TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme - Institut für Mechanik

FG Systemdynamik
und Reibungsphysik

Prof. Dr. Valentin L. Popov
M.Sc. Emanuel Willert

Kontaktmechanik und Reibungsphysik WiSe 2018/19 – UE 02

Thema: Qualitative Behandlung von Kontaktproblemen mit Adhäsion

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. 1 (links)). Es ist intuitiv klar, dass die Abziehkraft vom Belastungswinkel abhängt.

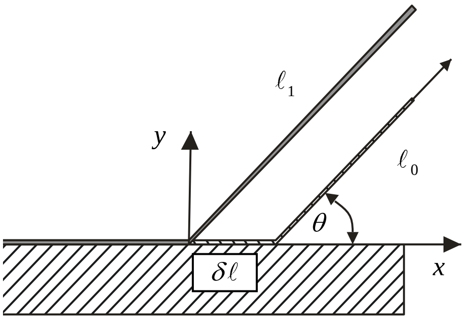

Abb. 1: Einrichtung zur Messung der Abziehkraft von Klebebändern (links); Mechanisches Modell zur Berechnung der Abziehkraft in Abhängigkeit vom Belastungswinkel θ (rechts)

Berechnen Sie die Abziehkraft F als Funktion des Belastungswinkels θ mit Hilfe des Prinzips der virtuellen Arbeit. Nutzen Sie dazu die Prinzipskizze aus Abb. 1 (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: Einfluss der Rauigkeit auf Adhäsion

Gegeben sei ein glatter elastischer Körper in Kontakt mit einer starren, rauen Oberfläche, welche durch eine charakteristische Länge l und charakteristische Höhe $h \ll l$ gekennzeichnet ist.

a) Schätzen Sie die kritische Rauigkeit h_c qualitativ ab, bei welchem die “Täler“ vollständig ausgefüllt werden, d.h. die Adhäsionsenergie größer ist als die elastische Energie.

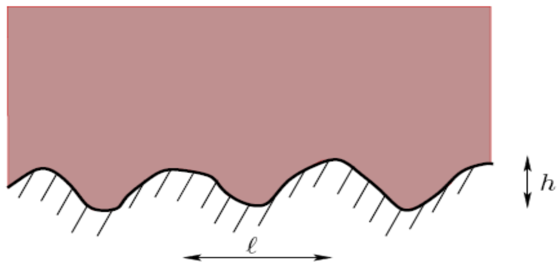

Abb. 2 Glatter elastischer Körper im direkten Kontakt mit einer starren rauen Oberfläche

b) Reiner Gummi hat einen vergleichsweise geringen Elastizitätsmodul von $E \approx 1$ MPa; die Oberflächenenergie bei starren Kontaktpartnern zu Gummi beträgt etwa $\gamma \approx 0{,}02$ J/m^2. Wie groß darf die charakteristische Rauigkeit bei $l \approx 1$ μm höchstens sein, wenn der Gummi gerade noch vollständig an der starren Oberfläche kleben soll?

Lösung Aufgabe 1

Die Aufgabe kann leicht mithilfe des Prinzips der virtuellen Arbeit gelöst werden:

$$\delta W = F\delta s - \Delta\gamma\, b\,\delta L. \tag{1}$$

Geometrisch ist leicht zu sehen, dass

$$\delta s = \delta L\left(1-\cos\theta\right) \tag{2}$$

ist. Im Gleichgewicht gilt

$$\delta W = \delta L\left[F\left(1-\cos\theta\right)-\Delta\gamma b\right]=0 \tag{3}$$

und damit

$$F = \frac{\Delta\gamma b}{1-\cos\theta}. \tag{4}$$

Lösung Aufgabe 2

Das wesentlich deformierte Gebiet, wenn die Oberflächen vollständig aneinander haften, reicht ungefähr l in das elastische Medium hinein. Die Deformation in diesem Gebiet kann dann als

$$\varepsilon \approx \frac{h}{l} \tag{5}$$

abgeschätzt werden. Die in der Deformation gespeicherte elastische Energie pro Breiteneinheit ist also

$$u_{el} \approx \frac{E}{2}\varepsilon^2 l^2 = \frac{E}{2}h^2 \tag{6}$$

und die Oberflächenenergie pro Breiteneinheit

$$u_{adh} \approx \Delta\gamma\, l. \tag{7}$$

Damit die beiden Flächen spontan aneinander „kleben“ muss daher

$$h^2 < \frac{2\Delta\gamma l}{E} \tag{8}$$

sein. Mit den angegebenen Zahlenwerten ergibt sich

$$h_c = 0{,}2\,\mu\text{m}. \tag{9}$$

Das beschreibt eine sehr raue Oberfläche und verletzt unter Umständen die Bedingung für kleine Deformationen $h \ll l$. Die Oberflächen werden also relativ leicht aneinander haften.