



Dassault Falcon Jet

Bleche aus AA 2024-T3/T351

Einfluss der Korngröße auf Risswachstum und Bruchzähigkeit

Durch Modifikationen der Kornstruktur ist es möglich, die Bruchzähigkeit, das Risswachstum und die Korrosionsbeständigkeit der Reihe 2xxx weiter zu optimieren – insbesondere auch für maximale Sicherheit in der Luftfahrt.

Einleitung

Aluminiumlegierungen der Reihe 2xxx finden wegen ihrer hohen Festigkeit und des geringen Gewichts breite Anwendung in der Luftfahrtindustrie. Kommerzielle Flugzeuge werden bei jedem Flug zyklisch beansprucht, indem die Kabine wiederholt mit Druck beaufschlagt und wieder entlastet wird. Flugzeuge sehen während ihrer Lebenszeit bis zu 100.000 solcher Lastzyklen. Daher ist bei vielen Flugzeugkomponenten der Widerstand gegen Rissbildung unter

statischen und dynamischen Belastungen essentiell. Durch Verbesserung der Eigenschaften Bruchzähigkeit und Risswachstumsgeschwindigkeit ergeben sich viele Vorteile. Kürzlich wurden Untersuchungen von Berneder et. al. zum Einfluss der Korngröße und der Kornform auf die Fehlertoleranzeigenschaften („damage tolerance“) als auch auf die Korrosionseigenschaften von AA2024-T3 veröffentlicht [1]. Im gegenwärtigen Artikel wird der Einfluss der Korngröße auf das Risswachstumsverhalten diskutiert, während die Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion in Abhängigkeit von Korngröße und Kornform in einer Folgeausgabe des AluReport behandelt wird. Alle untersuchten Bleche sind aus derselben Charge mit identer chemischer Zusammensetzung, dargestellt in Tabelle 1. Die

Bleche wurden mit zwei unterschiedlichen Walz- und Wärmebehandlungszyklen produziert.

Die EMC-gegossenen Barren (elektromagnetisches Gießen bei AMAG casting) wurden zu Bändern warmgewalzt und anschließend auf Enddicke 1,6 mm kaltgewalzt. Zustand „A“ Material wurde knapp unterhalb von 500°C auf einem kontinuierlichen Banddurchzugsofen (BDZ) mit einer Haltezeit von einigen Minuten lösungsgeglüht und anschließend mit kaltem Wasser auf Raumtemperatur abgeschreckt. Zustand „B“ Material wurde zusätzlich nach dem Kaltwalzen bei einer Temperatur zwischen 300 und 400°C für 2-5h in einem Bundofen geglüht. Nach dieser Zwischenglühlung wurde das Material identisch zu Zustand „A“ Material am BDZ lösungsgeglüht.

Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
min. AA 2024	-	-	3.80	0.30	1.20
max. AA 2024	0.50	0.50	4.90	0.90	1.80
Aktuell	0.08	0.11	4.32	0.44	1.43

Tab. 1: Aktuelle chemische Zusammensetzung des untersuchten Materials in Gewichtsprozent und die AA2024 Grenzwerte

Korngröße und Kornform

Eine dreidimensionale Darstellung der unterschiedlichen Korngröße und Kornform von Zustand „A“ und „B“ Material ist in Abbildung 1 gezeigt. Zustand „A“ Material hat ein feinkörniges und globulitisches Gefüge, während Zustand „B“ Material eine



grobe und in Walzrichtung (L) gestreckte Kornstruktur aufweist.

Die Korngröße von beiden Zuständen „A“ und „B“ wurde in Richtung L, T und S gemessen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Zustand	Korngröße [µm]			Streckungsverhältnis L/S
	L	T	S	
„A“	19	18	12	1.6
„B“	55	38	20	2.8

Tab. 2: Mittlere Korngröße von Zustand „A“ und „B“ in L, T und S Richtung und das entsprechende Streckungsverhältnis

Risswachstum

Die Ergebnisse der dynamischen Prüfung sind in Abbildung 2 dargestellt.

Die vorgekerbte Probe zur Bestimmung der Risswachstumsgeschwindigkeit wird einer zyklischen Belastung ausgesetzt. Die Risswachstumsgeschwindigkeit (da/dN) kann für eine bestimmte Schrittweite der Rissverlängerung ausgedrückt werden durch Dividieren der Änderung in der Risslänge (da) und durch die Anzahl der Lastzyklen (dN).

Beide Varianten zeigen allgemein ein zufriedenstellendes Risswachstumsverhalten, welches das Material geeignet für Außenhautqualität in Luftfahrtanwendungen macht. Dennoch ist die Risswachstumsgeschwindigkeit im grobkörnigen Zustand „B“ geringer als im feinkörnigen Zustand „A“. Zusätzlich zeigt der Zustand „B“ eine vergleichbare Risswachstumsgeschwindigkeit in T-L- und L-T-Richtung und ist daher isotroper im Risswachstumsverhalten als Zustand „A“. Damit ist in Bezug auf das Risswachstum der Zustand „B“ vorzuziehen.

Bei der Interpretation dieses Verhaltens müssen zwei Tatsachen bedacht werden:
 1) Die Verringerung der Risswachstumsgeschwindigkeit kann nicht auf Unterschiede in der Bruchzähigkeit zurückgeführt werden, da beide Zustände ähnliche K_c -Werte aufweisen, wie in Tabelle 3 ersichtlich ist.

2) Die Korngrenzausscheidungen spielen vermutlich eine untergeordnete Rolle, da sie in beiden Zuständen in vergleichbarer Größe und Dichte vorliegen [1].

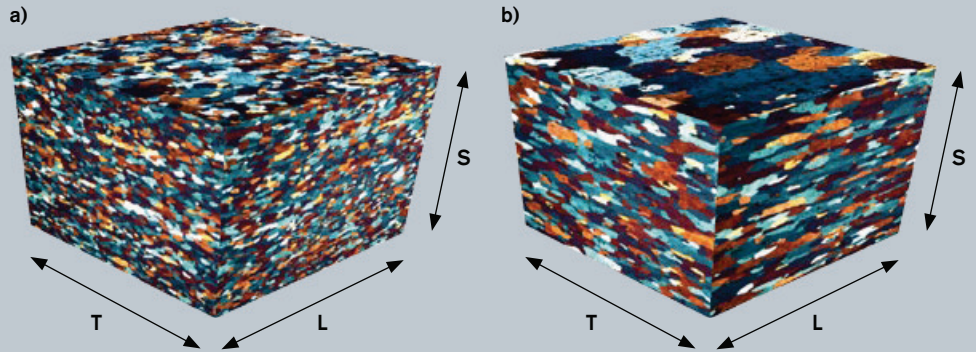


Abb. 1: (a) Dreidimensionale Darstellung der Kornstruktur von Zustand „A“ (feinkörnig, globulitisch); (b) Zustand „B“ (grobkörnig, in Walzrichtung gestreckt)

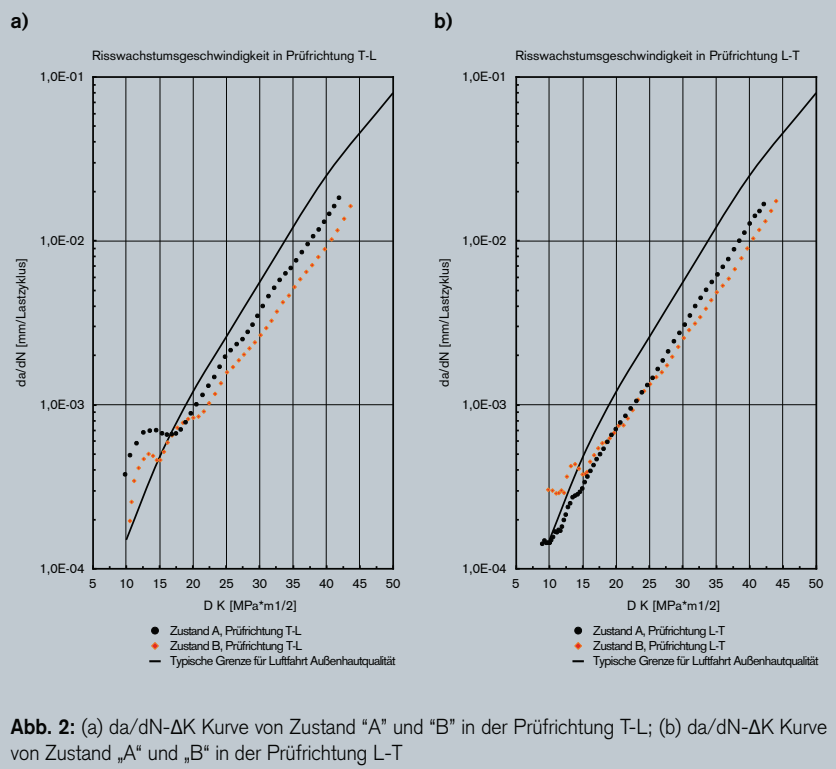


Abb. 2: (a) da/dN-ΔK Kurve von Zustand „A“ und „B“ in der Prüfrichtung T-L; (b) da/dN-ΔK Kurve von Zustand „A“ und „B“ in der Prüfrichtung L-T

	„A“ [MPa√m]	„B“ [MPa√m]
K_c	155.8	156.4
K_{app}	98.7	99.4

Tab. 3: Bruchzähigkeit K_c und scheinbare Bruchzähigkeit K_{app} der Zustände „A“ und „B“

Zusammenfassung und Ausblick

Die AMAG Legierungen der Reihe 2xxx finden breite Anwendung in der Luftfahrtindustrie, bei der Herstellung von Sportartikeln und überall dort, wo hohe Festigkeit bei niedrigem spezifischem Gewicht gefordert ist. AMAG deckt bei den Legierungen der Reihe 2xxx alle gängigen Legierungsvarianten (2024, 2014, 2017 und 2219) und Wärmebehandlungszustände ab. Alle AMAG 2xxx Produkte profitieren von den neuen Erkenntnissen aus der AMAG For-

schung. Mittels Modifikationen der Kornstruktur können die dynamischen Eigenschaften Bruchzähigkeit und Risswachstum von AMAG Werkstoffen der Reihe 2xxx bei einer gleichzeitigen deutlichen Verbesserung der allgemeinen Korrosionsbeständigkeit weiter optimiert werden. Insbesondere der Widerstand gegen lokalen Korrosionsangriff wie interkristalline Korrosion kann durch diese Maßnahmen signifikant gesteigert werden und trägt damit zu einer erhöhten Betriebssicherheit in der Anwendung bei.

Literaturverzeichnis

[1] J. Berneder, R. Rachlitz, C. Melzer, H. Antrekowitsch, P.J. Uggowitzer: „Influence of the grain size on the IGC, crack propagation and fracture toughness behavior of AA2024-T3 sheet material“, Proceedings TMS 2010, Seattle, USA