



GWP • Georg-Wimmer-Ring 25 • D-85604 Zorneding/Pöding

GWP-Gesellschaft für Werkstoffprüfung mbH
Frau Thaller
Georg-Wimmer-Ring 25

85604 Zorneding

Werkstoffe
Oberflächen
Katalyse
Gaslabor

Ihr Schreiben
-

Ihr Zeichen
-

Unser Zeichen
RM / O

Datum
30.04.2007

10892 PVN 0667: Korrosion an einer Aluminiumkühlplatte

Sehr geehrter Frau Thaller,

mit diesem Schreiben übersenden wir Ihnen unseren Bericht zu obiger Untersuchung.

Um den direkten Vergleich einzelner Bilder und Meßergebnisse zu ermöglichen, haben wir auf eine feste Heftung verzichtet.

Für Rückfragen stehe ich Ihnen unter der direkten Telefonnummer 08106 9941 16 gerne zur Verfügung.

Mit besten Grüßen

i. A. Markus Rücker

Anlagen: Demo Bericht Korrosion

Verteiler: Frau Thaller, GWP
Dossier-Archiv GWP

GWP Gesellschaft für
Werkstoffprüfung mbH
Georg-Wimmer-Ring 25
D-85604 Zorneding/Pöding
bei München

Fon: 08106/994 110
Fax: 08106/994 111
info@gwponline.de
www.gwponline.de

Geschäftsführer:
Dr. Julius A. Nickl jun.
HRB 532 45 München
Steuer-Nr. 114/127/90067

Kreissparkasse München-Starnberg
KTO 270 369 226 BLZ 702 501 50
SWIFT-BIC: BYLADEM1KMS
IBAN: DE21702501500270369226
USt.-IdNr. DE 131 179893



Demo Bericht Korrosion



Korrosion an einer Aluminiumkühlplatte: Werkstoffwahl und Abhilfemaßnahmen

Werkstoffe

Oberflächen

Katalyse

Gaslabor

Zur Darstellung unserer Kompetenz zur Korrosionsuntersuchung haben wir den hier vorliegenden Kundenbericht anonymisiert.

Zusammenfassung:

Die beiden Kühlplatten wurden aus einer AlZnMg-Legierung gefertigt, einer Legierungs-klasse, die innerhalb der Al-Legierungen nicht als korrosionsresistent gilt. Die Erscheinungsform der Korrosion ist Loch- und Muldenfraß mit Anteilen an interkristalliner Korrosion. Die Korrosionsprodukte weisen neben den Legierungselementen deutliche Kupferspuren auf. Kupferionen gelten als Auslöser für Lochkorrosion. Der Einsatz von Kupferwerkstoffen im gleichen Kreislauf mit Aluminium sollte daher möglichst vermieden werden.

Wenn möglich, sollte die Kühlung in geschlossenen Kreisläufen mit sauerstoffarmen Wässern erfolgen. Da dann der für die Korrosion erforderliche Sauerstoff fehlt, kommt die Korrosion an Aluminium auch bei Mischinstallation zum Stillstand.

Auftraggeber:

GWP-Gesellschaft für Werkstoffprüfung mbH
Georg-Wimmer-Ring 25
85604 Zorneding

Ansprechpartner:

Frau Thaller

Bestellung:

200704012

Verteiler: Frau Thaller, GWP-Dossier-Archiv

Berichtersteller:

i. A. Markus Rücker

Interne Prüfung:

Dr. Julius A. Nickl

Berichtsdatum:

30.04.2007

Seitenanzahl des Berichtes: 6

Anhang: -

1. Erhaltene Proben

Der GWP wurden folgende Proben zur Verfügung gestellt:

Tabelle 1: erhaltene Proben

Eingang	GWP #	Kunden-#	Bezeichnung	Bemerkung
17.04.2007	1	ohne	Aluminiumkühlplatte mit Kühlkanal	120 mm x 68 mm x 10 mm, korrodiert
17.04.2007	2	ohne	Aluminiumkühlplatte, Deckel mit Ein- und Auslassbohrung	120 mm x 68 mm x 10 mm, korrodiert

2. Aufgabenstellung

Die Kühlplatte ist im Kühlkanal korrodiert, die voluminösen Korrosionsprodukte mindern den Querschnitt des Kanals. Das Kühlwasser wird in einem offenen Kreislauf mit Mischinstallation geführt, d. h. das Kühlwasser durchströmt auch andere Komponenten der Anlage, die aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen: Kunststoffe, weitere Aluminiumlegierungen, kupfergelöteten Stahlkomponenten, Kupferdichtungen, Messinge und Bronzen. Die Zusammensetzung der Aluminiumlegierung, aus der die beiden Kühlplattenhälften gefertigt worden sind, ist unbekannt.

Die GWP wurde beauftragt eine Expertise zur Werkstoffauswahl und Vermeidung der Korrosion zu erstellen.

3. Untersuchungen

Die Untersuchungen wurden am 26./27.04.2007 durchgeführt.

3.1 Metallografische Untersuchung

Nach Entfernen der Korrosionsprodukte wurde eine metallografischer Querschliff durch den Boden an einer Stelle des Kühlkanals durchgeführt (Bild 2). Im Schlibbild ist ein Angriff durch Lochfraß zu erkennen. Eine selektive Korrosion schreitet bevorzugt an den Korngrenzen fort.

3.2 Rasterelektronenspektroskopie (REM)

Eine Aufnahme des von den Korrosionsprodukten gereinigten Kühlkanals zeigt eine stark durch Loch- und Muldenfraß geschädigte Oberfläche (Bild 3).

3.3 Energiedispersive Röntgenmikrobereichsanalyse (EDX)

Mit energiedispersiver Röntgenmikrobereichsanalyse (EDX) wird die elementare Zusammensetzung der Probe ermittelt. Dazu wird die durch Wechselwirkung des Elektronstrahls mit den Probenatomen emittierte, für jedes chemische Element charakteristische Röntgenstrahlung im Röntgenphotometer gemessen (Spektrallinien oder Peaks).

Systemparameter

Elektronenstrahlquelle:	Rasterelektronenmikroskop (REM) JEOL JSM 6480 LV
EDX-System:	RÖNTEC XFlash 400 (SDD-Röntgendetektor) mit QUANTAX-Analysensoftware
Anregungsenergie	20 keV
Nachweisgrenze:	ca. 0,1 Gew.-%
Informationstiefe:	ca. 1 µm
Räumliche Auflösung:	0,5 bis 5 µm, abhängig von Probenrauheit und Anregungsenergie

Es wurden jeweils integrale Spektren vom angeschliffenen Grundmaterial (Bild 4) und vom Rückstand (Bild 5), der mit Gold bedampft wurde, aufgenommen. Die folgenden Tabellen 2 und 3 zeigen das Ergebnis der standardlosen Auswertung.

Tabelle 2: Ergebnis der EDX-Analyse des Grundmaterials

	Hauptelemente			Nebenelemente			
	Al	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Si
Norm. Gew.-%	93	2,9	3,6	-	0,4	0,3	0,1

Tabelle 3: Ergebnis der EDX-Analyse der Korrosionsprodukte, ausgewertet als Elemente und korrespondierende Oxide

Element	[norm. Gew.-%]	[norm. At.-%]	Oxid	[Gew.-%]
Kohlenstoff	5,2	8,1	C	7,3
Aluminium	31,7	22,1	Al ₂ O ₃	84,5
Gold	2,7	0,3	Au	3,9
Magnesium	0,6	0,5	MgO	1,4
Zink	0,6	0,1	ZnO	0,8
Kupfer	0,4	0,1	CuO	0,7
Eisen	0,2	0,1	Fe ₂ O ₃	0,4
Kalzium	0,2	0,1	CaO	0,4
Silizium	0,2	0,1	SiO ₂	0,6

Die beiden Kühlplatten sind aus einer Legierung auf der Basis AlZnMg gefertigt. Die Nebenelemente Fe, Mn und Si sind typische Begleiter dieser Legierungen.

Die Korrosionsprodukte setzten sich überwiegend aus den Legierungsbestandteilen zusammen. Die Auswertung als Oxide ist chemisch nicht exakt und soll nur die Größenordnung veranschaulichen, in der die Salze vorliegen, da sich als Korrosionsprodukte auch Hydroxide (z. B. AlOOH, Böhmit) und Carbonate bilden (C-Signal im EDX-Spektrum).

Daneben lassen sich deutliche Kupferspuren in den Korrosionsprodukten nachweisen, die nicht aus der Legierung stammen, sondern über die Mischinstallation eingetragen worden sind (s. Spektrenvergleich Bild 6).

4. Ergebnis und Bewertung

Die Legierungen auf Basis AlZnMg erreichen nach Warmaushärtung die höchsten Festigkeitswerte aller Aluminiumwerkstoffe auf, sind aber in ihrer Korrosionsresistenz den AlMg- und AlMgSi-Legierungen unterlegen. Die AlZnMg-Legierungen zeigen in chloridhaltigen Medien Anfälligkeit für Lochfraß und interkristalline Korrosion [1], die im vorliegenden Fall nachgewiesen werden konnte. Alle ausscheidungsgehärteten Aluminiumlegierungen sind auch anfällig für chloridinduzierte interkristalline Spannungsrisskorrosion.

Ähnlich wie Chlorid im Kühlwasser wirken Kupferionen, die durch Mischinstallation ins Kühlwasser gelangen. Bereits 0,1 ppm Kupferionen im Wasser reichen aus, um an Aluminium Lochkorrosion hervorzurufen [2]. Kupfer als edleres Element zementiert auf der Aluminiumoberfläche aus und wird in dem sich bildenden Korrosionselement zur Kathode, die Erscheinungsform ist Lochkorrosion. Die in den Korrosionsprodukten nachgewiesenen Kupfersalze untermauern die Theorie der Korrosionselementbildung durch Zementation von Kupfer aus dem Kühlwasser.

In dem vorliegenden offenen Kreislauf schreitet die Korrosion infolge des ausreichenden Sauerstoffangebots stetig fort, sofern nicht wirksame Korrosionsinhibitoren eingesetzt werden.

5. Empfehlungen

Da bei dem vorliegenden Bauteil keine hohen Festigkeiten erforderlich sind und es nur auf die Kühlleistung ankommt, empfehlen wir den Einsatz von naturharten (= nicht durch Ausscheidungen härtbaren), niedriglegierten Aluminiumlegierungen, deren Korrosionsbeständigkeit etwa dem von Reinaluminium entspricht. Wichtigster Vertreter dieser Werkstoffe sind die AlMg und AlMgMn-Legierungen, die bei Meerwasserbeanspruchung dem Reinaluminium sogar überlegen sind. Die Legierungen AlMg3, AlMg5, AlMg2Mn0,8 und AlMg4,5Mn zählen zur Gruppe der „meerwassergeeigneten“ Al-Werkstoffe. Der Mg-Gehalt dieser Werkstoffe darf 5 % nicht überschreiten, da sich sonst Ausscheidungen bilden können [1].

Die natürliche Oxidschicht gewährt nicht in allen Fällen ausreichenden Schutz gegenüber Korrosionsbeanspruchungen, deshalb empfehlen wir eine zusätzliche Eloxierung bei niedriglegierten Aluminiumwerkstoffen.

Wenn möglich, sollte die Kühlung in geschlossenen Kreisläufen mit sauerstoffarmen Wässern erfolgen. Da dann der für die Korrosion erforderliche Sauerstoff fehlt, kommt die Korrosion an Aluminium auch bei Mischinstallation mit Stahlrohren und Messingarmaturen zum Stillstand, vorausgesetzt, dass keine Sauerstoffnachspeisung in das System z. B. über Kunststoffleitung – Kunststoffe sind nicht sauerstoffdiffusionsdicht – erfolgt [3].

Der Schwermetallanteil bei Mischinstallation gegenüber dem Aluminium sollte auf eine Minimum beschränkt bleiben. Die Verwendung von Kupfer im gleichen Kreislauf wird nicht empfohlen, Armaturen aus Kupfer-Zink-Legierungen, die schnell Deckschichten bilden sind oft problemlos anwendbar.

Die das Aluminium schützende Oxidschicht ist zwischen pH 4 und 8 weitgehend unlöslich. Der pH-Wert des Kreislaufwasser sollte den Wert 9 in keinem Fall übersteigen; es ist zu beachten, dass bei Erwärmung das im Wasser gelöste Kohlendioxid ausgetrieben wird, wodurch der pH-Wert ansteigen kann.

6. Literatur

- [1] Elsbeth Wendler-Kalsch, Hubert Gräfen; Korrosionsschadenskunde; Berlin Springer, 1998.
- [2] Vorlesung über Korrosion und Korrosionsschutz, Teil 1. Korrosion; TAW-Verlag Wuppertal, 1996.
- [3] Aluminiumtaschenbuch, Band 1; Hrsg.: Aluminium-Zentrale Düsseldorf, Aluminiumverlag Düsseldorf, 1998.

Zorneding, den 30.04.2007

i. A. Markus Rücker

Dr. Julius A. Nickl

X:\Auftrag\10892PV\NIMakro\10892PV_N_Makro02.tif



Bild 1: Proben Anlieferungszustand

Probe 1: Aluminiumkühlplatte

Probe 2: Deckel mit Ein- und Auslassbohrung

Starke Belegung mit Korrosionsprodukten

X:\Auftrag\Abgeschlossenen\10600_10699\10650HIM\LM\10650HIM_01_LIM02.tif

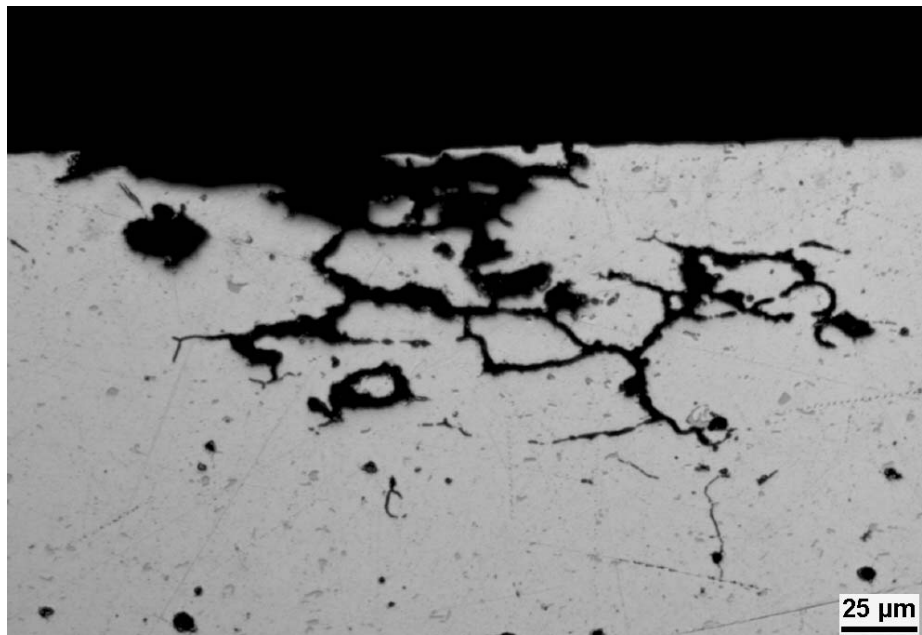


Bild 2: Probe 1

Querschliff

LM

Lochfraß überlagert mit interkristalliner Korrosion

X:\Auftrag\Abgeschlossenen\10600_10699\10650HIM\EDX\10650HIM_01_REM08_Riss.tif

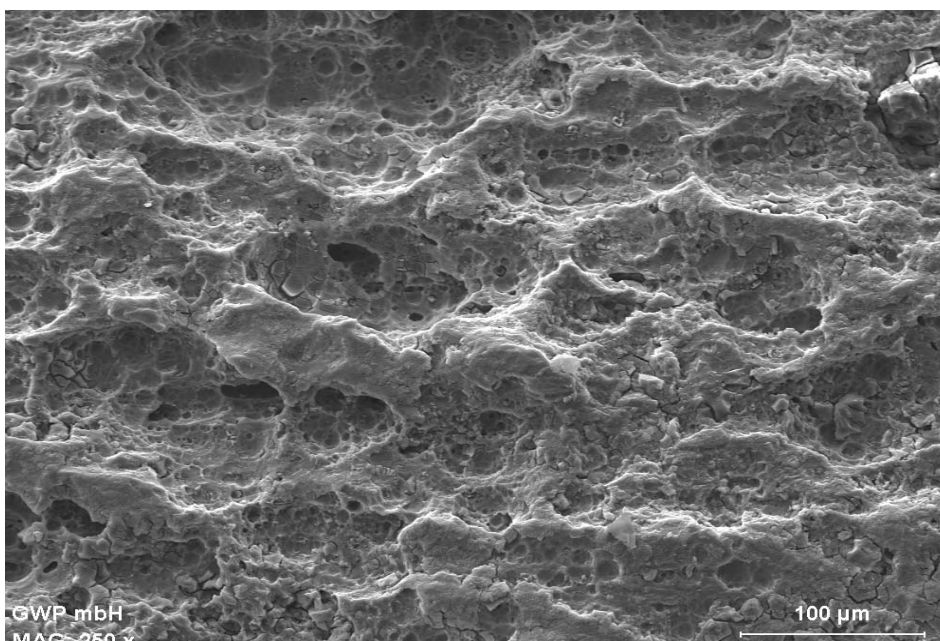


Bild 3: Probe 1

REM

Oberfläche nach Entfernen der Korrosionsprodukte

Starker Loch- und Muldenfraß.

X:\Auftrag\10892P\VN\10892P\VN_02_EDX01_Grundmaterial.tif

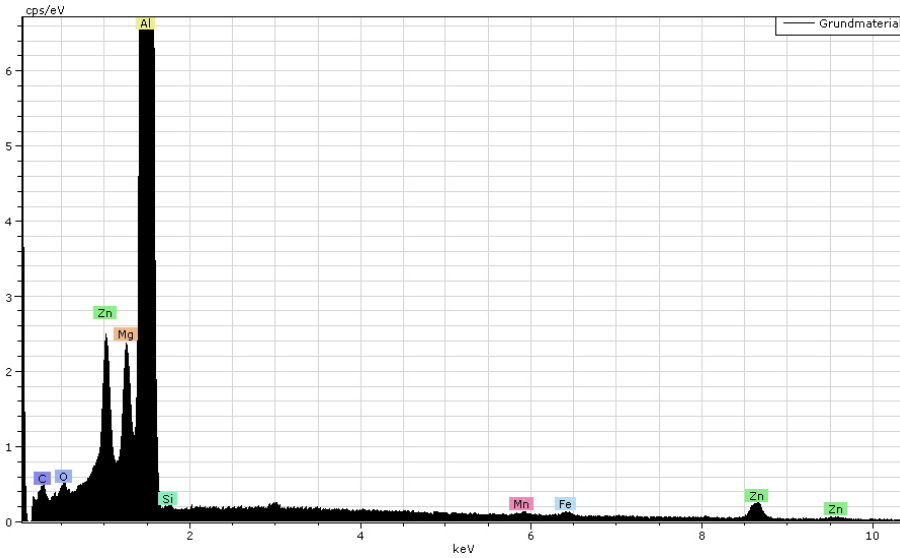


Bild 4: Probe 2, Deckel

Integrale EDX-Analyse des Grundwerkstoffs an geschliffener und gereinigter Oberfläche

AlZnMg-Legierung, kupferfrei

X:\Auftrag\10892P\VN\10892P\VN_02_EDX02_Korrosionsprodukte.tif

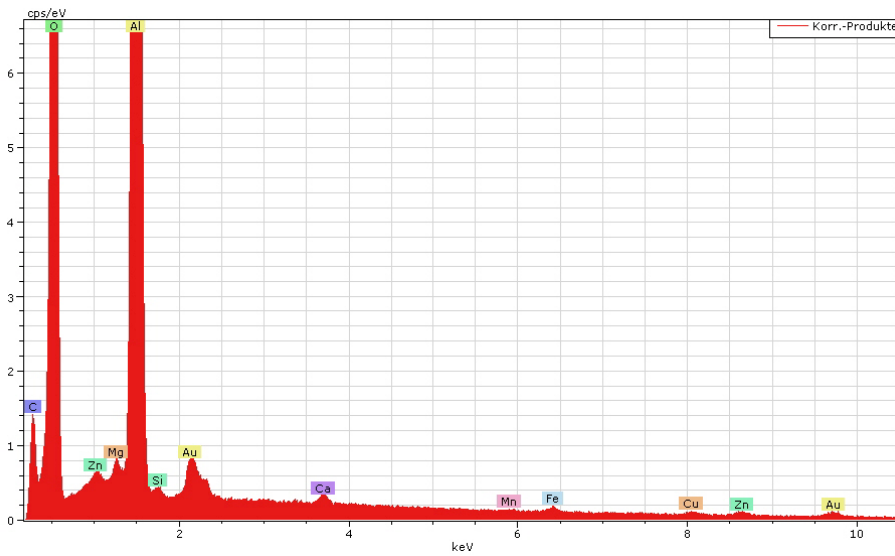


Bild 5: Probe 2, Deckel

Integrale EDX-Analyse der Korrosionsprodukte

X:\Auftrag\10892P\VN\10892P\VN_Korrosion Alukühlpfplatte\10892P\VN_Spektrenvergleich-log.tif

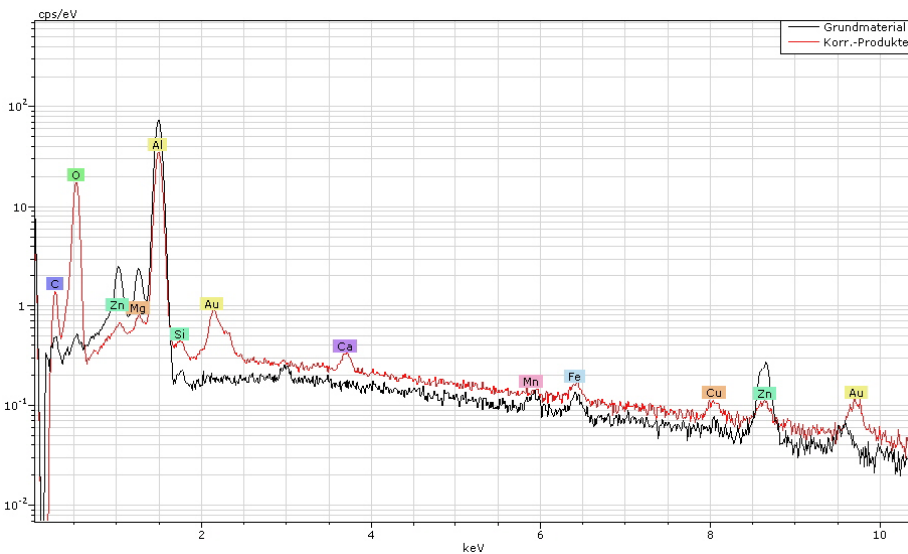


Bild 6: Spektrenvergleich

Grundwerkstoff (schwarz) vs. Korrosionsprodukte (rot)