

# Weiterentwickelte AMAG AA6061 für

In früheren Untersuchungen [1-4] wurde für die Legierung AA6061 gezeigt, dass sich eine Kaltauslagerung bei Raumtemperatur negativ auf das Warmauslagerungsverhalten auswirkt. Eine entsprechende Vorauslagerung bei erhöhten Temperaturen unmittelbar nach dem Lösungsglühen bewirkt eine Verringerung der negativen Auswirkungen auf die Warmauslagerungskinetik. Der auf diese Weise erreichte Zustand T4\* zeigt ein verbessertes Auslagerungsverhalten sowie wesentlich höhere mechanische Kennwerte nach der Warmauslagerung im Zustand T6\*. In der vorliegenden Arbeit werden die Auswirkungen einer Vorauslagerung für die Legierung AA6061 im warmausgelagerten Zustand T6\* gegenüber Blechen, die ohne diesen zusätzlichen Wärmebehandlungszyklus nach dem Lösungsglühen gefertigt wurden, dargestellt. Beide Werkstoffe wurden entsprechend den für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt-

industrie typischen Prüfanforderungen charakterisiert. Alle untersuchten Werkstoffe wurden aus derselben Schmelze hergestellt, deren chemische Zusammensetzung innerhalb der Toleranzgrenzen von AA6061 lag.

## Ergebnisse

Die deutlich höhere Festigkeit der Legierung 6061-T6\* gegenüber der handelsüblichen Legierung 6061-T6 ergibt sich aus der unmittelbar nach dem Lösungsglühen stattfindenden Vorauslagerung, die in einem begrenzten Zeitraum nach dem Abkühlen erfolgen muss [2, 3]. Sowohl die Zugfestigkeit als auch die Dehngrenze der vorausgelagerten Legierung 6061-T6\* übertrifft die A- und B-Werte laut MMPDS-04 Handbuch [5] für AA6061-T6 Bleche deutlich, sodass bei Verwendung dieses verbesserten Werkstoffs die A- und B-Werte für künftige Anwendungen in der Luftfahrt erhöht werden könnten (siehe Abb. 1).

## Risswachstum

Die Ergebnisse der dynamischen Prüfung sind in Abb. 2 dargestellt. Beide AA6061 Wärmebehandlungsvarianten ergaben im Allgemeinen eine zufriedenstellende Risswachstumsgeschwindigkeit, die auch den Anforderungen der in der Luftfahrtindustrie am häufigsten für Außenhautqualität eingesetzten Legierung AA2024-T3 entspricht. Zusätzlich zur höheren Festigkeit der vorausgelagerten Legierung 6061-T6\* ist die Risswachstumsgeschwindigkeit geringer und daher besser als bei der handelsüblichen Legierung 6061-T6.

Die Ergebnisse der Bruchzähigkeitsprüfung sind in Tabelle 1 angeführt. Die höherfeste vorausgelagerte Legierung 6061-T6\* weist im Vergleich zur handelsüblichen Legierung 6061-T6 höhere Werte für  $K_C$  und  $K_{app}$  auf, jedoch etwas niedrigere Werte im Vergleich zu AA2024-T3.

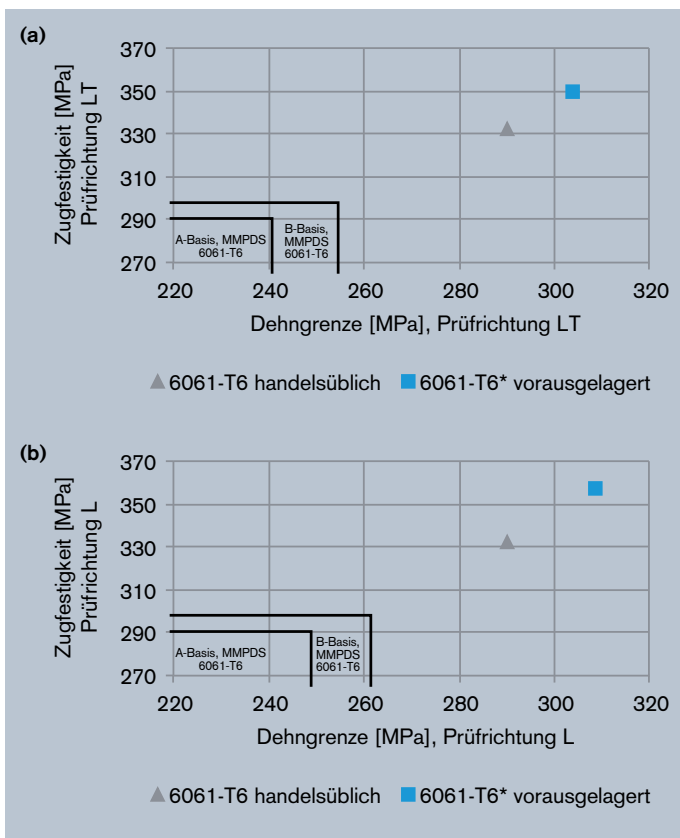


Abb. 1: Mechanische Kennwerte der handelsüblichen Legierung 6061-T6 und der vorausgelagerten Legierung 6061-T6\* verglichen mit den A- und B-Werten gemäß MMPDS-04 [5], Prüfrichtung (a) LT und (b) L

A-Basis: Mindestens 99 % der Messwerte sind mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % gleich oder größer als der entsprechende A-Wert.  
B-Basis: Mindestens 90 % der Messwerte sind mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % gleich oder größer als der entsprechende B-Wert.

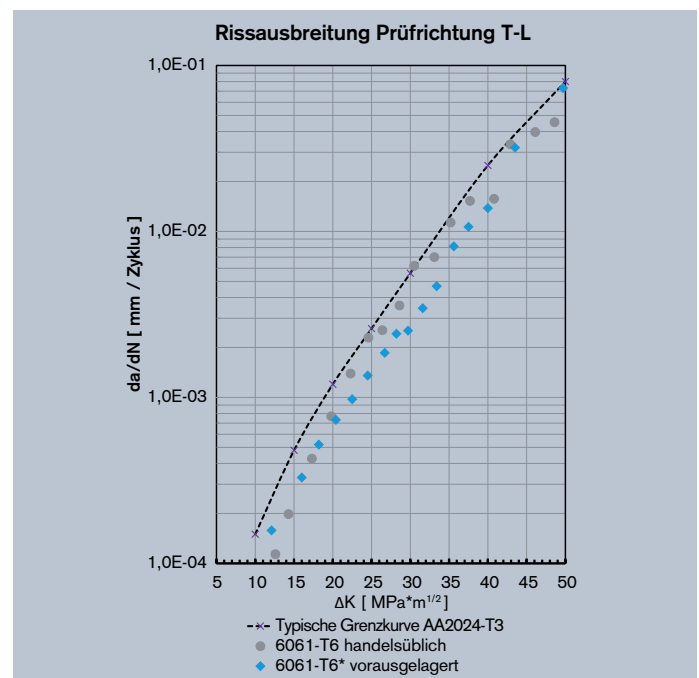


Abb. 2: Rissausbreitung der handelsüblichen Legierung 6061-T6 und der vorausgelagerten Legierung 6061-T6\*, verglichen mit der typischen Grenzkurve der gängigsten Legierung für Luftfahrt Außenhautqualität AA2024-T3, Prüfrichtung LT und L (Prüfung nach ASTM E647 mit einer 400 mm breiten mittig gekerbten Probe und einem Spannungsverhältnis  $R = 0.1$ )

		6061-T6 handelsüblich	6061-T6* vorausgelagert	AA2024-T3 typisch
$K_C$	[MPa m <sup>1/2</sup> ]	134	138	156
$K_{app}$	[MPa m <sup>1/2</sup> ]	84	85	99

Tabelle 1: Bruchzähigkeit  $K_C$  und scheinbare Bruchzähigkeit  $K_{app}$  der handelsüblichen Legierung 6061-T6 und der vorausgelagerten Legierung 6061-T6\*

# Anwendungen in der Luftfahrt

## Diskussion

Die höheren Festigkeitseigenschaften im vollausgehärteten Zustand T6\* gehen mit höheren Bruchzähigkeitswerten sowie einer geringeren Risswachstumsgeschwindigkeit einher, jedoch ohne negative Auswirkungen auf die Korrosionsbeständigkeit [1]. Es wird davon ausgegangen, dass die bei der Vorauslagerung entstehenden Co-Cluster die kritische Größe überschreiten und daher als Keime für  $\beta''$ -Ausscheidungen wirken, was zu einer erhöhten Teilchendichte dieser Härtingsphasen im Gefüge führt [1, 4]. Mit einer optimierten thermomechanischen Behandlung nach dem Lösungsglühen kann sogar eine weitere Erhöhung

der Festigkeitseigenschaften erzielt werden, was bei der Legierung AMAG Advanced AA6061-T6\* der Fall ist (Abb. 3).

Zusätzlich hat die in der chemischen Zusammensetzung optimierte Legierung AMAG Advanced AA6061-T6\* eine um 3,2 % verringerte Dichte im Vergleich zur Luftfahrtstandardlegierung AA2024-T3 (Abb. 4). Mit einem Wert von 2,69 kg/dm<sup>3</sup> ist die Dichte der Legierung AMAG Advanced AA6061-T6\* mit der von Aluminium-Lithium-Legierungen der 3. Generation vergleichbar (z. B. gleich wie AA2198).

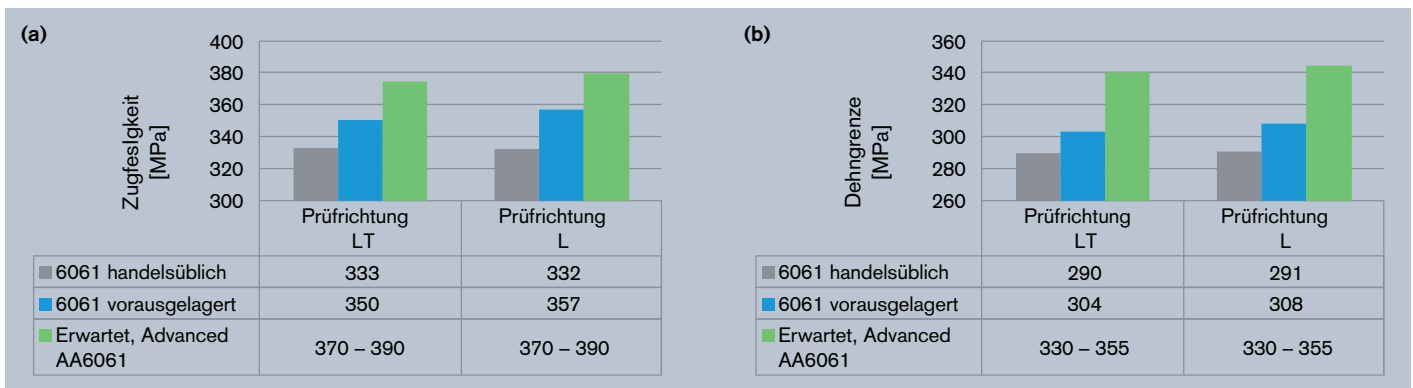


Abb. 3: (a) Zugfestigkeit und (b) Dehngrenze der handelsüblichen Legierung 6061-T6 und der vorausgelagerten Legierung 6061-T6\* im Vergleich zu den erwarteten Werten für AMAG Advanced AA6061-T6\*, Prüfrichtung LT und L. Die genannten Erwartungswerte für AMAG Advanced AA6061 beruhen auf Laboruntersuchungen und wurden noch nicht im großtechnischen Maßstab bestätigt

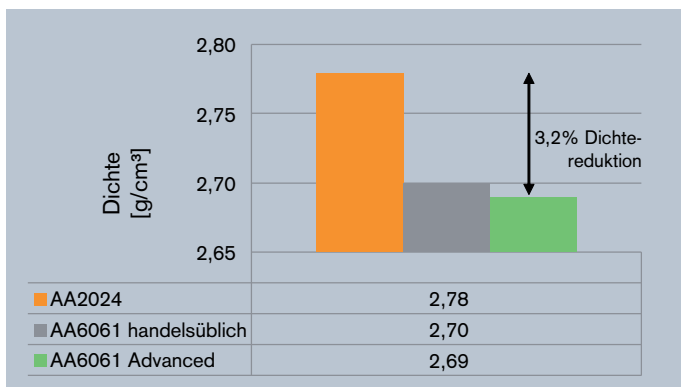


Abb. 4: Dichte der Luftfahrt Standard-Legierung AA2024-T3 im Vergleich zu AA6061 und AMAG Advanced AA6061

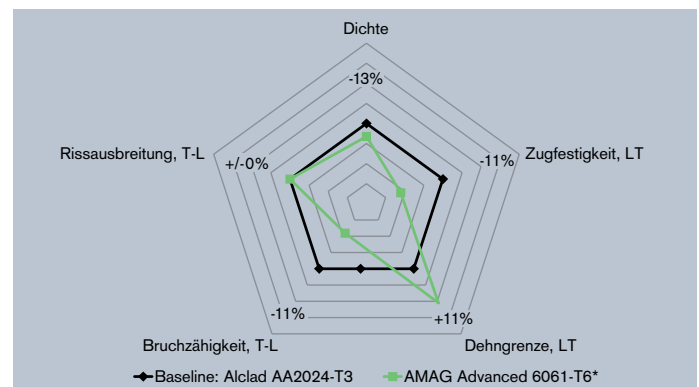


Abb. 5: Vergleich typischer Kennwerte von Alclad 2024-T3 mit AMAG Advanced 6061-T6\*

## Kundennutzen

Die Legierung AMAG Advanced AA6061-T6\* wurde hinsichtlich hoher statischer Festigkeit optimiert und weist mechanische Kennwerte auf, die mit denen von verschiedenen Aluminiumlegierungen der Reihe 2xxx vergleichbar sind, jedoch bei besserer Korrosionsbeständigkeit. Daher ist ein plattierter Werkstoff, der die erzielbaren mechanischen Werte verschlechtert, nicht notwendig. Mit AMAG Advanced AA6061-T6\* werden mechanische Werte erzielt, welche selbst mit Alclad 2024-T3 vergleichbar sind (siehe Abb. 5). Durch zusätzliche Wärmebehandlungsanlagen, die bereits in die bestehende Fertigungslinie integriert sind, ist für den vorgestellten Blechwerkstoff aus Advanced AA6061-T6\* eine Serienfertigung in Dicken bis zu 6,35 mm (0,250 in) möglich. Die Legierung hat eine ähnliche Dichte wie manche ALi-Legierungen, ist jedoch zu einem geringeren Preis verfügbar und ebenso mit global bestehender konventioneller Technologie rezyklierbar.

### Literaturverzeichnis:

- [1] J. Berneder, R. Prillhofer, P. Schulz, C. Melzer: "Characterization of pre-aged AA6061-T6 sheet material for aerospace applications", 13th International Conference on Aluminium Alloys (ICAA13), TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), pp. 1797-1802, 2012. [2] C. Zelger, J. Schnitzlbaumer, R. Prillhofer, J. Enser, C. Melzer: "Optimized Heat treatment sequences for AA6061\*", Supplemental Proceedings, Volume 1, Materials Processing and Properties, TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 2010. [3] C. Zelger, P. Oberhauser, C. Melzer, P. Schulz: "Advanced 6xxx alloys for electronic applications", Proceedings of EMC 2009, pp. 1419-1425, 2009. [4] J. Berneder, R. Prillhofer, J. Enser, P. Schulz and C. Melzer: Study of the artificial aging kinetics of different AA6013-T4 heat treatment conditions, Supplemental Proceedings: Volume 2: Materials Fabrication, Properties, Characterization and Modeling, TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), pp 321-328, 2011. [5] MMPDS-04: Metallic Materials Properties Development and Standardization (MMPDS), Battelle Memorial Institute, 2004