

Jahresbericht 2002, 15. Dezember 2002

# Projekt

## Methodes de traitement de surface pour obtenir une diminution du givrage

Autor und Koautoren	Dr. P. Hoffmann	
beauftragte Institution	EPFL, STI, BIO-E, LOA	
Adresse	CH-1015 Lausanne, BM	
Telefon, E-mail, Internetadresse	021-693'60'18	patrik.hoffmann@epfl.ch
	<a href="http://microtechnique.epfl.ch/iao/index.html">http://microtechnique.epfl.ch/iao/index.html</a>	
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	JB 85700	
Dauer des Projekts (von – bis)	1.6.2002 – 28.2.2003	

### ZUSAMMENFASSUNG

Zur Bestimmung der besten hydrophoben, auf Perfluorosilanen beruhenden Aluminiumlamellenbeschichtung wurde auf kleineren Test-Aluminiumstücken gearbeitet. Bei der Auswahl der Technologie aus zahlreichen Literaturquellen wurde auf einfache Realisierbarkeit in der Industrie Wert gelegt (Kosten, zu erwartende Reproduzierbarkeit). Da die Wasserabweisung auf hydrophoben Oberflächen mit der Rauigkeit zunimmt, wurde auch mit sandbestrahltem Alu gearbeitet. Zwecks kovalenter und damit extrem starker Bindung der Silanmoleküle an das Aluminium war es notwendig, eine Lage  $\text{SiO}_2$  aufzubringen. Das wurde mit einem Sol-Gel Prozess in einer sauren und einer basischen Variante realisiert [1] und [2], wobei die sich basische Verarbeitung durchgesetzt hat, da sie abrollende Wassertropfen aufweist. Wir arbeiten jetzt an der Verbesserung der Reproduzierbarkeit.

Von *Behr Industrietechnik* wurden Sätze von originalen Aluminiumlamellen, wie sie im Wärmetauscher im Labor von Herrn Professor Favrat (EPFL) eingebaut sind, bezogen. Nach erfolgter Oberflächenbeschichtung unsererseits werden diese zwecks Zusammenbau zum Wärmetauschergitter zu *Behr Industrietechnik* in Mylau zurückgeschickt. Als Beschichtung der Aluminiumlamellen sind sowohl unsere eigene sowie industriell erwerbliche Beschichtungen vorgesehen. Die Tests am Wärmetauscher im Betrieb werden vorzugsweise im Labor von Herrn Professor Favrat in Lausanne durchgeführt.

Als industrielle Vergleichsbeschichtung wurden folgende Produkte in die engere Wahl gezogen: *Eccotech Icephobic Top-coat*, *Siltech*, *Aquaflax* and *Cytonix* fluorothane.

Es wurden alle Vorbereitungen getroffen, die Benetzungseigenschaften der beschichteten Aluminiumlamellen bei unterschiedlichen atmosphärischen Bedingungen (das betrifft Temperatur und Luftfeuchtigkeit) zu bestimmen. Alle hier beschriebenen Kontakwinkelmessungen dienten zur Bewertung der gewonnenen Beschichtungen in der Prozessauswahl und -optimierung auf kleinen Aluminiumstücken und wurden soweit bei Raumtemperatur durchgeführt. Die Benetzungseigenschaften bei der Betriebstemperatur des Wärmetauschers sollten nach thermodynamischen Erwägungen vorteilhafter



## Projektziele

Das Projektziel ist die Schaffung einer neuartigen Oberfläche für Wärmetauscherlamellen, die langsamer vereist und damit längere Betriebslaufzeiten des Wärmetauschers erlaubt. Die **Bedeutung des Projekts** liegt somit im erheblichen Energiesparpotenzial, da energetisch kostspielige Abtauprozesse seltener werden. Man kann eine Verbesserung im Bereich von einigen Prozent mit Sicherheit erwarten, weitaus höhere Gewinne sind aber nicht auszuschliessen und unser erklärtes Ziel. Dieses Ziel heisst auch, dass eine Tropfenkondensierung anzustreben und eine Wasserfilmkondensation (wegen des geringeren Wärmeübergangskoeffizienten) zu vermeiden ist. Im Berichtsjahr 2002 sollten der bestmögliche Prozess der Lamellenbeschichtung entwickelt werden, deren Eigenschaften charakterisiert werden, die Messung derer in Realbedingungen vorbereitet (**Etappen 1 und 2**) und die Aufbringung auf Originallamellen eingeleitet werden (**Etappe 3**).

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Chemisch hydrophobe (wasserabweisende) Oberflächen haben erhöhte hydrophobe Eigenschaften, wenn die Substratoberfläche rau ist (Wenzels Rauigkeitsfaktor [3]). In unserem Projekt bestehen zwei Möglichkeiten, raue Lamellenoberflächen zu schaffen: a) Aufrauung des Aluminiums selbst (realisiert mit Sandstrahl, Fig. 1) und b) kreieren der Rauigkeit mit der aus chemischen Gründen erforderlichen  $\text{SiO}_2$  Lage zwischen Aluminium und Perfluorosilan. Diese Zwischenlage kann in Form einer relativ glatten Schicht in einem sauren Sol-Gel Prozess hergestellt werden. Sie kann aber auch auf basischen Wege produziert werden, in welchem sich mikrometer-grosse  $\text{SiO}_2$  Partikel bilden und somit zur Oberflächenrauigkeit beitragen. Es stellte sich schnell heraus, dass die Resultate auf dem sandbestrahlten Aluminium eindeutig besser waren als auf dem glatten Alu, unabhängig von saurer oder basischer Sol-Gel Prozessführung. Alle gezeigten Bilder sind dementsprechend auf sand-bestrahltes Aluminium beschränkt.

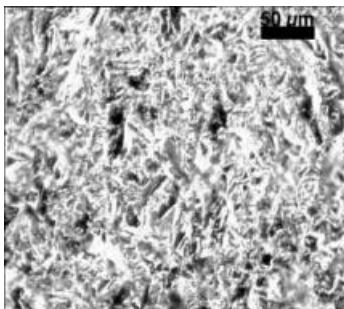


Fig. 1: Mikroskopische Aufnahme von sandgestrahltem Aluminium

Die Kettenförmigen Silanmoleküle haben einen funktionalen  $-\text{Si}-$  Kopf und gehen eine kovalente, (sehr feste chemische Bindung)  $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$  Brücke mit der  $\text{Si}-\text{OH}$  Oberfläche (z.B. Glas, oder silica-gel) ein [4]. Im Falle von Aluminium muss diese  $\text{Si}-\text{OH}$  Oberfläche erst geschaffen werden. Das ist der Grund für die Sol-Gel Vorbehandlung. Diese schafft eine  $\text{SiO}_2$  Schicht, die sich in der Realität als  $\text{Si}-\text{OH}$  Oberfläche präsentiert (Hydratisierung durch die Luftfeuchtigkeit). Der Sol-Gel Prozess wird durch eine 30 minütige Trocknung und ein einstündiges sintern bei  $450^\circ\text{C}$  abgeschlossen. Nach dieser Vorbehandlung führen wir eine Silanisierung in flüssiger Phase durch. Die Perfluorosilane sind besonders wasserabweisend, da ihre Kettenstruktur dem Teflon ähnelt. Diese Moleküle werden in Toluol gelöst und die vorbehandelten Aluminiumstücke für eine Zeit von 20 Stunden in inerter Atmosphäre (besonders wichtig ist der Wasserausschluss) eingetaucht. In Fig. 2 und 3 sind typische Resultate gezeigt (Seitenansicht von auf der Oberfläche sitzenden Wassertropfen). Die Angaben 15 bzw. 30 Minuten beziehen sich auf die Länge der Sol-Gel Behandlung. Werte für die

statischen Kontaktwinkel (Gleichgewichtskontaktwinkel) sind für die beste jeweilige Beschichtung angegeben (30min).

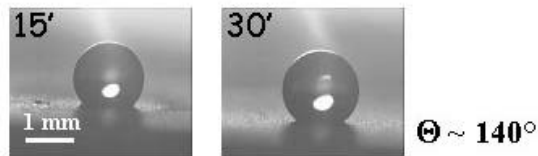


Fig. 2: Perfluorosilanisiertes Aluminium mit saurer Sol-Gel Schicht, gezeigt ist der statische Kontaktwinkel von Wasser

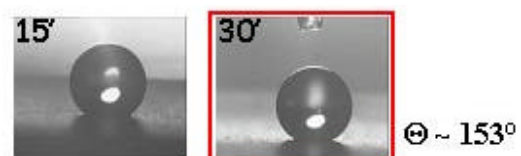


Fig. 3: Perfluorosilanisiertes Aluminium mit basischer Sol-Gel Schicht (Partikelbildung), gezeigt ist der statische Kontaktwinkel von

Für diesen Bericht haben wir eine Bildersequenz zusammengestellt, die das Abrollen von Wassertropfen von der geneigten Oberfläche demonstrieren soll. Im Fall einer basischen Sol-gel Beschichtung auf sandbestrahltem Aluminium mit nachfolgender Silanisierung blieben die Wassertropfen mit einem Durchmesser von 2mm bei einer Oberflächenneigung von 45° nicht mehr hängen, sondern rollten ab ohne jegliche Spuren zu hinterlassen. Dieses dynamische

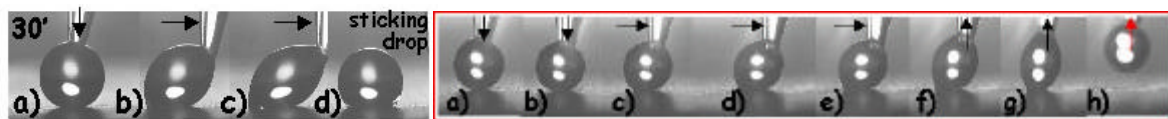


Fig. 4: Wassertropfenschleifen auf der Oberfläche mit saurer Sol-Gel-Beschichtung

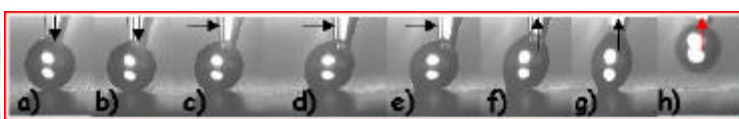


Fig. 5: Wassertropfenschleifen auf der Oberfläche mit basischer Sol-Gel-Beschichtung. Der Tropfen gleitet mühelos über lange Strecken.

Verhalten kann näherungsweise mit obenstehender Bildfolge beschrieben werden. Es wurde versucht, den noch an der ebenfalls beschichteten Glaskapillare hängenden Tropfen auf der Oberfläche entlang zu schleifen. In Fig. 4 (saurer Sol-Gel Prozess) ist sichtbar, dass der Tropfen letztendlich von der Kapillare abreißt und auf der Oberfläche verbleibt. Ganz anders ist das in Fig. 5 (basischer Sol-Gel Prozess). Der Tropfen löst sich sehr leicht von der Oberfläche und springt zurück an die Kapillare.

## Nationale Zusammenarbeit

Unsere Zusammenarbeit mit anderen nationalen Forschungsinstitutionen beschränkt sich in diesem Projekt auf Kooperationen innerhalb der EPFL, Institut des sciences de l'énergie (ISE), laboratoire d'énergie industrielle (LENI), Prof. Favrat. Dort können Kontaktwinkelmessungen unter Realbedingungen für Wärmetauscher und die finalen Betriebstests durchgeführt werden.

## Bewertung 2002 und Ausblick 2003

Die **Erfolge und Misserfolge** im Berichtsjahr: Wir sind ausserordentlich erfreut über die Herstellung einer Beschichtung, die die Wassertropfen bei Neigung der Oberfläche abrollen lässt. Das ist die Hauptvoraussetzung für den Erfolg dieses Projektes, da wir aus unserer langjährigen Forschungspraxis auf diesem Gebiet schon gewiss sind, dass die Beschichtung sehr widerstandsfähig und haltbar ist. Zeitliche Schwierigkeiten ergaben sich bei der Beschaffung industrieller Vergleichsschichten (die Hersteller sind praktisch nur in den USA angesiedelt).

Das interessanteste für das Jahr 2003 zu erwartende Ergebnis ist der Betrieb eines Wärmetauschers mit beschichteten Lamellen.

## Referenzen

- [1] C.J. Brinker and G.W. Scherer: ***The physics and chemistry of sol-gel processing***, aus *Sol-Gel Science*, Academic Press, Inc.: New York, 1990.
- [2] L.L. Hench and J.K. West, *Chemistry Review*, 90, Seiten 33-73, 1990.
- [3] R.N. Wenzel, ***Resistance of solid surfaces to wetting by water***, aus *Industrial and Engineering Chemistry*, 28, Seiten 988-994, 1936.
- [4] R.K. Iler: ***The chemistry of silica***, John Wiley and Sons: New York, 1979.