



# 1 Einleitung und Zielsetzung

Keramische Werkstoffe begleiten die Menschheit seit vielen Jahrtausenden. So hat die Vorratshaltung von Nahrung in gebrannten Tongefäßen dem Menschen erlaubt sesshaft zu werden. Später wäre die industrielle Revolution ohne feuerfeste keramische Materialien, welche die Erzeugung von Metall- und Glasschmelzen in großen Maßstäben erlaubt, undenkbar gewesen.

Heute findet man Hochleistungskeramiken in vielen Hightech-Anwendungen, für die eine hohe Härte und Verschleißbeständigkeit ebenso wichtig sind wie ein hoher Schmelzpunkt und chemische Stabilität. Die Anwendungsmöglichkeiten sind zahllos, auch wenn fast allen keramischen Materialien gewisse Nachteile, wie sprödes Bruchverhalten und die damit verbundenen Probleme bei der Verarbeitbarkeit sowie Schrumpfungsprozesse beim Brennen, gemein sind.

Metallische Werkstoffe hingegen können durch ihre Duktilität viel besser verformt und bearbeitet werden und weisen im Gegensatz zu Keramiken meist kein sprödes Bruchverhalten auf, da sie sich vor dem Bruch plastisch verformen. Als Nachteile sind ihre erhöhte Anfälligkeit für Korrosion, Oxidation und Verschleiß, insbesondere bei höheren Temperaturen, zu nennen. Metalle aus der Gruppe der Refraktärmetalle weisen zwar hohe Schmelzpunkte und hohe Härte auf, sind aber gegen Oxidation und Korrosion nur mäßig resistent. Besser eignen sich die Nitride und Carbide von Refraktärmetallen, welche im Allgemeinen noch bessere Hochtemperatureigenschaften aufweisen. Nachteile ergeben sich bei diesen Werkstoffen wegen ihrer hohen Härte bezüglich ihrer Verarbeitbarkeit sowie ihrer Herstellung, welche nur bei sehr hohen Temperaturen bzw. mit großem apparativem Aufwand erfolgen kann.

Zur Minimierung der individuellen Nachteile der einzelnen Materialien bietet sich daher ein Verbundwerkstoff aus beiden Materialklassen an, welcher keramische und metallische Eigenschaften miteinander kombiniert. Als Beispiel für einen Werkstoffverbund können keramische Schichten auf metallischen Substratmaterialien genannt werden, welche die Oberfläche der Metalle vor Oxidation, Korrosion und Abrieb schützen. Problematisch bei diesen Schichtsystemen sind allerdings die begrenzte Haftung von Keramiken auf Metallen sowie deren unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten, was bei großen Temperaturschwankungen zur Rissbildung in der keramischen Schicht bzw. deren Ablösung führen kann. Daher gestaltet sich die Herstellung von Metall-Keramik Verbundwerkstoffen, welche über eine gute chemische Anbindung verfügen, als schwierig. Ein möglicher Weg, um eine gute



Haftung einer keramischen Beschichtung auf einem metallischen Substrat zu erzielen, ist die Erzeugung einer Gradientenschicht im Grenzflächenbereich. Eine Gradientenschicht ist durch eine schrittweise Änderung der chemischen Zusammensetzung definiert. Dadurch wird eine direkte Grenzfläche zwischen zwei chemisch stark unterschiedlichen Materialien vermieden.

Der Ansatz, eine keramische Schicht auf ein Metall aufzubringen, wobei der Übergang von Metall zu Keramik schrittweise über mehrere Zwischenphasen verläuft, wird bereits seit den 80er Jahren erforscht und hat sich unter dem Namen „Functionally Graded Materials“ (FGMs) etabliert. Einer der Gründe für die Entwicklung derartiger FGMs lag in der hervorragenden chemischen Verbindung von Metall und Keramik, welche durch die gradierte Schicht erzielt wird [MIY99].

### **Zielsetzung**

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung von Gradientenschichten auf Übergangsmetallen mit Hilfe reaktiver Precursorbeschichtung. Die Herstellung von keramischen Schichten aus polymeren Precursoren ist bereits sehr gut untersucht und basiert auf der Umwandlung organischer Polymere in eine anorganische Keramik während eines Pyrolyseschrittes. Auf Basis dieser Arbeiten über Beschichtungen von Metallen mit Precursorkeramiken sollen Werkstoffe entwickelt werden, bei denen eine chemische Reaktion zwischen dem Precursor und dem metallischen Grundwerkstoff stattfindet. Die Reaktion der Precursorbestandteile mit dem Metall soll eine gradierte Verbindungsschicht zwischen der Keramik und dem Metall erzeugen. Vorteilhaft ist, dass diese Methode bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen von unter 1000 °C angewendet werden kann und einfach realisierbar ist. Durch Auswahl geeigneter Refraktärmetalle soll ein Metall-Keramik Komposit hergestellt werden, welches zwischen Keramikschicht und Metallsubstrat eine Gradientenschicht aus refraktären Karbiden bzw. Nitriden aufweist.

In der vorliegenden Arbeit sollen nun grundlegende Untersuchungen stattfinden, auf welche Weise Refraktärmetalle mit einem präkeramischen Polymer reagieren und eine Gradientenschicht ausbilden. Die Bildung der Gradientenschicht wird dabei in Abhängigkeit der verschiedenen Prozessparameter analysiert, um die während der Pyrolyse ablaufenden Reaktionsprozesse erklären zu können. Zur Betrachtung der Diffusionsprozesse während der Auslagerung ist es sinnvoll, sich auf zweidimensionale Schichtsysteme zu beschränken, da diese am leichtesten und exaktesten charakterisiert werden können. Dazu werden auf Substraten ausgewählter



Übergangsmetalle Precursorschichten aufgebracht und ausgelagert. Die Auswahl der Metalle erfolgt nach Kriterien, die sie für Hochtemperaturanwendungen geeignet machen. Die zu verwendenden Metalle sollen aus der Gruppe der Refraktärmetalle ausgesucht werden und zusätzlich eine Affinität zur Bildung von Carbiden und Nitriden besitzen, welche wiederum selbst refraktäre Eigenschaften aufweisen. Anschließend sollen die Reaktionen der Precursorelemente mit den so ermittelten Substraten untersucht werden, um die Abhängigkeit der Diffusionsprozesse von den verschiedenen Parametern zu klären. Mit Hilfe von theoretischen Diffusionsmodellen sollen zusätzlich die Grundlagen geschaffen werden, um Vorhersagen für weiterführende Untersuchungen treffen zu können und eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Materialsysteme zu gestatten. Abschließend werden noch generelle Eigenschaften der hergestellten Schichten, wie Haftung, Oxidationsbeständigkeit und Härte getestet, um die Verbesserung der Eigenschaften des Verbundwerkstoffes gegenüber den unbehandelten Metallen zu untersuchen.