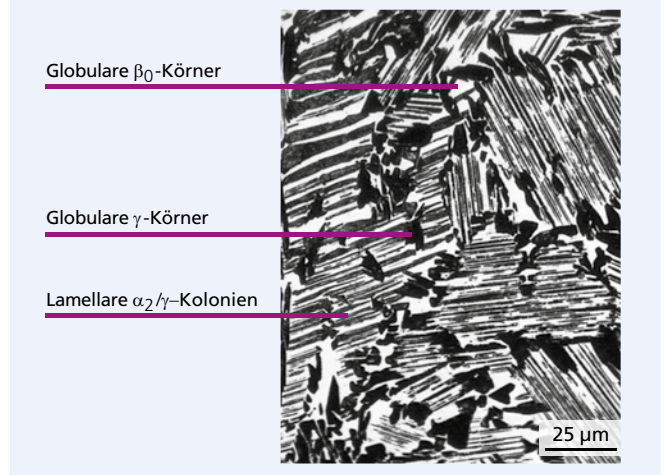


TEMPERATURABHÄNGIGE MIKROSTRUKTUR-EIGENSCHAFTS-BEZIEHUNGEN VON TITAN-ALUMINIDEN

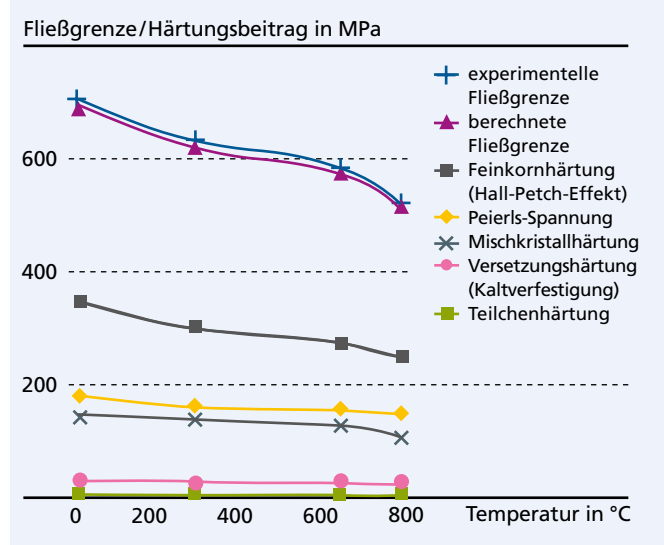
Turbinenräder von Abgasturboladern bestehen in der Regel aus hochwarmfesten Nickelbasislegierungen. Diese Legierungen enthalten sowohl kostenintensive Elemente, wie Ni, Cr, Al und Mo, als auch teure und kritische Elemente, wie W, Co, Nb und Ta, deren Vorkommen auf der Erde selten oder deren Gewinnung auf politisch instabile Regionen beschränkt ist. In einem vom Baden-Württembergischen Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau geförderten Vorhaben entwickelte das Fraunhofer IWM ein integrales Verfahren zur systematischen Substitution von kritischen Legierungselementen und demonstrierte dessen Anwendbarkeit unter anderem am Beispiel von γ -Titan-Aluminiden (γ -TiAl).

Moderne γ -TiAl-Legierungen für Turbinenräder

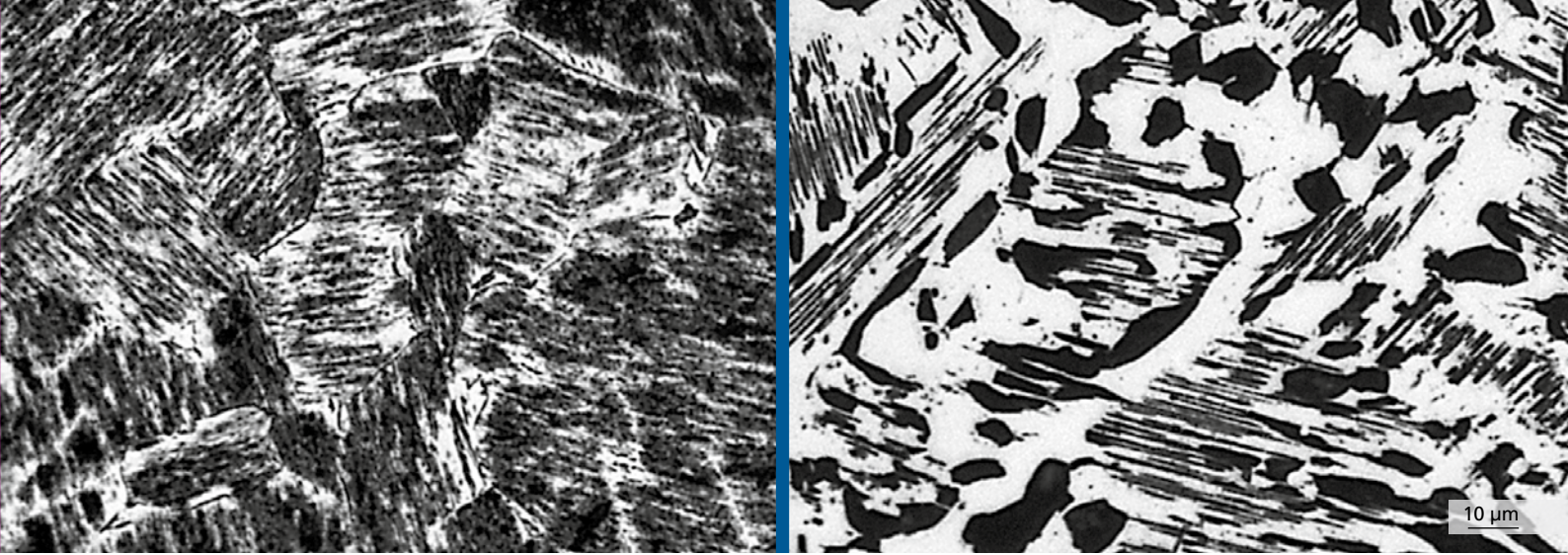
Die mechanischen Eigenschaften von γ -TiAl-Legierungen, wie zum Beispiel plastische Bruchdehnung bei Raumtemperatur und Kriechfestigkeit bei hohen Temperaturen, hängen nicht nur von der chemischen Zusammensetzung, sondern auch von den Eigenschaften der Einzelphasen, ihrem Volumenanteil und ihrer Anordnung ab. In dem Vorhaben wurde speziell auf die moderne γ -TiAl-Legierungsfamilie TNM (TiAlNbMoB) eingegangen, die für den Einsatz in Strahltriebwerken entwickelt wurde. Mittlerweile wurde auch das Potenzial der TNM-Legierung als Turbinenlaufradwerkstoff für Abgasturbolader in der Automobilanwendung getestet. Trotz der enthaltenen zirka 4 Prozent Niob werden bei Verwendung einer solchen Legierung insgesamt deutlich mehr als die Hälfte der kritischen Legierungselemente der derzeit eingesetzten Nickelbasislegierungen substituiert.



1 Gefüge der nahezu lamellaren γ -TiAl-Legierung TNM-B1.



2 Temperaturabhängige Fließgrenze inklusive berechneter Härtungsbeiträge einer nahezu lamellaren γ -TiAl-Legierung TNM-B1.



3 REM-Aufnahmen der Legierung TNM-B1 nach Wärmebehandlungen: vollständig lamellares Gefüge (links); Duplex-Gefüge (rechts).

Gezielt eingestellte Mikrostruktur für Hochtemperaturanwendungen

Bei mehrphasigen TNM-Legierungen kann ein Gefüge mit ausgewogenen mechanischen Eigenschaften nur mittels mehrstufiger Wärmebehandlung eingestellt werden. Die nahezu lamellare Mikrostruktur einer TNM-Legierung ergibt eine akzeptable Bruchdehnung bei Raum- sowie eine ausreichende Kriechfestigkeit bei Anwendungstemperatur. Das entsprechende Gefüge (Abbildung 1) besteht aus Kolonien, die aus α_2/γ -Lamellen und globularen γ und β_0 -Körnern aufgebaut sind. Mit dieser gezielt eingestellten Mikrostruktur werden unter anderem folgende anwendungsrelevante Materialeigenschaften verbunden: Der Lamellenabstand in den α_2/γ -Kolonien ist hauptsächlich für den Kriechwiderstand verantwortlich, während die Koloniegroße, vor allem der Volumenanteil an globularen γ -Körnern, die Duktilität unterhalb der sprödduktilen Übergangstemperatur bestimmt.

Mikrostrukturbasiertes Modell der mechanischen Eigenschaften

Basierend auf den werkstoffmechanischen Modellvorstellungen zur Beschreibung der Festigkeit wurden für diese Legierungs-kategorie Mikrostruktur-Eigenschafts-Beziehungen erarbeitet. Sie gestatten eine Vorhersage der temperaturabhängigen Fließgrenze anhand der Struktur des Materialgefüges. Die Fließgrenze ist die in der Regel konstruktiv wichtigste mechanische Eigenschaft: Sie korreliert mit vielen anderen mechanischen Eigenschaften. Der dem Modell zugrunde liegende Ansatz besagt, dass sich die Fließspannung des Gesamtmaterials aus den Fließspannungen seiner Einzelphasen zusammensetzt, die sich wiederum aus deren Härtungskomponenten berechnen lassen.

Das Modell basiert zum einen auf thermodynamischen Daten zur Phasenbildung und zum anderen auf Literaturdaten, beispielsweise physikalische Konstanten oder Werkstoffdaten der Einzelphasen. Als Eingangsgrößen sind geometrische Mikrostrukturparameter, wie Phasenanteile, Korngrößen und Lamellenabstände, einzusetzen, die auch aus einer metallographischen Untersuchung gewonnen werden können. Zum Management der Werkstoffdaten und zu deren zielgerichteten Auswertung wurde ein Datenbankprototyp aufgebaut, welcher mittels der programmierten Datenauswertungstools unter anderem effiziente Vergleichsmöglichkeiten zwischen unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften bietet. Zur Validierung des Modells dienten sowohl Literaturstellen, in denen zugleich mechanische Eigenschaften und Mikrostrukturparameter bestimmt wurden, als auch eine systematische Versuchsreihe an der Legierung TNM-B1 mit der Zusammensetzung Ti-43,5at.-% Al-4at.-% Nb-1at.-% Mo-0,1at.-% B. Dabei wurden durch gezielte Wärmebehandlungen verschiedenste Mikrostrukturen eingestellt (zwei Extremzustände in Abbildung 3) und anschließend anhand von Zugversuchen die Festigkeitseigenschaften bestimmt. Abbildung 2 zeigt die Fließgrenze sowie die berechneten einzelnen Härtungsbeiträge für einen nahezu lamellaren Zustand.

Neben experimentellen und metallographischen Untersuchungen zum Einfluss von Wärmebehandlungen auf die entstehende Morphologie wurde die Wirkung der chemischen Zusammensetzung auf die Härtungsmechanismen und die damit verbundenen Eigenschaftsänderungen analysiert: Das Modell ist in der Lage, in einem großen γ -TiAl-Legierungsbereich die temperaturabhängige Fließgrenze anhand der Mikrostruktur vorherzusagen.

Dr. Maksim Zapara, Eva Augenstein