

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit
und Systemzuverlässigkeit LBF

Schriftenreihe
LBF-Berichte

FB-252

Kathrin Bauer-Troßmann

Einfluss des Korrosionsverhaltens von Aluminium- legierungen auf das Korrosionsermüdungsverhalten im Einstufen- und Betriebslastenversuch

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Grundlagen und Stand der Technik | 4 |
| 2.1 | Stand der Technik zum Betriebsfestigkeitsnachweis für Aluminiumsicherheitsbauteile | 4 |
| 2.1.1 | Berücksichtigung des Korrosionseinflusses | 5 |
| 2.1.1.1 | Abbildung des Korrosionseinflusses durch eine Erhöhung der mechanischen Beanspruchung oder Anzahl der Teilfolgendurchläufe im Ermüdungsversuch an Luft | 7 |
| 2.1.1.2 | Durchführung eines Korrosionsermüdungsversuchs | 7 |
| 2.1.2 | Variation der korrosiven Belastungsparameter | 8 |
| 2.1.2.1 | Medienzusammensetzung | 8 |
| 2.1.2.2 | Medienbeaufschlagung | 9 |
| 2.1.2.3 | Vorkorrosion | 11 |
| 2.1.3 | Variation der mechanischen Belastungsparameter | 16 |
| 2.1.3.1 | Prüffrequenz | 16 |
| 2.1.3.2 | Signalform | 19 |
| 2.1.3.3 | Dehnrate | 21 |
| 2.1.3.4 | Beanspruchungshöhe | 23 |
| 2.1.3.5 | Variable Amplitudenbelastung (Gaßnersversuch) | 26 |
| 2.1.4 | Wechselwirkungen zwischen mechanischer Beanspruchung und Korrosion in den Stadien von Rissinitiierung und Risswachstum | 29 |
| 2.2 | Fazit zum Stand der Technik für den Betriebsfestigkeitsnachweis an Aluminiumbauteilen | 36 |
| 3 | Untersuchte Werkstoffe und Probengeometrien | 38 |
| 3.1 | Legierungszusammensetzung und Wärmebehandlung | 38 |
| 3.1.1 | Naturharte Knetlegierung EN AW-5018 (AlMg _{3,5} Mn) | 38 |
| 3.1.2 | Ausscheidungshärtbare Knetlegierungen EN AW-6082 (AlSi ₁ MgMn) und EN AW-6110A (AlSi ₁ MgMnCuCrZr) | 40 |
| 3.1.3 | Gusslegierung EN AC-42100 (AlSi ₇ Mg _{0,3}) | 43 |
| 3.2 | Probengeometrien, Probenfertigung und -präparation | 46 |
| 3.2.1 | Naturharte Knetlegierung EN AW-5018 (AlMg _{3,5} Mn) | 46 |
| 3.2.2 | Ausscheidungshärtbare Knetlegierungen EN AW-6082 (AlSi ₁ MgMn) und EN AW-6110A (AlSi ₁ MgMnCuCrZr) | 47 |
| 3.2.3 | Gusslegierung EN AC-42100 (AlSi ₇ Mg _{0,3}) | 49 |
| 4 | Experimentelle Methoden | 51 |
| 4.1 | Korrosive Charakterisierung | 51 |
| 4.1.1 | Naturharte Knetlegierung EN AW-5018 (AlMg _{3,5} Mn) | 51 |
| 4.1.2 | Ausscheidungshärtbare Knetlegierungen EN AW-6082 (AlSi ₁ MgMn) und EN AW-6110A (AlSi ₁ MgMnCuCrZr) | 51 |
| 4.1.3 | Gusslegierung EN AC-42100 (AlSi ₇ Mg _{0,3}) | 52 |
| 4.1.4 | Legierungsgruppenübergreifend anwendbarer MPA IK-Test | 52 |
| 4.2 | Mechanische Werkstoffprüfung | 53 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 4.2.1 | Zugversuch | 53 |
| 4.2.2 | Schwingfestigkeitsversuche | 53 |
| 4.2.2.1 | Versuchsaufbauten | 53 |
| 4.2.2.1.1 | Ermüdungsprüfung an Luft..... | 54 |
| 4.2.2.1.2 | Ermüdungsprüfung unter korrosiver Beanspruchung | 57 |
| 4.2.2.2 | Korrosionselektrolyte für Schwingungsrissskorrosionsversuche | 59 |
| 4.2.2.2.1 | 5%ige Natriumchloridlösung | 59 |
| 4.2.2.2.2 | MPA CF-Lösung | 59 |
| 4.2.2.2.3 | 0,1%ige Natriumchloridlösung | 60 |
| 4.2.2.3 | Versuchsbedingungen | 60 |
| 4.2.2.3.1 | Einstufenversuche..... | 61 |
| 4.2.2.3.2 | Versuche mit variablen Amplituden..... | 63 |
| 5 | Ergebnisse | 74 |
| 5.1 | Korrosive Charakterisierung | 74 |
| 5.1.1 | Naturharte Knetlegierung EN AW-5018 (AlMg3,5Mn) | 74 |
| 5.1.2 | Ausscheidungshärtbare Knetlegierungen EN AW-6082 (AlSi1MgMn) und EN AW-6110A (AlSi1MgMnCuCrZr) | 75 |
| 5.1.3 | Gusslegierung EN AC-42100 (AlSi7Mg0,3) | 76 |
| 5.1.4 | Legierungsgruppenübergreifend anwendbarer MPA IK-Test..... | 77 |
| 5.2 | Zugversuche | 80 |
| 5.3 | Einstufen- und Gaßnersversuche..... | 81 |
| 5.3.1 | Naturharte Knetlegierung EN AW-5018 (AlMg3,5Mn) | 82 |
| 5.3.2 | Ausscheidungshärtbare Knetlegierungen EN AW-6082 (AlSi1MgMn) und EN AW-6110A (AlSi1MgMnCuCrZr) | 85 |
| 5.3.3 | Gusslegierung EN AC-42100 (AlSi7Mg0,3) | 89 |
| 5.4 | Einstufenversuche mit angepassten Lastsignalformen | 93 |
| 5.4.1 | Naturharte Knetlegierung EN AW-5018 (AlMg3,5Mn) | 93 |
| 5.4.2 | Ausscheidungshärtbare Knetlegierungen EN AW-6082 (AlSi1MgMn) und EN AW-6110A (AlSi1MgMnCuCrZr) | 95 |
| 5.4.3 | Gusslegierung EN AC-42100 (AlSi7Mg0,3) | 96 |
| 5.5 | Gaßnersversuche zur Untersuchung des Dehnrateneinflusses | 97 |
| 5.5.1 | Naturharte Knetlegierung EN AW-5018 (AlMg3,5Mn) | 97 |
| 5.5.2 | Ausscheidungshärtbare Knetlegierung EN AW-6082 (AlSi1MgMn) | 100 |
| 5.6 | Incremental Step Test (IST)..... | 102 |
| 5.6.1 | Naturharte Knetlegierung EN AW-5018 (AlMg3,5Mn) | 102 |
| 5.6.2 | Ausscheidungshärtbare Knetlegierung EN AW-6082 (AlSi1MgMn) | 103 |
| 6 | Diskussion | 105 |
| 6.1 | Vorgehensweise zur Qualifikation von Aluminiumlegierungen bei korrosiver und mechanisch-korrosiver Beanspruchung..... | 105 |
| 6.1.1 | Gängige Vorgehensweisen | 105 |
| 6.1.2 | Auffälligkeiten gängiger Vorgehensweisen und Kritik..... | 105 |
| 6.1.2.1 | Untersuchung des Korrosionsverhaltens | 105 |
| 6.1.2.2 | Untersuchung des Ermüdungs- und Korrosionsermüdungsverhaltens | 107 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 6.1.2.2.1 | Naturharte Knetlegierung EN AW-5018 (AlMg3,5Mn) | 107 |
| 6.1.2.2.2 | Ausscheidungshärtbare Knetlegierungen EN AW-6082 (AlSi1MgMn) und EN AW-6110A (AlSi1MgMnCuCrZr) | 110 |
| 6.1.2.2.3 | Gusslegierung EN AC-42100 (AlSi7Mg0,3) | 113 |
| 6.1.3 | Vorschläge zur Anpassung der Werkstoffvorauswahl und -qualifizierung | 117 |
| 6.1.3.1 | Untersuchung des Korrosionsverhaltens | 117 |
| 6.1.3.2 | Untersuchung des Ermüdungs- und Korrosionsermüdungsverhaltens | 118 |
| 6.2 | Modellvorstellung zur Wechselwirkung zwischen korrosiver und mechanischer Belastungskomponente..... | 120 |
| 6.2.1 | Signalformvariation im Einstufenversuch..... | 122 |
| 6.2.2 | Mechanisch-korrosive Wechselwirkungen im Betriebslastenversuch | 129 |
| 6.3 | Schlussfolgerungen für die betriebliche Praxis | 136 |
| 6.3.1 | Vorauswahl neuer Werkstoffe und Werkstoffzustände für die Fahrwerks- anwendung..... | 136 |
| 6.3.2 | Grundlagen für Bauteilversuche unter Korrosion | 138 |
| 6.3.2.1 | Abschätzung der vorliegenden Korrosionsbedingungen an versagens- kritischen Stellen des Bauteils | 138 |
| 6.3.2.2 | Relevanz der Dehnrate im Bauteilnachfahrversuch unter Korrosion | 138 |
| 6.3.2.3 | Versuchszeitverkürzung durch Omission | 139 |
| 6.3.2.3.1 | Passivitätserhaltende Werkstoff-Mediensysteme | 139 |
| 6.3.2.3.2 | Vorwiegend aktiv korrodierende Werkstoff-Mediensysteme..... | 142 |
| 6.3.2.4 | Konsequenzen für Schadensakkumulationsrechnungen | 143 |
| 6.3.2.5 | Alternative Ansätze für die Versuchszeitverkürzung unter Korrosions- ermüdungsbedingungen..... | 144 |
| 6.3.2.5.1 | Passivitätserhaltende Werkstoff-Mediensysteme | 144 |
| 6.3.2.5.2 | Vorwiegend aktiv korrodierende Werkstoff-Mediensysteme..... | 144 |
| 7 | Zusammenfassung und Ausblick | 146 |
| 8 | Literaturverzeichnis | 154 |
| 9 | Abbildungsverzeichnis | 164 |
| 10 | Tabellenverzeichnis | 170 |
| 11 | Formelverzeichnis | 171 |
| A | Anhang Schwingfestigkeitskennwerte | 173 |