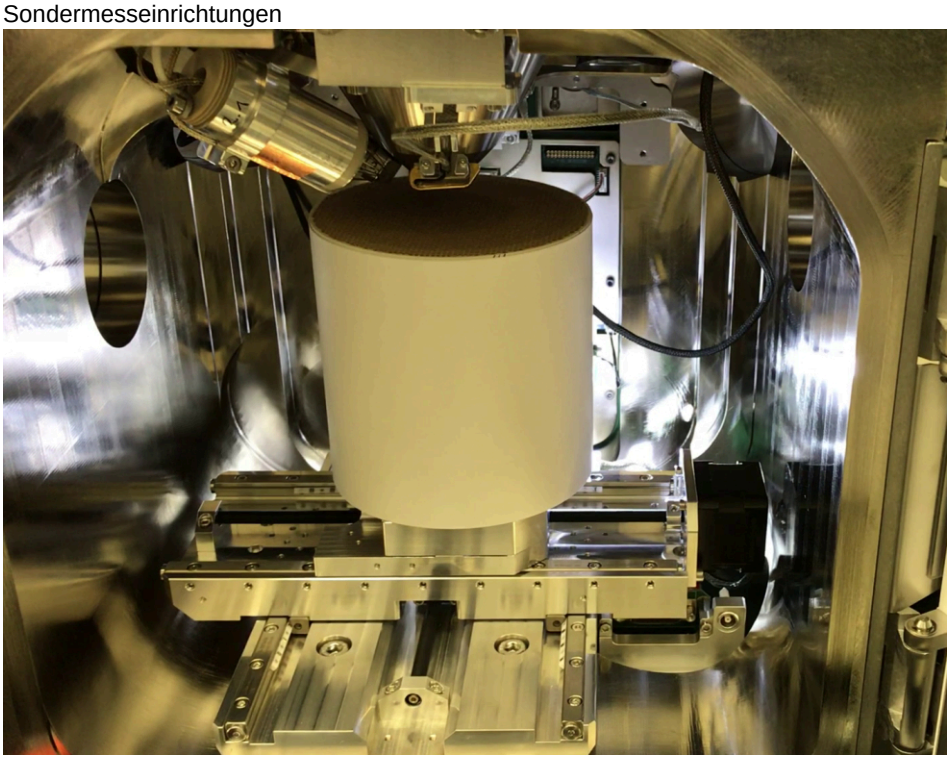
Verbesserte Qualitätssicherung für Luft- und Raumfahrt

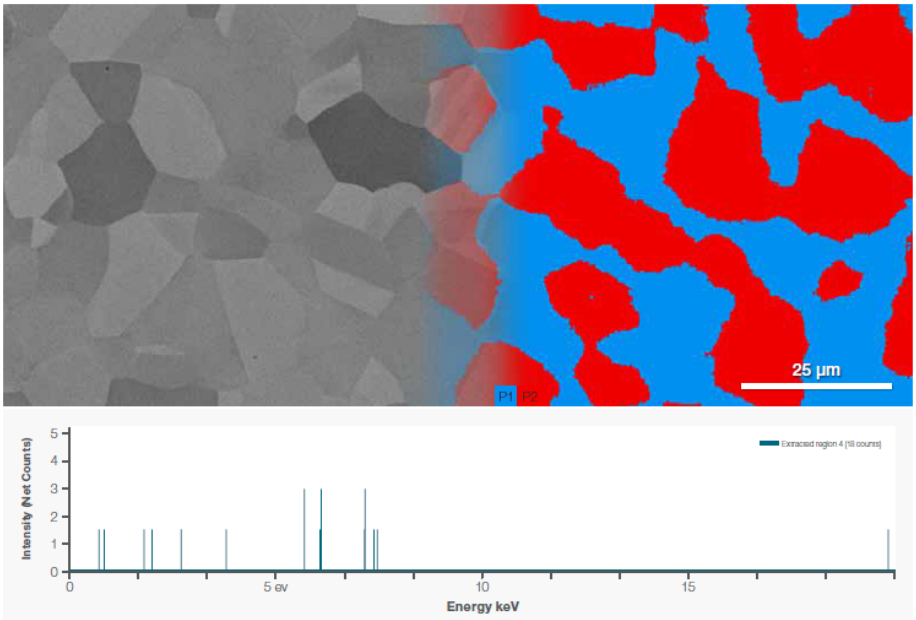
Artikel vom **27. Mai 2025**
Sondermesseinrichtungen



Kombinierte Mikroskopietechniken verbessern das Verständnis von Mikrostrukturen: Mehrskalenanalyse von Al-Li-Legierungen: Auswirkungen des Rührreib-Schweißverfahrens. Bilder: Thermo Fisher Scientific

Aufgrund der Standards, die für die Luft- und Raumfahrtindustrie gelten, können Qualitätsingenieure es sich nicht leisten, potenzielle Mängel oder Schwächen von Bauteilen zu übersehen. Durch die Kombination einer breiten Palette von Bildgebungs- und Analysetechniken können sie die Eigenschaften von Bauteilen wie Aluminium und Nickel vollständig verstehen und somit verbessern. Neben der Prüfung der Produktionsprozesse für Bauteile gewährleistet die

Qualitätssicherung, dass die in der Luft- und Raumfahrt verwendeten Materialien zuverlässig sind und die erforderlichen Standards erfüllen. Für Hersteller von Luftverkehrsprodukten ist der Standard Aero Space 9100 (AS 9100) von besonderer Bedeutung. Um Probleme zu vermeiden, müssen Hersteller in der Luft- und Raumfahrtbranche über ein gründliches Verständnis der mikrostrukturellen Zusammensetzung der verschiedenen Materialien verfügen, die im Rahmen der Produktentwicklung verwendet werden. Zu den wichtigsten Werkstoffen, die Qualitätssicherungsingenieure prüfen müssen, gehören Superlegierungen auf Aluminium- und Nickelbasis. Da die Luft- und Raumfahrtindustrie Materialien mit immer höherer Festigkeit, Robustheit und Korrosionsbeständigkeit benötigt, wird häufig zu Aluminium gegriffen. Das hohe Festigkeits-Gewichts-Verhältnis von Aluminiumlegierungen ermöglicht die Fertigung leichter und dennoch robuster Bauteile, die zu verbesserter Kraftstoffeffizienz beitragen können. Darüber hinaus kann die natürliche Korrosionsbeständigkeit von Aluminium die Lebensdauer von Bauteilen verlängern, die den rauen Umgebungen und variablen atmosphärischen Bedingungen in großen Höhen standhalten müssen.



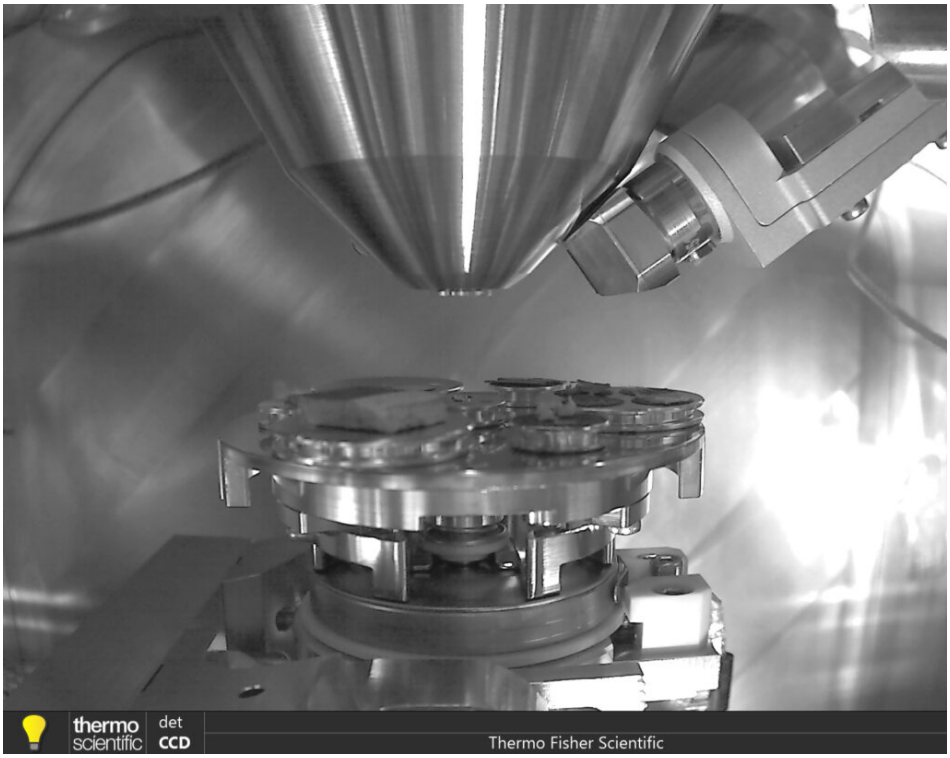
Element	Cr	Mo	Ni	Si	Mn	Fe
Austenite	24	3	8	0.5	1	bal.
Ferrite	27	5	5	0.5	1	bal.

Figure 13. ChemiSEM phase identification in a 2205 duplex steel. Top shows the ferrite (blue) and austenite (red) phases overlaid onto the BSE image. ChemiSEM quantification of each of the phases was calculated from only 30 average counts per pixel, as shown in the extracted point spectrum from the austenite region (bottom).

Die Fertigungsschritte beeinflussen die mechanische Leistung und Konformität eines Teils.

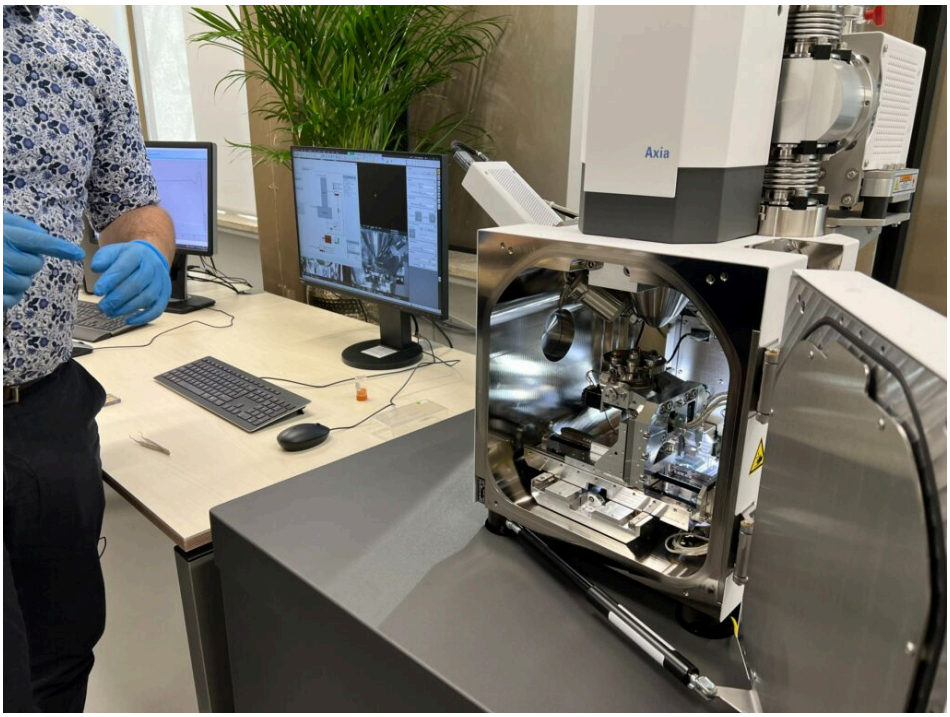
Superlegierungen auf Nickelbasis eignen sich aufgrund ihrer hervorragenden mechanischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen sowie ihrer Korrosions-, Kriech- und Oxidationsbeständigkeit hervorragend für Anwendungen wie Flugzeugmotoren. Die verschiedenen Fertigungsschritte, die Bauteile aus diesen Legierungen durchlaufen müssen, können die mechanische Leistung und Konformität eines Teils dabei sowohl negativ als auch positiv beeinflussen. Außerdem können auch die extremen Temperaturen und rauen Umgebungsbedingungen, denen die Teile ausgesetzt sind, negative Auswirkungen auf ihre mechanischen Eigenschaften haben. Daher ist die Anwendung verschiedener fortschrittlicher Bildgebungstechniken – entweder mit einem einzigen Gerät oder über mehrere verschiedene Lösungen verteilt – wünschenswert um

sicherzustellen, dass solche Faktoren die Sicherheit und Qualität nicht gefährden.
Aluminium-Leichtgewichtung Eine gängige Maßnahme zur Gewichtsreduktion an Flügeln, Rumpf, Leitwerk und Triebwerksgehäusen von Flugzeugen ist die Einführung versteifter Aluminium-Lithium-Platten (Al-Li). Um Hitzerisse in hochfesten Al-Li-Legierungen der Serie 2000 und Aluminium-Zink-Magnesium-Legierungen (Al-Zn-Mg) der Serie 7000 zu vermeiden, ist das Rührreibschweißen eine bevorzugte Verbindungsmethode. Beim Rührreibschweißen wird eine Schweißnaht zwischen Platten durch Rühren von Festmetall erzeugt, anstatt es zu schmelzen. Dies senkt die Verarbeitungstemperatur und verhindert dadurch Sicherheitsprobleme aufgrund von Rissen oder Porosität.



Der Schweißbereich der Legierungen ist oft wesentlich weicher als das Grundmetall.

Leider ist der Schweißbereich der Legierungen dabei jedoch oft wesentlich weicher und er hat eine niedrigere Streckgrenze als das Grundmetall. Die nanoskaligen Veränderungen, die in der Rührzone auftreten, erfordern eine nähere Analyse mit fortschrittlichen Bildgebungstechnologien. Dabei ist es wichtig, verschiedene Techniken miteinander zu kombinieren, um ein gründliches Verständnis dafür zu erhalten, warum das Schweißverfahren die mechanischen Eigenschaften der Legierung reduziert.



Mit Rasterelektronenmikroskopie können die Hauptelemente und die Zusammensetzung intermetallischer Partikel im Grundmetall untersucht werden.

In diesem Fall kann Rasterelektronenmikroskopie (Scanning Electron Microscopy, SEM) eingesetzt werden, um die Hauptelemente und die Zusammensetzung intermetallischer Partikel im Grundmetall, in der Wärmeeinflusszone und in der Schweißnaht dieser Legierungen zu untersuchen. Es ist jedoch nicht einfach, eine Änderung der Partikel mit einer Reduktion der Festigkeit in der Schweißnaht zu verknüpfen. Die Elektronenrückstreubeugung (Electron Backscattered Diffraction Mapping, EBSD) ermöglicht einen tieferen Einblick in die mikroskopische Struktur, so dass Unterschiede in der Korngröße in Grundmetall, Wärmeeinflusszone und Schweißnaht sichtbar werden. Obwohl eine Kornverfeinerung in der Schweißnaht die Festigkeit verbessern würde, könnte der mögliche Verlust von Versetzungen dabei den gegenteiligen Effekt haben. Weitere Untersuchungen mit einem plasma-fokussierten Ionenstrahl-Mikroskop (PFIB) und einem Transmissions-Elektronenmikroskop (TEM) können helfen, die Dichte von Stufen- und Schraubenversetzungen von Grundmetall zu Wärmeeinflusszone zu Schweißnaht aufzudecken. Schließlich helfen chemische Abbildungen über energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDS) und Partikelquantifizierung über Automated Particle Workflow (APW), die Ausfällungen aufzudecken, die für eine erhöhte Festigkeit verantwortlich sind und die durch den Schweißprozesses beeinflusst werden.
Auswirkung von Legierungselementen Es ist zwar wichtig, die Auswirkungen von Schweißverfahren auf Aluminiumkomponenten zu verstehen, aber eine Analyse der Auswirkungen von hinzugefügten Legierungselementen ist für Qualitätssicherungsingenieure ebenfalls von entscheidender Bedeutung. Beispielsweise führt im Fall von AA2024, einer häufig verwendeten Legierung, die für ihr geringes Gewicht und ihre Korrosionsbeständigkeit bekannt ist, der Zusatz von Legierungselementen wie Kupfer, Magnesium oder Mangan zur Bildung von Ausfällungen, deren Art je nach der angewendeten Behandlung unterschiedlich sein wird.



Die Analyse der Auswirkungen von hinzugefügten Legierungselementen ist für Qualitätssicherungsingenieure von entscheidender Bedeutung.

Daher ist es entscheidend, Rohstoffe während des Herstellungsprozesses umfassend zu charakterisieren, um die Zusammensetzung und die mikrostrukturelle Entwicklung der Legierung unter verschiedenen Behandlungen wie Alterung, Härten oder Glühen aufzuzeigen. Die Verwendung einer Lösung wie »Apreo ChemiSEM« von Thermo Fisher Scientific Inc. mit Sitz in Waltham, US-Staat Massachusetts, ermöglicht es, vier Methoden in einem einzigen Mikroskop zu kombinieren – Rasterelektronenmikroskopie (SEM), energiedispersive Spektroskopie (EDS) und Elektronenrückstreubeugung (EBSD). Durch die Kombination dieser Techniken können die Zusammensetzung und die Struktur von Legierungen in einer Detailstufe bildlich gemacht werden, die enorme Vorteile für die Qualitätskontrolle mit sich bringt. REM und EDS bieten eine mikroskalige Charakterisierung mit der »Thermo-ScientificChemiSEM«-Technologie, welche die Zusammensetzungsdaten offenlegt und die Morphologie und Elementarstruktur intermetallischer Partikel aufzeigt, insbesondere Phasen, die reich an Kupfer, Mangan und Magnesium sind. EBSD wird verwendet, um kristallographische Phasen, Kornstruktur, Kornausrichtung und Morphologie abzubilden, um auf diese Weise Korrelationen zwischen Legierungsbehandlung, Korngröße und mechanischen Eigenschaften zu ermitteln. Derartige Details können dann verwendet werden, um die Wärmebehandlungsparameter zu optimieren und die gewünschten mechanischen Eigenschaften sowie die erforderliche Materialleistung zu erzielen. Das »Apreo-ChemiSEM«-System integriert diese Analysen und liefert umfassende Einblicke in Ausfällungen und Phasen, die bei verschiedenen Alterungsbehandlungen entstehen. Dieser kombinierte Ansatz ist für das Verfeinern von Aluminiumlegierungen von großem Wert, besonders wenn es darum geht, die strengen Standards für Luft- und Raumfahrt zu erfüllen. **Extreme Temperaturen** Im Fall von Superlegierungen auf Nickelbasis, die in Flugzeugtriebwerken mit Temperaturen bis zu 2000 Grad Celsius verwendet werden, muss sichergestellt sein, dass sie diesen extremen Bedingungen standhalten können. Die nahtlose Integration von Bildgebung, EDS und Partikelanalyse bietet einen umfassenden Ansatz zur Charakterisierung und Optimierung von Materialien für die Qualitätssicherung. Das hochauflösende SEM bietet einen klaren visuellen Überblick

über die Oberfläche und die inneren Strukturen des Materials, während EDS ermöglicht, die Verteilung von Elementen wie Nickel, Chrom und Aluminium in Superlegierungen abzubilden und Phasenzusammensetzungen zu identifizieren, die für die Legierungsleistung entscheidend sind. Die Partikelanalyse in ChemiSEM verwendet automatisierte Software, um Partikel, wie Karbide und Oxide in einer Legierung zu quantifizieren und zu kategorisieren. Diese Funktion ermöglicht die Messung von Größe, Form und Verteilung der Partikel – wichtige Faktoren, die Materialeigenschaften wie Kriechwiderstand und Korrosionsbeständigkeit beeinflussen. Durch ein detailliertes Verständnis der Eigenschaften dieser Partikel können Qualitätsingenieure Material-behandlungen verfeinern und verbessern, um die Haltbarkeit von Bauteilen zu verbessern. Mikroskopietechniken sind auch zum Charakterisieren von Wärmedämmschichten nützlich, die Schutz und Isolierung für Luft- und Raumfahrtkomponenten in Hochtemperaturanwendungen bieten. Durch die Kombination des »Apreo ChemiSEM« mit Werkzeugen wie dem System »CleanMill Broad Ion Beam (BIB)« können Ingenieure Phasenumwandlungen und Elementverteilungen über Wärmedämmschichten hinweg beobachten, was für den Schutz von Flugzeugkomponenten vor hohen Temperaturen und Oxidation unerlässlich ist. Durch die Integration von SEM-Bildgebung mit EDS und KI-gestützter Analyse bietet das »Apreo ChemiSEM« eine vollständige Charakterisierung solcher Beschichtungen und zeigt auf, wie sich Elemente wie Magnesium und Zirkonium in wiederholten thermischen Zyklen verhalten. Diese Erkenntnisse sind entscheidend wichtig für die Optimierung von Wäremdämmschichten und damit für die Verlängerung der Lebensdauer von Komponenten.

Hersteller aus dieser Kategorie

© 2025 Kuhn Fachverlag