

Entwicklung einer kavitationserosionsresistenten pseudoelastischen CuZnSi-Legierung

Baak, J.; Pohl, M. (1)

Kupferwerkstoffe finden Verwendung in vielen Bereichen der Technik, die zum Teil hohen, lebensdauerlimitierenden Belastungen, wie beispielsweise der Kavitationserosion, unterliegen können. Werkstoffverschleiß durch Kavitationserosion ist bei Anwendungen wie dem Schiffsbau (z.B. Propellern), dem Pumpenbau (z.B. Rädern) und der Steuerungstechnik (z.B. Drosselklappen) ein nicht gelöstes Problem und kann zum Ausfall kompletter Anlagen führen. Neben konstruktiven Maßnahmen wird mittels Legierungsentwicklung und -optimierung nach neuen Möglichkeiten zur Lebensdauersteigerung kavitationserosionsbelasteter Bauteile gesucht.

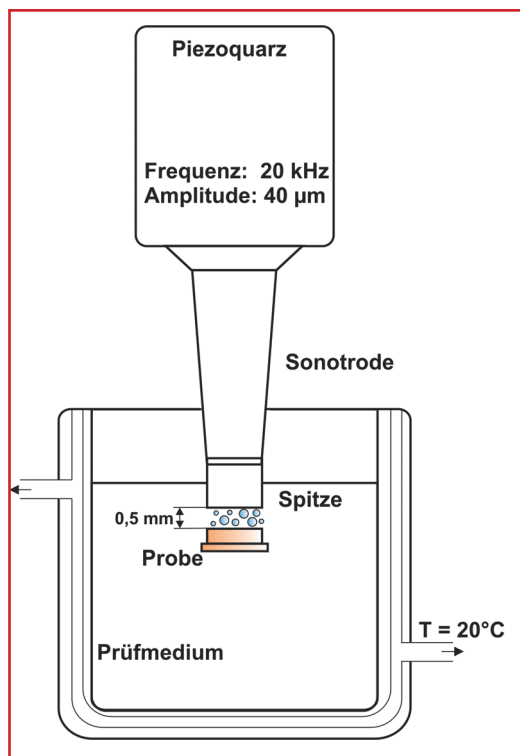


Bild 1: Labor-Kavitationssprüfanlage

Bei der Untersuchung verschiedener handelsüblicher Materialien zeigt Silizium-Messing (CuZn16Si4-C) eine ausgezeichnete, mit den für den Schiffspropellerbau eingesetzten Aluminiumbronzen vergleichbare Kavitationserosionsresistenz. Zur weiteren Verbesserung dieser und dem Wissen, dass Formgedächtnislegierungen

mit ihrem pseudoelastischen Verhalten eine hervorragende Beständigkeit gegen Kavitationserosion aufweisen, wird die Legierung CuZn35Si1, ebenfalls aus der Familie der Silizium-Messing bezüglich ihrer Pseudoelastizität und Kavitationserosionsresistenz untersucht. Nach geeigneter Wärmebehandlung ist bei CuZn35Si1 die gewünschte Eigenschaft nachweisbar.

Kavitationserosion und Pseudoelastizität

Kavitationserosion ist dem Verschleißmechanismus der Oberflächenzerrüttung

zuzuordnen. Kommt es in flüssigen Medien in der Nähe einer Festkörperoberfläche durch Schwingungen oder Strömungen lokal zu Druckschwankungen, bilden sich Kavitationsblasen aus, die durch auftretende Druckspitzen implodieren und die Werkstoffoberfläche durch die dabei entstehenden Mikrojets immens schädigen [1,2].

Formgedächtnislegierungen können nach plastischer Verformung in ihre ursprüngliche Gestalt zurückkehren und so bis zu 8% Dehnung scheinbar elastisch ertragen. Der Formgedächtniseffekt und die außerordentliche Dehnfähigkeit beruhen auf der Eigenschaft des Materials eine Hochtemperatur- (Austenit) und eine Niedrigtemperaturphase (Martensit) zu bilden und zwischen diesen reversibel spannungsinduziert umzuwandeln. Sie eignen sich aufgrund dieses pseudoelastischen Effektes und der damit verbundenen intrinsischen Dämpfung, welche die Druckspitzen der Kavitation abfedert, sehr gut für die Anwendung in hoch kavitationsbelasteten technischen Systemen. Die hohe Resistenz dieser Legierungen beruht auf ihrer Fähigkeit, die Energie der Blasenimplosionen und der daraus resultierenden Mikrojets zu absorbieren [3,4,5].

Um herauszufinden, wie verschiedene handelsübliche Kupferwerkstoffe hinsichtlich ihrer Beständigkeit gegen Kavitationserosion im Vergleich zu unterschiedlichen Materialien einzuordnen sind und zusätzlich eine Grundlage für die angestrebte Entwicklung einer pseudoelastischen Legierung zu schaffen, werden zunächst Kupferwerkstoffe, die aufgrund ihrer Einsatzgebiete vom Trinkwasserarmaturen-

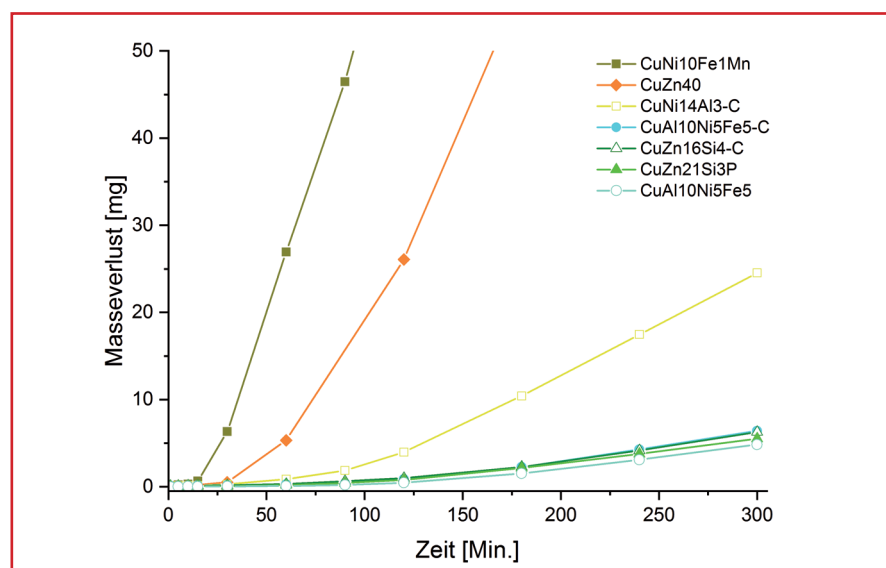


Bild 2: Masseverlustkurven der untersuchten Kupferlegierungen

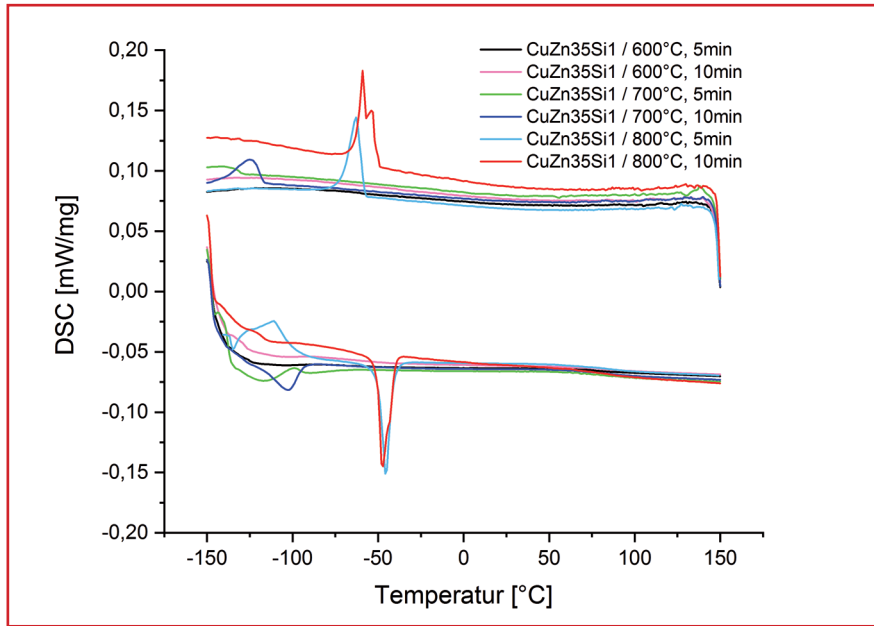


Bild 3: DSC-Kurven der Legierung CuZn35Si1 nach verschiedenen Wärmebehandlungen

bereich über den Schiffspropellerbau bis hin zum Hydrauliksektor von besonderem Interesse sind, hinsichtlich ihrer Kavitationserosionsbeständigkeit charakterisiert. Untersucht werden die Gusslegierungen CuZn40, CuZn16Si4-C, CuZn21Si3P, CuAl10Ni5Fe5 sowie die Knetlegierungen CuNi14Al3-C und CuNi10Fe1Mn.

Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Zur Ermittlung des kavitationsbedingten Masseverlustes werden Proben aus den gelieferten Halbzeugen entnommen und

die Probenoberflächen anschließend bis auf 1000 Mesh geschliffen. In dem in Bild 1 gezeigten Versuchsaufbau, bestehend aus einem piezoelektrischen Schwinger und einer Sonotrode werden diese Proben mit definierten Parametern gemäß ASTM G32-10 300 Minuten lang in destilliertem Wasser geprüft. Die Versuche verlaufen intermittierend, so dass der Masseverlust über die Zeit aufgezeichnet werden und somit Aufschluss über die Inkubations- (kein Masseverlust) und Erosionsphase (Masseverlust) gewonnen werden kann.

Bild 2 zeigt die Masseverlustkurven der sieben untersuchten Kupferwerkstoffe

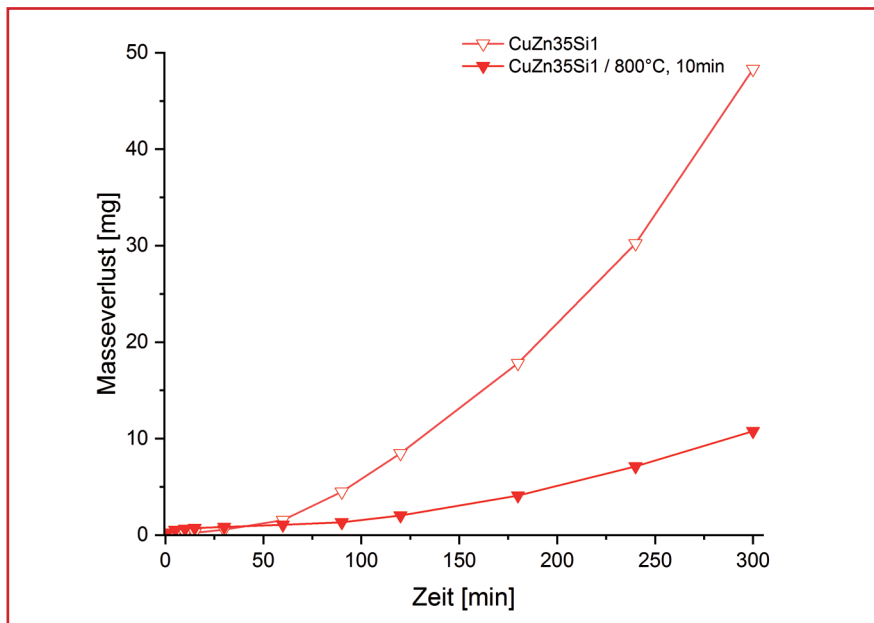


Bild 4: Masseverlustkurven der Legierung CuZn35Si1 im Ausgangszustand sowie nach erfolgreicher Wärmebehandlung

nach 300 Minuten Kavitationsbeaufschlagung. Während die Legierungen auf CuNi-Basis (CuNi14Al3-C und CuNi10Fe1Mn) und Standard-Messing (CuZn40) nach 300 Minuten Kavitationsbeaufschlagung vergleichsweise hohe Masseverluste zwischen 25 mg und 177 mg aufweisen, zeigt Silizium-Messing (CuZn16Si4-C), das oftmals die üblichen bleihaltigen Legierungen ersetzt, mit einem Masseverlust von ca. 6 mg eine ausgezeichnete, mit der für den Schiffspropellerbau eingesetzten Aluminiumbronze (CuAl10Ni5Fe5) vergleichbare Kavitationserosionsresistenz.

Aufgrund dieser Ergebnisse und dem Wissen, dass Formgedächtnislegierungen mit ihrem pseudoelastischen Verhalten eine hervorragende Beständigkeit gegen Kavitationserosion aufweisen, wird eine Legierung aus derselben Gruppe, der sogenannten Silizium-Messinge, entwickelt, die unter bestimmten Bedingungen pseudoelastisches Verhalten zeigen kann [6]. Dabei handelt es sich um die Legierung CuZn35Si1, die neben einer Wärmebehandlungsstudie auf ihre Kavitationserosionsresistenz und mittels DSC (Differential Scanning Calorimetry) auf ihre Pseudoelastizität hin untersucht wird.

Gussproben der Legierung CuZn35Si1 werden bei Temperaturen von 600, 700 und 800 °C für 5 und für 10 Minuten wärmebehandelt und anschließend in Wasser abgeschreckt. Während sich bei einer Wärmebehandlungstemperatur von 600 °C bei keiner der untersuchten Wärmebehandlungszeiten und bei einer Wärmebehandlungstemperatur von 700 °C nach einer Wärmebehandlungsdauer von 5 Minuten nicht das gewünschte und für die martensitische Umwandlung erforderliche -Gefüge, sondern ein + -Gefüge einstellt und dementsprechend auch in der DSC-Kurve kein Umwandelungspeak erkennbar ist, zeigt sich ab einer Wärmebehandlungstemperatur von 700°C und einer Wärmebehandlungsdauer von 10 Minuten bereits der erste Umwandelungspeak, jedoch nicht das gewünschte Gefüge. Bei einer Wärmebehandlungstemperatur von 800 °C und einer Wärmebehandlungsdauer von 10 Minuten zeigt sich neben dem für die martensitische Umwandlung erforderliche -Gefüge ein deutlicher Umwandelungspeak in der DSC-Analyse. Die Umwandlung findet hier allerdings bei ca. -40 °C und nicht wie gewünscht bei 20 °C statt (Bild 3). Bild 4 zeigt die Masseverlustkurven der Legierung CuZn35Si1 im Ausgangszustand

