



Einleitung

Versagens- bzw. Schädigungsprozesse in Faserverbundwerkstoffen auf der Mikroebene (Ebene Fasern-Matrix) bei Druckbelastung beginnen oft mit der Instabilität von Fasern in der Matrix neben einer Oberfläche oder einem Defekt. Die Anzahl der vereinfachten Modelle zur Untersuchung der Mikroinstabilitätsprobleme von Faserverbundwerkstoffen (einschliesslich geometrisch sehr idealisierte Finite-Element-Modelle) ist enorm. Die Arbeiten, die sich mit den o. g. Problemen unter Einbeziehung von dreidimensionalen Gleichungen zur Beschreibung der Fasern und der Matrix beschäftigen, sind wegen der Komplexität der Probleme deutlich knapper bemessen. Ziel: in den vorgestellten analytischen und numerischen Untersuchungen sollen die dreidimensionalen linearisierten Gleichungen für die Fasern und die Matrix angewendet und die entsprechenden Methoden weiterentwickelt werden, um einige typische Instabilitätsszenarios in Faserverbundwerkstoffen mit einigen Defekten auf der Mikroebene modellieren zu können.

Allgemeine Problemstellung

Man betrachtet die folgenden linearisierten Gleichgewichtsgleichungen in der Form

$$L_{kj}u_j = 0, \quad L_{kj} = \omega_{\alpha k j \beta} \frac{\partial^2}{\partial x_\alpha \partial x_\beta}. \quad (1)$$

Diese Gleichungen sollen zu jeder einzigen Komponente des Verbundwerkstoffes angewendet werden, das heisst zur Matrix und jeder Faser. An den Grenzen S_i ($i = 1, 2, \dots, N$) zwischen Fasern und Matrix sollen bestimmte Kontaktbedingungen erfüllt werden. Im Falle eines vollkommenen Verbundes an den Interfaces müssen z. B. die sechs folgenden Bedingungen

$$N_j t_{kj}^1|_{S_i} = N_j t_{kj}^2|_{S_i}, \quad u_k^1|_{S_i} = u_k^2|_{S_i}. \quad (2)$$

verlangt werden. Betrachtet man eine Grenze der Matrix, so müssen auch hier drei notwendige Randbedingungen formuliert und erfüllt werden. Für den Fall der freien Oberfläche gilt z. B. folgendes

$$N_j t_{kj}|_{S_M} = 0. \quad (3)$$

Es muss die minimale Druckbelastung ermittelt werden, die zu einer nichttrivialen Lösung des Problems führt.

Einfachere Beispiele

Beispiel 1

Abb. 2 zeigt die Ergebnisse einer parametrischen Untersuchung [1] der Stabilität einer Faser in einer umgebenden elastischen Matrix neben einem Hohlraum (Abb. 1). Kurve 1 entspricht $R_2/R_1 = 8$, $|O_1 O_2| = 1.5R_1$, 2 - $R_2/R_1 = 1$, $|O_1 O_2| = 1.5R_1$ und 3 - $R_2/R_1 = 1$, $|O_1 O_2| = 17R_1$.

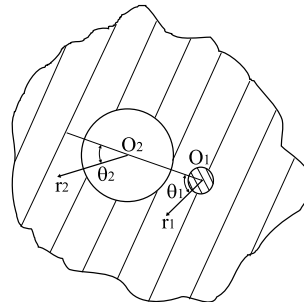


Abb. 1: Eine Faser neben einem Hohlraum (Querschnitt).

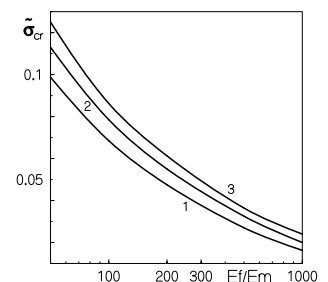


Abb. 2: Normalisierte kritische Spannung über E_f/E_m

Beispiel 2

Wird zusätzlich zu den Effekten eines Hohlraumes der Einfluss eines nicht vollkommenen Kontaktes zwischen Fasern und Matrix auf die kritischen Belastungswerte, also die Einzel- oder Gesamtwirkung dieser Effekte, abgeschätzt [2], so müssen unabhängig mehrere dem Beispiel 1 ähnliche Modellprobleme formuliert, gelöst und verglichen werden. In Abb. 3 stellen die Kurven 1-3 Ergebnisse solcher Vergleiche dar.

Für Kurve 1 entspricht die kritische Deformation ε^1 dem Fall (2) ohne Hohlraum und ε^2 dem Fall (2) mit einem Hohlraum. Kurve 2 vergleicht die Fälle eines vollkommenen und eines gleitenden Kontaktes, beide mit einem Hohlraum. Kurve 3 schätzt die Gesamtwirkung der o. g. Effekte ein.

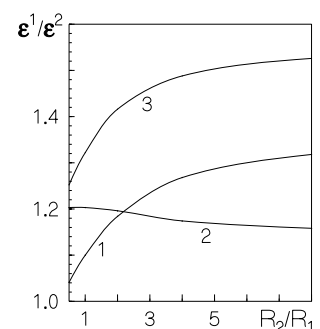


Abb. 3: $\varepsilon^1/\varepsilon^2$ über R_2/R_1 .

Literatur

1. LAPUSTA YU.N., Modelling of the fibre-matrix instability near a cavity in a composite under compression, ECCM' 99 Proceedings, München, 31.08-3.09.99, CD-ROM, Paper 309.
2. LAPUSTA YU.N. AND W. WAGNER, An estimation of the influence of a matrix cavity and a damaged fibre-matrix interface on stability of composites, submitted to ZAMM.