

Rissbildung an Spitzenlast-Gasturbinen

Martin Möser, September 2008

In Vockerode bei Dessau wurde 1971 ein Spitzenlast-Kraftwerk mit 6 Gasturbinen zu je einer Leistung von 27 MW erbaut. Als Material kam der Stahl X 10NiCrWTi 36.15 zur Anwendung (siehe [1]).

Eine Spitzenlastturbine fährt innerhalb 3 Stunden an und wieder ab, was eine Belastungsfrequenz von etwa 10^{-4} Hz ergibt.

Die Schadenshäufigkeit übertraf die Erwartungen.

Zwei Fälle werden vorgestellt:

- Risse in Läufer-Zwischenstücken
- Bruch von Bolzen

1. Risse in Läufer-Zwischenstücken

Die Zwischenstücke erwärmen sich brennraumseitig bis auf eine Temperatur von 580 °C.

Ein Riss hatte fast den gesamten Fuß durchtrennt (Bild 1). Die Risse liefen vom seitlichen Lüftungskanal her ein (Bild 2). Die Lebensdauer hatte etwa 5 Jahre betragen.

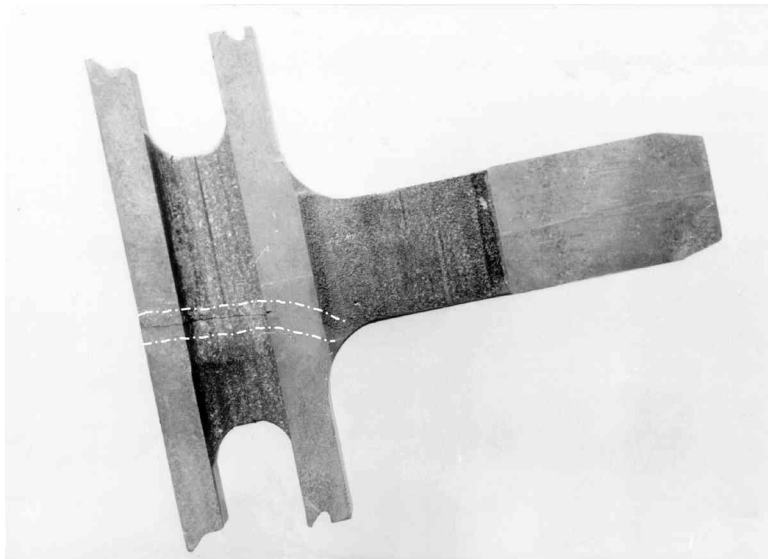


Bild 1
Riss im Fuß, fast
durchlaufend

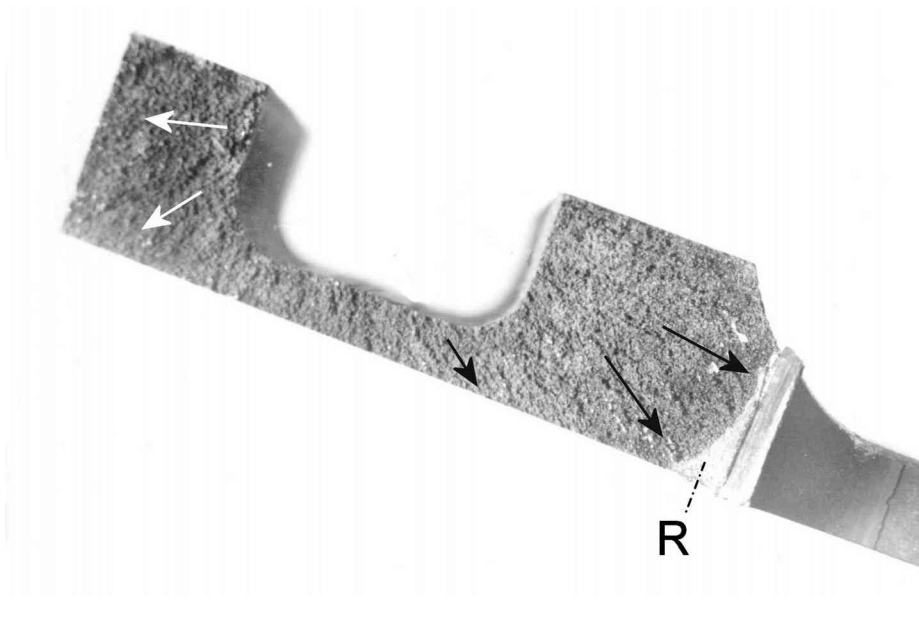


Bild 2
Riss aufgebrochen;
schmales
Restbruchgebiet R

An der unmittelbaren Riss-Spitze lag das Bruchgefüge frei. Der Bruch folgte den Korngrenzen. In ihren Zwickeln haben sich Wabenfelder ausgebildet. Die Waben sind schon in der zweiten Kornreihe hinter dem Übergang verflacht (Bild 3).

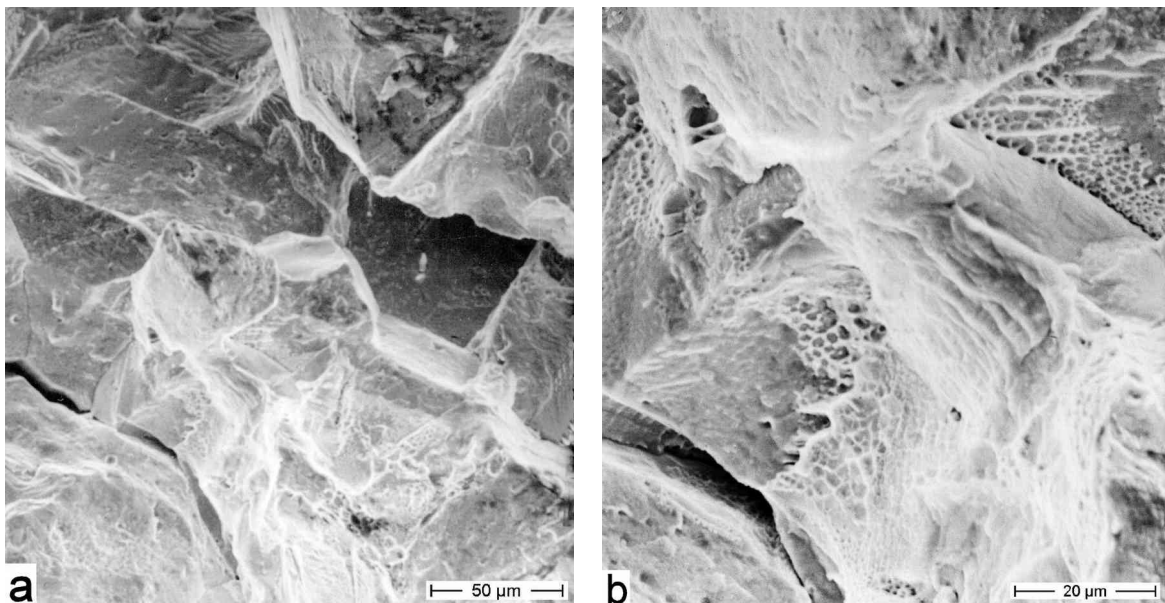


Bild 3: Bruchgefüge im Bereich der Riss-Spitze
a) Kornstruktur freigelegt (Übersicht)
b) Waben in den Korngrenzwickeln (Ausschnitt aus Bild 3a, links)

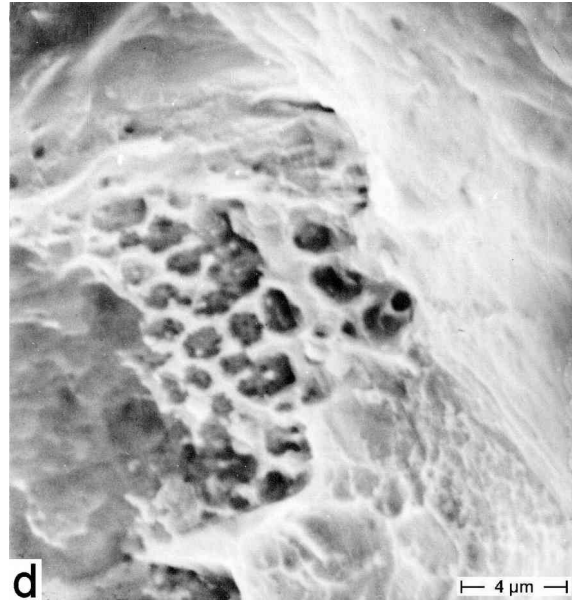
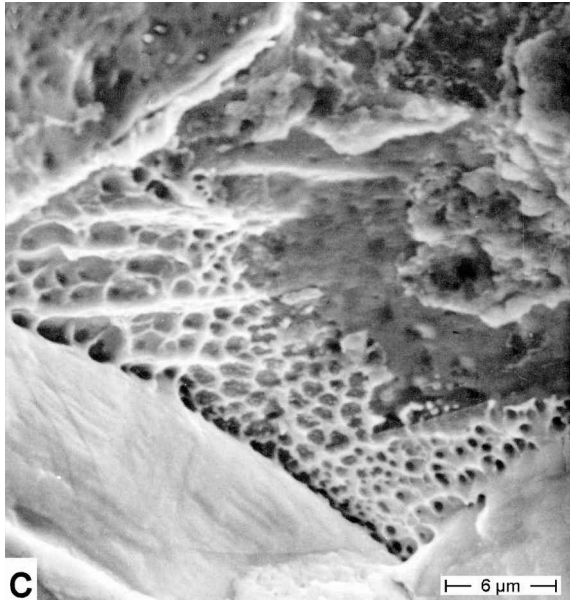


Bild 3 ff: Bruchgefüge im Bereich der Riss-Spitze

c) frische Waben direkt am Übergang (Ausschnitt aus Bild 3b, rechts oben)

d) zweite Kornreihe, Waben hier schon verflacht (Ausschnitt aus Bild 3b, links)

2. Bruch eines Bolzens

Der Bolzen brach nach einer Betriebszeit von ca. 10 Jahren. Neben dem Hauptbruch findet sich noch ein Nebenriss, der fast den Querschnitt durchtrennt hat (Bild 4). Auf der Hauptbruchfläche bildet sich die Guss-Struktur ab, insofern ist die Rissfortschrittsrichtung nicht zu erkennen (Bild 5).

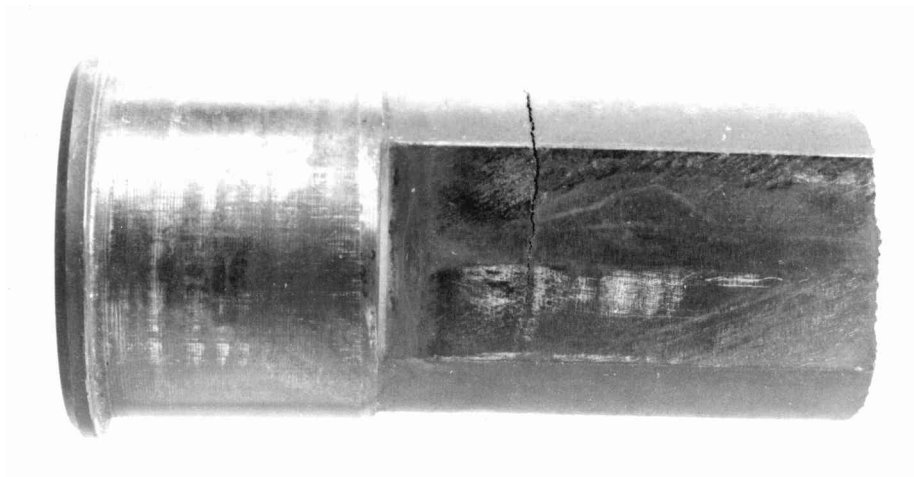


Bild 4
rechts Hauptbruch-
fläche, in Bildmitte ein
Nebenriss



Bild 5
Hauptbruchfläche
Gussgefüge,
keine Rissfortschritts-
richtung erkennbar

Der Nebenriss wurde aufgebrochen. Der Restbruch hat eine Breite von 2 mm; er weist die gleiche Körnigkeit auf wie der Anriss (Bild 6). Der unmittelbare Übergang vom Anriss zum Restbruch ist durch eine feine Wabigkeit gekennzeichnet (Bilder 7 und 8). Die Verzunderung schiebt sich in die Wabenfelder vor und ebnet sie ein (Bild 9).

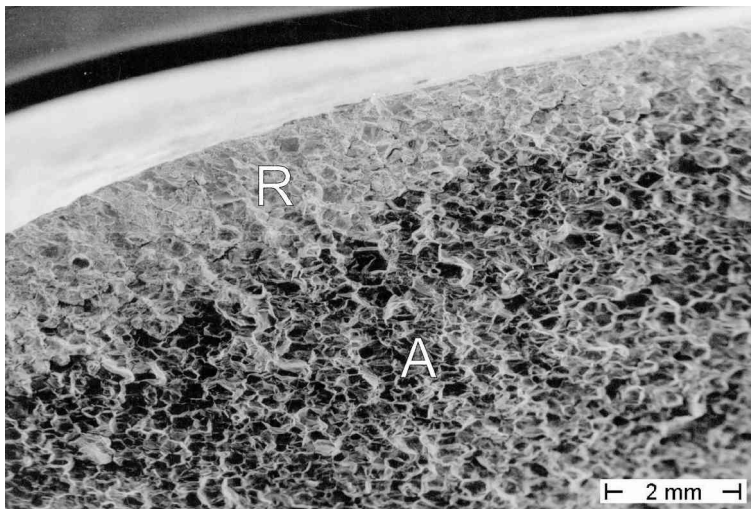


Bild 6
Nebenriss aufgebrochen

A = Anriss
R = Restbruch

körniges Gefüge sowohl
im Anriss wie auch im
Restbruch

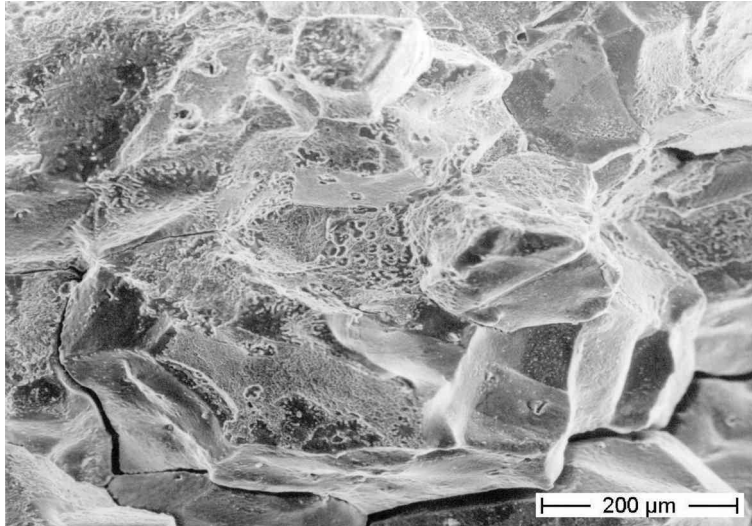


Bild 7
wabige Korngrenz-
flächen im Übergang,
glatte, verzünderte
Flächen in den älteren
Bereichen des Anrisses
(Ausschnitt aus Bild 6)

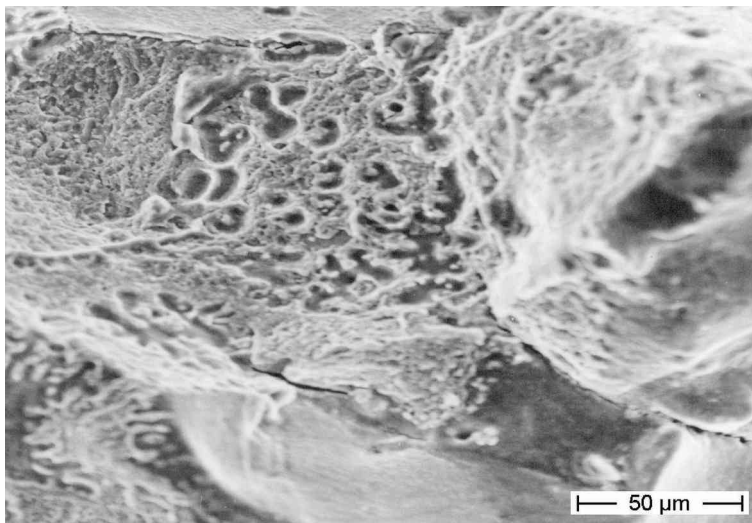


Bild 8
flache Waben im
Übergang
(Ausschnitt aus Bild 7)

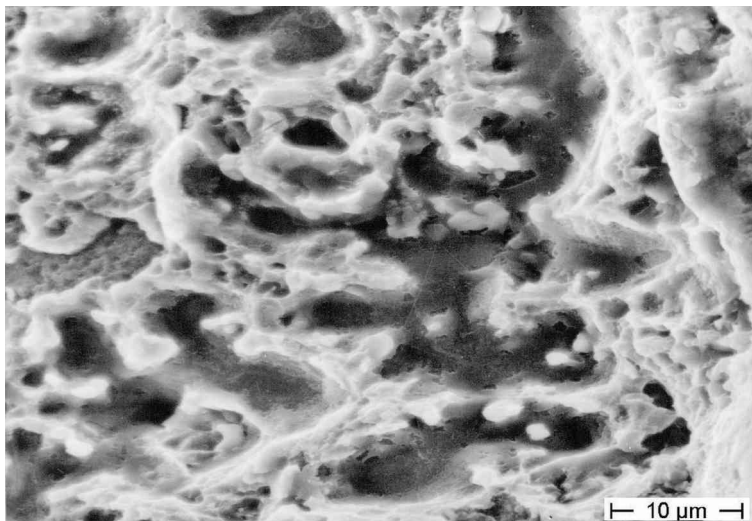


Bild 9
Waben, dazwischen
Ansätze der
Verzunderung
(Ausschnitt aus Bild 8)

Im ungeschädigten Restbruchbereich sind die Korngrenzflächen mit scharf ausgezogenen Waben bedeckt. Als Keime dienten feine Teilchen. Diese sind teilweise in sich noch einmal gebrochen, was ihre Sprödigkeit kennzeichnet (Bilder 10 und 11).

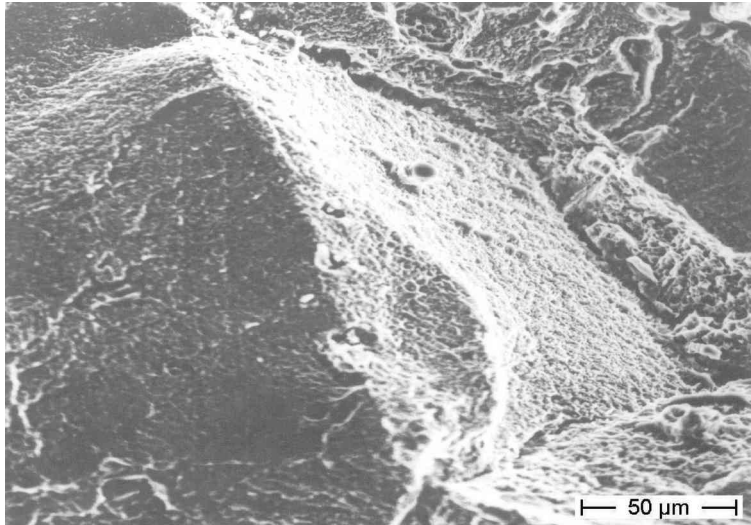


Bild 10
Bereich des Restbruches

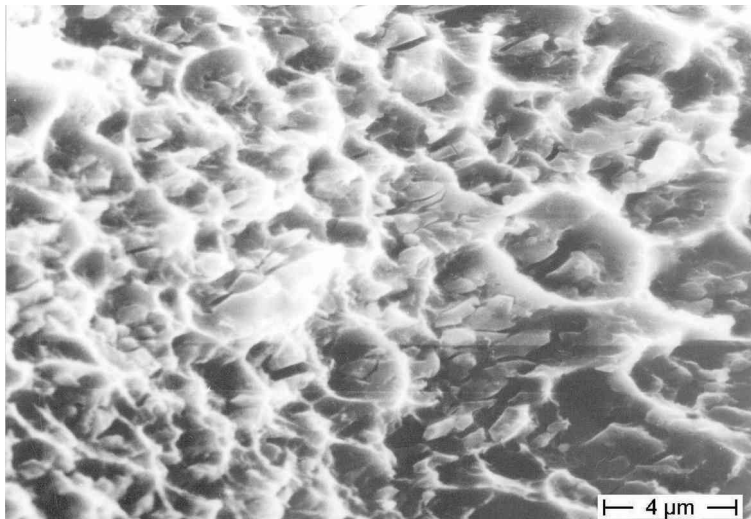


Bild 11
ausgezogene Waben auf
den Korngrenzen,
feine spröde Teilchen als
Wabenkeime
(Ausschnitt aus Bild 10)

Diskussion

In den Anrissen ist interkristallines Bruchgefüge zu sehen. Im Übergangsbereich finden sich Wabenfelder, welche sich in den Zwickeln der Korngrenzen angesiedelt haben. Die Waben stellen Bereiche der Vorschädigung dar. Dort schiebt sich die Verzunderung vor und ebnet die Waben schließlich ein.

Bestimmend sind damit zunächst Kriechvorgänge. Begünstigend wirkt weiterhin die Oxidation. Diese Vorgänge wirken umso ausgeprägter, je geringer die Belastungsfrequenz ausfällt.

Für den Fall von Nimonic 105 und einer Temperatur von 750 °C sind die entsprechenden Verhältnisse von Bild 12 [2] wieder gegeben:

Bei Normalfrequenz (10 Hz) steigt durch den Einfluss des Sauerstoffes der Rissfortschritt pro Lastwechsel um eine Größenordnung gegenüber den Vakuumwerten. Bei einem Abfall der Frequenz auf 10^{-3} Hz hat sich der Unterschied im Rissfortschritt auf zwei Größenordnungen gesteigert.

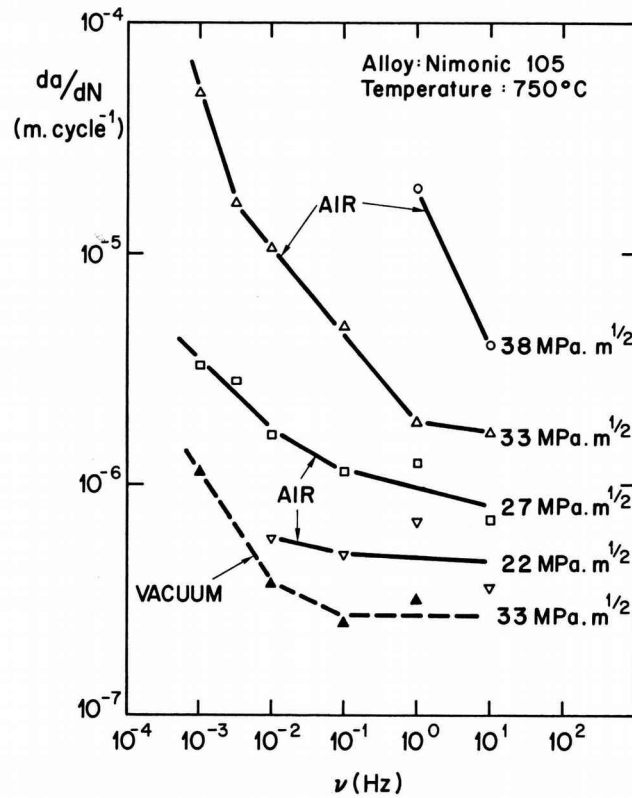


Figure 3 The Dependence of Fatigue Crack Growth Rates in Nimonic 105 at 750° C on Loading Frequency

Bild 12: Ermüdung bei erhöhten Temperaturen: Mit der Abnahme der Frequenz nimmt der Rissfortschritt pro Lastwechsel zu. Die Anwesenheit von Sauerstoff verschärft dies (aus [2]).

Man vergleiche weiterhin [3-5].

Literatur

- [1] Melzer, B.: Ermittlung des Einflusses der Korngröße auf die Zeitstandfestigkeit, Temperaturwechselbeständigkeit und Biegebruchfestigkeit des Werkstoffes X 10 NiCrWTi 36.15 (EI 612).
Werkstoff-Mitteilungen für den Kraftwerksanlagenbau Nr. 17, Dresden 1967
- [2] Scarlin, R. B.: Effects of loading frequency and environment on high temperature fatigue crack growth in nickel base alloys. In: Fracture 77, Proc. 4th Internat. Conference on Fracture, Waterloo, Canada 1977, Vol. 2, 849-857
- [3] Westwood, H. J.: High temperature fatigue of 304 stainless steel under isothermal and thermal cycling conditions. Proc. 4th Internat. Conference on Fracture, Waterloo, Canada 1977, Vol. 2, 755-765
- [4] Omura, L. A.; Pelloux, R. M.; Grant, N. J.: High temperature fatigue crack growth in a cobalt base superalloy. Engin. Fract. Mechanics 5 (1973) 909-922
- [5] Frost, N. E.; Marsh, K. J.; Pook, L. P.; Metal Fatigue. Clarendon Press, Oxford 1977, S. 93 ff.