

Delaminationskriterium von Hashin

Beim Delaminationskriterium von Hashin werden die interlaminaren, d.h. die zwischen den Schichten wirkenden Spannungen S_{13} , S_{23} und S_{33} überprüft. Überschreiten diese Spannungen einen bestimmten Wert ($\hat{\sigma}_{33}^2$ bzw. $\hat{\sigma}_{13}^2$), liegt Delamination vor. Einbetten des Kriteriums in die Plastizitätstheorie führt zur Fließbedingung mit

$$\frac{(S^{33})^2}{\hat{\sigma}_{33}^2} + \frac{(S^{13})^2 + (S^{23})^2}{\hat{\sigma}_{13}^2} - Z(\alpha) \leq 0.$$

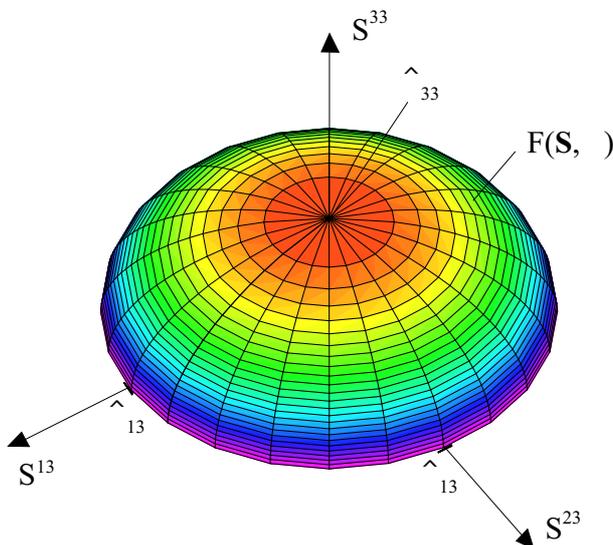


Abb.1: Delaminationskriterium von Hashin

Bei linearer Entfestigung gilt mit der eindimensionalen Vergleichsdehnung α das Entfestigungsgesetz

$$Z(\alpha) = \hat{\sigma}_{33} (1 - \mu\alpha).$$

Der Entfestigungsparameter μ berechnet sich über einen "Materialparameter", der sogenannten *kritischen Energiefreisetzungsrates* G_c und der Elementdicke h_t zu

$$\mu = \frac{\hat{\sigma}_{33} E h_t}{2 G_c E - \hat{\sigma}_{33}^2 h_t} \approx \frac{\hat{\sigma}_{33} h_t}{2 G_c}.$$

Bei großer Entfestigung, wie sie bei Delamination vorliegt, treten im Rahmen komplexer FE-Berechnungen häufig numerische Instabilitäten auf. Diese sind verursacht durch den Verlust der positiven Definitheit der elasto-plastischen Tangente \bar{C} . Eine viskoplastische Regularisierung nach einem Ansatz von *Duvaut und Lions* kann diese Instabilitäten verhindern.

Viskoplastische Regularisierung

Die viskoplastische Verzerrungsrate $\dot{\mathbf{E}}^{vpl}$ ist definiert aus der Differenz der totalen Spannungen (\mathbf{S}) und den Spannungen aus der ratenunabhängigen Lösung ($\bar{\mathbf{S}}$) mit

$$\dot{\mathbf{E}}^{vpl} = \frac{1}{\eta^*} \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{S} - \bar{\mathbf{S}})$$

Die Wahl des Dämpfungsparameters η^* beeinflusst dabei den Grad der hinzugekommenen Dämpfung. Die Dämpfung muß ausreichen, um die positive Definitheit der viskoplastischen Tangente zu gewährleisten, darf andererseits jedoch nicht zu groß sein, um die vorgegebene kritische Energiefreisetzungsrates einzuhalten. Dies ist nur durch eine automatisierte Steuerung zu erzielen, welche aus der Formel zur Berechnung der viskoplastischen Tangente

$$\frac{d\mathbf{S}}{d\mathbf{E}} = \left(\frac{1 - \exp\left[\frac{-\Delta t}{\eta^*}\right]}{\frac{\Delta t}{\eta^*}} \right) \mathbf{C} + \left(1 - \exp\left[\frac{-\Delta t}{\eta^*}\right] \right) \bar{\mathbf{C}}$$

entwickelt wird.

Rißfortschritt am delaminierten Plattenstreifen

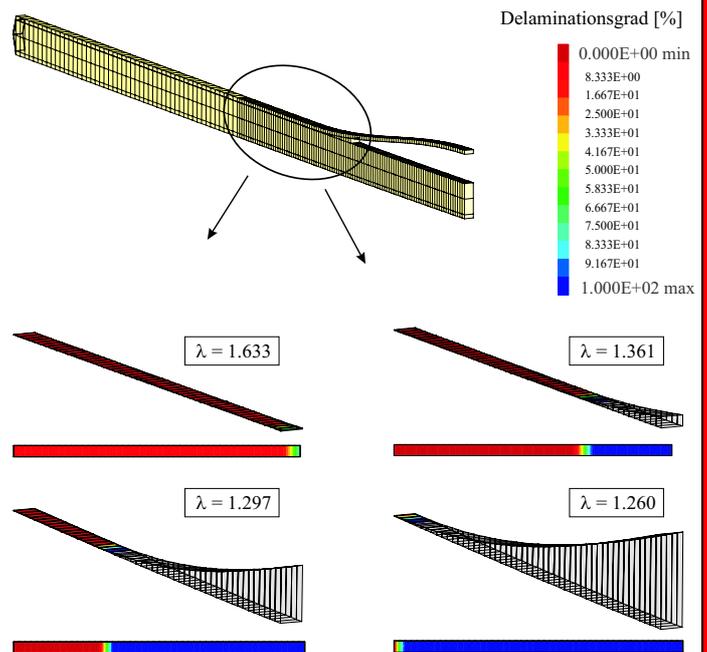


Abb.2: Delaminationswachstum im Interface