

Applikationsbericht 13

Anwendung der 'Wetting Envelope'

Fragestellung

Die Benetzungseigenschaften eines Festkörpers mit bestimmten Flüssigkeiten, wie Tinten, Klebern oder Lacken, ist in der Praxis sehr wichtig. In diesem Fall sollen Tinten mit verschiedenen Farbpigmenten (rot, gelb und blau) eine Folie so benetzen, daß sie nicht verlaufen, d.h. nur sehr gering Spreiten, aber trotzdem keinen zu großen Kontaktwinkel bilden, damit der Auftrag möglichst dünn wird.

Zum einen kann man die Benetzung dieser Flüssigkeiten direkt mit der Festkörperoberfläche messen. In vielen Fällen ist es während der Produktion aber nicht möglich verschiedene Chargen auf ihre Benetzbarkeit zu testen.

Mit der 'Wetting Envelope' ist nun möglich die Kontaktwinkel, ohne sie direkt zu messen, von bestimmten Flüssigkeiten zu einer definierten Oberfläche zu ermitteln.

In dem gezeigten Beispiel soll die Oberflächenenergie der Folie bei 40 mN/m liegen, der polare Anteil beträgt 10 mN/m. Die Tinten besitzen folgende Oberflächenspannungen (ermittelt aus Messungen der Grenzflächenspannung):

Rote Tinte = 39,0 mN/m; polar 9,0 mN/m
 Gelbe Tinte = 44,0 mN/m; polar 9,0 mN/m
 Blaue Tinte = 40,5 mN/m; polar 9,5 mN/m

Methode

Zum besseren Verständnis ist es zunächst erforderlich, den mathematischen Hintergrund der 'Wetting Envelope' zu beschreiben. Die Methode folgt der Berechnung nach Owens-Wendt-Rabel-Kälble (OWRK).

Die Startbedingungen für die Überlegungen einer 'Wetting Envelope' beziehen sich zunächst auf der Tatsache der Adhäsionsarbeit nach Young, die wie folgt beschrieben ist (Zeichenerklärung am Ende):

$$W_A = \sigma_l (1 + \cos \Theta) \quad (1)$$

Für die Adhäsionsarbeit nach OWRK gilt:

$$W_A = 2 \left(\sqrt{\sigma_l^d \cdot \sigma_s^d} + \sqrt{\sigma_l^p \cdot \sigma_s^p} \right) \quad (2)$$

Die Oberflächenspannungen gliedern sich in:

$$\sigma_l = \sigma_l^d + \sigma_l^p \quad (3)$$

Für die vollständige Benetzung der Flüssigkeit gilt:

$$\cos \Theta = 1 \quad (4)$$

Aus den Formeln (1) bis (4) ergibt sich:

$$\sigma_l^d + \sigma_l^p = \sqrt{\sigma_l^d \cdot \sigma_s^d} + \sqrt{\sigma_l^p \cdot \sigma_s^p} \quad (5)$$

Die polaren bzw. dispersen Anteile einer Oberflächenenergie können als Funktion in ein Koordinatensystem eingetragen werden. Somit erhält man den Benetzungsparameter R aus der geometrischen Betrachtung:

$$R = \sqrt{(\sigma_l^d)^2 + (\sigma_l^p)^2} \quad (6)$$

$$R \cdot \cos \varphi = \sigma_l^d \quad (7)$$

$$R \cdot \sin \varphi = \sigma_l^p \quad (8)$$

Setzt man (7) und (8) in (5) ein, erhält man:

$$R \cdot \cos \varphi + R \cdot \sin \varphi = \sqrt{R \cdot \cos \varphi \cdot \sigma_s^d} + \sqrt{R \cdot \sin \varphi \cdot \sigma_s^p} \quad (9)$$

Aufgelöst nach R, als Funktion von φ ergibt die Formel den Wert im Koordinatensystem für die vollständige Benetzung. Da die polaren bzw. dispersen Anteile nicht negativ werden können, genügt die Betrachtung dieser Funktion für φ im Bereich 0-90°. Die Formel für diese Funktion lautet:

$$R(\varphi) = \left(\frac{\sqrt{\cos \varphi \cdot \sigma_s^d} + \sqrt{\sin \varphi \cdot \sigma_s^p}}{\cos \varphi + \sin \varphi} \right)^2 \quad (10)$$

Diese Formel ausgewertet für φ von 0-90° ergibt die 'Wetting Envelope' für eine bestimmte Oberflächenenergie. Aufgetragen werden dabei die polaren und dispersen Anteile der Oberflächenspannung. Die Abb. 1 zeigt eine solche Beziehung für die Werte für die Folie. SFT = 40 mN/m; disperser Anteil = 30 mN/m.

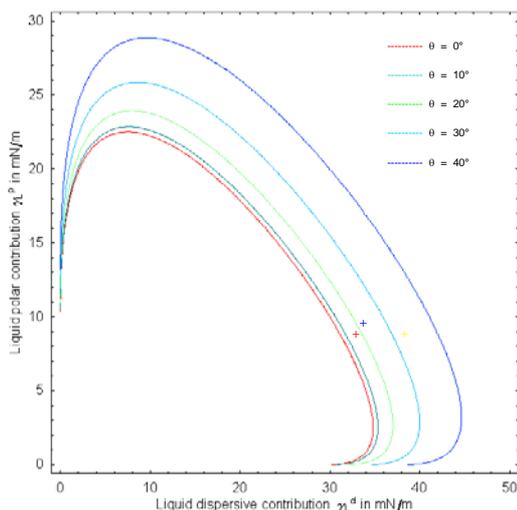


Abb. 1: 'Wetting Envelope' der Folie für 0-40°, mit den Werten für die verschiedenen Farbtinten

Die Beziehung $R(\varphi)$ gilt nur für eine vollständige Benetzung d. h. $\cos(\theta) = 1$. Nimmt man nun an daß sich ein Kontaktwinkel bildet (z.B. 10°) muß der Parameter R um den Faktor $2/(1+\cos(\theta))$ multipliziert werden. Dieser Parameter R' beschreibt nun eine 'Wetting Envelope' für alle Winkel φ bei $\theta = 10^\circ$. Eine solche Erweiterung zeigt auch Abb. 1. Hier wurden für $\theta = 10^\circ, 20^\circ$ und 30° die 'Wetting Envelope' eingezeichnet. Dies gibt dem Betrachter die Möglichkeit, die zu untersuchenden Flüssigkeiten besser auf ihre Benetzbarkeit abschätzen zu können.

Zeichenerklärung:

W_A = Adhäsionsarbeit

σ_s = Oberflächenenergie Festkörper

σ_s^d = Oberflächenenergie; disperser Anteil

σ_s^p = Oberflächenenergie; polarer Anteil

σ_l = Oberflächenspannung Flüssigkeit

σ_l^d = Oberflächenspannung; disperser Anteil

σ_l^p = Oberflächenspannung; polarer Anteil

θ = Kontaktwinkel

R, φ = Hilfsgrößen zur Berechnung der 'Wetting Envelope'

Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Abb. 1 veranschaulicht. Der Wert für die rote Tinte liegt innerhalb der 'Wetting Envelope' von $\theta = 0^\circ$. Diese Tinte wird vollständig spreiten und auf der Folie verlaufen. Die gelbe Tinte liegt zwischen der 20 und 30°-Linie. Der exakt berechnete Kontaktwinkel liegt bei 25,3°. Die Tinte spreitet nicht mehr, sondern bildet schon einen recht deutlichen Kontaktwinkel. Dieser führt zu einem erhöhten Verbrauch der Tinte. Die blaue Tinte liegt fast genau auf der 10°-Linie (9,1°). Diese Tinte spreitet nur ganz wenig, und verläuft nicht. Sie bildet einen Kontaktwinkel, der das Tropfenvolumen sehr klein hält und somit ideal für diese Folie ist.

Zusammenfassung

Anhand der 'Wetting Envelope' konnten die drei Tinten in ihren Benetzungseigenschaften charakterisiert werden, ohne konkrete Messungen auf der Oberfläche der Folie. Die Methode bietet dem Anwender daher die Möglichkeit solche Untersuchungen mit bereits charakterisierten Oberflächen bzw. Flüssigkeiten schnell und damit kostengünstig durchzuführen.