

Oberflächenenergie und die Young'sche Gleichung

Tipps & Tricks Nr. 6



Auf Oberflächen sitzende Tropfen bilden unterschiedliche Formen. Die Young'sche Gleichung verknüpft die Oberflächenenergien mit dem Randwinkel des Tropfens.

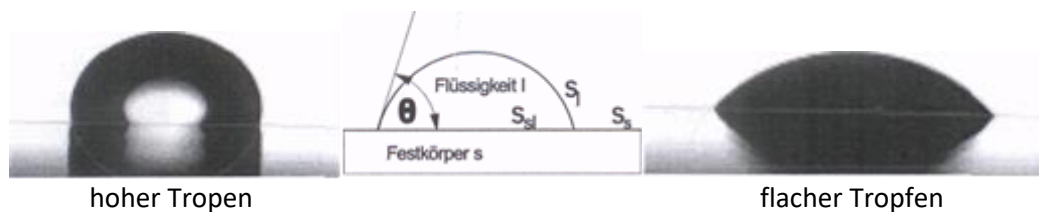
Die Benetzung wird mit der Angabe des Randwinkels, die die Oberfläche eines Flüssigkeitstropfens mit der Unterlage im Kontaktpunkt bildet, quantitativ erfasst. Dieser Randwinkel θ hängt nur von den Oberflächenenergien des Klebstoffs und der zu verklebenden Materialien ab. Der Zusammenhang ist durch die Young'sche Gleichung gegeben:

$$\cos(\theta) = \frac{\sigma_s - \sigma_{sl}}{\sigma_l}$$

Hierbei sind:

- σ_s die Oberflächenenergie des Bedruckstoffes zur Luft
- σ_{sl} die Grenzflächenenergie zwischen Flüssigkeit und Bedruckstoff
- σ_l die Oberflächenenergie der Flüssigkeit

Aus praktischen Gründen wird der Zahlwert zu der kritischen Oberflächenenergie σ_c der zu verklebenden Materialien zusammengefasst. Die kritische Oberflächenenergie wird erhalten aus dem Schnittpunkt der linearen Regression der Young'schen Gleichung mit dem Wert von $\cos(\theta) = 1$ also mit einem Kontaktwinkel von 0° . σ_c -Werte sind tabelliert. Sie können u.a. mit Hilfe von Testtinten nach DIN 53 364 oder ASTM D 2578-84 bestimmt werden. Der Wert gilt, wenn man es genau nimmt, nur für die entsprechenden Prüfflüssigkeiten.



Drei allgemeine Fälle treten für den Randwinkel θ auf:

- $\theta < 0^\circ$ Die Flüssigkeit spreitet auf der Unterlage. Die Oberflächenspannung σ_l der Flüssigkeit ist kleiner als die kritische Oberflächenspannung σ_c des festen Körpers ($\sigma_l < \sigma_c$).
- $0^\circ < \theta < 90^\circ$ Die Flüssigkeit verläuft mit größer werdendem θ zunehmend weniger und bildet immer dickere Filme.
- $\theta > 90^\circ$ Die Flüssigkeit perlt von der Unterlage ab. Die Bildung einer Grenzfläche zwischen Flüssigkeit und Unterlage benötigt zusätzliche Energie ($\sigma_{sl} > \sigma_s$).

Beim Kleben sollte θ möglichst gering sein. Als Faustregel gilt, dass die Oberflächenenergie des zu beklebenden Materials mindestens so groß wie die Oberflächenspannung des Klebstoffs sein soll. Reicht die natürliche Oberflächenenergie des zu beklebenden Materials nicht aus oder wird die Oberfläche von Hilfsstoffen überzogen, wird die benötigte Oberflächenenergie mit einer Corona-Behandlung eingestellt.

Die makroskopischen Oberflächenenergien sind die aufsummierten Differenzen der atomaren Bindungsenergien aller Atome im oberflächennahen Bereich im Vergleich zu den Atomen im Materialinneren. Aufgrund der verschiedenen Arten der atomaren Bindungskräfte kann die Oberflächenenergie in einen polaren σ_s^P und einen nicht-polaren (dispersen) Anteil σ_s^D aufgeteilt werden. Es gilt $\sigma_s = \sigma_s^D + \sigma_s^P$ bzw. $\sigma_l = \sigma_l^P + \sigma_l^D$

Bei Kenntnis der polaren Anteile kann die Energie der Grenzfläche zwischen einer Testtinte und dem zu beklebenden Material σ_{sl} berechnet werden. Während die Netzung allein von σ_c und σ_l bestimmt wird, hängt die Haftung zusätzlich vom jeweiligen polaren Anteil σ_s^P und σ_l^P ab. Es darf also nicht aus einer Messung der (kritischen) Oberflächenenergie σ_s auf die Haftung z.B. eines Klebstoffes geschlossen werden.

Beispiele für Oberflächenenergien sind hier aufgelistet:

Oberflächenenergie in mN/m	
PTFE	18
Silikonöl	21
PE	30-31
PP	30-32
Aluminium	33-35
Glas	37
Polystyrol	38
PVC	39-42
PET	43
Gold	57,4

