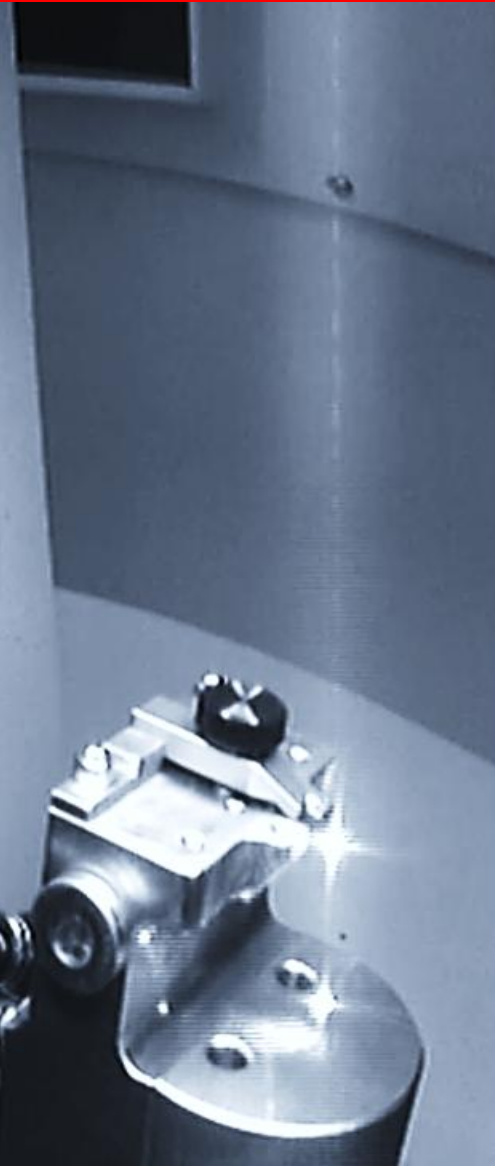


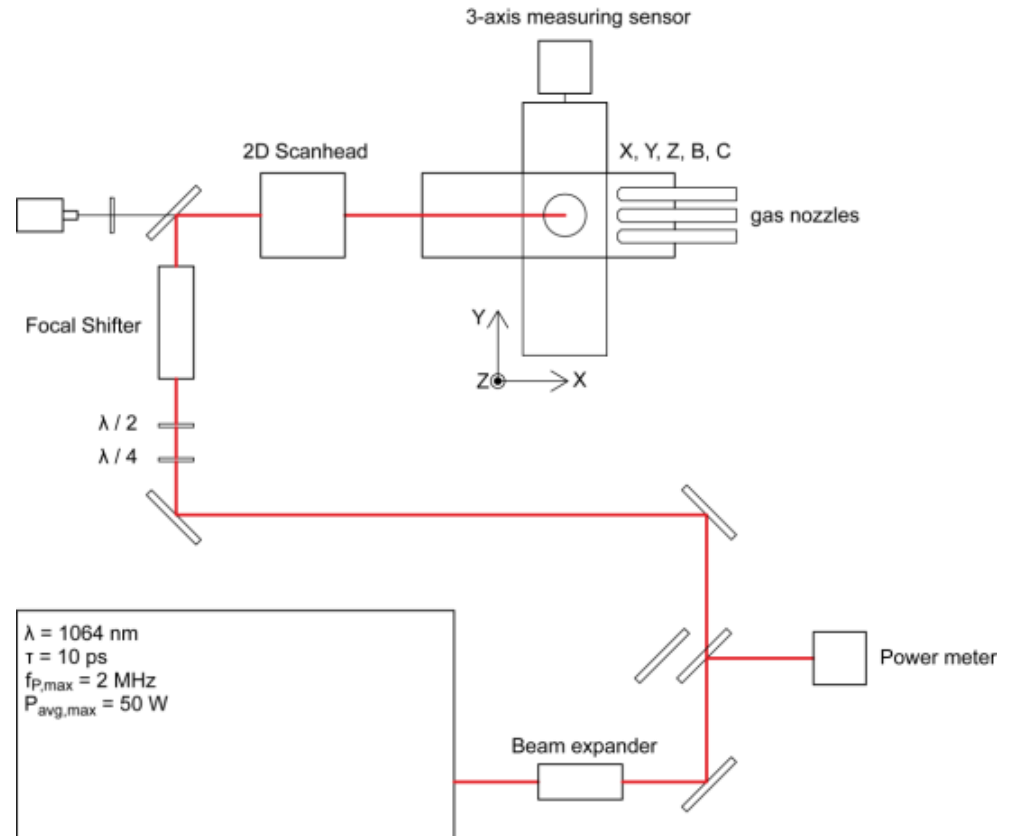
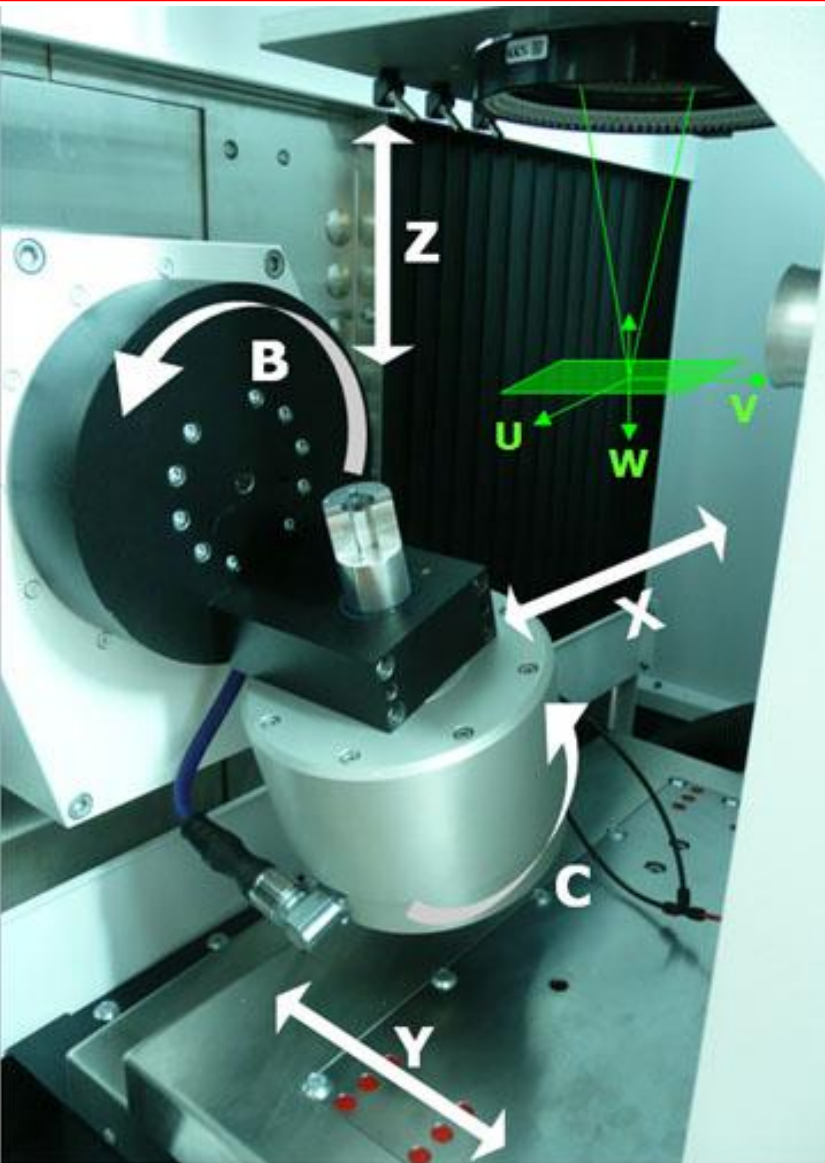
Laserbasierte Werkzeugbearbeitung

Fertigungstechnisches Kolloquium
22. November 2012, ETH Zürich

Konrad Wegener



- Laserbearbeitete PKD Wendeschneidplatten in der CFK -
Bearbeitung
- Laserkonditionieren hybrid gebundener CBN Schleifscheiben
- Laserbasiertes Abrichten von diamantbelegten Abrichträdern
- Erkenntnisse

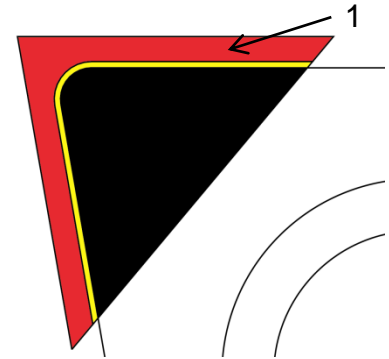


Pulsbreite
 Wellenlänge
 Mittl. Leistung

$t_p = 10 \text{ ps}$
 $\lambda = 1030 \text{ nm}$
 $P_{\text{avg max}} = 50 \text{ W}$

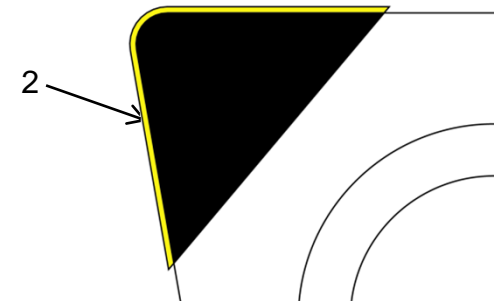
1. Grobkontur herstellen

- a. Bearbeitungsgeschwindigkeit \uparrow
- b. Bearbeitung annähernd auf Endkontur
- c. Schneidkantenradius $r_K < 15 \mu\text{m}$
- d. Oberflächenrauheit noch nicht kritisch



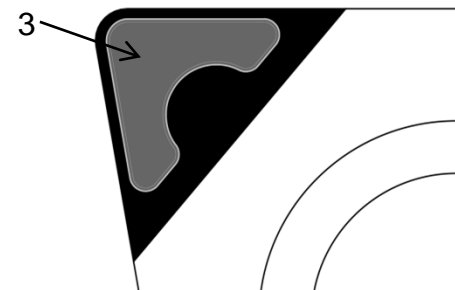
2. Endkontur herstellen / Zielgrößen

1. Schneidkantenradius $r_K < 8 \mu\text{m}$
2. Rauheit Freifläche $Ra < 0.6 \mu\text{m}$



3. Optional Spanbrechergeometrie

1. Nur 3D Scanbearbeitung
2. Zielgröße Rauheit $Ra < 0.4 \mu\text{m}$



■ Beispiel Wendeschneidplatte

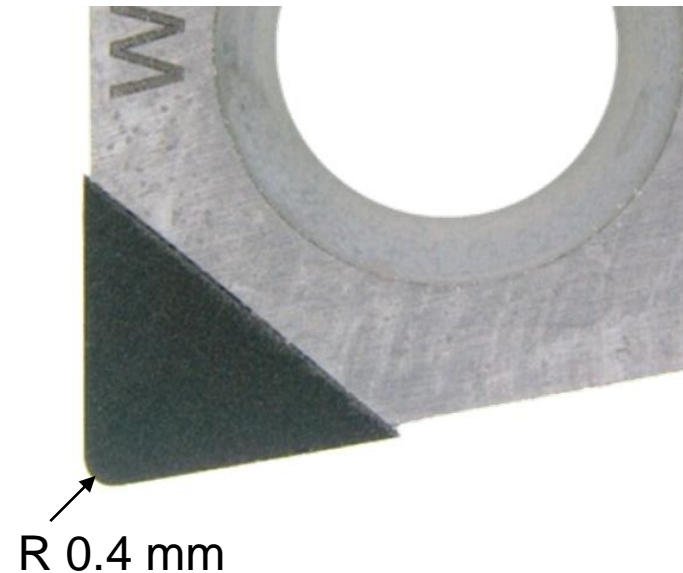
- | | |
|-----------------|--------------------|
| 1. Grundkörper | Hartmetall |
| 2. Schneidstoff | PKD |
| 3. Freiwinkel | $\alpha = 7^\circ$ |
| 4. Spanwinkel | $\gamma = 0^\circ$ |

■ Resultate

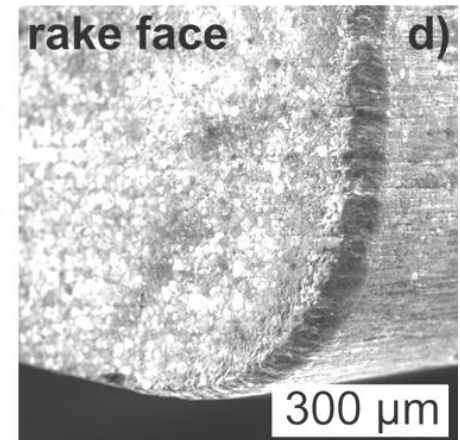
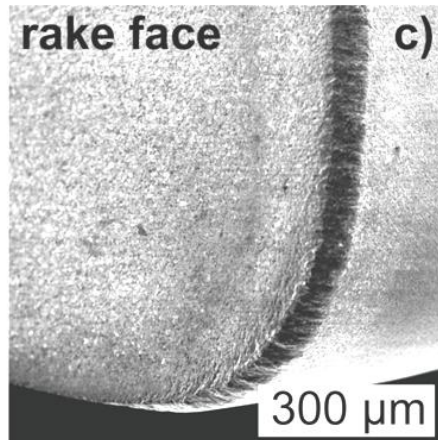
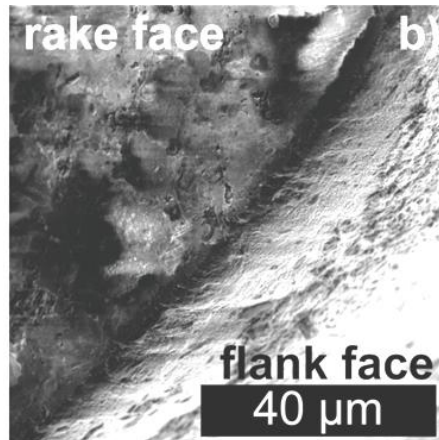
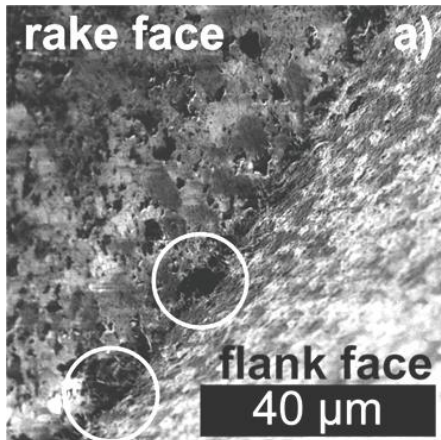
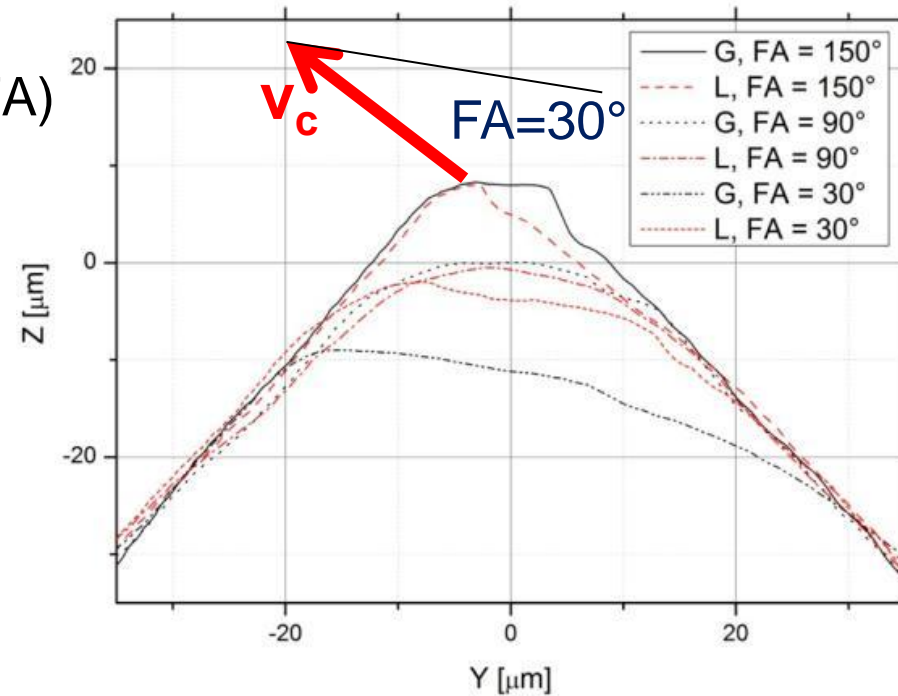
- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 1. Schneidkantenradius | $r_K = 5 \mu\text{m}$ |
| 2. Rauheit Freifläche | $R_a = 0.37 \mu\text{m}$ |

■ Bearbeitungszeit

- 3D – Bearbeitung Aussenkontour
 - Grobkontur $t < 10 \text{ min}$
 - Endkontur $t < 5 \text{ min}$



- Verschleiss abh. von Winkel zwischen Vorschubrichtung und Faserrichtung (FA)
 - Neu G, L $r_K = 4.3$ to $6.5 \mu\text{m}$
 - Nach $V'_w = 31 \text{ cm}^3/\text{mm}$
 - 150° FA $r_K = 8.6 \mu\text{m}$
 - 90° FA $r_K = 30.6 / 35.9 \mu\text{m}$
 - 30° FA $r_K = 36.4 / 32.0 \mu\text{m}$
- Verschleiss ähnlich für (L) und (G)
- Riefenbildung bei $FA=30^\circ$, insbes. (G)

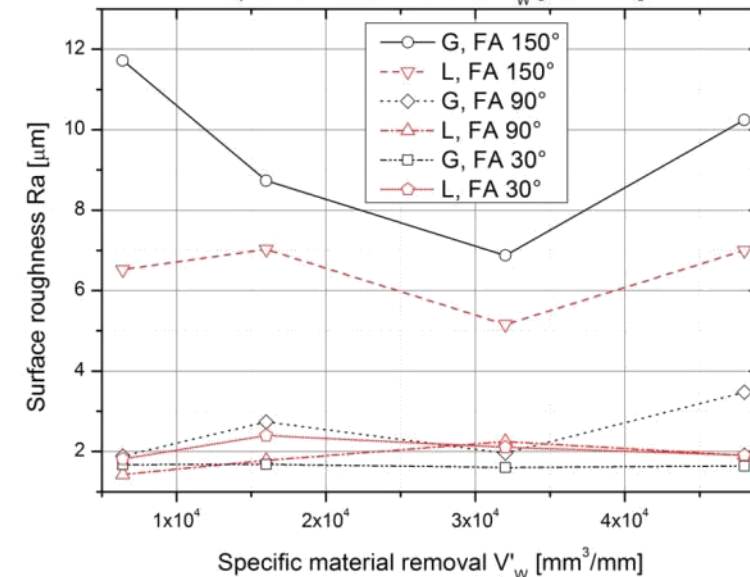
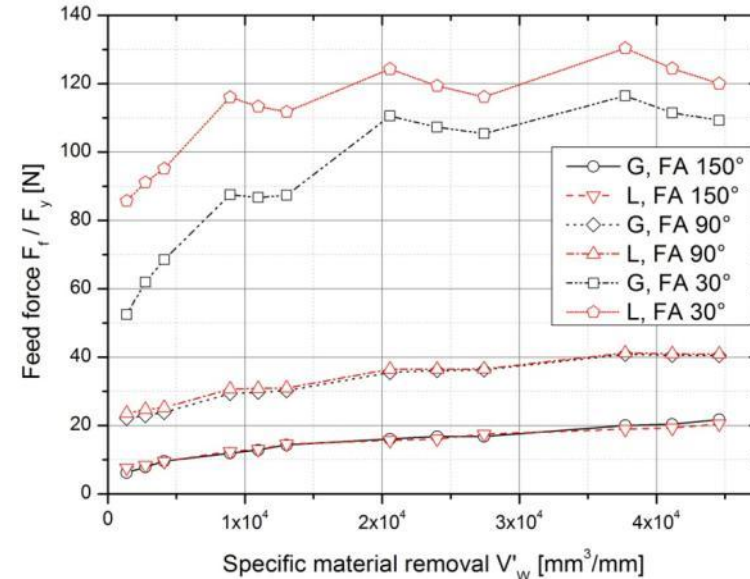


■ Vorschubkraft Analyse

- Steigender Verschleiss führt zu ansteigenden Prozesskräften
- Für $FA = 30^\circ$ -> Vorschubkräfte für Laserbearbeitete Werkzeuge ist grösser, ansonsten sind Kräfte ähnlich

■ Werkstück Rauheit (CFK)

- $Ra = 0.9$ bis $3.5 \mu\text{m}$, $FA = 30, 90^\circ$
- $Ra = 5$ bis $11.8 \mu\text{m}$ @ $FA = 150^\circ$
- CFK - Oberflächenrauheit gelasertes WZ \leq geschliffenes WZ



- Laserbearbeitete PKD Wendeschneidplatten in der CFK -
Bearbeitung
- Laserkonditionieren hybrid gebundener CBN Schleifscheiben
- Laserbasiertes Abrichten von diamantbelegten Abrichträdern
- Erkenntnisse

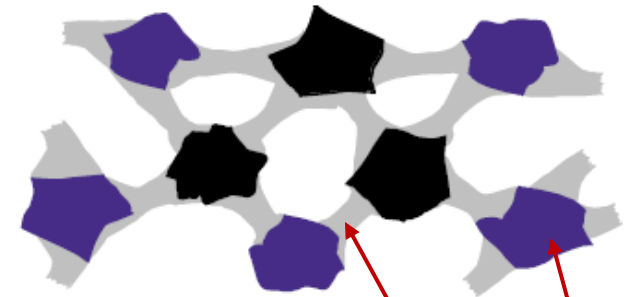
■ Neuartiges Bindermaterial

- Kombination der Vorteile metallischer und keramischer Bindung
- Hohe Kornhaltekraft
- Lange Werkzeug-, Profilstandzeit
- Poröse, offene Werkzeugtopographie
- Abrasives und hochschnittiges System

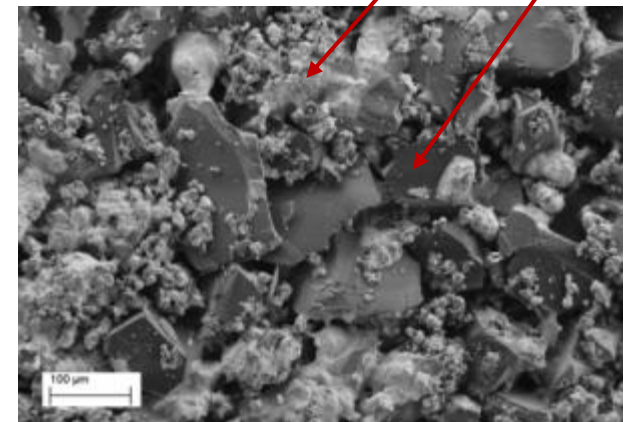
■ Konventionelles Abrichtverfahren

- SiC – basierte Abrichtrolle
- Hoher Werkzeugverschleiss
- Limitierte Genauigkeit / Flexibilität
- Zum profilieren ungeeignet

-> Neues Verfahren zum Abrichten und Profilieren benötigt



Struktur einer hybriden Kornbindung
(Quelle: Meister Abrasives)



SEM Bild einer Hybridbindung und einer CBN-Abrasivschicht

Abrichten hybrid gebundener CBN Schleifscheiben



CBN (B126)
Scheibe
D = 150 mm
b = 25 mm

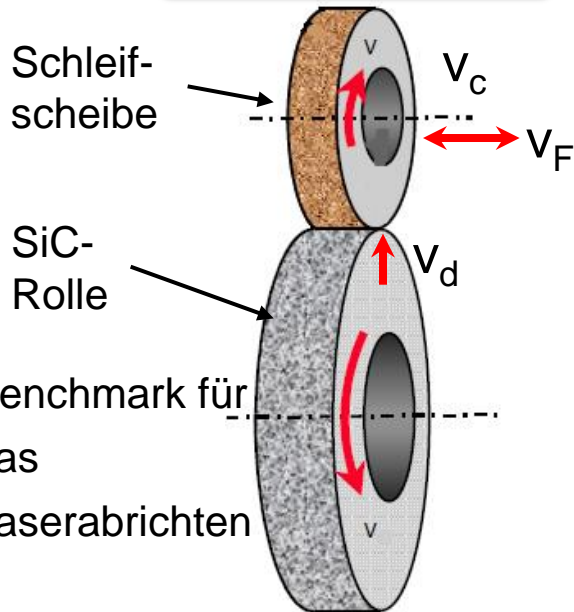
Laserabrichten

Schärfen

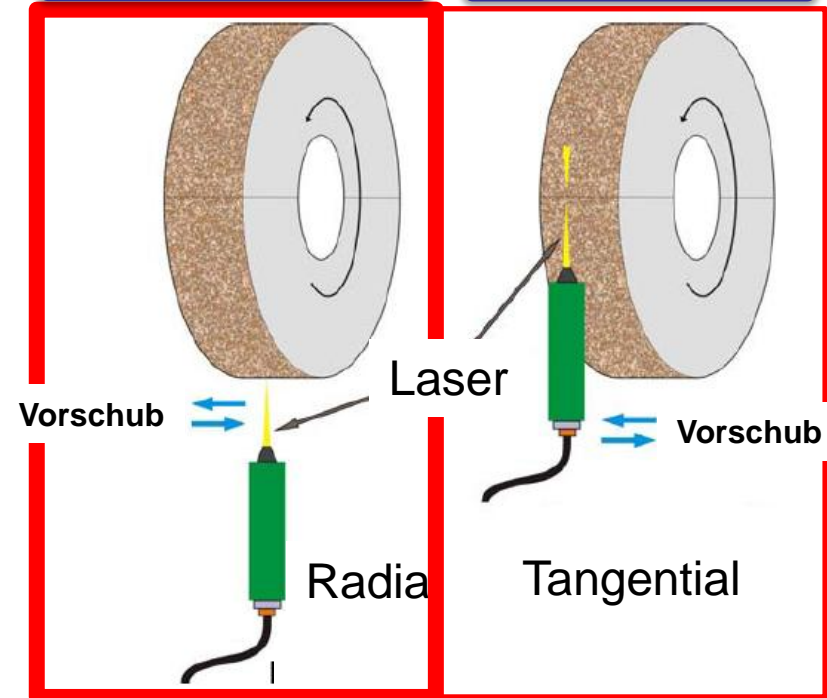
Profilieren

SiC abrichten

Schärfen



Ziel: Erzeugen der Schleifscheiben Topographie mittels Laserstrahlung

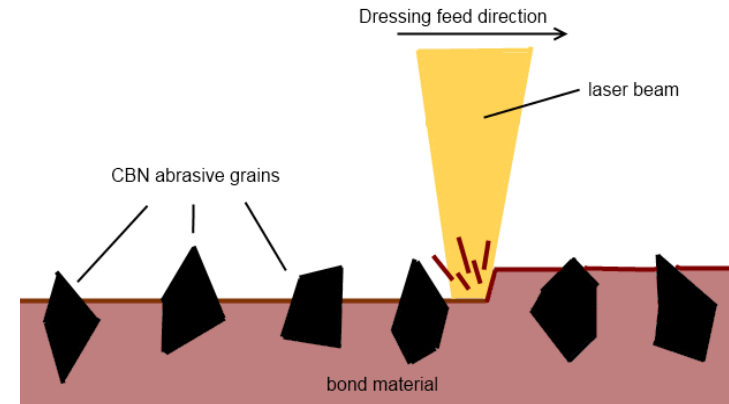


■ Strahlquelle

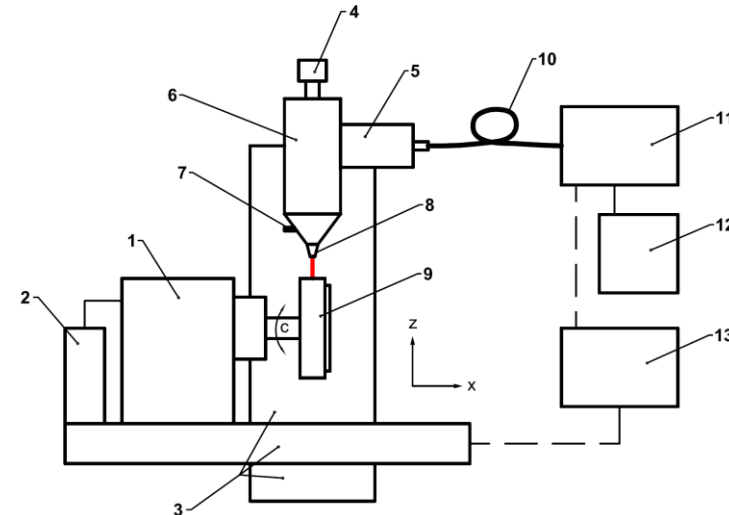
- Kurzpuls Faserlaser, Rofin Lasag QFS 50
- $P = 50 \text{ W}$, $t_p = 150 - 200 \text{ ns}$
- $e_p = 1 \text{ mJ @ } 50 \text{ Hz}$

■ Schneidkopf

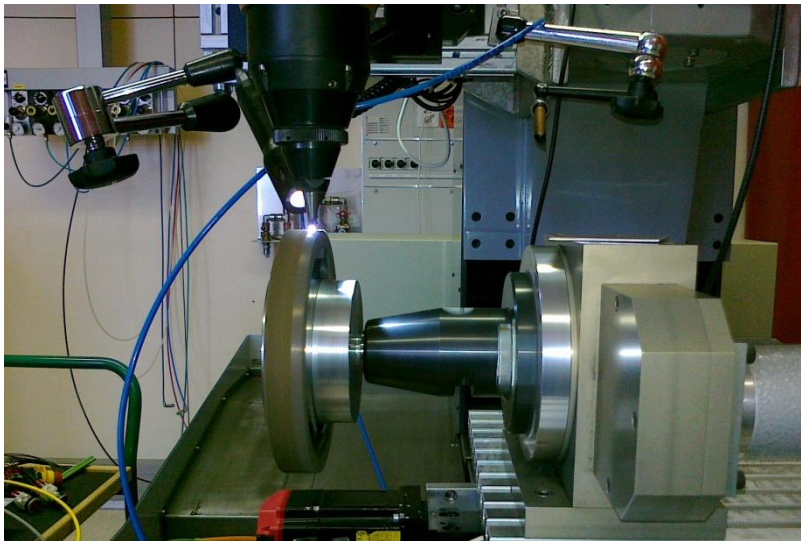
- Festbrennweite mit Gasaustrieb
- $f = 150 \text{ mm}$, $d_{\text{foc}} = 50 \mu\text{m}$
- Prozessgas: Druckluft (5 bar)



Prinzip Laserabrichten



Quelle (oben): Hosokawa et al. "Laser dressing of metal bonded diamond wheel" (2005) 55/1



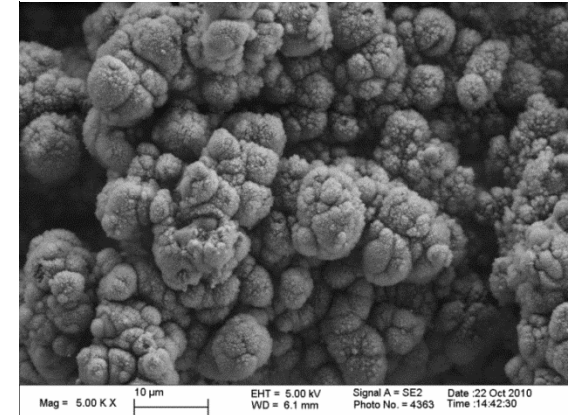
■ Bindung

- Hybridgebundenenes CBN (Keramik / Bronze Bindematerial)

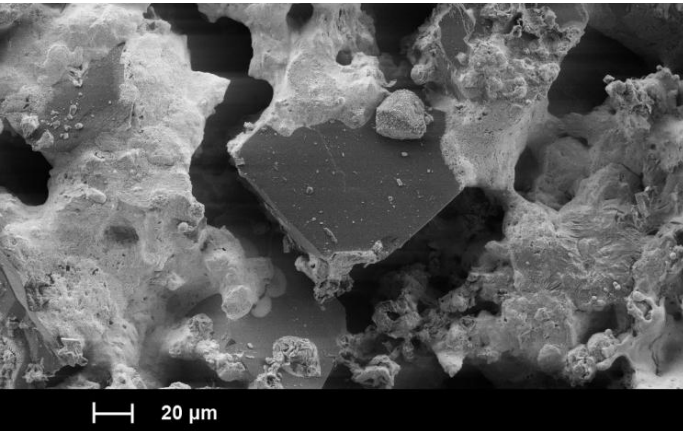
■ Resultate

- Prozessparameter zum selektiven Binderabtrag ermittelt
- Keine signifikante CBN Kornschädigung
- Thermische Schädigung falls Pulsenergie $e_p > 0.5$ mJ
- Bei weit höheren Pulsenergien -> Umwandlung von CBN in HBN

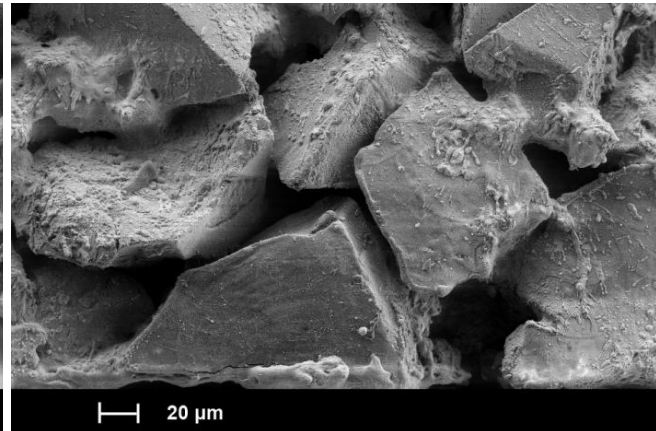
SEM Bild: Pulsenergie ($e_p \gg 0.5$ mJ)



SEM Bild: Unbearbeitet



SEM Bild: Nach Laser Bearbeitung

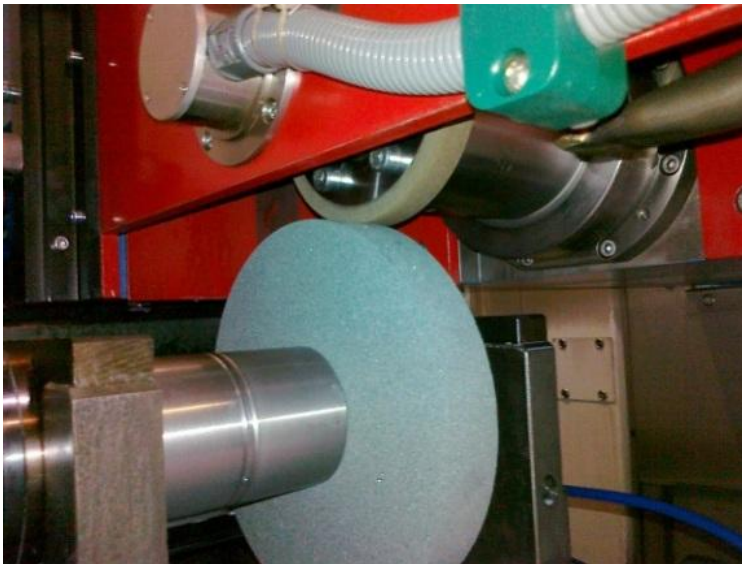


SEM Bild: Einzelpulse ($e_p > 0.5$ mJ)



■ Abrichtprozess

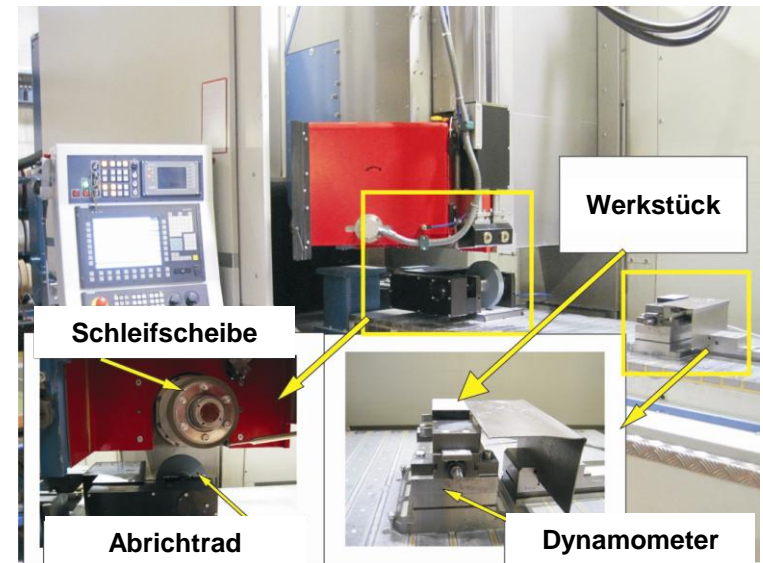
- SiC: 31C-100-L-11-310-V138-12
- Konventionelle Abrichteinheit



Abrichtparameter		
Geschwindigkeitsverhältnis	4	[-]
Zustelltiefe	10	[μm]
Vorschub	1'000	[mm/min]

■ Schleifprozess

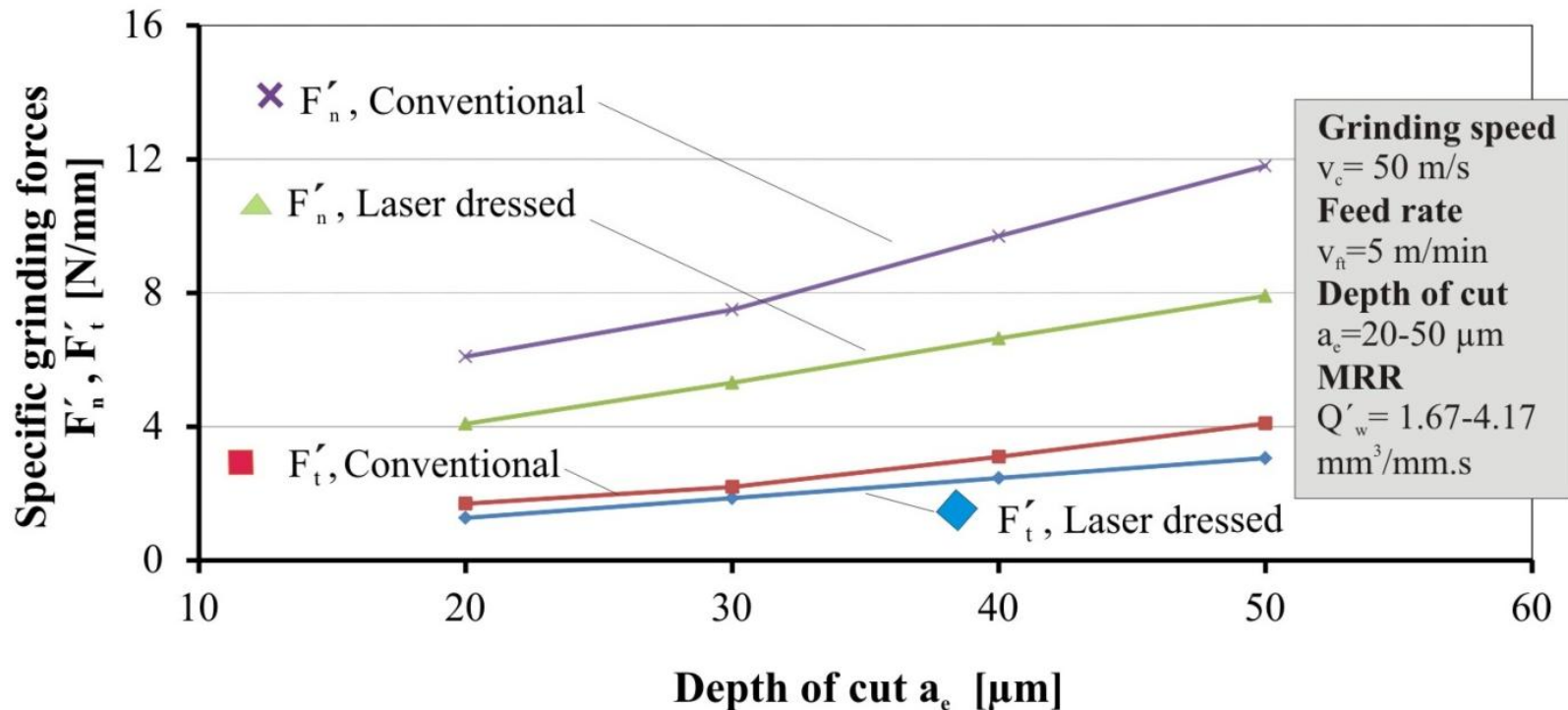
- Flach- / Gleichlaufschleifen
- Material: 100Cr6 (Härte 60 HRC)



Schleifparameter		
Schleifgeschwindigkeit	50	[m/s]
Zustelltiefe	10-300	[μm]
Vorschub	1-6	[m/min]

■ Tangential- und Normalkraftanteile (F_t , F_n)

- signifikant tiefer bei Bearbeitung mit gelasertem Werkzeug
- Gleichbleibender Abstand zu konventioneller Kraftkurve selbst bei hohen Materialabtragsraten
- Leicht höherer Verschleiss durch grösseren Kornüberstand



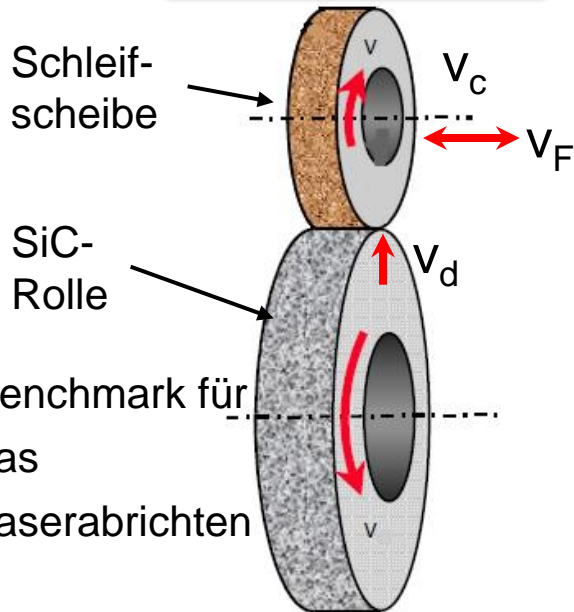
Abrichten hybrid gebundener CBN Schleifscheiben



CBN (B126) Scheibe
D = 150 mm
b = 25 mm

SiC abrichten

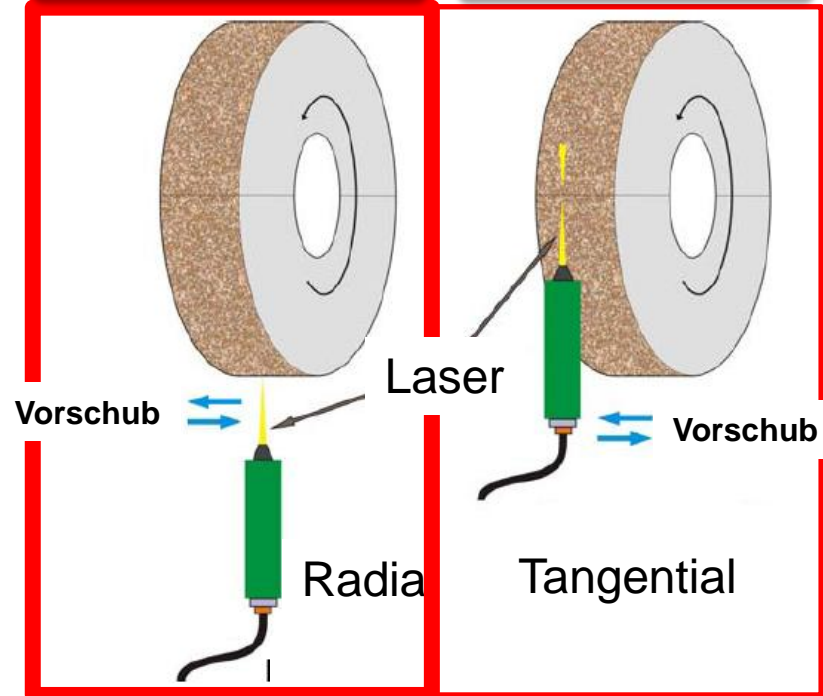
Schärfen



Laserabrichten

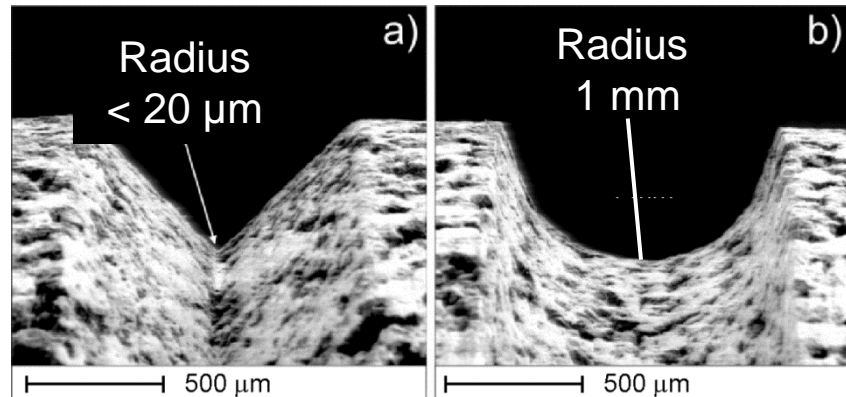
Schärfen

Profilieren

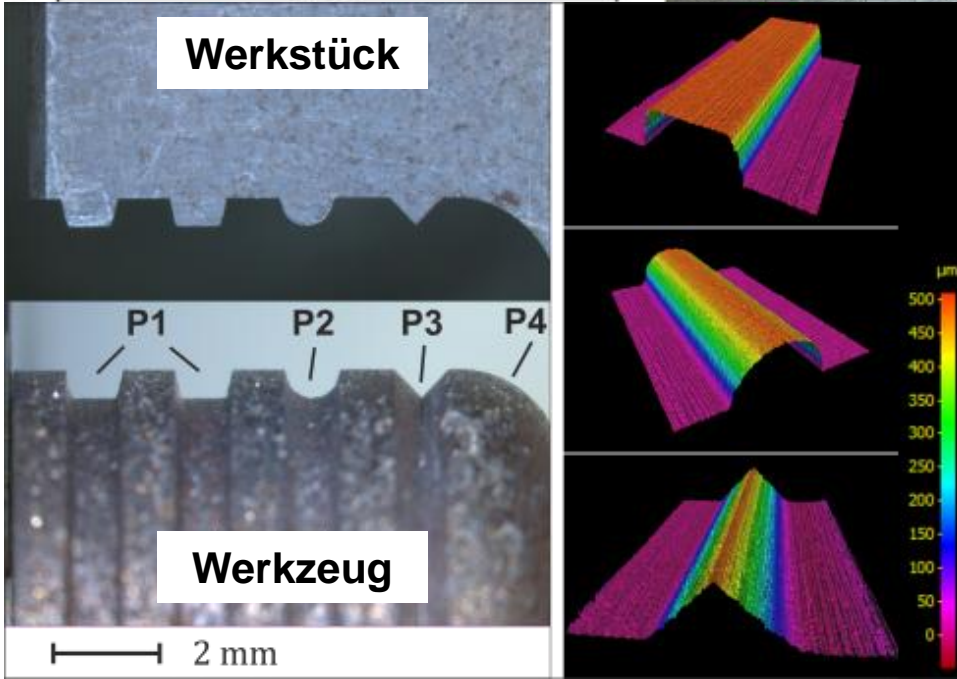
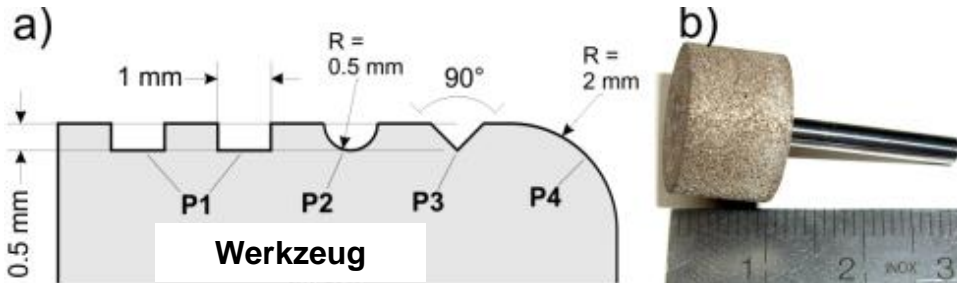
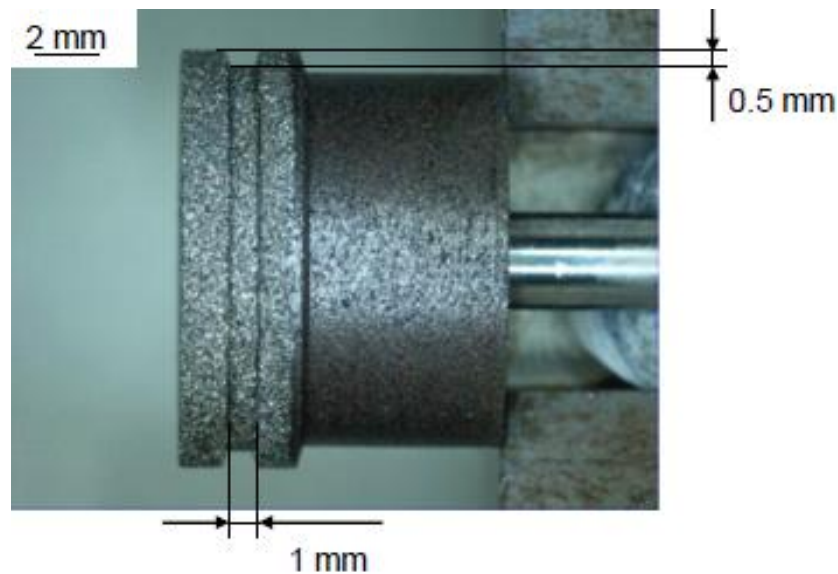


Ziel: Erzeugen der Schleifscheiben Topographie mittels Laserstrahlung

- Definierte Schneidkantengeometrie bei grossen Körnern möglich



- Geometrie Standzeitversuch

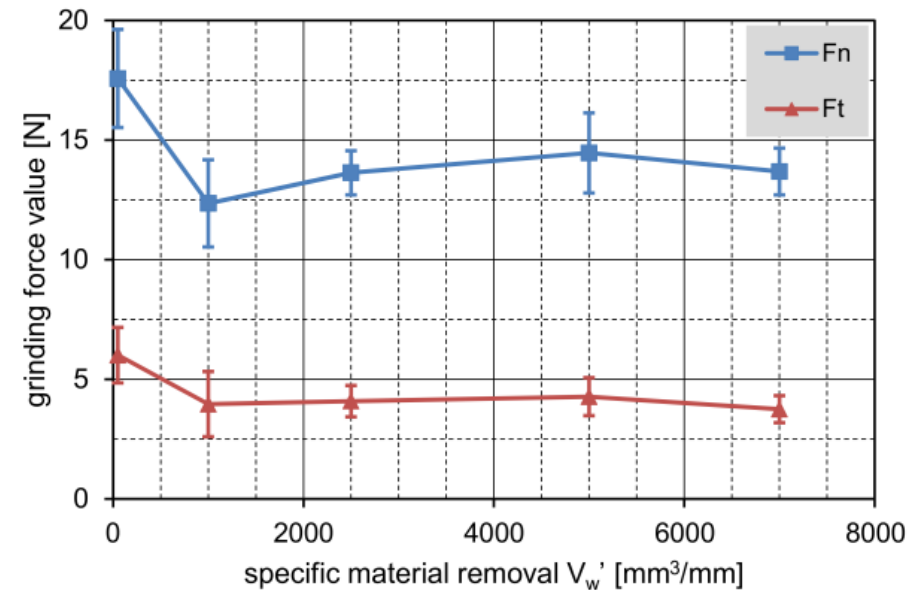


■ Standzeitversuch

- Monitoring auftretender Kräfte
- Standzeitversuche

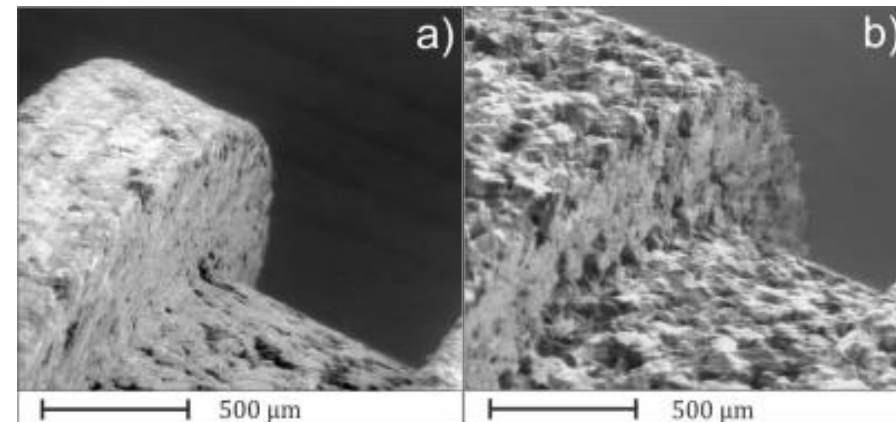
■ Resultate

- Schleifbedingungen stabil nach einlaufen mit erhöhten Prozesskräften
- Kompakte Oberfläche durch tangenciales Laserprofilieren
- Beim einlaufen erfolgt Selbstschärfung und teilweise Auftreten von Kornausbrüchen
- Kornbeschädigung durch Lasereinfluss vernachlässigbar



SEM Bild: Nach Laserprofilieren

SEM Bild: Nach Bearbeitung von $V_w' = 7'000 \text{ mm}^3/\text{mm}$



- Laserbearbeitete PKD Wendeschneidplatten in der CFK -
Bearbeitung
- Laserkonditionieren hybrid gebundener CBN Schleifscheiben
- Laserbasiertes Abrichten von diamantbelegten Abrichträdern
- Erkenntnisse

■ Allgemein: Erzeugen einer Abrichtscheibe

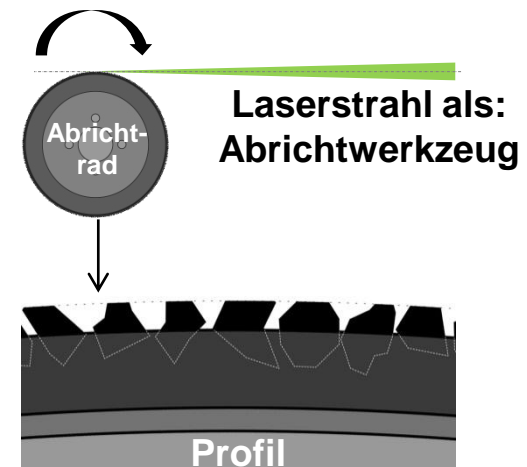
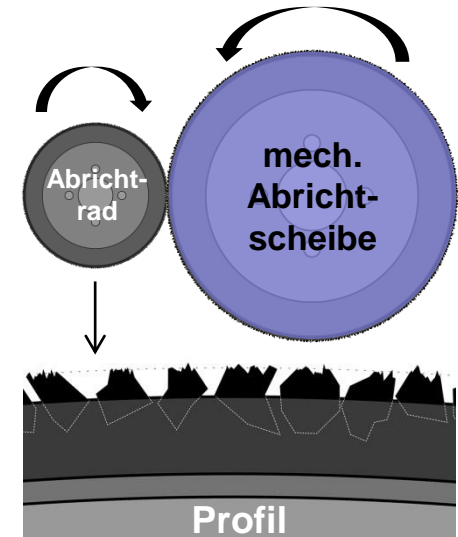
- Scheibe zum Abrichten von Schleifscheiben
- Mit der Schleifscheibe -> Bearbeitung eigentliches WS
- Ziel: Erzeugen eines genauen Profils mit definiertem Kornüberstand

■ Konventionelle Bearbeitung = mech. Abrichten

- Diamantabrichtrad zum Berührungsabrichten verwendet
- Diamant bearbeitet Diamant -> Kosten- und Zeitintensiv

■ Laser Touch Abrichten

- Tangentiale Strahlführung, präzise Profilierung möglich
- Strahlquelle: Trumpf Tru Micro 5050
 - $P_{max} = 50 \text{ W}$, $t_p = 10 \text{ ps}$, $f_p = 400 \text{ kHz}$, $e_{p,max} = 125 \mu\text{J}$
- Durch kleine Pulsdauer kalte Ablation möglich -> keine signifikante Materialschädigung der Diamantkörner (Graphitisierung, Risse, etc.)

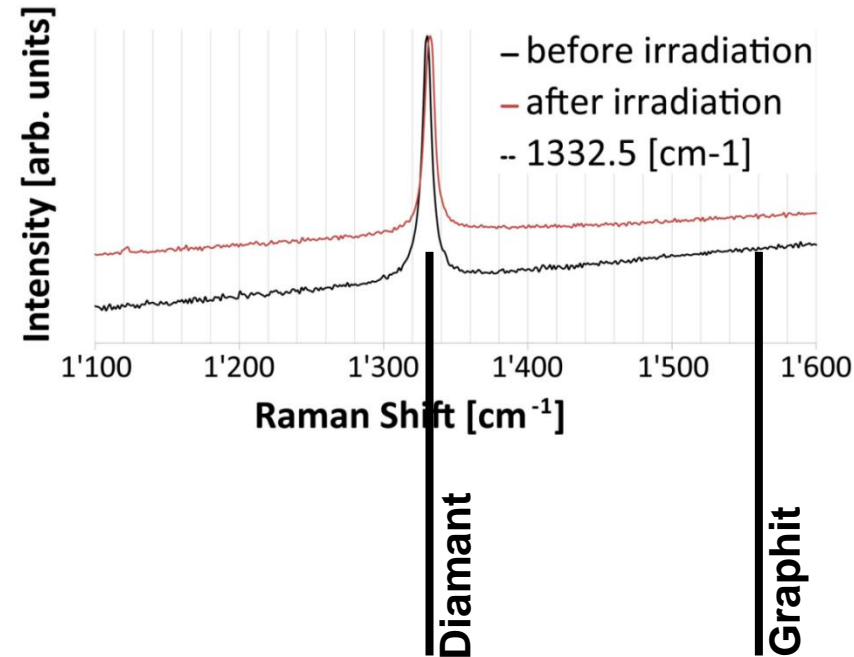


■ Raman Spektroskopie

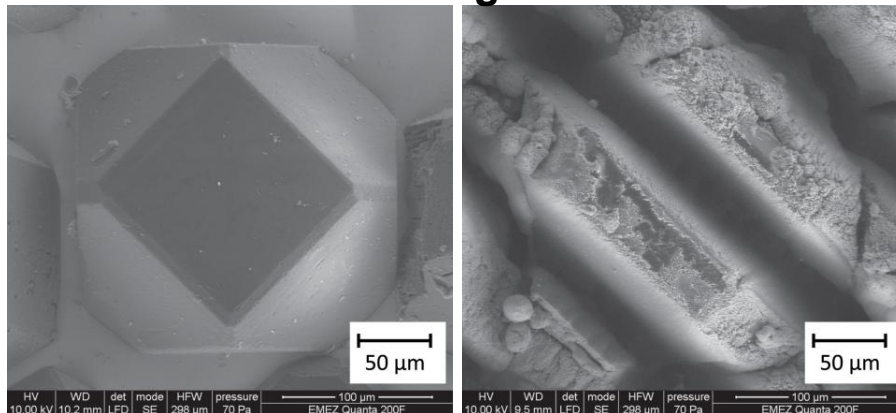
- Analyse von 10 Diamantkörnern vor & nach Laserbearbeitung
- Graphitisierungseffekte vernachlässigbar

■ Einfluss Einstrahlrichtung

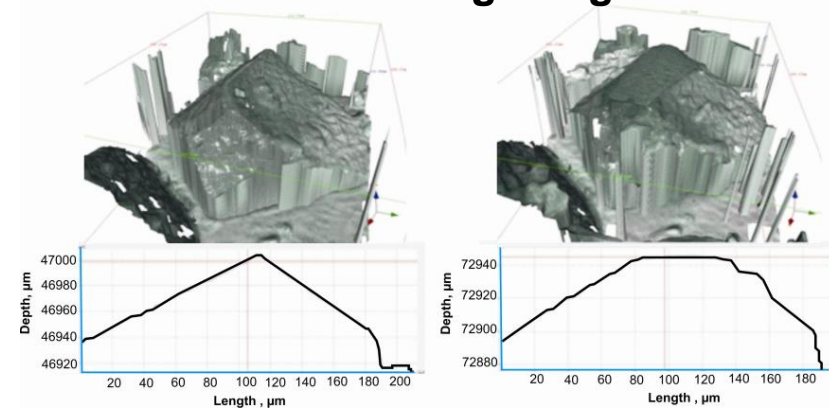
- Radiale Einstrahlung: Bindermaterial mitbearbeitet -> Oberfläche wird durch wieder erstarrende Binderpartikel stark verunreinigt
- Tangentiale Einstrahlung: Keine Interaktion zwischen Binder und Laserstrahl -> sehr sauberes Abtragsverhalten



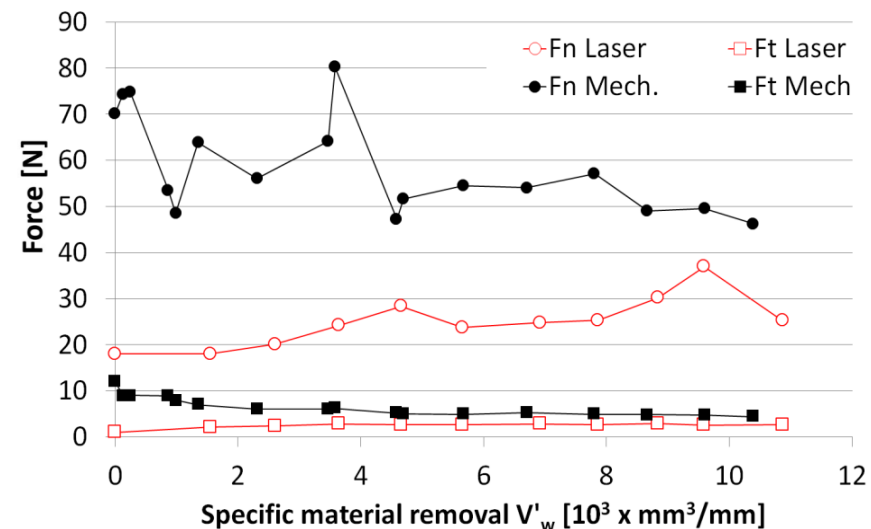
Einstrahlrichtung: radial



Einstrahlrichtung: tangential



- Abrichtzeit auf die Hälfte reduziert
- Keine signifikante Graphitisierung beobachtet
- Entfernen ungewünschter (negativer) Flanken auf Profil
- Niedrigere Prozesskräfte beim Abrichten
- Weniger Energieeintrag in Werkstück bei Bearbeitung



- Laserbearbeitete PKD Wendeschneidplatten in der CFK -
Bearbeitung
- Laserkonditionieren hybrid gebundener CBN Schleifscheiben
- Laserbasiertes Abrichten von diamantbelegten Abrichträdern
- Erkenntnisse

■ Prozesse und Verfahren

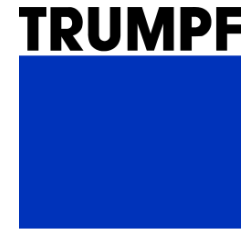
- Laserbasierte Bearbeitung kann Schleifbearbeitung bei ultraharten Materialien substituieren
- Tangentiales Laserabrichten mittels Laserpulsen im Pikosekundenbereich erzeugen deutlich besser als mechanisches Berührungsabrichten

■ Geometrie und Formelemente

- Drastische Erhöhung der Flexibilität
- Profilierung von Geometriemerkmale bis zu einigen Mikrometern möglich
- Wahlweise selektives Profilieren einzelner Bereiche auf dem Abrasivbelag möglich

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

inspire



KTI/CTI

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

ETH

24 Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich