

AMAG Prüfkompetenz bei Luftfahrtplatten

Im neu eingerichteten Prüflabor wird Luftfahrtmaterial auf Herz und Nieren geprüft.

Bis vor wenigen Jahrzehnten wurden Bauteile, Maschinen und Anlagen ausschließlich mit den Methoden der klassischen Festigkeitsberechnung ausgelegt. Dabei musste die im Bauteil wirkende zulässige Spannung kleiner als der entsprechende Werkstoffkennwert sein (Festigkeit R_m und Dehngrenze $R_{p0,2}$ bei statischer Beanspruchung, oder die Dauerfestigkeit S_D bei zyklischer Beanspruchung). Es wurde vorausgesetzt, dass in der berechneten Lebensdauer kein Bauteilversagen auftritt (safe-life). Nach Ablauf dieses Zeitraums wurde das Bauteil ersetzt, unabhängig davon, ob es Schäden aufwies oder nicht.

Verschiedene spektakuläre Schadensfälle mit katastrophalen Folgen, wie die Dampfkesselexplosionen im 19. Jahrhundert, das zum Teil vollständige Auseinanderbrechen der amerikanischen Liberty-Schiffe in den Jahren 1942 bis 1948 sowie die Abstürze der Comet-Flugzeuge 1953 und 1954 zeigten die Grenzen dieses Konstruktionsprinzips auf. Heute werden Strukturteile von Flugzeugen nach dem Damage-Tolerance-Prinzip konstruiert. Dabei wird angenommen, dass in technischen Werkstoffen und Bauteilen immer kleine Fehlstellen existie-

ren, die zur Entstehung von Rissen führen können. Im Gegensatz zu einer glatten fehlerfreien Oberfläche, wo die Rissinitiation den größten Teil der Lebensdauer einnimmt, wird bei einem realen Bauteil die Lebensdauer hauptsächlich durch die Rissausbreitung bestimmt. Das Wachstum dieser Risse muss aber durch entsprechende zerstörungsfreie Prüfmethoden überwacht werden und darf nicht zum instabilen Risswachstum und damit zum kompletten Bauteilversagen führen.

Eine quantitative Beschreibung der Werkstoffschädigung durch Rissbildung und -ausbreitung ermöglicht die technische Bruchmechanik. Sie ist eine fachübergreifende Wissenschaft zwischen technischer Mechanik und Werkstofftechnik und geht grundsätzlich von der Existenz von Rissen in Bauteilen und Strukturen aus. Die Grundlage bilden Betrachtungen der lokalen Beanspruchungen an der Rissspitze, der Spannungsintensität K . Analog zur klassischen Festigkeitsberechnung muss die im Bauteil an der Rissspitze auftretende Spannungsintensität kleiner sein als der Werkstoffkennwert, die Bruchzähigkeit K_{Ic} [1,2].

Die Umsetzung des Damage-Tolerance-Konzeptes führt zu niedrigerem Bauteilgewicht bei geringeren Wartungskosten. Es setzt aber auf der einen Seite ein fun-

Compact-Tension (CT) – Probe nach dem Bruch

diertes Wissen in Konstruktion und Beanspruchungsanalyse voraus. Auf der anderen Seite sind Werkstoffe mit definierten bruchmechanischen Eigenschaften unter statischer und zyklischer Beanspruchung gefordert.

AMAG rolling ist ein zugelassener Lieferant für die wichtigsten Flugzeughersteller für alle derzeit bedeutsamen Legierungen wie 2024, 6061, 7075, 7050 und 7475. Deshalb hat die Einstellung und Sicherung der Eigenschaften Bruchzähigkeit und Festigkeit einen besonderen Stellenwert im gesamten Produktionsablauf. Porenarmut und niedriges Einschlussniveau sind von großer Bedeutung (siehe dazu Beitrag über Einschlüsse in diesem AluReport auf Seite 8). An der Ultraschallanlage werden die Platten auf innere Fehler untersucht (Abb. 1). Mittels Leitfähigkeitsmessung wird die Materialhomogenität überprüft (Abb. 2).

Mithilfe der phased-array-Technologie können auch sehr kleine innere Fehler (ca. 0,8 mm Vergleichsfehlergröße) sichtbar gemacht werden. Nur Platten mit kleinen Fehleranzeigen (Klasse A) gemäß AMS 2154 / ASTM B 594 werden akzeptiert und zur weiteren Bearbeitung freigegeben. Um die erwähnten bruchmechanischen Kennwerte unter statischer und zyklischer Beanspruchung ermitteln zu können, wur-





Abb. 1: Ultraschallprüfanlage



Abb. 2: Leitfähigkeitsprüfanlage

de in ein eigenes Prüflabor zur Bestimmung von bruchmechanischen Kennwerten investiert. Zwei servohydraulische Prüfmaschinen mit einer maximalen Last von bis zu 250 kN und eine Resonanzprüfmaschine erlauben die Durchführung aller notwendigen Prüfungen.

Die Bestimmung der statischen Bruchzähigkeit ist Bestandteil der Freigabepfung

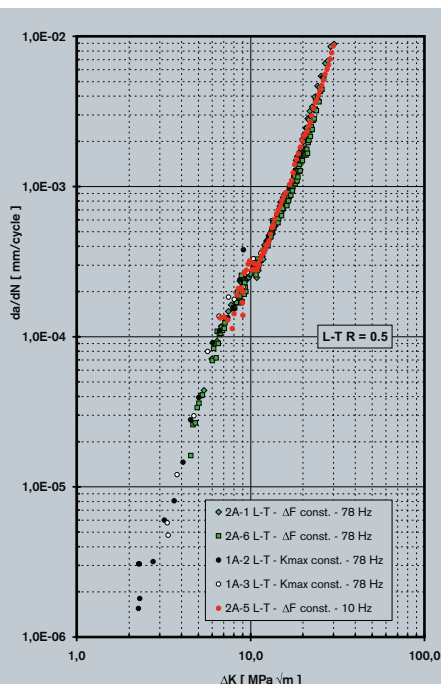


Abb. 4: Typische Risswachstumskurve von 7075-T7351 Platten

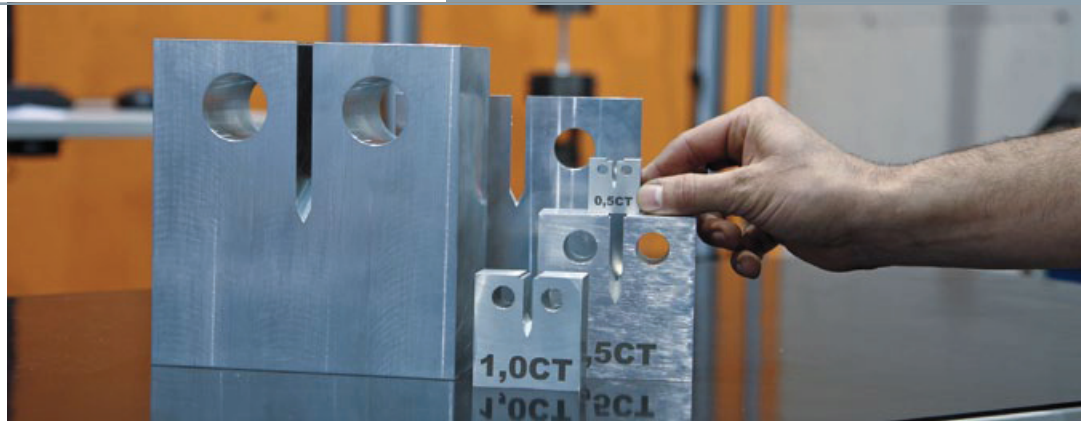


Abb. 3: unterschiedliche Größen der CT-Proben

jedes Fertigungsloses von Luftfahrtplatten. In Abhängigkeit von der Plattendicke werden Compact-Tension-Proben mit einer Breite von 12,5 mm (0,5 inch) bis zu 75 mm (3,0 inch) geprüft (Abb. 3).

Auch die Messung der Risswachstumsgeschwindigkeit (da/dN) in Abhängigkeit von der zyklischen Spannungsintensität (ΔK) kann auf diesen Maschinen durchgeführt werden. Diese Messungen sind Bestandteil jeder Materialqualifikation bei jedem Flugzeughersteller. Auch nach der Zulassung müssen sie in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden, um die Gleichmäßigkeit dieser Werkstoffeigenschaft während der Serienproduktion nachzuweisen. Ein typisches Ergebnis für Platten der Legierung 7075-T7351 zeigt Abbildung 4.

Die Dauer und die Kosten eines solchen Versuches werden signifikant durch die Prüffrequenz beeinflusst. Einige Materialspezifikationen schreiben Prüffrequenzen von maximal 10 Hz (Hertz) vor. Mit modernen Resonanzprüfmaschinen sind heute problemlos 100 Hz erreichbar. Die relevante Prüfspezifikation ASTM E 647 enthält keine Hinweise, die eine Einschränkung auf 10 Hz begründet. Bei AMAG rolling wurden deshalb systematische Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Prüfmethode mit unterschiedlichen Prüffrequenzen durchgeführt [3]. Bei allen untersuchten R-Werten und Probenlagen konnte kein signifikanter Einfluss der Prüffrequenz (getestet wurden 10 Hz und 78 Hz) auf die Risswachstumsgeschwindigkeit nachgewiesen werden (Abb. 4).

Eine andere Qualitätsprüfung für Luftfahrtplatten für zyklisch hochbeanspruchte Bauteile ist die „smooth bar fatigue“-Prüfung. Ziel dieser Prüfung ist das Auffinden von centre line porosity (kleinen Poren mit ca. 50 bis 250 μm Größe) in der Plattenmitte (halbe Breite und halbe Dicke), um nachzuweisen, dass das Material frei von inneren Fehlstellen/Kerben ist, die später als

Rissstarter wirken könnten. Die Probe wird längs geschliffen, um alle Oberflächeneinflüsse auszuschließen und um wirklich nur den Werkstoff auf innere Fehler zu prüfen. Die Prüfung gilt als bestanden, wenn die Probe eine definierte Lastspielzahl bei einer vorgegebenen Belastung erreicht.

Weiterhin werden zum Nachweis der Leistungsfähigkeit der Luftfahrtwerkstoffe unter Ermüdungsbeanspruchung Wöhlerkurven an „open hole“- und „double open hole“-Proben erstellt. Beide Proben sollen das Werkstoff- und Bauteilverhalten unter zyklischer Belastung an Nietlöchern simulieren.

Auch bei diesen beiden Versuchen hat die Prüffrequenz einen erheblichen Einfluss auf die Prüfkosten und den Durchsatz. In Ringversuchen mit externen Labors und Universitäten konnte nachgewiesen werden, dass Prüffrequenzen bis zu 80 Hz keinen Einfluss auf die Ergebnisse haben.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Prüflabor von AMAG rolling in der Lage ist, alle von der Luftfahrtindustrie geforderten Prüfungen spezifikationsgerecht durchzuführen. In verschiedenen Forschungsprojekten in Zusammenarbeit mit Universitäten konnte die Leistungsfähigkeit auf dem Gebiet der Bruchmechanik unter Beweis gestellt werden. AMAG rolling verfügt somit über die notwendige Kompetenz und Erfahrung für die Durchführung und Interpretation von Standardprüfungen, aber auch für neue kundenspezifische Anforderungen. ■

Literaturverzeichnis

- [1] H. Blumenauer; G. Pusch: Technische Bruchmechanik. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig – Stuttgart, 1982.
- [2] H. A. Richard; M. Sandner: Ermüdungsrisse – Erkennen, sicher beurteilen, vermeiden. Vieweg + Teubner, 2009.
- [3] C. Henkel; T. Mottitschka; S. Henkel; M. Hättasch: Influence of test method, frequency and stress ratio on cyclic crack propagation behaviour of 7075-T7351 alloy for aircraft applications. 18th European Conference on Fracture, August, 30 – September, 03 2010, proceeding #723.