

## Verbundprojekt

### «Entwicklung eines Multiphasenschichtsystems auf Kohlenstoffbasis für den Oberflächenschutz mit Funktionsgarantie» (MuKoFga)

durchgeführt im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Vorhabensbeschreibung</b>	<b>1</b>
<b>2 Beteiligung der Partner, Vorhabensverlauf</b>	<b>1</b>
<b>3 Erzielte Ergebnisse</b>	<b>1</b>
<b>4 Weitere Anwendungsfelder</b>	<b>2</b>
<b>5 Institutsanschrift und beteiligte Partner</b>	<b>5</b>

---

## 1 Vorhabensbeschreibung

Ziele des Vorhabens waren die Entwicklung und Optimierung einer geeigneten Vorbehandlungsmethode für Hartmetallwerkzeuge, um delaminationsresistente Diamantbeschichtungen auch unter dynamischer Werkzeugbeanspruchung zu gewährleisten sowie eine Weiterentwicklung von Anlagentechnik und Prozessführung zur unterbrechungsfreien Abscheidung mehrphasiger Kohlenstoffschichten. Dabei standen folgende Anforderungen an das vorbehandelte Bauteil und den anschließenden Beschichtungsprozess im Vordergrund:

- hinreichende Reduktion des Kobalt-Binders in Oberflächennähe
- Unterbindung der Kobalt-Nachdiffusion während des Beschichtungsprozesses
- Vermeidung einer Schwächung des Hartmetallgefüges
- Gewährleistung einer hohen Bekeimungsdichte
- Unterbrechungsfreie Prozessübergänge für eine fließende Feinstrukturierung der Diamantschicht

## 2 Beteiligung der Partner, Vorhabensverlauf

Das Vorhaben wurde als Verbundprojekt unter Federführung des Fraunhofer-Instituts für Werkstoffmechanik IWM, in Zusammenarbeit mit sechs namhaften mittelständischen Unternehmen durchgeführt. Dabei übernahm das IWM sowohl die Aufgabe der Prozess- und Schichtentwicklung, als auch die Schichtübertragung auf relevante Bauteile der Industriepartner. Diese trugen mit der Herstellung von Substraten, der Durchführung von Funktionstests sowie der Ergebnisdiskussion und -bewertung zu den Arbeitsschwerpunkten bei.

### 3 Erzielte Ergebnisse

Die im Verbundprojekt erzielten Ergebnisse werden nachfolgend kurz skizziert. Dabei wurden Aufgaben zu folgenden, übergeordneten Themengebieten bearbeitet:

- Prozessentwicklung für eine hinreichende Haftung von Diamant auf Hartmetall
- Prozessdesign für ein CVD-basiertes Multiphasenschichtsystem aus Kohlenstoff
- Anlagenentwicklung und Prozessübertragung auf unterschiedliche Werkzeuge

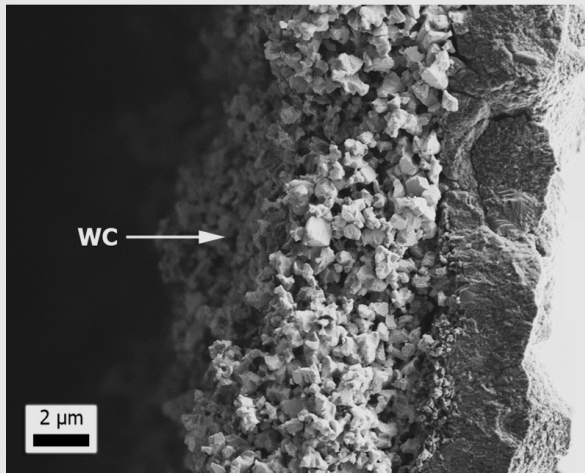


Abb. 1: Delaminierte Diamantschicht nach einer nass-chemischen Vorbehandlung.

#### Evaluation

Ziel dieses Arbeitspakets war die Bewertung gängiger Ansätze zur Vorbehandlung von Hartmetall-Werkzeugen hinsichtlich der anwendungsspezifischen Eignung, die Haftung von Diamantbeschichtungen zu gewährleisten. Aufgrund des weit verbreitet zur Anwendung kommenden nass-chemischen Ansatzes wurde dieser für bestimmte Hartmetallsorten optimiert und bewertet. Gezeigt hat sich, dass die Ergebnisse nicht den Anforderungen gerecht werden und es einer geeigneten Neuentwicklung bedurfte. Ein besonderes Interesse galt dabei der Aufrechterhaltung der Oberflächenstabilität.

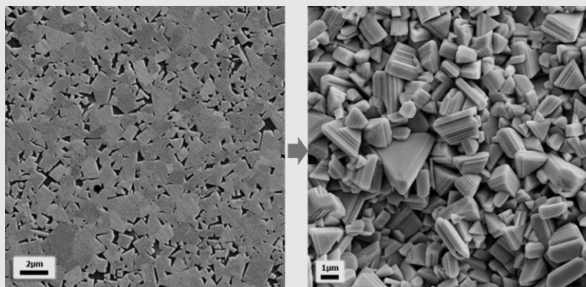


Abb. 2: Restrukturierung einer polierten Hartmetalloberfläche mit Hilfe eines Mikrowellenplasmas

#### Entwicklung – Vorbehandlung

Für die Umsetzung wurde ein thermochemischer Ansatz verfolgt, der eine Oberflächenrestrukturierung vorsieht und gleichzeitig das oberflächennahe Kobalt hinreichend reduziert. Durch Zunahme der Kontiguität wird ein, gegenüber dem nass-chemischen Ansatz, stützendes Oberflächengefüge erzeugt, dass der Diamantschicht gute Verankerungsmöglichkeiten bietet.

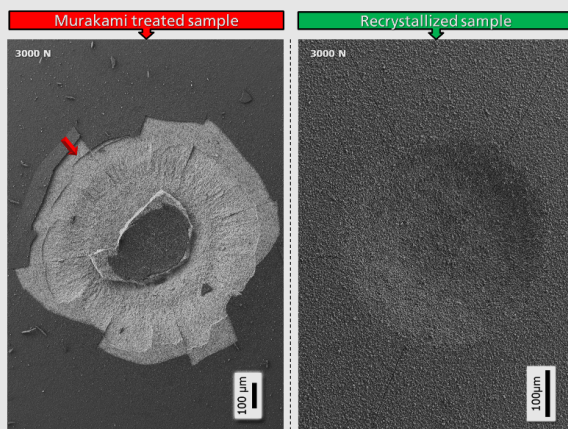
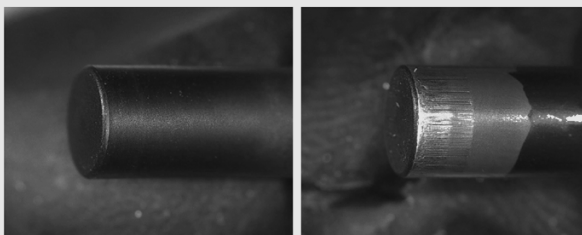


Abb. 3: Vergleich der Schichthaftung nach Rockwell-C Indentationsversuchen mit einer Kraft von 3000 N. Links: nass-chemisch vorbehandeltes Bauteil, rechts: thermochemisch vorbehandeltes Bauteil.

## Bewertung der Schichthaftung

Rockwell-C Indentationsversuche mit einer konischen Diamantspitze haben gezeigt, dass die neue Oberflächenstruktur die mechanische Bindung zum Bauteil erheblich steigert. Darüber hinaus findet die Diamantabscheidung auf einer geschlossenen Struktur statt, die unter Krafteinwirkung nicht, wie im Fall des nass-chemischen Ansatzes, nachgibt und dadurch enthaftet.

Diamond coating with Murakami pretreatment



Diamond coating with MPSR pretreatment

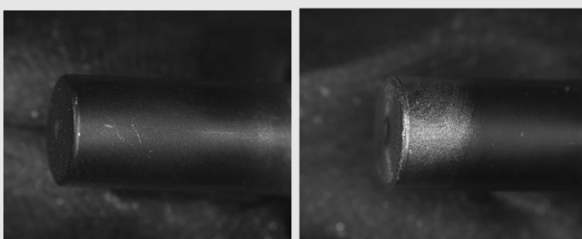


Abb. 4: Am Beispiel der Stempel der Firma TOX zeigt sich, dass die entwickelte Vorbehandlung (MPSR pretreatment) gegenüber dem nass-chemischen Verfahren (Murakami pretreatment) überlegen ist und kein Schichtversagen in Folge von Durchsetzfügeversuchen eintritt.

## Prozessübertragung

Die unter idealisierten Bedingungen bewertete Entwicklung wurde auf Bauteile der Projektpartner übertragen und erneut mit dem nass-chemischen Ansatz verglichen. Wie links im Bild zu erkennen, konnte mit der neuen Vorbehandlung beim Durchsetzfügen eine erhebliche Verbesserung erzielt werden.

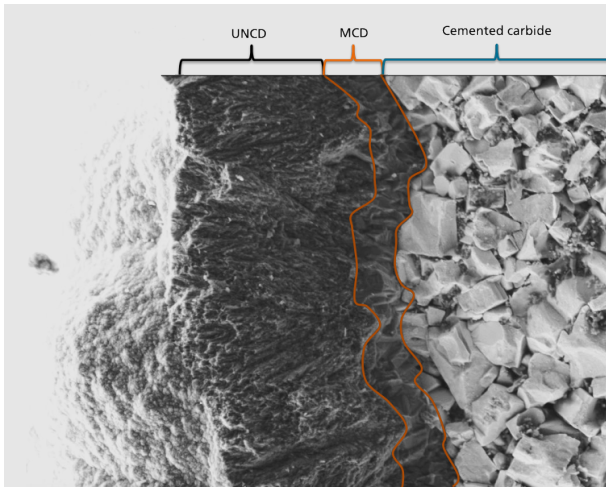


Abb. 5: Querschnitt eines Gradientenschichtsystems. Zu erkennen ist der Übergang der anfänglich mikrokristallinen Diamantstruktur (MCD), die in eine nanokristalline Struktur (UNCD) übergeht. Dadurch wird eine weitaus ebenere Oberfläche erzeugt, die für eine anschließende DCL-Beschichtung geeignet ist.

## Schichtentwicklung

Ziel der Schichtentwicklung war die Erarbeitung notwendiger Parameter für unterschiedliche Diamantstrukturen und eine unterbrechungsfreie Prozessüberführung. Die unterschiedliche Kristallinität verleiht der Schicht eine höhere Bruchzähigkeit und bietet der anschließenden DLC-Beschichtung eine günstigere Topografie um Verschleiß vorzubeugen.



Abb. 6: Komponenten der neuen Anlagentechnik bestehend aus Steuereinschub (1), Gasflusssteuerung (2), Anpassnetzwerk (3) und Mikrowelle (4).

## Anlagenentwicklung

Die neu entwickelte Plasma gestützte Hybridanlagentechnologie ermöglicht die unterbrechungsfreie Prozessüberführung von kristallinen Diamantbeschichtungen hin zu amorphen, diamantähnlichen Kohlenstoffbeschichtungen. Dadurch werden Probleme der Haftung zwischen Diamant und DLC überwunden. Das Ergebnis ist ein Schichtsystem, welches die positiven Eigenschaften der kristallinen und amorphen Phase in sich vereint.

## 4 Weitere Anwendungsfelder

Neben den betrachteten Anwendungsfällen führt der zunehmende Einsatz von Leichtbauwerkstoffen dazu, dass das Werkzeug beim Fräsen und Bohren von Kohlenstofffaser verstärkten Kunststoffen, faserverstärkten Kompositen, Metallmatrix-Verbundwerkstoffen und Rohkeramiken, aufgrund des unterbrochenen Schnitts und der damit einhergehenden Oberflächenzerrüttung nur sehr bedingt den dynamischen Belastungen standhält. Diese Problematik wird durch die entwickelte Vorbehandlungsmethode vermieden.

## 5 Institutsanschrift und beteiligte Partner

Fraunhofer Institut  
für Werkstoffmechanik IWM  
Wöhlerstr. 11  
79108 Freiburg

### Ansprechpartner:

Dr. Sven Meier  
Tel.: 0761-5142-233  
Fax.: 0761-5142-510  
e-mail: sven.meier@iwm.fhg.de

Dipl.-Phys. Manuel Mee  
Tel.: 0761-5142-490  
Fax: 0761-5142-510  
e-mail: manuel.mee@iwm.fhg.de

### Projektpartner:

