

2006

Scientific Research in a Foreign Language

Meghan Bellows
meghan.bellows@gmail.com

Follow this and additional works at: <http://digitalcommons.uri.edu/srhonorsprog>

 Part of the [Chemistry Commons](#), [European Languages and Societies Commons](#), and the [Other Languages, Societies, and Cultures Commons](#)

Recommended Citation

Bellows, Meghan, "Scientific Research in a Foreign Language" (2006). *Senior Honors Projects*. Paper 24.
<http://digitalcommons.uri.edu/srhonorsprog/24><http://digitalcommons.uri.edu/srhonorsprog/24>

This Article is brought to you for free and open access by the Honors Program at the University of Rhode Island at DigitalCommons@URI. It has been accepted for inclusion in Senior Honors Projects by an authorized administrator of DigitalCommons@URI. For more information, please contact digitalcommons@etal.uri.edu.

Meghan Bellows (meghan.bellows@gmail.com)
Scientific Research in a Foreign Language
Advisor: Dr. Otto Gregory

Key Words:

surface energy, roughness, contact angle, drop shape analysis, profilometer, atomic force microscope

Abstract:

Research is a vital aspect in science and engineering. Not only does it further ideas and technology around the world, it brings people around the world together through collaborations. More often than not, the common language spoken among collaborators is English. This makes it easy for native English speakers. It becomes very difficult, however, when the common language spoken among collaborators is not one's native tongue. New vocabulary, oftentimes very complex and technical, must be learned. It becomes even more of a challenge to present results and findings in a manner that is clear and concise.

A collaboration between the University of Rhode Island and the Technische Universität Braunschweig (TU Braunschweig) was set up to look at surface roughness effects on surface energy. In many processes in the chemical, petrochemical, food and pharmaceutical industry wetting of solid surfaces plays a prominent role. The desired characteristic wetting behavior ranges from an almost complete wetting of the surface by the liquid to complete repulsion between surface and liquid. Therefore corresponding contact angles varied from 0° to 180°. At the Institute for Chemical and Thermal Process Engineering at TU Braunschweig fouling of heat transfer surfaces resulting from the crystallization of salts was investigated. Surface energy determined from contact angle measurements was used as a primary parameter to characterize deposition tendency of crystals.

Surface roughness exerts a major influence on the interaction between substrate and liquid. Different interaction conditions occur for wetting and de-wetting as the liquid has wetted the flanks of the surface roughness after a first full contact. This results in a hysteresis effect depending on the direction of the process. For two different substrates, stainless steel and copper, surface roughness was changed through mechanical treatment. The influence of surface roughness on surface energy was then determined. Also two different types of coatings on stainless steel, Sol Gel and DLC (Diamond like Carbon), were characterized with respect to surface energy and roughness. A Profilometer and an Atomic Force Microscope (AFM) were available to determine surface roughness. As these techniques cover different surface areas, some cm² with the Profilometer vs. 100 μm x 100 μm for the AFM, results are identical. A Drop Shape Analyzer (DSA) was used to measure the contact angle and from this calculate surface energy.

The entire project was conducted in the German language, culminating in a presentation of results to a panel of faculty and graduate students. The language barrier added to the challenge of conducting the research in a meaningful way and gave a new perspective on international collaborations.

Rauheit und Oberflächenenergie

ein Bericht von Meghan Bellows
das Institut für Chemische und Thermische Verfahrenstechnik
Technische Universität Braunschweig
9 Februar 2005

Einleitung:

Das Institut für Chemische und Thermische Verfahrenstechnik beschäftigt sich schon seit vielen Jahren intensiv mit dem Fachgebiet der Belagbildung auf Wärmeübertragenden Flächen (Fouling). Um der Prozess des Kristallisationsfouling beschriebe zu könne, sind Materialdatei der Wärmeübertragenfläche wie Rauheit, Oberflächenenergie, Zetapotential, Topographie erforderlich.

Die Rauheit und die Oberflächenenergie beeinflussen sich jedoch auch gegenseitig. Daher ist es wichtig, die Einflussgrößen unabhängig charakterisieren zu können.

Das Benetzungsverhalten einer Flüssigkeit auf einer festen Oberfläche bewegt sich von vollständiger Benetzung der Fläche bis zu einem hydrophober Verhalten der Oberfläche. Deshalb ändern die Kontaktwinkel von 0° bis 180° .

Die Oberflächenrauheit hat einen wichtigen Einfluss auf der Interaktion zwischen dem Festkörper und die Flüssigkeit.

In dieses Projekt soll die Rauheit und die Oberflächenenergie verglichen werden. Zwei Metalle wurden benutzt: Edelstahl und Kupfer. Beide Metalle wurden durch Schleifpapier verschiedenster Körnung unterschiedlich mechanisch behandelt. Die Rauheit wurde mit einem Profilometer gemessen und die Oberflächenenergie wurde mit einem Drop Shape Analysen gemessen.

Theorie:

Es gibt viele Methoden, um die Oberflächenenergie zu berechnen, wie zum Beispiel Acid/Base; Owen, Wendt & Kaebele (OWK); oder Fowkes. Alle diese Methoden benutzen den Kontaktwinkel des Tropfens der Flüssigkeit.

Es gibt eine Beziehung zwischen die Grenzflächenspannungen an einem Punkt auf einer 3-Phase Kontaktlinie.

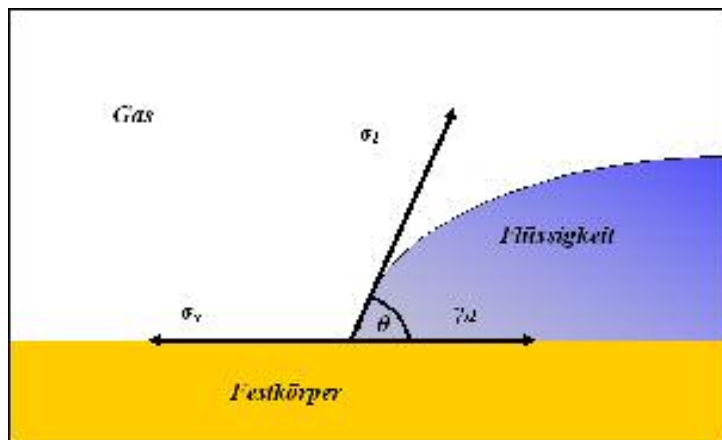


Abb. 1: das Schaubild des Kontaktwinkels

Die Indices s und l bedeuten *Festkörper* und *Flüssigkeit*; die Symbole σ_s und σ_l stellen die Oberflächenspannung der zwei Phasen dar; γ_{sl} ist die Grenzflächenspannung zwischen den zwei Phasen, und θ ist der Kontaktwinkel, der dem Winkel zwischen den Vektoren σ_l und γ_{sl} entspricht. Young (1805) hat Formel 1 formuliert. σ_s wird gesucht, σ_l wird in eine Dateibank des Computers gespeichert und γ_{sl} wird mit eine Methode (Acid/Base, OWK) in dem Computer berechnet.

$$\sigma_s = \gamma_{sl} + \sigma_l \cdot \cos \theta \quad [1]$$

Mit der Drop Shape Analysis Programm können den Kontaktwinkel gemessen werden und die Oberflächenenergie berechnet werden.

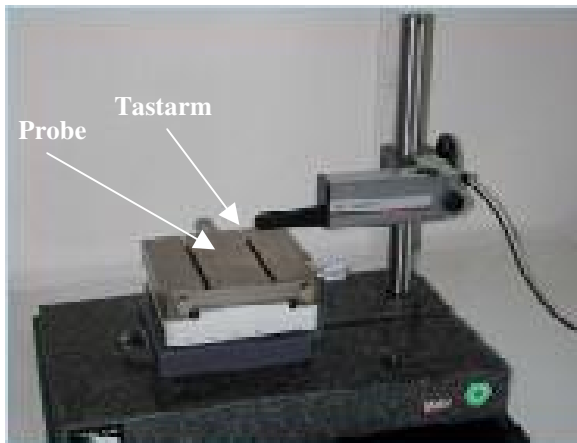


Abb. 2a: das Profilometer



Abb. 2b: der DSA

Für die Rauheit Messung wurde ein Profilometer benutzt (Siehe Abbildung 2a). Das Profilometer hat eine kleine Nadel an dem Tastarm, die herüber die Fläche des Metalls geht. Das Computer rechnet zwei Rauheit Werte: R_a und R_z . Mit Formel 2 kann sehen werden, dass R_z der mittlere Berg-Tal-Höhenunterscheid Y_i von 5 konstruktiven Abschnitten ist.

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 Y_i \quad [2]$$

R_a ist der arithmetische Mittelwert der absoluten Werte der Profilabweichungen z innerhalb der Messstrecke L (Siehe Formel 3).

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |z| dx \quad [3]$$

Mit dem Atomic Force Microscope (AFM) kann man die Topographie um die Rauheitskennwerte sichtbar zu machen, sind hier zwei Beispiele (Abbildung 3a und 3b) Kupferplatte, die mit Schleifpapier mit 180er und 1000er Körnung behandelt wurden.

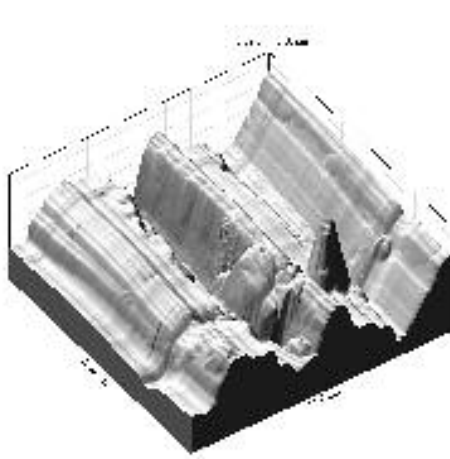


Abb. 3a: Kupfer K180

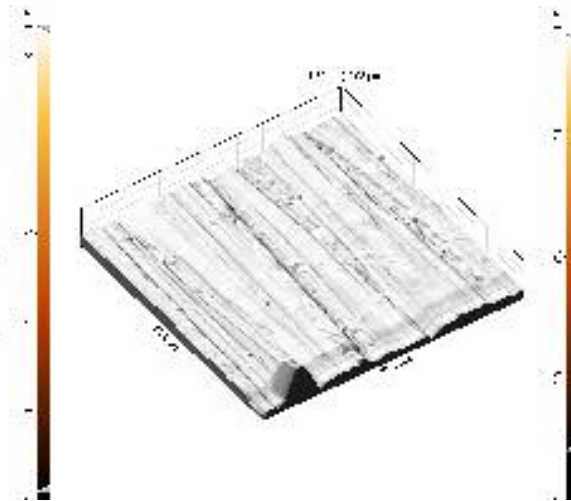


Abb. 3b: Kupfer K1000

Um die Rauheit der Proben verlässlich zu bestimmen, wurde jede Probe 20-mal vermessen. Jede Probe wurde 10 verschiedene Messstrecken in der Länge nach und 10 Messstrecken in der Breite nach gemessen und aus diese weiter jeweils der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung berechnet.

Um die Oberflächenenergie der verschiedenen Proben bestimmen zu können, wurde ein Drop Shape Analysen der Firma Krüss eingesetzt. Das Verfahren beruht auf der Messung des dynamischen Kontaktwinkels eines Tropfens auf einer Oberfläche. Hierbei wird mittels einer CCD-Kamera und angeschlossenen Messcomputer der Kontaktwinkel eines Tropfens gemessen, während er mittels einer Spritze vergrößert wird. Der hierbei gemessene Winkel wird Vorzugswinkel genannt. Wird der Tropfen verkleinert, heißt der hierbei gemessene Winkel Rückzugswinkel. Durch den Einfluss der makroskopischen Rauheit und durch molekulare Interaktionen sind Vorzugs- und Rückzugswinkel nicht identisch, was zu einer Hysteresekurve führt.

Der γ_{sl} Wert wurde mit Formel 4 (Acid/Base) oder Formel 5 (OWK) berechnet.

$$\gamma_{sl} = \sigma_s + \sigma_l - 2\left(\sqrt{\sigma_s^D \cdot \sigma_l^D} + \sqrt{\sigma_s^+ \cdot \sigma_l^-} + \sqrt{\sigma_s^- \cdot \sigma_l^+}\right) \quad [4]$$

$$\gamma_{sl} = \sigma_s + \sigma_l - 2\left(\sqrt{\sigma_s^D \cdot \sigma_l^D} + \sqrt{\sigma_s^P \cdot \sigma_l^P}\right) \quad [5]$$

Messungen:

Die Rauheit beider Substrate wurde gemessen, wobei die Formeln (Formel 2, Formel 3) für die Kennwerte R_a und R_z verwendet wurden. Wie in Abbildung 4 zu erkennen ist, nimmt der R_a -Wert mit zunehmender Körnung des Schleifpapiers ab, wobei der hohe Wert der mit Schleifpaste behandelten Probe nicht nachzuvollziehen ist. Es scheint sich hierbei um Ablagungen der Schleifpaste und Veränderungen des Substrates zu handeln. Die mechanisch unbehandelte Platte liegt zwischen den R_a -Werten der mit K80 Körnung und der mit K240/K180 Körnung behandelten Oberflächen.

Eine Beschichtung mittels klassischer Plasma-Beschichtung senkt der Rauheitswert nur geringfügig, bildet also nur die Originaloberfläche ab. Eine Beschichtung mittels Sol-Gel verfahren verringert die Rautiefe, da die Riefen durch das Beschichtungsverfahren gefüllt und anschließend getrocknet werde. Es fällt auch auf, dass durch eine mechanische Behandlung mit einer höheren Körnung als 400 kein nachweislicher Glättungseffekt zu erreichen ist.

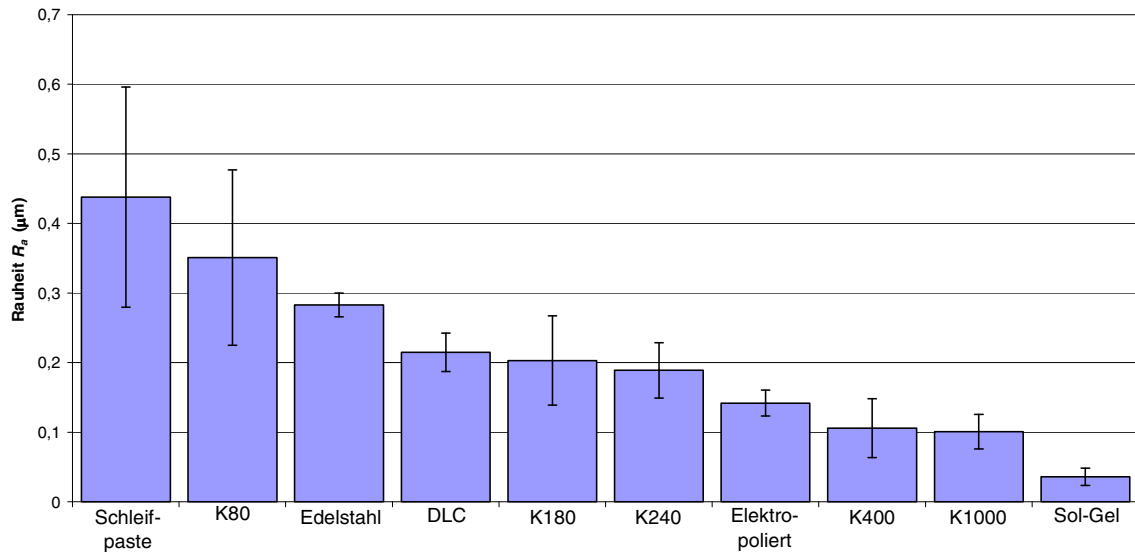


Abb. 4: Mittlere Rauheit R_a mit Standardabweichung für alle Edelstahlproben

Im vergleich zum Edelstahl fällt auf, dass die Rauheit des unbehandelten Kupfers zwischen K400 und K1000 liegt. Auch fällt auf, dass durch eine niedrigere Körnung eine höhere Rauheit als bei Edelstahl erreichbar ist, was durch die geringere Härte des Metalls zu erklären ist. Hier zeigt sich auch der gewünschte Effekt der Schleifpaste, die die Rauheit gegenüber der 1000er Körnung weiter verringern kann.

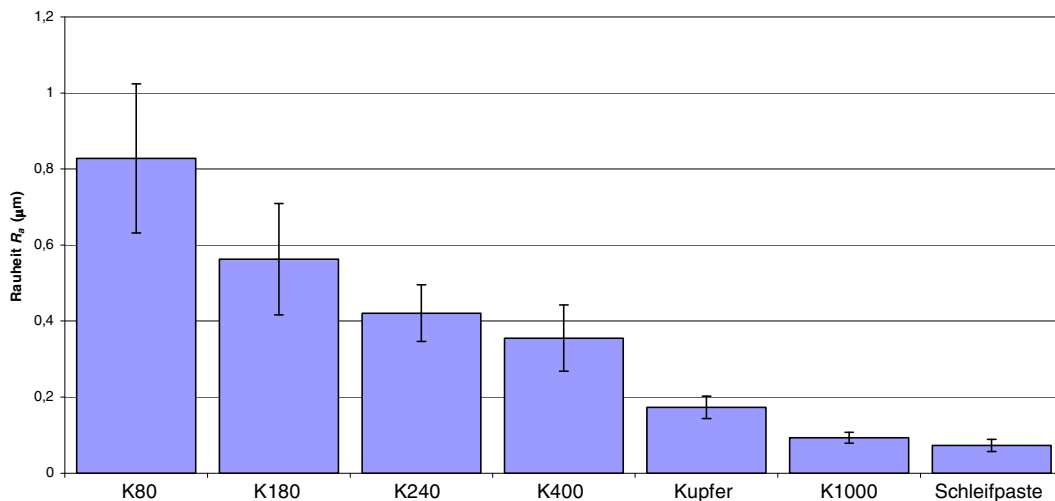


Abb. 5: Mittlere Rauheit R_a mit Standardabweichung für alle Kupferproben

Abbildung 6 zeigt die Oberflächenenergie für jede Edelstahlproben an. Die Oberflächenenergie für DLC ist größer als die originale Probe. Für Sol-Gel ist der OWK Wert kleiner, aber es gibt nur ein kleiner Unterschied zwischen der Acid/Base Wert. Die gleiche ist mit Schleifpaste, wobei der OWK Wert kleiner als das Original ist, aber der Acid/Base Wert ein bisschen größer. Die anderen mechanischen behandelten Proben haben höhere Oberflächenenergie als das Original, aber es gibt keine Korrelation zwischen die Rauheit (R_a -Wert) und die Oberflächenenergie (σ_s -Wert).

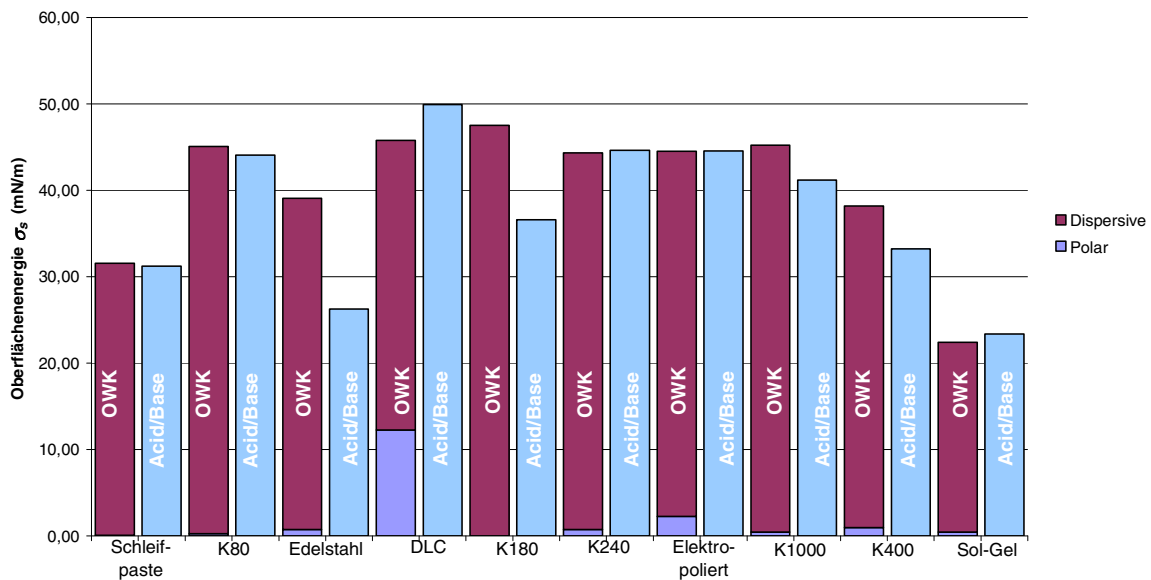


Abb. 6: Oberflächenenergie σ_s mit Acid/Base und Owens, Wendt & Kaebele für alle Edelstahlproben

Abbildung 7 kann mit Abbildung 6 verglichen werden. Das originale Kupfer legt zwischen K400 und K1000. Alle die Proben, die mechanische behandelt wurden, haben eine höhere Oberflächenenergie als das Original. Jedoch gibt es keine Korrelation zwischen der Rauheitswert und der Oberflächenenergiwert.

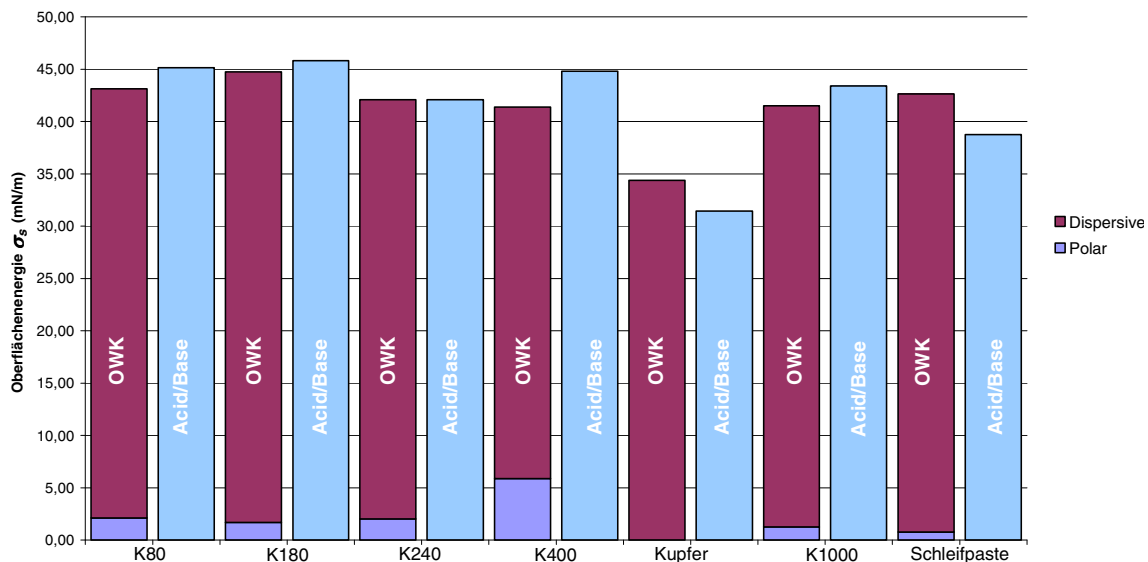


Abb. 7: Oberflächenenergie σ_s mit Acid/Base und Owens, Wendt & Kaebele für alle Kupferproben

Es gibt eine Korrelation zwischen der Kontaktwinkel und der Benetzungsweg. Als der Tropfen größer gemacht wurde, wurde der Benetzungsweg auch größer gemacht, und als der Tropfen kleiner gemacht wurde, wurde der Benetzungsweg auch kleiner gemacht. Abbildung 8 zeigt der Kontaktwinkel gegen den Benetzungsweg für zwei Kupfer Proben an. Für eine relative glatte Probe (K1000) ist der Unterschied zwischen den beiden Linien relativ klein, aber für eine relativ raue Probe (K180) ist der Unterschied zwischen den beiden Linien relativ groß. Dieser Unterschied heißt eine Hysterese. Die Hysterese scheint größer zu werden mit größerer Rauheit.

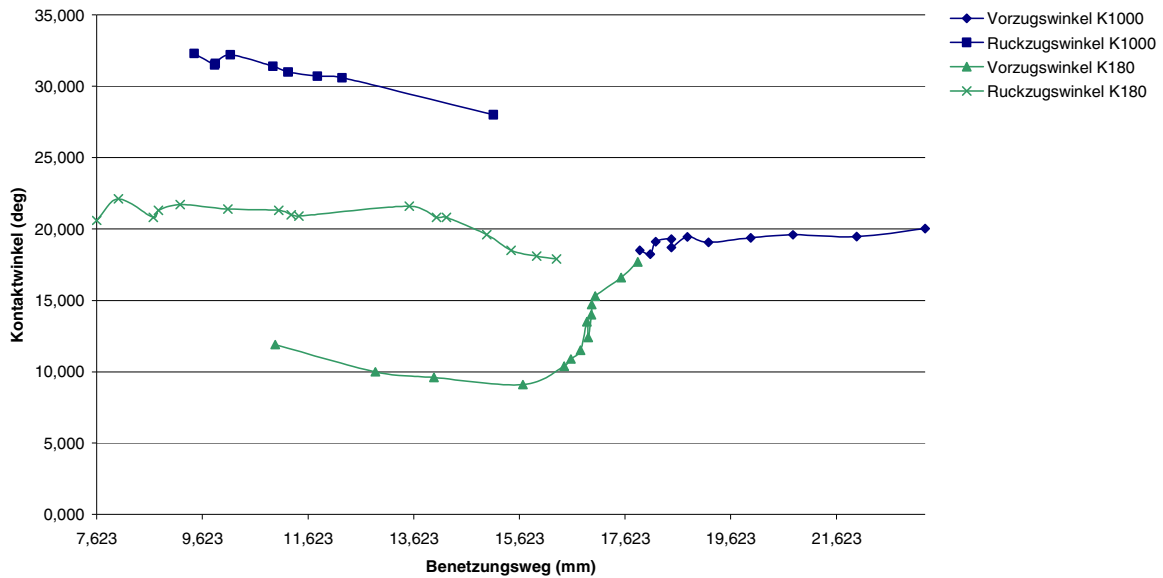


Abb. 8: Benetzungsweg gegen den Kontaktwinkel für Kupfer K1000 und Kupfer K180

Zusammenfassung:

- Rauheit und Oberflächenenergie wurden gemessen.
- Mechanische behandelte Proben scheinen höhere Oberflächenenergie hervorzurufen.
- Rauheit hat keinen nachzuvollziehenden Einfluss auf Oberflächenenergie.
- Hysterese scheint größer zu werden mit zunehmender Rauheit.

Roughness and Surface Energy

a report by Meghan Bellows
The Institute for Chemical and Thermal Process Engineering
Technical University of Braunschweig
University of Rhode Island
February 9, 2005
Translated: April 16, 2006

Introduction:

The Institute for Chemical and Thermal Process Engineering has concerned itself for many years investigating the lining formation on heat transfer surfaces (fouling). Describing the process of crystal fouling involves many parameters, mainly roughness, surface energy, zeta potential, and topography.

Roughness and surface energy affect each other mutually. Therefore, it is important to be able to characterize the measured variables independently.

The wetting behavior of a liquid on a firm surface moves from complete wetting of the surface to a more hydrophobic wetting of the surface. Therefore the contact angles vary from 0° to 180° .

Surface roughness has an important influence on the interaction between the solid body and the liquid.

During this project, the influence of roughness on the surface energy is compared. Two metals were used: high-grade steel and copper. Both metals were differently mechanically treated by sandpaper of varying granulation. Roughness was measured with a Profilometer and the surface energy was measured with a Drop Shape Analyzer (DSA).

Theory:

There are many methods used to compute surface energies on solids, for example Acid/Base; Owen, Wendt & Kaebler (OWK); or Fowkes. All these methods use the contact angle of the drop of a liquid makes with the solid.

There is a relationship between the border surface tensions at one point on a 3-Phase contact line.

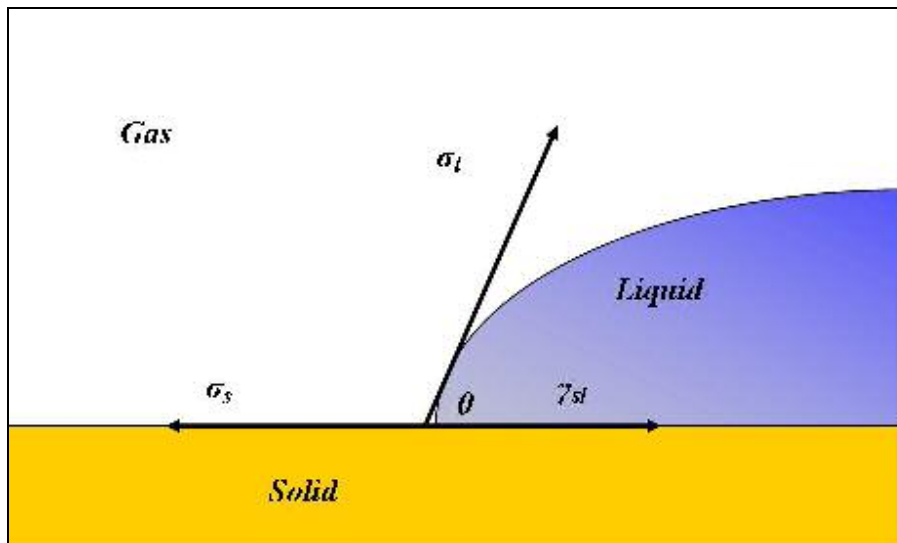


Fig. 1: Contact Angle between liquid drop and solid surface

The indices s and l represent solid and liquid, respectively; the symbols σ_s and σ_l represent the surface tension of the two phases; γ_{sl} is the border surface tension between the two phases, and θ is the contact angle, which corresponds to the angle between the vectors σ_s and σ_l . Young (1805) formulated equation 1. σ_s is what is sought, σ_l is saved in a data file in the computer and γ_{sl} is calculated using one of the methods (Acid/Base, OWK).

$$\sigma_s = \gamma_{sl} + \sigma_l \cdot \cos \theta \quad [1]$$

With the Drop Shape Analysis program the contact angle can be measured and the surface energy subsequently calculated.

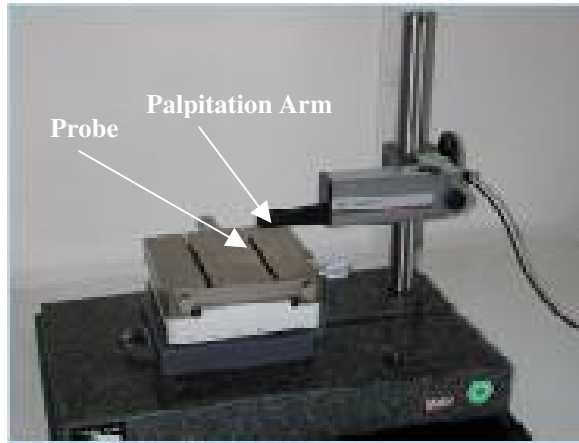


Fig. 2a: the Profilometer



Fig. 2b: the DSA

In order to measure the roughness, a Profilometer was used (see figure 2a). The Profilometer has a small needle at the palpitation arm, which runs over the surface of the metal. The computer measures two roughness of values: R_A and R_Z . Using equation 2 can be seen that R_Z is the average value taken of the parameter Y_i (five consecutive measurements).

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 Y_i \quad [2]$$

R_A is the arithmetic average value of the absolute values of the profile deviations z within the measuring section L (see equation 3).

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |z| dx \quad [3]$$

With the Atomic Force Microscope (AFM) one can visualize the topography characterized by the roughness parameters. Here are two examples (figures 3a and 3b) for copper plate, which were treated with sandpaper with 180th and 1000th granulation.

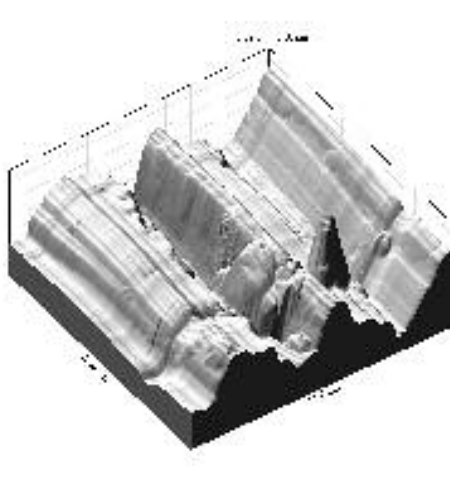


Fig. 3a: Copper K180

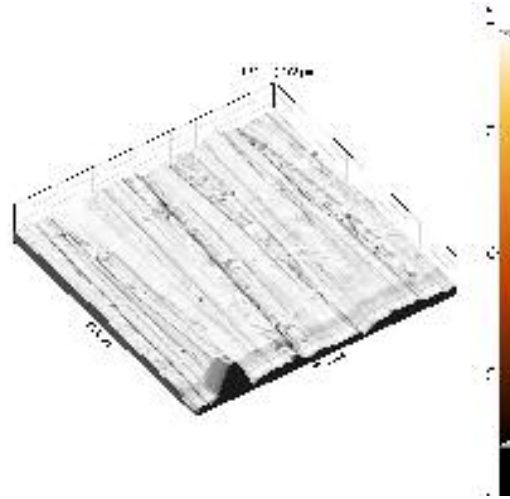


Fig. 3b: Copper K1000

In order to determine the roughness of the samples reliably, each sample was measured 20 times. Each sample was measured 10 different places lengthwise and 10 different places widthwise. Out of these, the arithmetic average value was taken and the standard deviation was computed for each case.

The surface energy of the different samples was calculated using a Drop Shape Analyzer, made by the company Krüss. The procedure is based on the measurement of the dynamic contact angle of a drop on a surface. Here, by means of a CCD camera and an attached measuring computer, one can measure contact angles of a drop that increases by means of a syringe. This measured angle is called the forward angle. If the drop made decreases using a syringe, the angle measured is called the retreating angle. By the influence of macroscopic roughness and by molecular interactions forward angles and retreating angles are not identical, which leads to a hysteresis curve.

The γ_{sl} value is computed using equation 4 (Acid/Base) or equation 5 (OWK).

$$\gamma_{sl} = \sigma_s + \sigma_l - 2\left(\sqrt{\sigma_s^D \cdot \sigma_l^D} + \sqrt{\sigma_s^+ \cdot \sigma_l^-} + \sqrt{\sigma_s^- \cdot \sigma_l^+}\right) \quad [4]$$

$$\gamma_{sl} = \sigma_s + \sigma_l - 2\left(\sqrt{\sigma_s^D \cdot \sigma_l^D} + \sqrt{\sigma_s^P \cdot \sigma_l^P}\right) \quad [5]$$

Data:

The roughness of both substrates was measured, whereby the equations (equations 2, equations 3) for the characteristic values R_A and R_Z were used. As can be seen in figure 4, the R_A value increases with the decrease in the granulation of the sandpaper, although it should be noted that the high value of the sample treated with grinding paste is not fully understood. It seems to be concerned with the file gene of the grinding paste and the changes of the substrate. The mechanically untreated plate lies between the R_A values of K80 and the surfaces treated with K240/K180 granulation.

A coating by means of classical plasma coating lowers the roughness value only slightly, thus essentially the original surface is measured. A coating by means of Sol-Gel reduces the depth of roughness, since the scoring by the coating process fills in and dries afterwards. It is also noticeable that using a mechanical treatment with a higher granulation than 400 yields no noticeable improved smoothing effect.

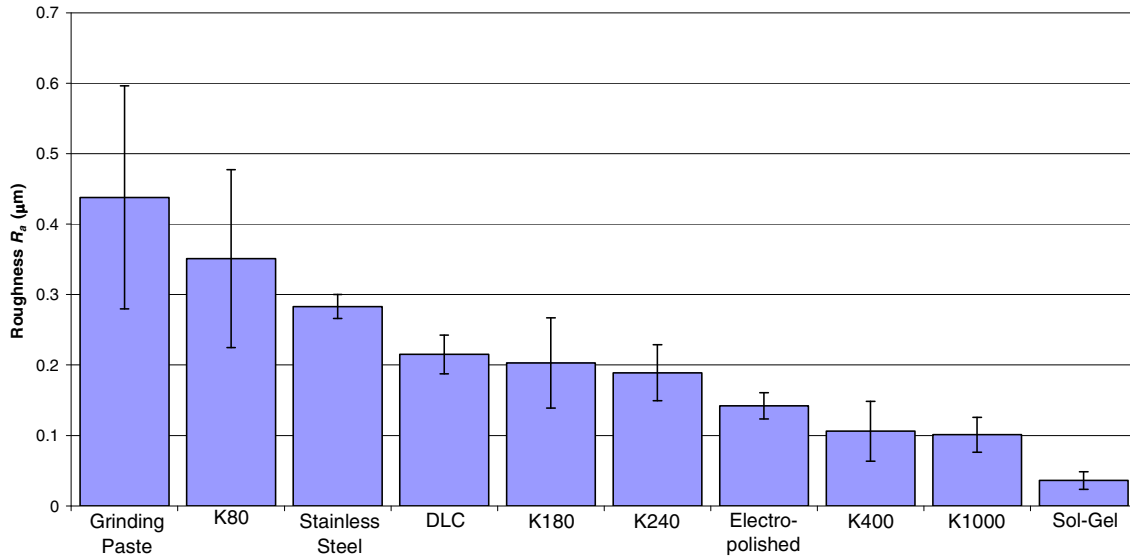


Fig. 4: Average Roughness, R_A , with standard deviation, for all stainless steel samples

In comparison to the stainless steel, it should be pointed out that the roughness of the untreated copper lies between K400 and K1000. It is also apparent that by applying a lower granulation, a higher roughness is attainable than with the stainless steel. This explains the lower hardness of the metal. Figure 5 shows the desired effect of the grinding paste, which can reduce roughness beyond that of the 1000th granulation paper.

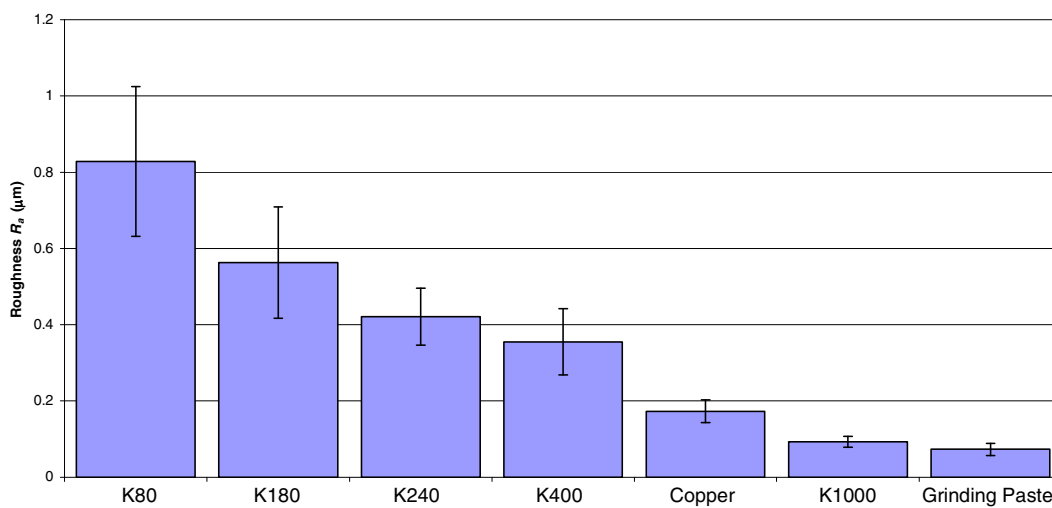


Fig. 5: Average roughness, R_A , with standard deviation, for all copper samples

Figure 6 shows the surface energy for each stainless steel sample. As can be seen, the surface energy for DLC is larger than the original sample. For Sol-Gel the OWK value is smaller than

the original, but it gives only a small difference between the Acid/Base values. The same is with grinding paste treated sample, whereby the OWK gave a smaller value than the original, but the Acid/Base value is slightly larger. The other mechanical treated samples have higher surface energy than the original, but there is no correlation between roughness (R_A) and the surface energy (σ_s).

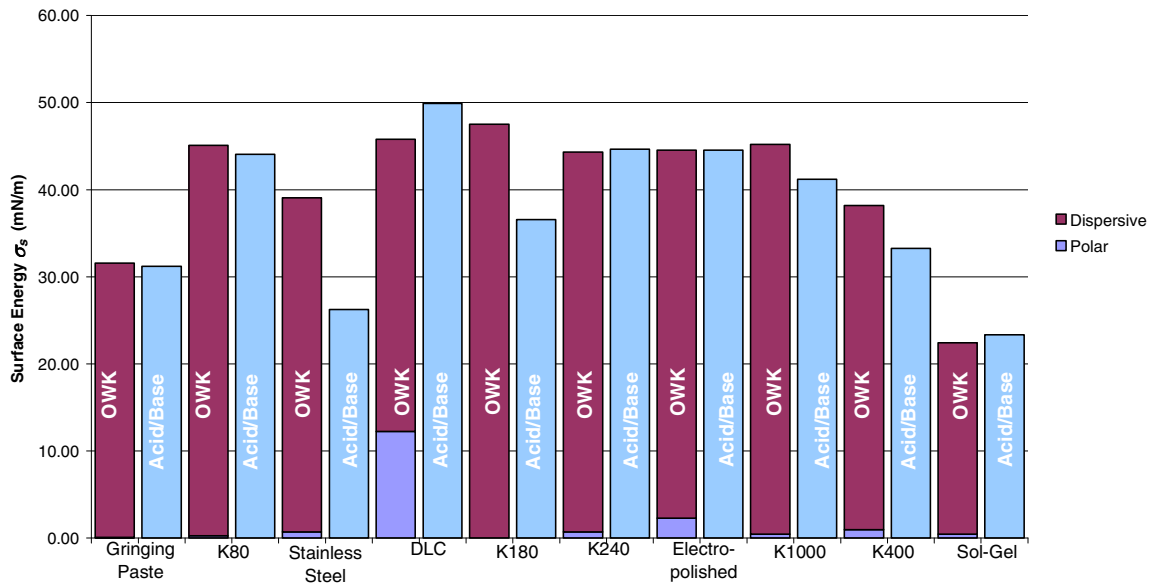


Fig. 6: Surface energy σ_s with Acid/Base and Owens, Wendt & Kaebele for all stainless steel samples

Figure 7 can be compared with figure 6. The untreated copper sample lies between K400 and K1000. As can be seen, most all of the samples, which were treated mechanically, show a higher surface energy than the original. However there is no correlation between the roughness value and the surface energy value.

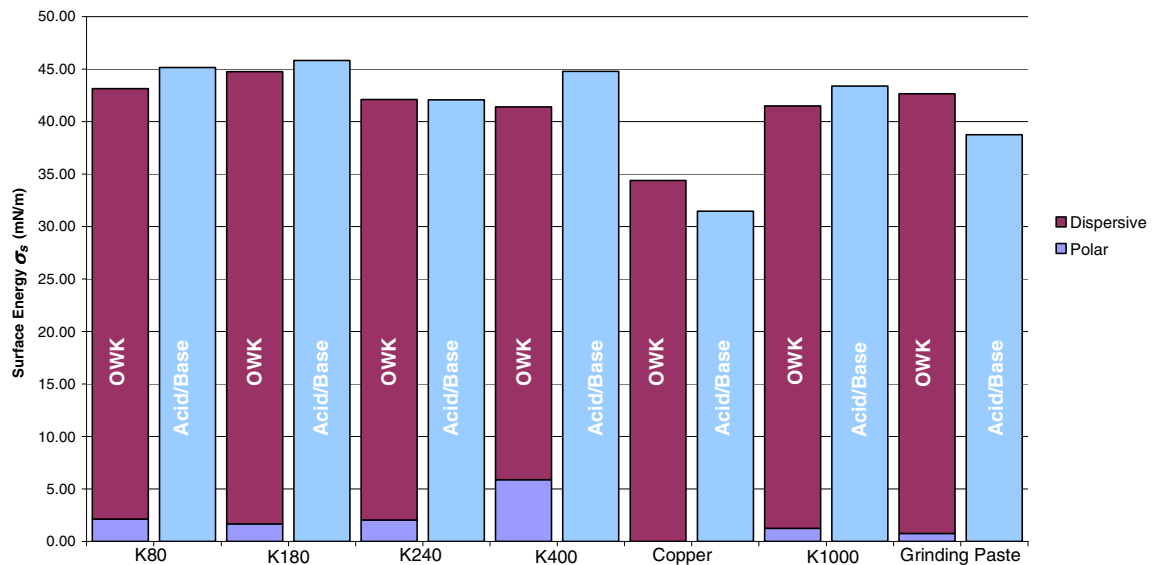


Fig. 7: Surface energy σ_s with Acid/Base and Owens, Wendt & Kaebele for all copper samples

There is a correlation between the contact angles and the wetting area. When the drop was made larger, the wetting area also increased. As the drop was made smaller, the wetting area decreased. Figure 8 shows the contact angle versus the wetting area for two copper samples. For a relative smooth sample (K1000) the difference between the two lines is relatively small, but for a relatively rough sample (K180) the difference between the two lines is relatively large. This difference is called a hysteresis. The hysteresis seems to become larger with larger roughness.

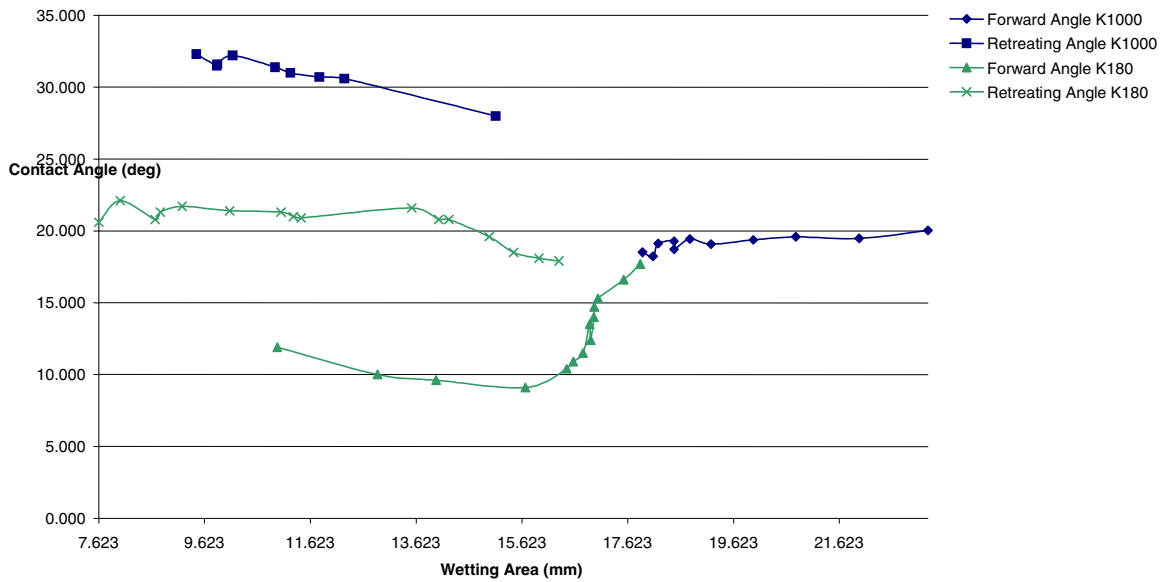


Fig.8: Wetting area versus the contact angle for copper K1000 and copper K180

Summary:

- Roughness and surface energy were measured.
- Mechanically treated samples seem to cause higher surface energy.
- Roughness does not show a particular correlation to surface energy.
- Hysteresis seems to be larger with increasing roughness.