

Ermüdungsrissverlauf und Fraktographie von Ermüdungsbrüchen in Aluminium- und Kupferlegierungen

von Stanislaw Kocanda und Jan Kozubowski

Abstract. Electrono-optical investigations of the fatigue fractures in the aluminium alloy PA6/composition close to the alloy 2024-T3/ have shown clearly the brittle and quasibrittle fractures of precipitates, these fractures were similar to ones obtained at the impact load at low temperature /77°K/ in the same alloy. Local changes of the propagation rate of the cracks in the neighbourhood of the precipitates have been demonstrated too. Transmission electron microscope and the method of replicas allowed to reveal the traces of gaseous bubbles on the fracture surfaces, such bubbles are suspected to be sources of the primary or secondary fatigue cracks. Microfractographic investigations of the brasses/ Ms 63, Ms 80, Ms 85/ have shown the type of fracture/brittle and plastic/ changes with the alloy composition and the stress amplitude. There were observed also the slip traces on the surfaces of the cracks which were running along the grain boundaries or along the planes similar to cleavage planes.

1. Die Ausscheidungen in Al-Legierungen üben einen starken Einfluss auf die Initiation und auf das Fortschreiten des Ermüdungsrisses. Dieser Einfluss wurde in mehrzehnten Arbeiten untersucht/u.a. C.D. Beachem [1], J. Kershaw u. H.W. Liu [2], K. Erhardt u. H.J. Grant, D. Broek, J.C. Grossakreutz u. G.G. Shaw -alle in [3]. In unserer Arbeit wollten wir an Hand mikrofraktographischen Untersuchungen den Verlauf des Risses durch die Ausscheidungen verfolgen. Die Proben aus Al-Cu Legierung /4% Cu, 0,7% Mg, 0,7% Mn, 0,5% Fe, 0,5% Si, Al-Rest/ von 30 mm breit und 10 mm dick wurden nach der Alterung bei Raumtemperatur symmetrischer Biegung bei Spannungsamplitude $\sigma_a = 7,5$ bis 11 kg/mm^2 unterworfen. Die Bruchlastzahl war von $5 \cdot 10^4$ bis $6,3 \cdot 10^6$ gross. Als Beispiel werden elektronenoptischen Bilder von Bruchflächen der Proben gezeigt, die bei 8 kg/mm^2 nach $1,02 \cdot 10^6$ Lastzyklen vernichtet waren. Die Spaltbrüche in Ausscheidungen erschienen deutlicher erst bei der Tiefe des Risses gleich 6 mm.

Fast reiner Spaltbruch der Ausscheidung mit sofortigen Übergang zur plastischen Streifen ist auf Abb.1 zu sehen. Die Beschleunigung des Risses nach dem Bruch der Ausscheidung ist durch den vergrößerten Abstand zwischen Ermüdungsstreifen zu erkennen. Interessant sind die Spaltbrüche durch die "Kerne" der Ausscheidungen /Abb.2 und 3/. In der Umgebung dieser Kerne bemerkt man oft Durchgangsformen zum plastischen Bruch. Der Spaltbruch mit Flüssen, mit ausgeprägten Ausscheidungsgrenzen und mit quasispröder Umgebung ist auf Abb.4 zu beobachten. Wir bestätigten, dass die Zahl der Spaltbrüche in Endstadium des Ermüdungsrissses wächst. Man konnte zeigen, dass die Ermüdungsbrüche von Ausscheidungen den Brüchen bei der Schlagbelastung in tiefen Temperaturen /77°K/ entsprechen. Wie aus Abb.5 und 6 zu sehen ist, ist das Bild des Bruches dasselbe wie bei der Wechselbelastung.

Die Untersuchungen von Bruchflächen dieser Proben ermöglichten die Entdeckung von Mikroporen als Spuren ehemaliger Gasblasen - wahrscheinlich technologischer Herkunft. An den meistens kugelförmigen Wänden dieser Mikroporen von der Grösse von 0,5 bis 2 μ m konnte man konzentrischen Wachstumserassen beobachten /Abb.7/. Man beobachtete auch Mikroporen von elliptischen und vieleckigen Formen /Abb.8/. Die Mikrobau des Bruches in der Umgebung von Mikroporen zeigte, dass diese Poren als primäre oder sekundäre Quellen des Ermüdungsrissses wirken. Das wurde in der Arbeit [4] deutlicher beschrieben. In Al-Legierungen bestehen daher, neben der Ausscheidungen oder genauer - neben der Grenzen dieser Ausscheidungen mit der Matrix, noch andere Quellen des Ermüdungsbruchs.

2. Mikrofraktographische Untersuchungen von gebrochenen bei symmetrischer Biegung Messingproben aus Ms 85, Ms 80 und Ms 63 /entsprechend 85,80 und 63% Cu-Gehalt/ haben sehr verschiedenen Rissverlauf gezeigt. In Messing verläuft der Riss ähnlich wie im Kupfer, vorwiegend plastisch. Plastische Streifen an der Bruchflächen /Abb.9/ entwickeln sich auch in Zwillingen /Abb.10, $\sigma_a = 15 \text{ kg/mm}^2$, $N = 1,26 \cdot 10^5$ Lastzyklen/. Im Messing Ms 80 kommen die plastische Streifen weniger vor.

Man bemerkt charakteristischen, stufenartigen Abgleitungen, die den Spaltbrüchen sehr ähnlich sind /Abb.11/. An den, durch den Rissverlauf "geöffneten" Korngrenzenflächen sind Gleitbänder-Sammlungen zu beobachten /Abb.12, $\sigma_a = 15 \text{ kg/mm}^2$, $N = 5,86 \cdot 10^5$ Lastzyklen/. Die Korngrenzenbrüche erschienen ganz deutlich im Messing Ms 63, insbesondere bei niedrigen Spannungsamplituden /Abb.13, $\sigma_a = 13,5 \text{ kg/mm}^2$, $N = 1,8 \cdot 10^6$ Lastzyklen/. In diesem Material zeigt sich schon die Wirkung von Ausscheidungen der β -Phase /Versprödung des Bruches/. An den Korngrenzenflächen erschienen die Gleitbänder, die in verschiedenen Gleitsystemen entstanden, was bei der grösseren Vergrößerung der Abb.13 auf Abb.14 zu sehen ist. Das sind also besondere Arten des Sprödbruchs. Es wurden weitere Merkmale des Sprödbruchs dieses Materials beobachtet, wie die Spaltbrüche mit Zungen, Spalten und Flüssen, die Wallner-Linien /Abb.15/. Die Zunahme der plastischen Merkmale des Ermüdungsbruchs von Messing Ms 63 mit der Spannungsamplitude /plastische Streifen, Abb.16, $\sigma_a = 21 \text{ kg/mm}^2$, $N = 1,86 \cdot 10^5$ Lastzyklen/ konnte wahrscheinlich mit der Erhöhung der Temperatur an der Rissfront einen Zusammenhang haben und damit mit der Änderungen in plastischen Eigenschaften von Phasen α und β . Entlang der Seitenwänden der Streifen sind jedoch sekundäre Rissen erschienen, deren Anwesenheit mit der Hilfe von Rasterelektronenmikroskop nachgewiesen werden konnte.

Diese mikrofraktographischen Untersuchungen stimmen mit der Ergebnissen der Beobachtungen der Versetzungsstrukturen in Messingen überein. Die Zunahme des Zinkgehaltes erniedrigt nämlich die Möglichkeit des Quergleitens. In Messing Ms 69 und Ms 85 wurden ganz verschiedene Versetzungsstrukturen beobachtet, die durch Wechselbelastung hervorgerufen wurden [5].

Literatur

1. C.D. Beachem: Trans. ASM, 60, 1967, 324.
2. J. Kershaw, H.W. Liu: Syracuse University Research ITR, Aug. 1968.
3. Fracture 1969 - Proceedings of the Second International Conference on Fracture, Brighton 1969, Chapman Hall, London.
4. S. Kocanda, J. Kozubowski: Arch. Hutn. z. 3, 1971, 221 /engl./.
5. P. Lukaš, M. Klesnil: Phys. Stat. Sol. 37, 1970, 833.

