

13 Nachhaltige Legierungen für hohe Ansprüche

**MARTIN PALM,
FRANK STEIN,
ANGELIKA GEDSUN,
GERHARD DEHM**

↳ Max-Planck-Institut
für Eisenforschung GmbH,
Düsseldorf

Werkstoffe in Windkraftanlagen, Flugzeugtriebwerken oder Turbinen müssen großen mechanischen Belastungen bei hohen Temperaturen standhalten. Am Max-Planck-Institut für Eisenforschung haben wir Legierungskonzepte entwickelt, die diesen Anforderungen optimal entsprechen und zudem kostengünstig und nachhaltiger sind als bisher verwendete Materialien. Gemeinsam mit Partnern aus der Industrie optimieren wir diese Herstellungsprozesse derzeit für die Anwendung.

Salzige und feuchte Seeluft, Wetterschwankungen und extreme Temperaturen: Unter diesen unwirklichen Bedingungen erzeugen Offshore-Windkraftanlagen umweltfreundlich Strom. Doch viele Bauteile der Windräder verschleiben und korrodieren mit der Zeit, sodass die Anlagen nach rund 20 Jahren ausgewechselt werden. Ähnliche Herausforderungen stellen sich bei Rohren in Biomassekraftwerken, Flugzeugtriebwerken oder Kompressorschaukeln in Dampfturbinen. Um die Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit dieser Anwendungen zu erhöhen, braucht es daher robuste Materialien, die sich zugleich kostengünstig herstellen lassen. Am Max-Planck-Institut für Eisenforschung haben wir Legierungen entwickelt, die genau diese Anforderungen erfüllen.

Eisenaluminide sind korrosionsbeständig, verschleißfest und leicht

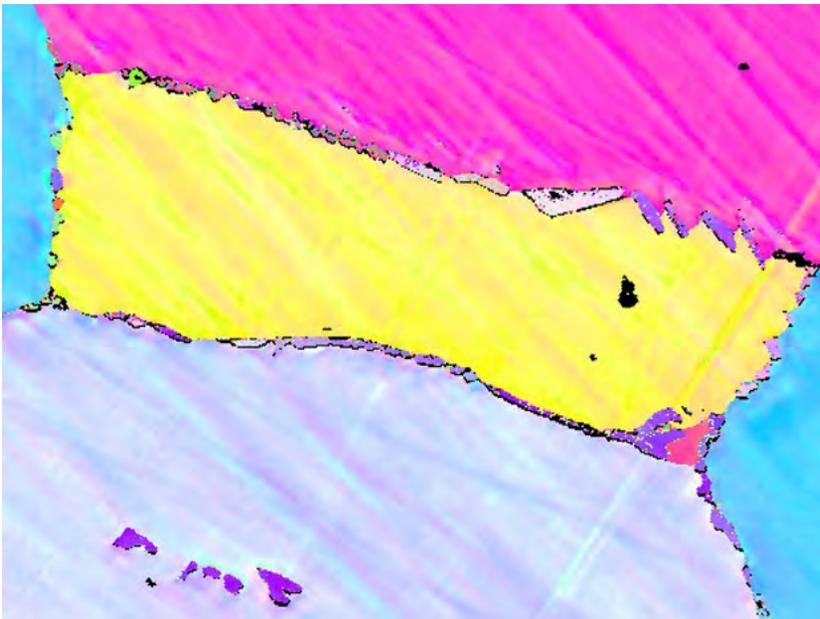
Als besonders nachhaltig erweisen sich Legierungen auf Basis von Eisen und Aluminium, den beiden häufigsten Metallen in der Erdkruste. Zudem können solche Legierungen in geringeren Mengen weitere Zusätze wie etwa Bor enthalten. Diese Eisenaluminide zeichnen sich durch mehrere für die Industrie interessante Eigenschaften aus: Sie sind sehr korrosionsbeständig, haben eine hohe Verschleißfestigkeit und sind aufgrund ihrer geringen

Dichte besonders leicht. Außerdem benötigen sie keine zusätzlichen teuren Legierungselemente, um die Werkstoffeigenschaften zu verbessern, und lassen sich in herkömmlichen Prozessrouten wie Gießen, Walzen und Schmieden herstellen.

Zwar gibt es Eisenaluminid-Legierungen bereits seit den 1930er-Jahren, und wesentliche Anwendungen etwa für Industrieöfen, Turbinen oder in der chemischen Industrie wurden auch schon in den 1950er-Jahren getestet. Doch bislang hatten diese Legierungen neben ihren vielen Vorzügen einen entscheidenden Nachteil: Bei Temperaturen von über 700 Grad Celsius waren sie nicht fest genug. Deshalb ließen sich solche Legierungen bisher nicht in Flugzeugtriebwerken, Biomassekraftwerken oder als Bremscheiben in Windkraftanlagen nutzen.

Am Max-Planck-Institut für Eisenforschung haben wir unsere neuen Legierungen so konzipiert, dass sie sich auch bei hohen Temperaturen gut einsetzen lassen, ohne ihre anderen Vorzüge einzubüßen. Unterstützt durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie arbeiten wir mit Siemens, Rolls Royce Deutschland, Leitz Turbinentechnik und Otto Junker sowie dem Karlsruher Institut für Technologie und dem mit der RWTH Aachen assoziierten Forschungszentrum Access daran, unsere Legierungen für industrielle Prozesse und Anwendungen zu optimieren.

Unterschiedliche Kristallkörner im Eisenaluminid-Gefüge sind hier verschiedenfarbig dargestellt. An den Korngrenzen sind kleine Partikel anderer chemischer Zusammensetzung zu erkennen. Sie beeinflussen die Eigenschaften des Werkstoffs wesentlich.



Hohe Festigkeit bei hohen Temperaturen

Dazu forschen wir an Prozessen, durch die sich das sogenannte Gefüge, also der innere Aufbau eines Werkstoffs gezielt beeinflussen lässt. Die Eigenschaften eines Werkstoffs werden abgesehen von der chemischen Zusammensetzung der Gefügebestandteile wesentlich durch deren Größe, Form und Verteilung bestimmt, wobei auch die Grenzflächen zwischen den einzelnen Bestandteilen eine große Rolle spielen. Über das Legierungsdesign können wir die Eigenschaften eines solchen Werkstoffs für unterschiedliche Anwendungen maßschneidern, sodass er sich für den Einsatz bei hohen Temperaturen eignet und zugleich mechanisch stark belastbar ist.

Die mechanische Festigkeit einer solchen Legierung bei hohen Temperaturen erreichen wir, indem wir kleinere Mengen weiterer Elemente hinzufügen, die wir dann gezielt in den Gefügebestandteilen verteilen können oder aber in Form chemisch anders zusammengesetzter feiner Partikel in den Werkstoff einbringen. Deren Größe und Verteilung lässt sich über verschiedene Temperatur-

programme oder mechanisches Prozessieren kontrollieren. Es ist so beispielsweise möglich, sehr feine, nur nanometergroße Partikel gleichmäßig auf die Grenzflächen der Gefügebestandteile zu verteilen. Zudem gelingt es in solchen Verfahren, die Eigenschaften eines Werkstoffs an das Bauteil, in dem er verwendet werden soll, anzupassen.

Eine spezielle Wärmebehandlung macht Bauteile besonders fest

Für Bauteile, die wir im Guss herstellen, können wir beispielsweise über den Zusatz von Bor feine Ausscheidungen aus Borverbindungen gleichmäßig entlang der Grenzflächen im Material anlagern. Dadurch wird ein Bauteil insbesondere bei tiefen Temperaturen besser verformbar. Diese Eigenschaft ist gerade dann wichtig, wenn die Materialien später regelmäßig größeren Temperaturunterschieden ausgesetzt sind. So heizen sich etwa Bremscheiben für Windkraftanlagen an der Oberfläche auf bis zu 900 Grad Celsius auf, wenn der Rotor abbrems.

Andere Bauteile wie Turbinenschaufeln, die mechanisch hoch belastet sind, lassen sich am besten durch Schmieden herstellen. Hier kombinieren wir gezielt Schmiedetemperatur und Verformbarkeit und unterziehen das Produkt gegebenenfalls noch einer speziellen Wärmebehandlung, sodass innerhalb der Legierung eine zusätzliche, fein verteilte intermetallische Verbindung entsteht, die den Bauteilen die gewünschte Festigkeit verleiht.

Kostengünstig und nachhaltig

Die Industrie rechnet mit Einsparungen im zweistelligen Prozentbereich, wenn sie vergleichsweise teure Nickel-Chrom-Stähle oder noch kostspieligere Legierungen auf der Basis von Nickel gegen unsere Eisenaluminid-Legierungen austauschen kann. Und was noch viel wichtiger ist: Unsere Legierungen sind durch ihre hohe Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit auch langlebiger. Zudem sind sie recyclebar und leichter. Momentan arbeiten wir mit unseren Projektpartnern daran, die optimalen Legierungskonzepte für die verschiedenen Prozessrouten festzulegen. Neben unserem Know-how in Sachen Legierungen sind die am Max-Planck-Institut verfügbaren, hochauflösenden Charakterisierungsmethoden entscheidende Faktoren für unsere kooperierenden Industriepartner.

Unsere kostengünstigen und nachhaltigen Eisenaluminid-Legierungen könnten künftig also in Anwendungen hochlegierte Stähle und Legierungen auf der Basis von Nickel ersetzen, vor allem wenn es um den Einsatz bei hohen Temperaturen in korrosiven Umgebungen geht. o