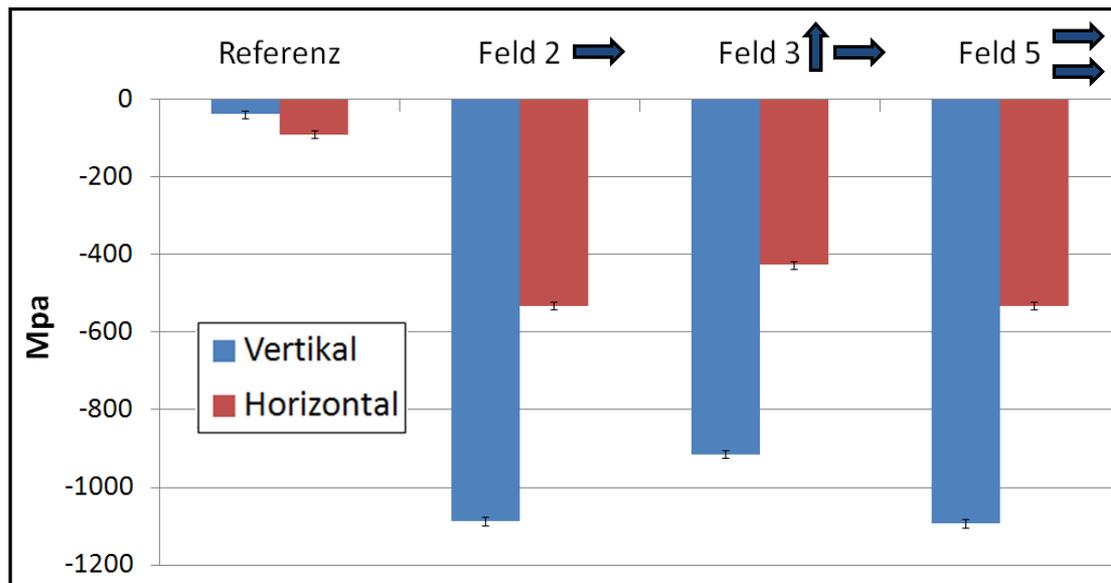
- Versuchszweck:
Untersuchung der Auswirkung von Mehrfachbearbeitung sowie Bearbeitungsrichtung in Bezug auf eingebrachte Druckeigenstressen
- Probenvorbereitung:
Probenscheibe 1: Oberfläche zunächst geschliffen, Probe im Anschluss normalgeglüht um Eigenstressen vor dem Schlagverdichten zu minimieren
Probenscheibe 2: Direkt vor dem Schlagverdichten plangefräst
- Versuchsdurchführung:
Die Probenfelder wurden in unterschiedlichen Klopfrichtungen teils einfach teils zweifach bearbeitet





■ Ergebnis:

- Deutliche Einbringung von Druckeigenstressungen in der Größenordnung von mehr als -1000 [MPa]
- Es konnte keine Steigerung der Druckeigenstressungseinbringung aufgrund einer doppelten Bearbeitung beobachtet werden





1

Verfahren

2

Oberflächenbeeinflussung

3

Prozessmodellierung

4

Härtesteigerung

5

Druckeigenstressen

6

Oberflächenglättung, -strukturierung

7

Zusammenfassung

Oberflächenveredelung, -strukturierung



Parameterstudie

Kugeldurchmesser [mm]

6 8 10

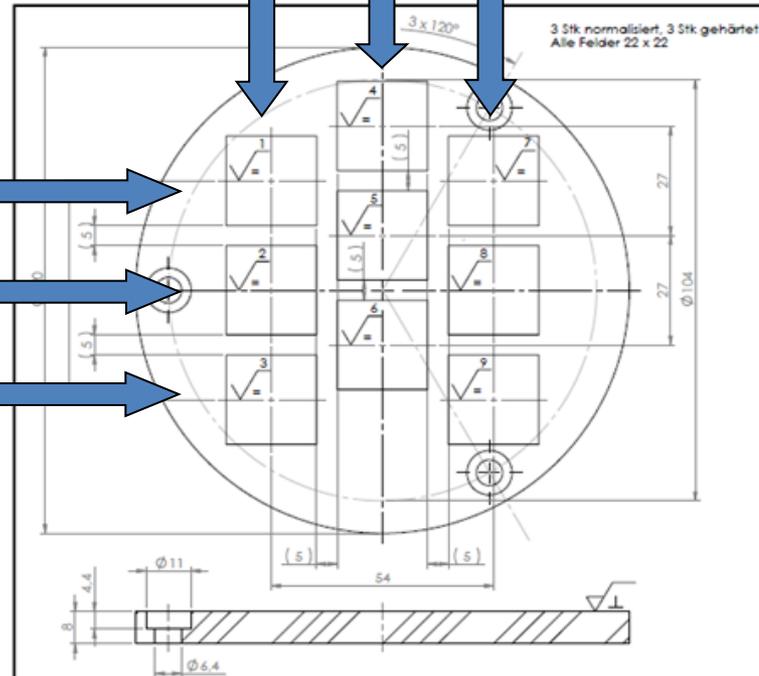
0,1

Distanz zw.
Einzeleinschlägen
[mm]

0,3

0,5

variiert über
Bahnversatz und
Vorschubgeschwindigkeit
(Frequenz 200Hz)

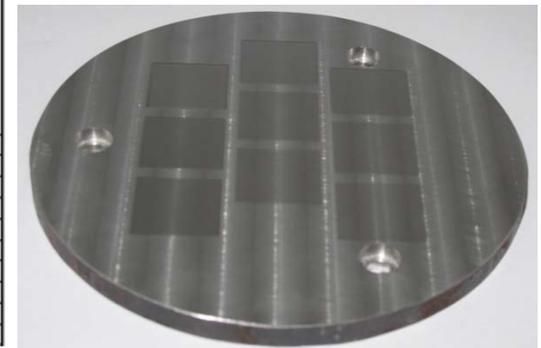


Bez	D-Kugel	Intensität	Frequenz	Vorschub	Bahnabstand	Distanz
1	6	100 %	200 Hz	1200	0,1	Stop - 0,2 (hart 1,3; weich 1,3)
2	6	100 %	200 Hz	3600	0,3	Stop - 0,2 (hart 1,3; weich 1,3)
3	6	100 %	200 Hz	6000	0,5	Stop - 0,2 (hart 1,3; weich 1,3)
4	8	100 %	200 Hz	1200	0,1	Stop - 0,2 (hart 1,1; weich 1,15)
5	8	100 %	200 Hz	3600	0,3	Stop - 0,2 (hart 1,1; weich 1,15)
6	8	100 %	200 Hz	6000	0,5	Stop - 0,2 (hart 1,1; weich 1,15)
7	10	100 %	200 Hz	1200	0,1	Stop - 0,2 (hart 1,1; weich 1,25)
8	10	100 %	200 Hz	3600	0,3	Stop - 0,2 (hart 1,1; weich 1,25)
9	10	100 %	200 Hz	6000	0,5	Stop - 0,2 (hart 1,1; weich 1,25)

Zwei Proben:

Material C45E

- Normalisiert
- Gehärtet (53 HRC)

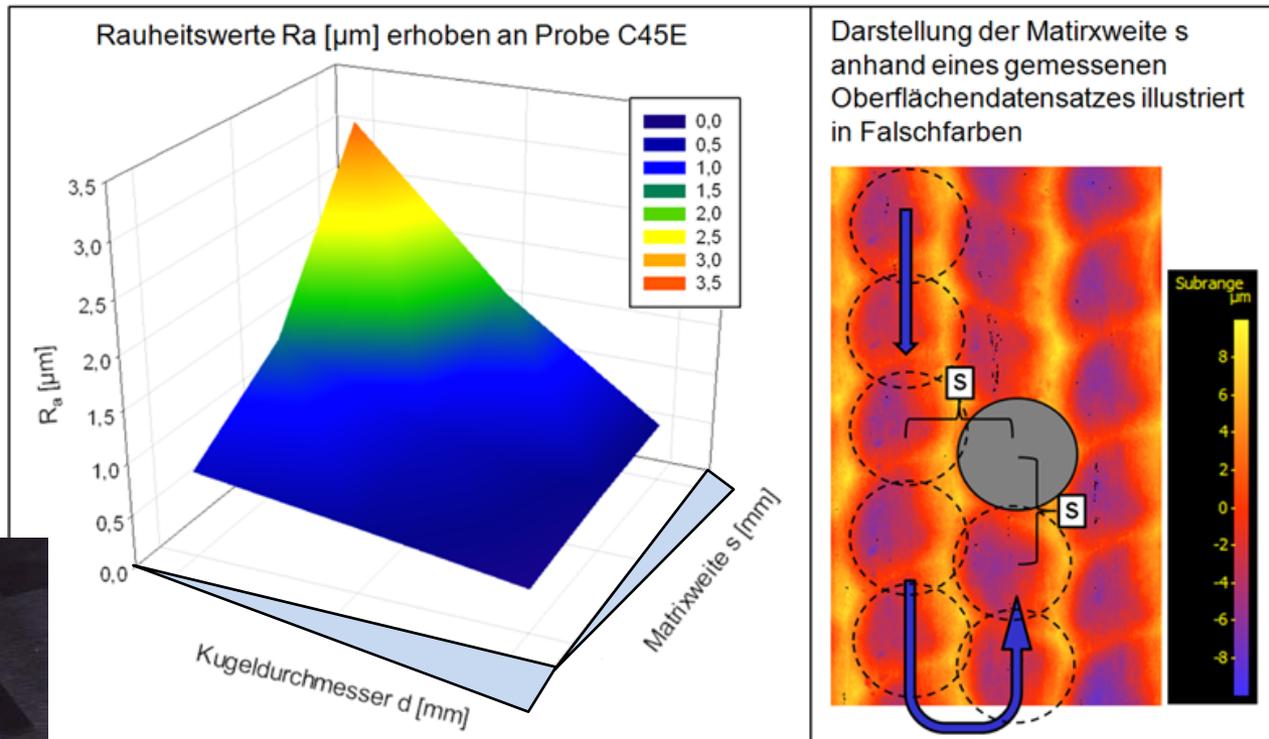




■ Ergebnis - Deutliche Reduktion der Oberflächenrauheitswerte

- Ausgangsrauheitswerte (plangefräst): $R_a = 1,64\mu\text{m}$; $R_z = 10,2\mu\text{m}$; $R_{\text{max}} = 12,4\mu\text{m}$
- Durch Schlagverdichten: $R_a = 0,42\mu\text{m}$; $R_z = 2,5\mu\text{m}$; $R_{\text{max}} = 3,2\mu\text{m}$

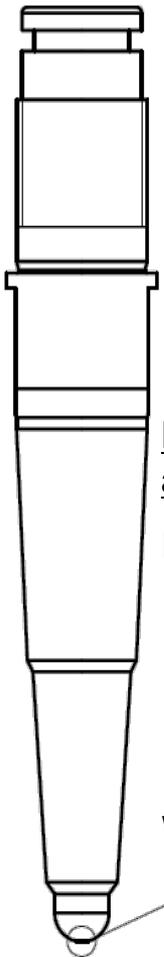
➔ Reduktion: $\Delta R_a = 1,23\mu\text{m}$; $\Delta R_z = 7,7\mu\text{m}$; $\Delta R_{\text{max}} = 9,2\mu\text{m}$





■ Gezielte Strukturierung der Oberfläche

- Durch einen zweckmäßig strukturierten Stößel (ECM-Technologie) konnte eine Riblet-Struktur auf der Oberfläche erzeugt werden
- Die einzelnen Rippen schließen dabei nahtlos aneinander an



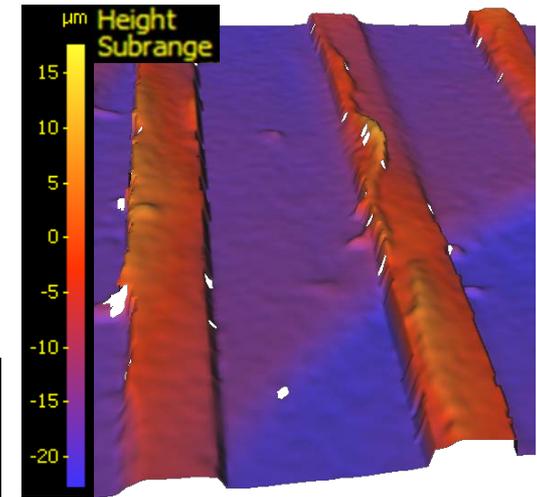
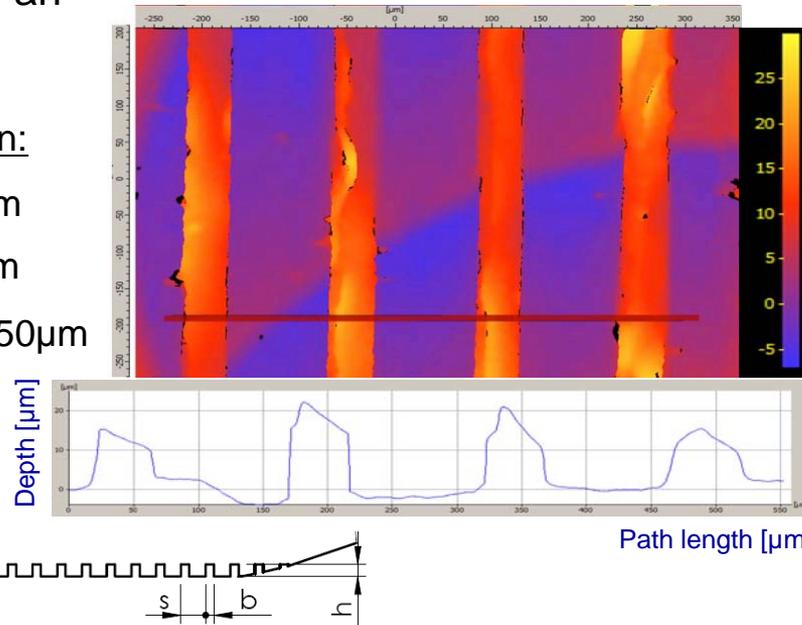
Dimensionen der aufgetragenen Rippen:

Höhe h : 15 μm – 20 μm

Rippenbreite t = 45 μm

Rippenabstand s = 150 μm

Werkstoff: Al



Mikroskop Aufnahme 25-fache Vergrößerung



- Weitere denkbare Beispiele der technischen Funktionalisierung von Oberflächen mittels Schlagverdichten: hydrophobe bzw. hydrophile Oberflächen, etc.



1

Verfahren

2

Oberflächenbeeinflussung

3

Prozessmodellierung

4

Härtesteigerung

5

Druckeigenstressungen

6

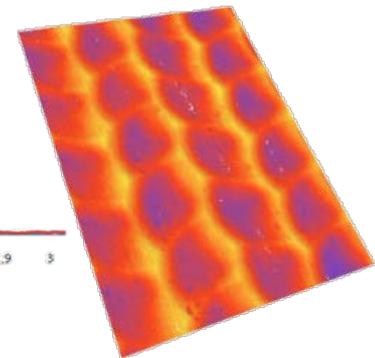
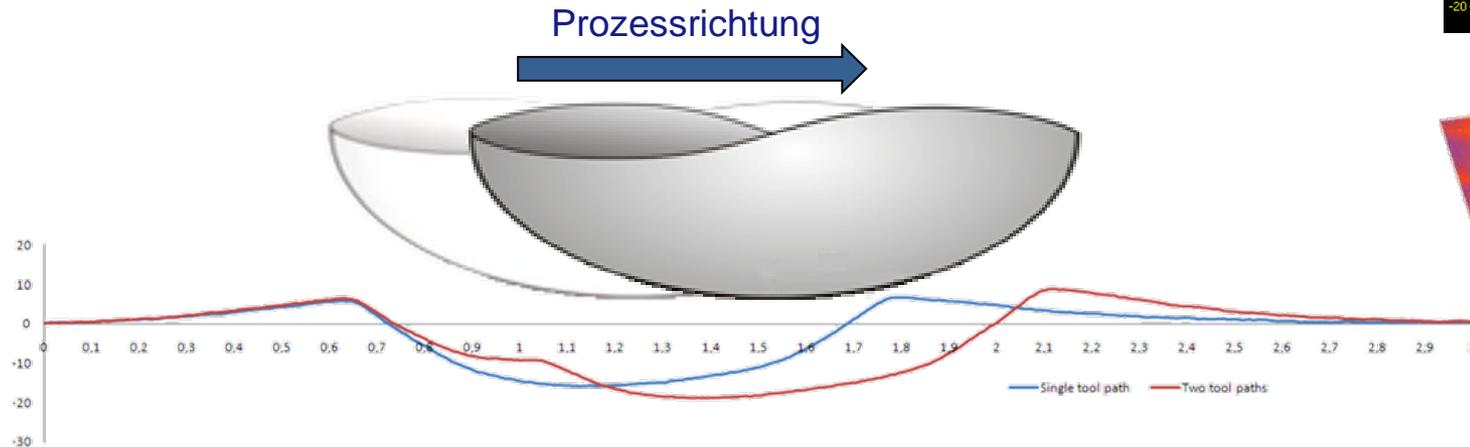
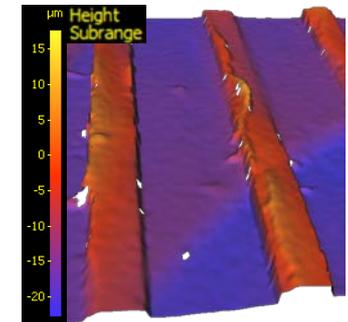
Oberflächenglättung, -strukturierung

7

Zusammenfassung



- Verständnis des Materialverhaltens während des Prozesses
- Modellhafte Beschreibung des Prozesses
- Maßgebliche Effekte konnten nachgewiesen werden
 - Einbringung von Druckeigenspannungen bis zu über -1000 MPa
 - Erhöhung der messbaren Randschichthärte
 - Reduktion der Oberflächenrauheit bis hin zu polierähnlichen spiegelglatten Oberflächen
- Fülle weiterer denkbarer Anwendungen in Bezug auf Oberflächen- und Werkstoffmodifikation
 - Mechanisches Legieren
 - hydrophile/hydrophobe Oberflächen





Labor für Produktionstechnik

Landstraßer Hauptstraße 152

1030 Wien

Austria

Tel.: +43-(0)1-58801-31106

Fax: +43-(0)1-58801-31195

E-Mail: office@ift.at

Homepage: <http://www.ift.at>

