

Titel
**Effiziente Anwendung von Hartverbundwerkstoffen für
Umformwerkzeuge**

IGF-Nr.: 21689 N

Forschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung 1: IFW Remscheid



Ansprechpartner beim IFW:

Dr.-Ing Hans-Jürgen Gittel
07022 / 786 7698
gittel@fgw.de

Forschungseinrichtung 2: IFUM Hannover



Institut für Umformtechnik
und Umformmaschinen

Ansprechpartner beim IFUM:

M.Sc. René Laeger
0511 / 762 2428
laeger@ifum.uni-hannover.de

Das IGF-Vorhaben 21689 N der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. – FGW, Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ausgangssituation

Tribologische Prozesse, z.B. Abrasion, führen in vielfältigen technischen Prozessen zu Materialverlusten und schließlich zum Ausfall von Komponenten und Anlagen. Grundsätzlich begünstigen die Gegenwart von lokal verteilten, harten Abrasivpartikeln und eine hohe mechanische Belastung durch Druck und Relativbewegung das Auftreten abrasiver und adhäsiver Verschleißerscheinungen. Daher lassen sich diese nicht gleichmäßig auf ein Bauteil verteilen, sondern treten dann auch lokalisiert in kritischen Bereichen auf. Oft sind diese Bereiche den produzierenden Unternehmen durch Erfahrungen bekannt. Das gilt insbesondere für die Werkzeuge der Umformtechnik.

In der Serienproduktion von Schmiedeteilen spielt der Werkzeugverschleiß eine zentrale Rolle. Häufige Werkzeugwechsel aufgrund kurzer Standmengen reduzieren die möglichen Maschinenlaufzeiten. Daher bestimmt der Werkzeugverschleiß maßgeblich die Wirtschaftlichkeit in Umformprozessen und limitiert das Spektrum der wirtschaftlich umformbaren Werkstoffe. Er ist daher schon lange Gegenstand intensiver Forschung, aus der beispielsweise die Entwicklung geeigneter Werkzeugstähle, deren Wärmebehandlung sowie entsprechende Nitrierverfahren oder Beschichtungen zum Schutz der Werkzeugoberflächen hervorgegangen sind. Das Ziel dieser Schutzmaßnahmen ist in der Regel, die Oberflächenhärte bei Einsatztemperatur zu maximieren, um Abrasion zu vermeiden. Gleichzeitig soll das Werkzeugmaterial darunter genügend Zähigkeit behalten, um unter mechanischer Belastung nicht zu reißen. Hieraus ergeben sich einige Probleme, wie die Anbindung der Beschichtung oder Rissbildung durch den schroffen Eigenschaftssprung (z.B. Härte, Steifigkeit, Wärmeausdehnung) zwischen Substrat und Beschichtung. Kommt es nun zum Versagen der Oberfläche, ist das Werkzeugstahlsubstrat ungeschützt und massiver Verschleiß die Folge.

Forschungsziel

Das übergeordnete Ziel des Forschungsvorhabens lag in der Steigerung der Standmengen von Werkzeugen der Warmmassivumformung durch belastungsorientierte und lokal angepasste Oberflächen- und Randschichtmodifikationen. Hierdurch kann die Wirtschaftlichkeit der Prozesse gesteigert werden, welche bei der Warmmassivumformung signifikant von den Herstellungskosten und den Rüstzeiten abhängen. Mit den im Rahmen des Projektes erzielten Ergebnissen können nun prozessunabhängige Bewertungen von Verschleißschutzmaßnahmen durch geeignete Schmiedegesenke durchgeführt werden.

Gegenstand dieses Forschungsprojektes war es, eine alternative Verschleißschutzstrategie für Umformwerkzeuge durch den lokalen Einsatz von Hartverbundwerkstoffen (engl. Metall-Matrix-Composites, kurz MMC) zu entwickeln. Diese bestehen ähnlich einem Hartmetall aus keramischen Hartphasen in metallischer Matrix. Durch eine pulvermetallurgische Herstellung lassen sich ihre Eigenschaften durch die Variation verschiedener Faktoren wie Partikelgröße, -konzentration oder -zusammensetzung anpassen. Damit soll der Verschleißwiderstand des Werkstoffes selbst gesteigert und so eine Beschichtung überflüssig werden. Dabei verknüpfte das Projekt verschiedene technische Ansätze, um die beschriebenen Werkzeuge herzustellen und dabei den Hartverbundwerkstoff effizient einzusetzen.

Zunächst wurden die Werkzeuge als hybrides Bauteil mit einem Grundkörper aus einfachem Warmarbeitsstahl und einer Verstärkung mit Hartverbundwerkstoff erzeugt. Die Forschungseinrichtungen besitzen langjährige Erfahrung in der Herstellung und Untersuchung hybrider Komponenten, wobei dort primär der automobiler Leichtbau im Fokus von Aluminium-Stahl-Hybriden steht. In diesem Projekt diente der hybride Aufbau unter anderem dazu, die Materialkosten und den Fertigungsaufwand in der Herstellung zu reduzieren. Durch die Entwicklung einer Strategie zum Sintern mittels Field Assisted Sintering (FAST) und dem konduktiven Diffusionsfügen können die Werkzeuge modular aufgebaut werden. Typische, abrasiv belastete Geometrien sollten auf Werkzeuggrundkörper aufgebracht werden und so die Gesenkerstellung gegenüber der kompletten Herstellung aus Hartverbundwerkstoff vereinfacht werden. Dabei erfolgte eine Anpassung der Materialeigenschaften der lokalen

Verstärkungskomponente direkt durch die Auswahl der Pulverwerkstoffe und deren Konzentration. Somit kann auf die abrasiven Belastungen im Schmiedeprozess reagiert werden, die z.B. durch unterschiedliche Karbidgrößen, Fließspannungen oder Umformtemperaturen der Umformwerkstoffe hervorgerufen werden. Die Entwicklung von Hartverbundwerkstoffen erfolgt in der Regel mit dem Ziel, den Abrasionswiderstand eines Matrixmaterials durch die Zugabe harter, keramischer Partikel zu steigern. Anwendungen finden sich u.a. im Bergbau oder in der Fördertechnik. Auch in der Umformtechnik finden sich verwandte Konzepte in Form von Hartmetallen oder aufgeschweißten Panzerungen mit jeweils speziellen Einsatzgebieten.

Vorgehensweise und Forschungsergebnisse

Zunächst wurden die Verschleißerscheinungen an Schmiedegesenken analysiert und klassifiziert.

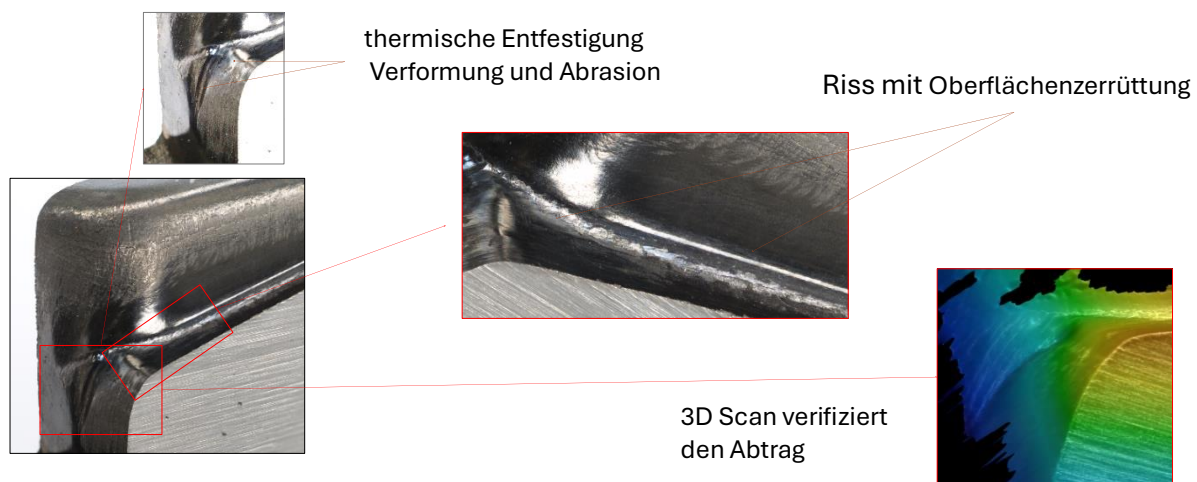


Abbildung 1: Optischer Überblick der Verschleißerscheinungen an einem Werkzeug, mit dem Titan geschmiedet wurde.

An den Stellen des Werkzeugs, an denen das erwärmte Rohteil auf die Gesenkoberfläche gepresst wird, tritt in erster Linie Oberflächenzerrüttung auf. Charakteristisch ist ein thermisch induziertes Rissnetzwerk mit unregelmäßigen Formen und kleinen Grübchen. Durch die Presskraft beim Schmieden kommt es zu einem intensiven Kontakt zwischen Rohteil und Gesenk mit hohem Wärmeübergang und großen Temperaturgradienten im Gesenk. Dieser Effekt wird durch die Applikation des Kühlschmierstoffs verstärkt, der eine oberflächliche Neuhärtung einschließlich der damit verbundenen Ausdehnung und anschließender Kontraktion durch die

Anlasswirkung der Wärmeleitung ins Gesenkkinnere verursachen kann. Im Prinzip handelt es sich um eine Art Härterisse durch Werkstoffermüdung.

In Gesenkbereichen, in denen das Material des Rohteils stark fließt, kommt es zu abrasivem Verschleiß. Ursache sind große Relativbewegungen und harte (abrasive) Partikel der oxidierten Rohteiloberfläche, die deutlich erkennbare Furchungen hinterlassen.

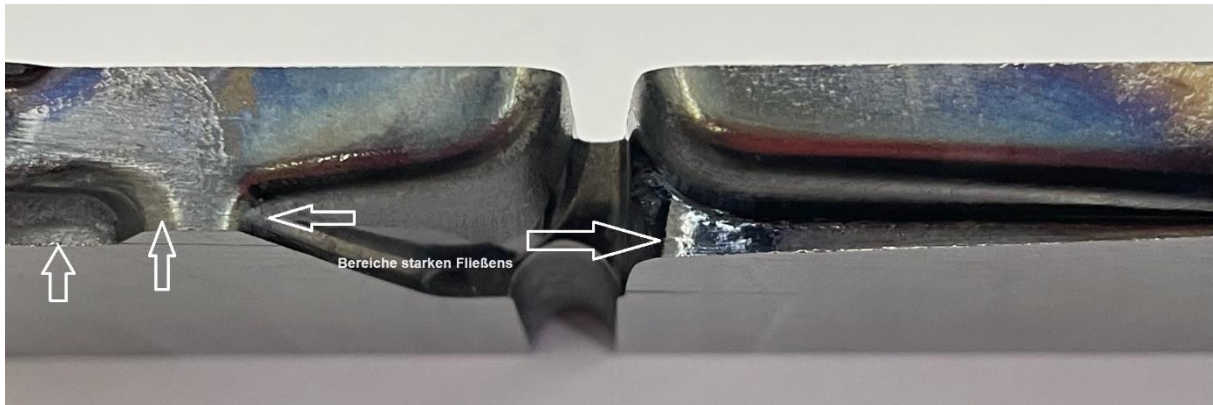


Abbildung 2: Bereiche des abrasiven Verschleißes finden sich vorzugsweise dort, wo große Mengen Material beim Schmieden entlangfließen.

Zur Vermeidung des abrasiven Verschleißes könnte eine sauerstoffarme Umgebung hilfreich sein. Wie in Abbildung 5 erkennbar, ist der abrasive Verschleiß hochgradig für die Veränderung der Gesenkkontur und damit für die Gesenklebensdauer verantwortlich.

An Gesenkbereichen, in denen sich an einen Übergangsradius Flächen anschließen, die überwiegend in Schmiederichtung liegen, geht der abrasive Verschleiß graduell in adhäsiven Verschleiß über. Aus dem Gesenk wurde ein solcher Abschnitt herausgeschnitten und am Rasterelektronenmikroskop untersucht.

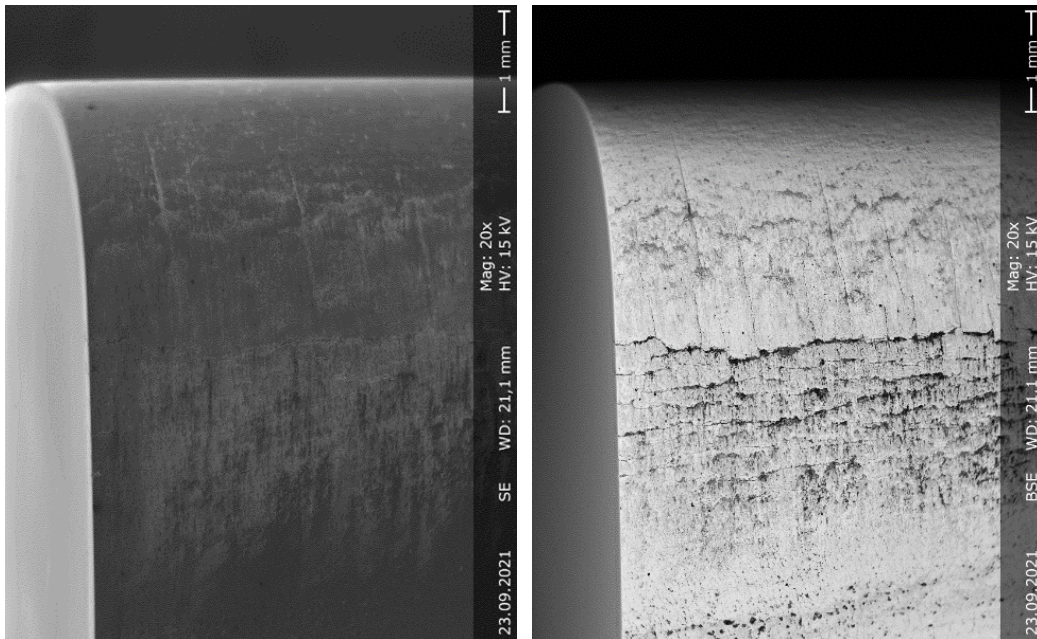


Abbildung 3: Ausschnitt aus dem untersuchten Gesenk, links die Schnittfläche (geschliffen und poliert), Schmiederichtung vertikal, Übersichtsaufnahme, links im Topographiekontrast (SE), rechts im Ordnungszahlkontrast (BSE), im oberen Bereich sind noch vertikale Riefen des abrasiven Verschleißes erkennbar, darunter zeigen sich Materialanbackungen mit horizontalen Rissen, deren Zahl und Größe in Schmiederichtung abnimmt.

Aus den Untersuchungen ergeben sich Zusammenhänge zwischen Schmiedeprozess und Verschleißerscheinungen. Gesenkbereiche, die im Wesentlichen rechtwinklig zur Umformrichtung stehen und sehr früh während des Prozesses mit dem Rohteil in Berührung kommen, verschleifen vorwiegend durch Gefügezerrüttung. Das Erscheinungsbild ist ein Rissnetzwerk ohne geometrisch bevorzugte Gebilde. Die Oberfläche erscheint narbig und kann kleine Grübchen aufweisen. Bereiche der Gesenke, die einen Winkel zur Umformrichtung von etwa 75° bis 20° bilden, verschleifen vorwiegend durch abrasiven Verschleiß, wenn das zu schmiedende Material zur Oxidbildung an der Oberfläche neigt. Verstärkt wird der Verschleiß mit der Zunahme der Menge des über die Oberfläche fließenden Materials zum Beispiel in zwickelförmigen Gesenkbereichen. Die Oberfläche zeigt die charakteristischen Furchungen durch abrasive Partikel. Gesenkteile, die in einem Winkel von 0° bis 20° zur Umformrichtung liegen, verschleifen vorwiegend durch Adhäsion. Es kommt dabei zu signifikantem Materialübertrag, der auch gegebenenfalls angebrachte Freiwinkel auffüllt. In diesen Bereichen bilden sich in Umformrichtung als auch quer dazu Risse mit Tiefen von mehreren Hundertstel Millimetern. Die Oberfläche sieht schuppig aus und bildet Streifen und/oder weitgehend rechteckige Felder.

Als Stahlmatrix für die MMC's wurde 1.2344 - Pulver mit 45 – 90 µm Partikelgröße als üblicher Warmarbeitsstahl ausgewählt. Sinterversuche wurden mit Titankarbid, Borkarbid, Wolframkarbid und Wolframschmelzkarbid durchgeführt. Titankarbid zeigte eine schlechte Anbindung, Borkarbid löste sich teilweise unter Bildung von Eisenborokarbid auf, hinterließ aber zahlreiche Poren im Gefüge, die sich bei der Biegebruchprüfung als innere Anrisse darstellten. Beide Hartstoffe wurden aus dem Versuchsprogramm entfernt.

Im Vergleich zum konventionellen Sintern wurde in diesem Vorhaben der FAST-Prozess verwendet. Der Unterschied im Vergleich zum konventionellen Sintern ist zum einen der Druck, welcher über den Maschinenstempel eingebracht wird. Dies ermöglicht eine höhere Verdichtung und begünstigt den eigentlichen Sinterprozess durch die eingebrachte Energie. Des Weiteren wird beim FAST die Wärme mittels Widerstandserwärmung generiert, wodurch eine schnellere und homogenere Erwärmung ermöglicht wird. Letzteres ergibt sich aus der Wärmegenerierung direkt in der Probe anstelle der Wärmezufuhr über freie Flächen, wie beim konventionellen Sintern. Für Wolframkarbid und Wolframschmelzkarbid wurde auf Grund der erfolgsversprechenden Vorversuche nur Hartstoffanteile von 10 Volumen-% untersucht. Der Herstellungsprozessablauf musste von 3 auf 5 Prozesssegmente erweitert werden, da Graphit bei 600 °C eine chemische Veränderung durchmacht, wobei die Affinität zu Sauerstoff steigt und thermische Energie freigesetzt wird. Es wurde somit beim Heizen und Abkühlen je eine Haltezeit bei 600 °C vorgesehen, um Spannungen durch thermische Homogenisierung vorzubeugen. Der Prozess wird zwar unter Vakuum durchgeführt, eine vollständige Sauerstofffreiheit ist aber dennoch nicht zu garantieren, vor allem nicht in der Graphitmatrize (Einschlüsse bei der Herstellung). Die Temperaturen wurde auf 1.100 °C festgelegt, die Flächenpressung auf ca. 50 MPa, da sich die neue Matrizengeometrie (Zylinder) als anfälliger herausstellte. Zudem wurde der Druck linear über die Zeit erhöht (Druckrampe). Es konnte nachgewiesen werden, dass eine Haltedauer über 300 s keinen signifikanten Einfluss auf die Verdichtung hat und ggf. zu unerwünschter Grobkornbildung führt.

Nickelfolie mit einer Dicke von 0,1 mm ergab sich als effektives Zwischenmaterial zum Diffusionsfügen. Für das Fügen von Dorn auf Zylinder wurde eine Fügehilfe entwickelt, da die Wärmeverteilung auf Grund der unterschiedlichen Querschnitte zu unregelmäßiger Wärmeverteilung führte. Diese wurden nach erfolgreichem Fügen von

Dornen auf Zylinder auch für die weiteren Fügeprozesse verwendet. Auch das Fügen von Dornen auf die Gesenkbasis war erfolgreich.

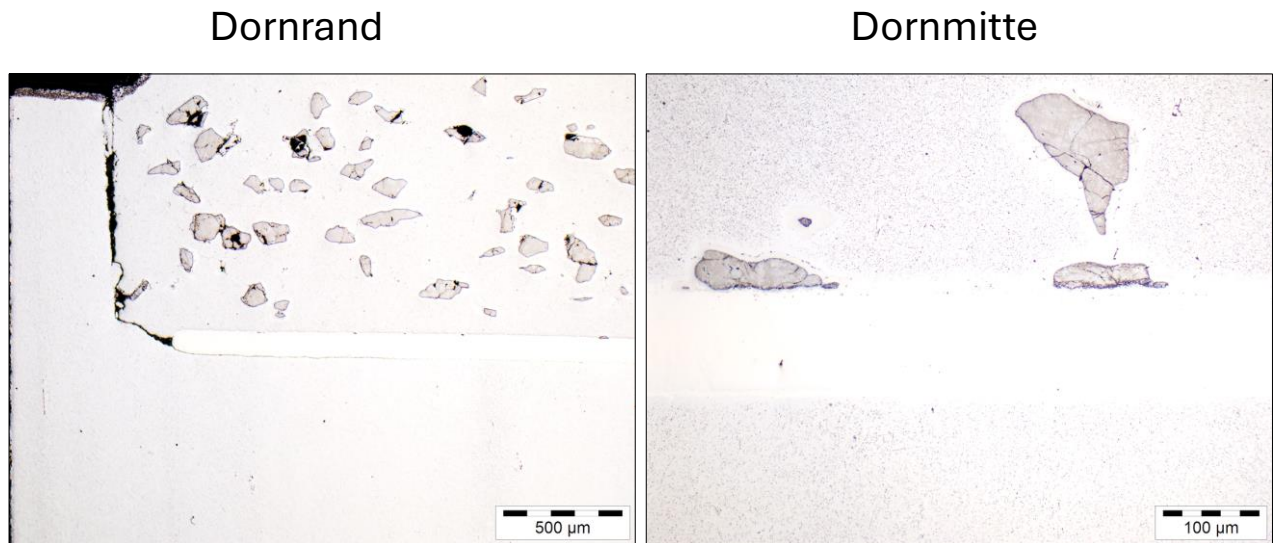


Abbildung 4: Fügestelle der MMC-Dorne, die Dorne wurden in eine Vertiefung von ca. 1 mm eingesetzt, die Nickelfolie wurde nur am Grund der Vertiefung ausgelegt, ein Aufsteigen am Dornrand war nicht zu erkennen, die Benetzungsfähigkeit gegenüber dem Wolframschmelzkarbid ist dagegen als gut einzuschätzen

Da die Werkstoffe auf konventionellen Werkzeugmaschinen nicht zu bearbeiten waren und für Schleifen ein abweichender Herstellungsprozess hätte entwickelt werden müssen, da keine Einspannung möglich war, wurden die Dorne mittels Drahterodieren in Form gebracht. Die mehrseitige Geometrie wurde im Fügeprozess weiter der geplanten Kegelstumpfgeometrie angenähert.

Die gefertigten Schmiedewerkzeuge wurden mit unterschiedlichem Erfolg eingesetzt. Die Fügeverbindung der mit Wolframkarbid verstärkten Gesenke hielt den Belastungen nicht stand, wobei der Grund schlussendlich nicht ermittelt werden konnte. Eine Vermutung basiert auf dem im Herstellungsprozess verwendeten Bornitrid als Diffusionsbarriere. Die Stahlproben zeigten einen frühen Ausfall bei

durchschnittlich 250 Hüben. Die mit Wolframschmelzkarbid verstärkten Werkzeuge hielten dagegen 2.000 Hüben stand. Hier war ein Einfluss der Herstellung erkennbar. Der endkonturnah hergestellte Dorn hatte eine verringerte Menge an Karbiden im Randbereich, wodurch ein größerer Verschleiß generiert wurde. Der zweite Dorn wurde aus einem Zylinder gefertigt und wies eine homogenere Verteilung der Karbide im Bereich der Gesenkoberfläche auf.

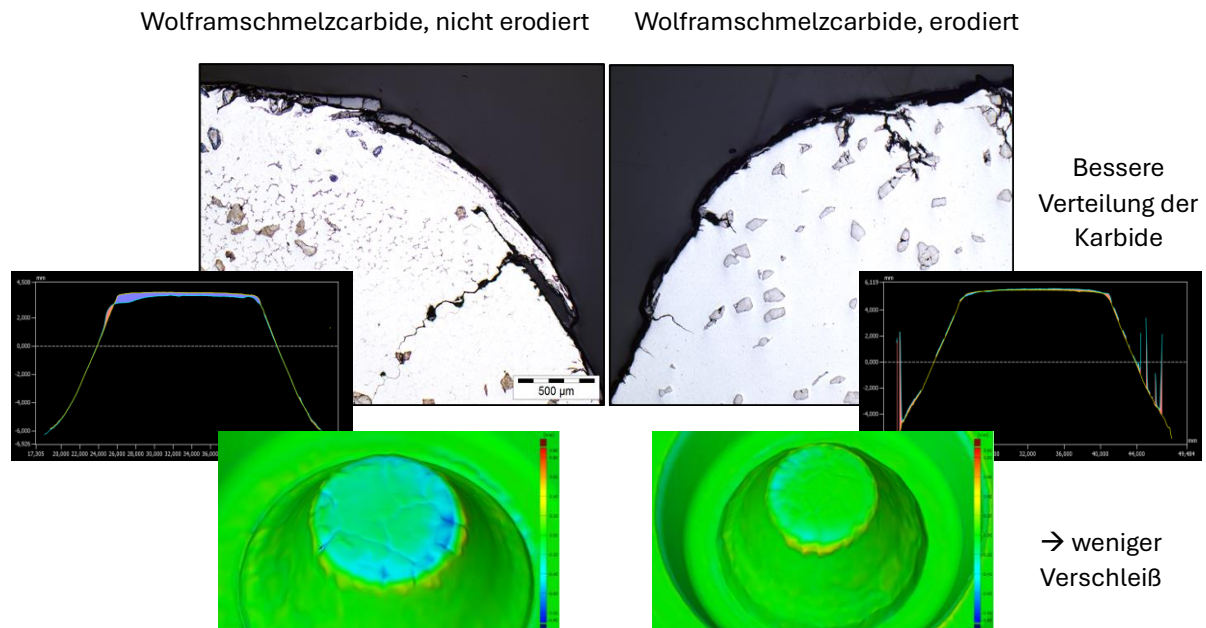


Abbildung 5: möglicher Zusammenhang zwischen Partikelkonzentration bzw. -verteilung und Gesenkverschleiß

Zusammenfassung

MMC können im Vergleich zu beschichteten und unbeschichteten Gesenken aus Warmarbeitsstahl deutliche Standwegvorteile bieten. Im untersuchten Fall ergab sich eine Lebensdauererlängerung um den Faktor 8. Die Technologie zur Herstellung der MMC-Materialien ist anspruchsvoll, aber realisierbar. Die MMC-Rohlinge sollten als geometrisch einfache Körper durch FAST- oder HIP-Prozesse erzeugt werden. Ein Anteil von 10 Vol.-% Wolframschmelzkarbid erwies sich als beste Lösung und kann als Ausgangspunkt für eine Anwendungsentwicklung genutzt werden. Die finale Formgebung kann durch Elektroerosion oder Schleifen erfolgen. Als Verbindungstechnik zum Einfügen der MMC-Einsätze in das Basisgesenk hat sich das Diffusionsfügen mit ein 0,1 mm dicken Nickelfolie bewährt.

Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Eine Langfassung der Forschungsarbeiten kann in Form eines Schlussberichts bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, www.fgw.de, angefordert werden.

Weiter Informationen erhalten Sie bei Herrn Dr.-Ing. Hans-Jürgen Gittel unter 07022 786 7698.