

Gruppe

MIKROSTRUKTUR UND EIGENSPANNUNGEN

Dr. Johannes Preußner | Telefon +49 761 5142-101 | johannes.preußner@iwm.fraunhofer.de

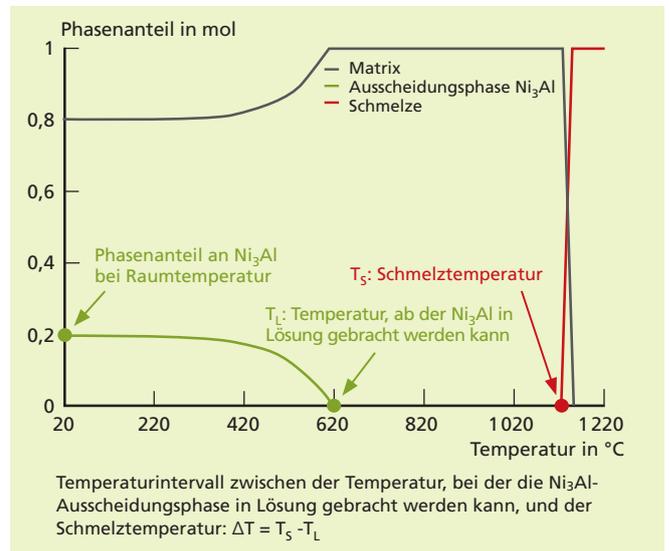
ENTWICKLUNG NEUER, HOCHFESTER KUPFERLEGIERUNGEN

Kupfer-Beryllium Legierungen zeichnen sich durch eine für Kupferlegierungen sehr hohe Festigkeit bei vergleichsweise hoher elektrischer Leitfähigkeit aus. Beryllium und insbesondere Berylliumstäube können beim Menschen sehr gesundheitsschädlich sein. Im Rahmen der Förderung der innovativen Rohstoffnutzung in KMU des Landes Baden-Württemberg werden CuNiAl-Legierungen als Ersatzwerkstoffe für Kupfer-Beryllium-Legierungen in Kooperation mit dem »fem Forschungsinstitut Edelmetalle + Metallchemie« in Schwäbisch Gmünd, »NMI Naturwissenschaftliches und Medizinisches Institut« in Reutlingen und einer Reihe von Industriepartnern weiterentwickelt. Das Legierungssystem erwies sich im Rahmen einer Untersuchung von 35 Legierungssystemen als sehr vielversprechend hinsichtlich erreichbarer Festigkeit und elektrischer Leitfähigkeit.

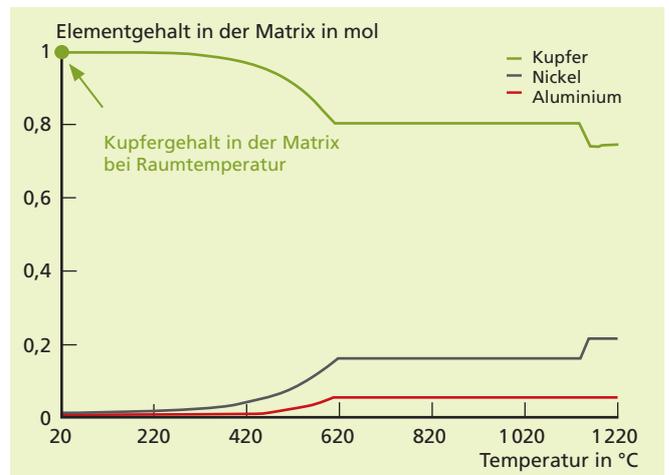
Automatisierte Berechnung von Phasengleichgewichten zur Legierungsauswahl

Am Fraunhofer IWM werden nun Legierungszusammensetzungen im CuNiAl-Legierungssystem mit hohem Aushärtungspotenzial gesucht, in denen ein möglichst hoher Anteil an Legierungselementen in Ausscheidungsphasen gebunden sind. Hierdurch soll neben einer hohen Festigkeit auch eine hohe elektrische Leitfähigkeit erreicht werden, die zu anderen hochleitfähigen Kupferlegierungen vergleichbar ist.

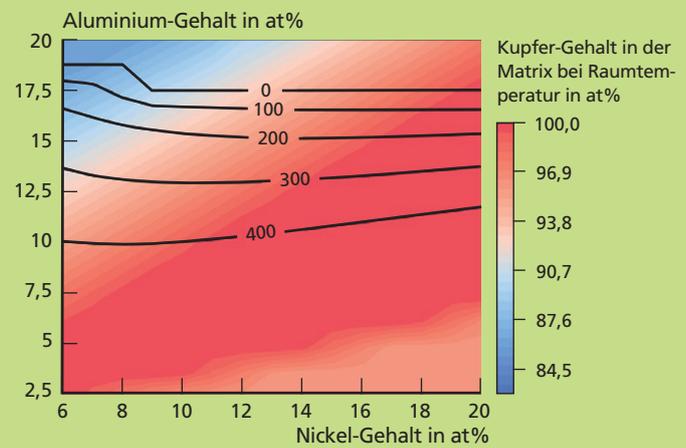
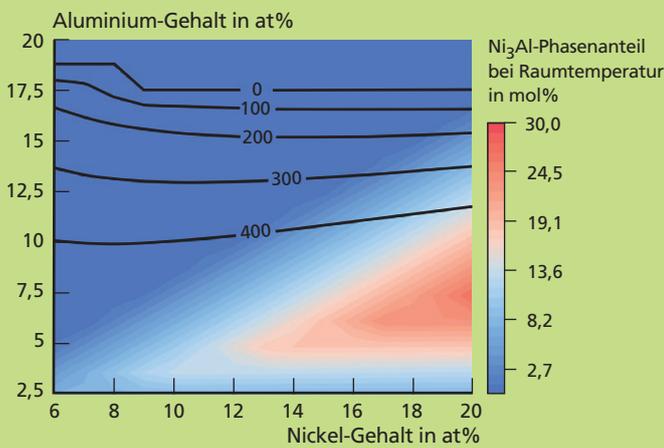
Temperaturabhängige Phasenanteile und Elementgehalte in den jeweiligen Phasen können in thermodynamischen Simulationen berechnet werden. Der Ausscheidungsphasenanteil bei Raumtemperatur im thermodynamischen Gleichgewicht wird als Größe für das Aushärtungspotenzial der Legierungen zu Grunde gelegt (Abbildung 1). Eine optimale Aushärtung



1 Berechnete Phasenanteile im thermodynamischen Gleichgewicht als Funktion der Temperatur in der Legierung $\text{CuNi}_{15}\text{Al}_5$.



2 Berechnete Elementgehalte in der Matrix im thermodynamischen Gleichgewicht als Funktion der Temperatur in der Legierung $\text{CuNi}_{15}\text{Al}_5$.



3 Berechnetes Temperaturintervall für eine mögliche Lösungsglühung (schwarze Linien); berechneter Ni_3Al -Phasenanteil (links) und Cu-Gehalt (rechts) in der Matrix bei Raumtemperatur in CuNiAl-Legierungen.

ergibt sich durch die gezielte Einstellung der Ausscheidungsgröße und Partikelanzahl durch Wärmebehandlung. Voraussetzung hierzu ist, dass die Ausscheidungsphase im festen Zustand in der Mischkristallmatrix bei erhöhten Temperaturen in Lösung gebracht werden kann. Es muss also ein gewisses Temperaturintervall geben, um diese Lösungsglühung technisch realisieren zu können (Abbildung 1). Als Größe für eine gute elektrische Leitfähigkeit wird der Kupfergehalt in der Matrix bei Raumtemperatur im thermodynamischen Gleichgewicht zu Grunde gelegt (Abbildung 2).

Erkenntnisgewinn Dank umfangreicher Simulationen

Zusammen mit Industriepartnern wurden relevante Bereiche der chemischen Zusammensetzungen definiert und daraus 225 CuNiAl-Legierungszusammensetzungen abgeleitet, die nun automatisiert berechnet werden können. Die Durchführung der thermodynamischen Simulationen erfolgte mithilfe der Schnittstelle TC-Python. Hierzu wurden Berechnungsmethoden entwickelt, wodurch es ermöglicht wird, in einem automatisierten Rechenvorgang die Ausscheidungsphasenanteile (Abbildung 1), den Kupfergehalt in der Matrix (Abbildung 2) und das Temperaturintervall für eine mögliche Lösungsglühung (Abbildung 3) für alle chemischen Zusammensetzungen auszuwerten. Diese Herangehensweise erlaubt also die gleichzeitige Betrachtung mehrerer anwendungsrelevanter Zielgrößen. Die Ergebnisse der Berechnungen werden als Dateien und in zusammenfassenden grafischen Darstellungen ausgegeben. Dank dieser umfangreichen automatisierten Simulationen ist es zum Beispiel möglich, festzustellen, ob sich bei geringfügiger Variation der chemischen Zusammensetzung, wie sie lokal im Gefüge oder zwischen verschiedenen Chargen auftreten können, auch die Eigenschaften deutlich verändern.

Die intermetallische Ausscheidungsphase Ni_3Al , die ein hohes Aushärtungspotenzial aufweist, bildet sich in zahlreichen der untersuchten Legierungen aus. Die linke Grafik in Abbildung 3 stellt den Anteil an Ni_3Al für einen Bereich aus dem Legierungssystem CuNiAl dar, womit aussichtsreiche Legierungen identifiziert werden können. Zudem wird rechnerisch analysiert, ob die Ni_3Al -Ausscheidungsphase auch in Lösung gebracht werden kann. Das Temperaturintervall für eine mögliche Lösungsglühung ist ebenfalls in der linken Grafik in Abbildung 3 anhand von Konturlinien dargestellt. Die Simulationsergebnisse legen nahe, dass der Kupfergehalt in der Matrix bei Raumtemperatur (Abbildung 3 rechts) vergleichsweise hoch ist, sodass eine gute elektrische Leitfähigkeit zu erwarten ist.

Dank dieser umfangreichen automatisierten thermodynamischen Simulationen konnten CuNiAl-Legierungen für industrielle Abgüsse definiert werden. Die Prototyplegierungen werden am »fem Forschungsinstitut Edelmetalle + Metallchemie« sowie von den Industriepartnern hergestellt und deren Mikrostruktur, mechanische und elektrische Eigenschaften und Korrosionsneigung untersucht. Mittels hochauflösender elektronenmikroskopischer Untersuchungen werden Ausscheidungsphasen identifiziert und der Anteil und die Morphologie bestimmt. Aktuell wird der Einfluss weiterer Legierungselemente auf Festigkeit, elektrische Leitfähigkeit und Prozessierbarkeit in Simulationen analysiert.

Dr. Valérie Friedmann, Dr. Johannes Preußner