



## Ertüchtigung von Cu-FGL (CuErt)

INNO-KOM VF / Förderkennzeichen: 49VF210023 / Laufzeit: 01.10.2021 – 31.03.2024

### 01 Problemstellung

Formgedächtnislegierungen FGL (engl. shape memory alloys) ist es möglich, im festen Werkstoffzustand eine reversible martensitische Phasenumwandlung, d. h. eine diffusionslose, fest-fest Phasenumwandlung erster Ordnung mit Änderung der Kristallsymmetrie zu durchlaufen. Die Umwandlung erfolgt dabei zwischen einer Hochtemperatur- und einer Tieftemperaturphase und resultiert in einer makroskopischen Formänderung. Diese Umwandlungsart ermöglicht das Wiederherstellen der Ausgangsform in Abhängigkeit vom eingestellten Formgedächtniseffekt durch den Einfluss der Temperatur und Spannung. Die Anwendungsbereiche von FGL werden durch den genutzten Formgedächtniseffekt vorgegeben, deshalb werden für Aktoren, Sensoren sowie Verbindungs- und Regelemente der Einweg- oder Zweiwegeeffekt (Pseudoplastizität) verwendet, während für Feder- und Dämpfungselemente die Pseudoelastizität genutzt wird.

Das Legierungssystem NiTi (Nitinol) ist in vielen Einsatzgebieten aufgrund der guten Formgedächtniseigenschaften etabliert und findet bevorzugt im Bereich der Medizintechnik bspw. bei Stents sowie in der Ventil- und Entriegelungstechnik Anwendung. Die Einsatzfelder sind jedoch stark eingeschränkt und geben daher Anlass, andere FGL zu entwickeln, welche die Wirtschaftlichkeit steigern und somit zu einer Erweiterung der Einsatzbereiche führen. Als Ursachen hierfür sind die hohen Kosten der Legierungselemente Ni und Ti, die aufwendigen Herstellungsbedingungen sowie der eingeschränkte nutzbare Temperaturbereich des Formgedächtniseffektes anzuführen.

Kupferbasierte Legierungssysteme sind von besonderem technischem Interesse, da Produktionskosten gesenkt werden können und so die Wirtschaftlichkeit deutlich gesteigert werden kann. Dies steht sowohl mit der Senkung der Gesamtlegierungskosten als auch mit der Verwendung von konventionellen metallurgischen Prozessrouten sowie Pulvermetallurgie und der einfacheren Ofentechnik durch ein verringertes Reaktionsverhalten mit der Ofenumgebung im Zusammenhang. Außerdem zeigen kupferbasierte FGL einen weiten Umwandlungstemperaturbereich, ein günstiges pseudoelastisches Verhalten und vorteilhafte Dämpfungseigenschaften. Dadurch können im Vergleich zu NiTi-Legierungen weitere Anwendungsfelder erschlossen werden.

Jedoch können bei der Verwendung von kupferbasierten FGL momentan nur geringe Formgedächtniseigenschaften im Vergleich zu NiTi-Legierungen erzielt werden. Außerdem stellt die Versprödung des Werkstoffs für Umformprozesse eine Herausforderung dar, die insbesondere bei grobkörnigem Gefüge, ausgelöst durch eine hohe elastische Anisotropie zum Tragen kommt und in einem spröden Versagen als interkristalliner Bruch resultiert. Ebenfalls neigen einige Kupferlegierungssysteme zu einer Alterung mit einhergehender Phasenstabilisierung, wodurch eine Beeinflussung der martensitischen Phasenumwandlung durch eine Verschiebung der Umwandlungstemperaturen erfolgt. Die beschriebenen Herausforderungen sind auf industrieller Seite nicht überwunden und gehen mit einem zu umfangreichen Forschungsaufwand für KMU einher.





## 02 Lösungswege

Um die angeführten Probleme zu überwinden, werden im Vorhaben Cu- $\text{AlMn}$ -basierte FGL mit verschiedenen chemischen Zusammensetzungen untersucht, die im Vergleich zu konventionellen FGL auf Basis von Kupfer bei Raumtemperatur eine höhere Duktilität aufweisen. Da das mechanische Werkstoffverhalten maßgeblich durch die Korngröße, Kornorientierung zur Beanspruchungsrichtung und die Kornform beeinflusst wird, kann durch einen gezielten Erstarrungsvorgang in Kombination mit einer Wärmebehandlung das Formgedächtnisverhalten und die erreichbare Rückstelldehnung beeinflusst werden. Der Effekt der Korngröße konnte bereits an Einkristallen nachgewiesen werden, bei denen eine signifikante Verbesserung des mechanischen Materialverhaltens erzielt werden konnte.

## 03 Nutzen für KMU

Durch den Einsatz von kupferbasierten FGL als Alternative zum NiTi-Legierungssystem, können für KMU signifikante Kosteneinsparungen erzielt werden, die einerseits aufgrund der geringeren Kosten der Legierungselemente und andererseits auf die geringeren technischen Anforderungen an die Schmelztechnik zurückzuführen sind. Eine Ausweitung der Anwendungsmöglichkeiten ergibt sich aus dem erweiterten Temperaturfenster mit vollständiger martensitischer Phasenumwandlung, welches den technischen Betrieb bis zu Umgebungstemperaturen von 250 °C ermöglicht. Durch verschiedene Herstellungsparameter können gezielte Werkstoffoptimierungen erzielt werden und anschließend Herstellungsschritte abgeleitet werden, die eine einfache Implementierung oder Ergänzung in Industrieprozessrouten ermöglichen. Des Weiteren stellen die vorteilhaften thermischen und elektrischen Stoffeigenschaften Ansatzpunkte für verschieden Aktivierungsansätze dar. Diese Punkte ermöglichen es sowohl Herstellern und Verarbeitern von Kupferlegierungen ein breiteres Produktportfolio zu entwickeln als auch NiTi-Produzenten in weitere Einsatzfelder vorzudringen.

## 04 Ziel

Das Projektvorhaben verfolgt das Ziel der Entwicklung eines Schmelz- und Feingussprozesses mit einer geeigneten Wärmebehandlung für die Herstellung von kupferbasierten FGL des Systems Cu $\text{AlMn}$ . Im Zentrum des Vorhabens steht die Charakterisierung des resultierenden mechanischen, elektrischen und thermischen Werkstoffverhaltens. Ebenfalls wird durch die Erprobung der Herstellungsoption des Stranggusses und der Verarbeitung mittels Warm- und Kaltzug ein industriüblicher Prozessablauf untersucht. Des Weiteren sollen die prozessbedingten Eigenschaftsänderungen berücksichtigt und quantifiziert werden. Für die hergestellten Legierungen sollen im Vergleich zu bestehenden FGL-Systemen die Anwendungspotentiale unter Betrachtung der aktorischen und pseudoelastischen Eigenschaften betrachtet und eine Produktevaluierung durchgeführt werden. Abschließend soll eine vollständige Werkstoffcharakterisierung an zwei FGL des Cu $\text{AlMn}$ -Systems vorliegen, welche dann durch ein KMU auf den Markt gebracht werden kann.



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages