TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme - Institut für Mechanik

FG Systemdynamik
und Reibungsphysik

Prof. Dr. Valentin L. Popov
Dipl.-Ing. Stephan Kusche

Kontaktmechanik und Reibungsphysik WiSe 2016/17 – UE 02

Thema: Qualitative Abschätzungen zu Kontaktproblemen mit Adhäsion

Bemerkung zum wesentlich deformierten Volumen

Die Abb. 1 zeigt den Kontakt zwischen einem starren Körper mit welliger Oberfläche der Wellenlänge λ in Kontakt mit einem elastischen Halbraum. Dabei sollen die beiden Körper mit der minimalen Kraft beansprucht sein, die notwendig ist, um den vollständigen Kontakt herzustellen. Für die Druckverteilung in der Kontaktfläche gilt dann

$$p(x) = p_0\left(1+\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right)\right) .$$

Das Normalverschiebungsfeld für dieses ebene Kontaktproblem lautet

$$\frac{u_z(x,z)}{\pi h} = \frac{1}{\lambda}\left(\frac{z}{1-\nu}+\frac{\lambda}{\pi}\right)\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right)e^{-\frac{2\pi}{\lambda}z} + C .$$

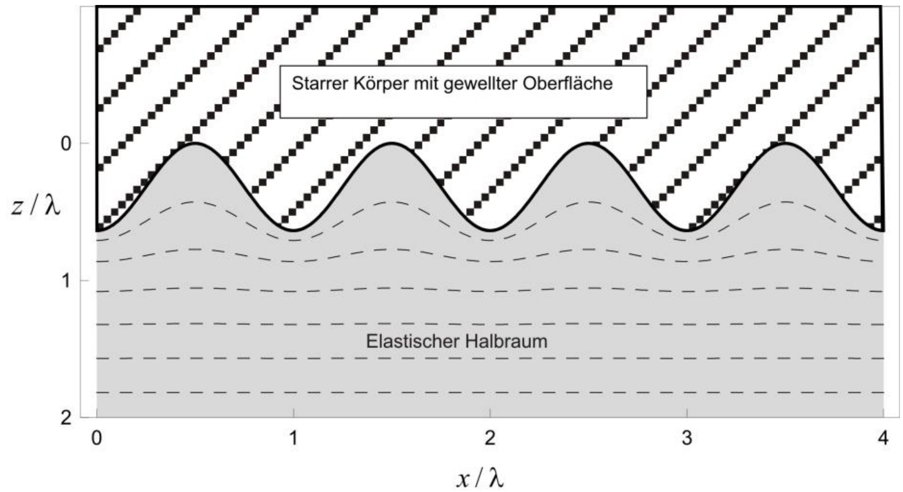

Abb. 1: Starrer Körper mit sinusförmiger Oberfläche der Wellenlänge λ in vollständigem Kontakt mit einem elastischen Halbraum; es wurde $\nu = 0,3$ berücksichtigt.

An den gestrichelten Kurven ist zu erkennen, dass das Verschiebungsfeld im Inneren seine charakteristische Wellenlänge λ beibehält, während seine Amplitude mit steigendem z exponentiell abnimmt. In einer Tiefe von $z_G \approx \lambda$ sind alle Heterogenitäten im Verschiebungsfeld beinahe vollständig abgeklungen. Gleiches gilt daher für die einzelnen Spannungskomponenten, da sie aus den Verschiebungsableitungen hervorgehen. Die Hauptschubspannungen τ_H sind für diesen Kontakt unabhängig von der Koordinate x und lauten

$$\tau_H(z) = \frac{2\pi p_0}{\lambda} z e^{-\frac{2\pi}{\lambda}z}.$$

Sie nehmen für $z_M = \dfrac{\lambda}{2\pi}$ ihren Maximalwert $\mathrm{Max}[\tau_H] = \dfrac{p_0}{e}$ an, von dem im besagten Abstand z_G, also von einer Wellenlänge λ normal zur Oberfläche, nur noch ca. 3% vorherrschen. Die obigen Berechnungen erlauben davon auszugehen, dass beinahe die gesamte Formänderungsenergie in einem Volumen der Größenordnung $V_D \approx \lambda A$ gespeichert ist, worin A die Kontaktfläche meint.

Aufgabe 1: Abziehkraft eines Klebebandes

Um die Qualität von Verklebungen zu prüfen, kommt unter Anderem der 90°-Schältest zur Ermittlung der Schälfestigkeit zur Anwendung (siehe Abb. 2 (links)). Es ist intuitiv klar, dass die Abziehkraft vom Belastungswinkel abhängt.

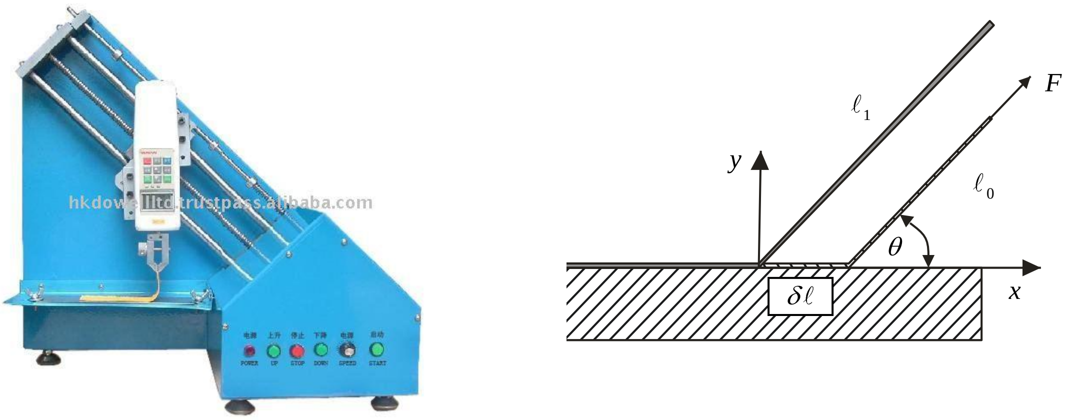

Abb. 2: Einrichtung zur Messung der Abziehkraft von Klebebänderm (links); Mechanisches Modell zur Berechnung der Abziehkraft in Abhängigkeit vom Belastungswinkel θ (rechts).

Berechnen Sie die Abziehkraft F als Funktion des Belastungswinkels θ mit Hilfe des Prinzips der virtuellen Arbeit. Nutzen Sie dazu die Prinzipskizze aus Abb. 2 (rechts). Das Klebeband soll als dehnstarr und biegeschlaff angesehen werden. Die relative Oberflächenenergie der beiden Körper sei $\Delta\gamma$ und die Breite des Klebebandes b.

Aufgabe 2: ZurAdhäsion dünner Folien auf rauen Oberflächen

Gegeben sei ein starrer Körper mit welliger Oberfläche gemäß $h(x) = \hat{h}\cos(\kappa x)$. Schätzen Sie die maximale Dicke t_c einer Goldfolie ab, so dass diese allein aufgrund der Adhäsion haftet. Nutzen Sie für Ihre Abschätzungen die folgenden (groben) Werte: $E = 80\ \mathrm{GPa}$, $\gamma_{12} = 2\,\mathrm{Jm}^{-2}$ und $\dfrac{2\pi}{\kappa} = 100\ \mu\mathrm{m}$.

Stellen Sie dazu zwei Rechnungen an, bei denen Sie bei der Aufstellung der elastischen Energie

a) ausschließlich die Längsdehnung bzw.

b) **[Hausaufgabe]** ausschließlich die Biegung berücksichtigen.

Unterscheiden Sie die Fälle $\dfrac{\hat{h}\kappa}{2\pi} = 0,002$ und $\dfrac{\hat{h}\kappa}{2\pi} = 0,01$.