Detektion von Ölschichten auf metallischen Oberflächen:

Ein Vergleich der Messverfahren

Bei der Bearbeitung von Metallen während des Umformprozesses ist der Einsatz von Ölen unerlässlich. Beispielsweise sorgen Schneidöle, aufgebracht auf Metallbänder, für einen geringen Verschleiß an den Stanzwerkzeugen. Aber auch während der zerspanenden Bearbeitung leisten Bohröle einen unverzichtbaren Beitrag zum Schutz der Bohr- und Fräswerkzeuge. Des Weiteren dienen Öle als Korrosionsschutz von Halbprodukten wie Blechen aber auch Metallfolien. Nach der Weiterverarbeitung hingegen ist es erforderlich, Ölrückstände von den Fertigprodukten möglichst rückstandsfrei zu entfernen. Hierzu dienen spezielle Reinigungsanlagen, in denen die Metallteile gewaschen und abgeblasen werden.

Ölauftrag

Damit während des Aufbringens von Öl (Bild 1) umweltschutztechnische Richtlinien eingehalten werden können und auch wirtschaftliche Aspekte Beachtung finden, ist es ratsam, die Menge des Ölauftrages zu ermitteln. Mittlerweile kann eine Ermittlung der jeweiligen Ölmenge auch INLINE erfolgen. Gleich mehrere Messverfahren stehen hierfür zur Verfügung, auf die in den folgenden Abschnitten noch genauer eingegangen werden soll.

Reinigung

Ein Überwachen des Reinigungsprozesses kann mittels der gleichen Sensorik erfolgen. Die Herausforderung ist hierbei, möglichst geringe Mengen an Ölrückständen, vorzugsweise INLINE, sicher zu erfassen. Gerade bei elektrisch leitenden Komponenten, wie beispielsweise Kupferschienen oder Starkstromleitungen, wird ein möglichst geringer Übergangswiderstand gefordert. Eine Restölschicht würde aber diesbezüglich ein Problem darstellen, weil sie die Leistungseffizienz stark beeinträchtigt.

Wie wird bislang in der Praxis kontrolliert?

Spricht man von Ölschichten, denkt man in erster Linie an eine bestimmte Schichtdicke, gemessen beispielsweise in µm.

Gewichtsermittlung

Eine gängige Methode ist die Ermittlung des Flächengewichtes des Ölfilms. Um das zu ermitteln, muss das Gewicht des gesamten Bauteils und eines identischen ölfreien Referenzbauteils ermittelt werden, um die Gewichtsdifferenz zu bestimmen. Um nun vom Flächengewicht auf die Schichtdicke schließen zu können ist die Information über die Dichte des jeweiligen Öles sowie die Fläche des jeweiligen Bauteils erforderlich. Nachteilig sind hierbei der erhebliche Gewichtsunterschied zwischen der Ölschicht des Bauteils sowie die Gewichtsdifferenz der Bauteile (geölt und nicht geölt).

Oberflächenspannung

Der Mangel an einfachen Alternativen zur direkten Schichtdickenermittlung dürfte der Grund dafür sein, dass sich in der Praxis die Methode zur Ermittlung der Oberflächenspannung des Bauteils steigender Beliebtheit erfreut. Hierbei ist bei Vorhandensein einer dünnen Ölschicht auf einer metallischen Oberfläche eine Reduzierung der Oberflächenspannung von mehr als 50 mN/m im nicht benetzten Zustand auf unter 40 mN/m im beölten Zustand (je nach Schichtdicke und Art des Öles) zu beobachten. Zum Nachweis der jeweiligen Oberflächenspannung dienen sog. Testtinten, die insgesamt einen Bereich von 30 mN/m bis 50 mN/m in Zweierschritten abdecken (30 mN/m, 32 mN/m, 34 mN/m, …). Die Testtinte wird dabei an die zu untersuchende Stelle mit dem mitgelieferten Pinsel strichförmig aufgetragen. Perlt die Testtinte von der Oberfläche ab (Bild 2), wird die nächstniedrigere Testtinte in gleicher Weise verwen-

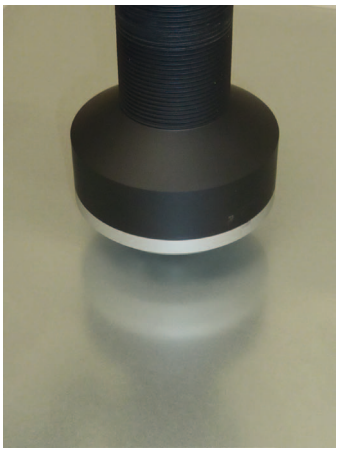

Bild 1: Aufbringen des Öls

Sensor Instruments Entwicklungs- und Vertriebs GmbH
info@sensorinstruments.de
www.ensorinstruments.de

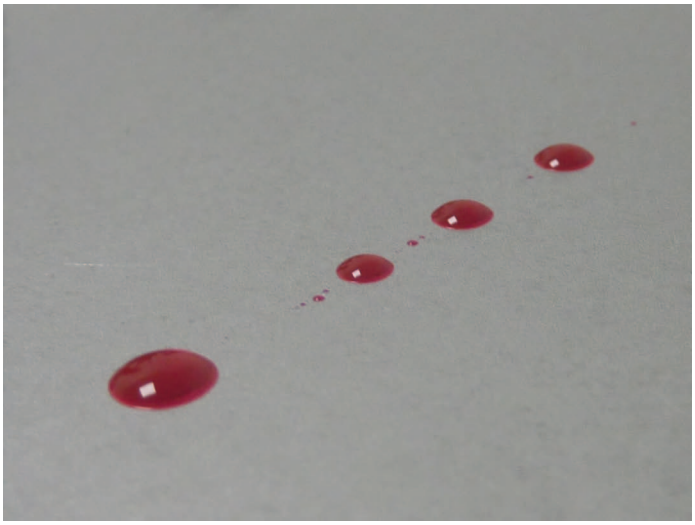

Bild 2: Die Testtinte perlt von der mit Öl benetzten Metalloberfläche ab, was auf eine Oberflächenspannung hindeutet, die kleiner ist als der auf der Testtinte ausgewiesene Wert.

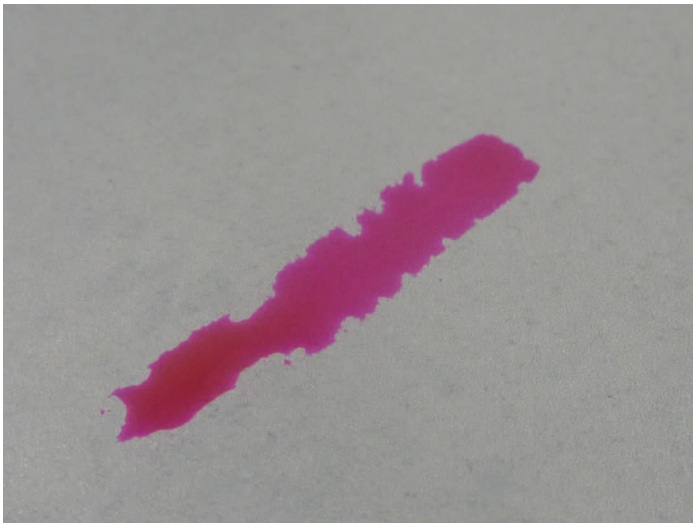

Bild 3: Bei dieser Abbildung bleibt die Testtinte an der mit Öl benetzten oder aber entfetteten Metalloberfläche haften. Die Oberflächenspannung der Metalloberfläche ist demnach höher als der angegebene Wert der Testtinte.

det, bis die Testtinte über einen längeren Zeitraum auf der Oberfläche haften bleibt (Bild 3). Die Oberflächenspannung liegt dann zwischen den beiden zuletzt verwendeten Testtinten. Zu beobachten ist, dass eine Abnahme der Oberflächenspannung mit der Zunahme der Ölschichtdicke einhergeht.

Die drei verschiedenen Messverfahren

Messverfahren 1: Absorption von UVC-Strahlung

Als Sensoreinheit wird hierbei ein Lichtleitersensor (SPECTRO-1-FIO-UVC/UVC) (Bild 4) im Reflexlichtbetrieb eingesetzt. Als Lichtquelle dient eine UV-LED mit einer Zentralwellenlänge von 265 nm. Mittels Quarzfaserlichtleiter (R-S-A3.0-(3.0)-1200-22°-UV) wird das UVC-Licht auf den zu vermessenden Abschnitt der Metalloberfläche gerichtet und von dieser teils diffus, teils direkt reflektiert. Ein Teil der reflektierten Strahlung wird mit Hilfe des Reflexlichtleiterbündels auf den im Sensor integrierten Detektor gerichtet. Eine entfettete Metalloberfläche dient dabei als Referenz. Befindet sich nun eine Ölschicht zwischen der Lichtleiterstirnfläche und der Metalloberfläche, so wird ein Teil des UVC-Lichtes sowohl auf dem Hinweg als auch auf dem Rückweg von dieser absorbiert. Detektorseitig kann somit ein Signalrückgang beobachtet werden. Wird die Sensorik zur INLINE-Messung benutzt, empfiehlt sich ein Arbeitsabstand der Lichtleiterstirnfläche von der Metalloberfläche von ca. 5 mm. Die Strahldivergenz liegt dabei bei 22° und der Lichtspot nimmt hierbei auf der zu untersuchenden Metalloberfläche einen Durchmesser von in etwa 5 mm ein. Bei OFFLINE-Messungen wird zusätzlich ein Abstandshalter (A3.0-OFL) verwendet, der am Lichtleiterkopf befestigt werden kann.

Messverfahren 2: Anregung einer Ölschicht zur Fluoreszenz im sichtbaren Wellenlängenbereich

Dazu wird ein Farbsensor (SPECTRO-3-30-UV/BL-MSM-ANA) (Bild 5) verwendet, dessen Sendeeinheit aus UV-LEDs (365 nm Zentralwellenlänge) besteht. Bei INLINE-Messungen empfiehlt sich ein Arbeitsabstand von 15 mm, mit dem Abstandshalter (SPECTRO-3-15-d65-OFL) kann aber auch OFFLINE gearbeitet werden (auch hierbei beträgt der Sensorabstand zum Objekt 15 mm). Der Detektionsbereich nimmt bei diesem Abstand einen Durchmesser von in etwa 12 mm ein.

Die UV-LEDs sind hierbei ringförmig angeordnet, in der Mitte der Sensorik befindet sich der Empfängerteil, der mittels vorgeschalteter optischer Filter im sichtbaren Wellenlängenbereich detektieren kann, während UV-Licht abgeblockt wird. Bei dieser Messmethode sollte beachtet werden, dass die Intensität der gemessenen Fluoreszenz u. a. auch

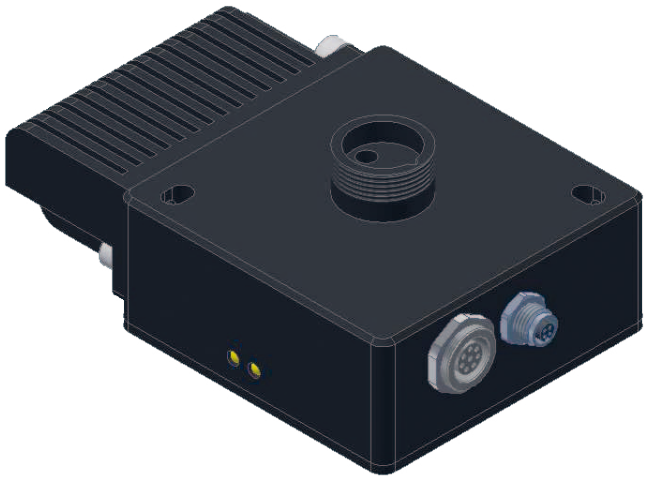

Bild 4: Lichtleitersensor SPECTRO-1-FIO-UVC/UVC

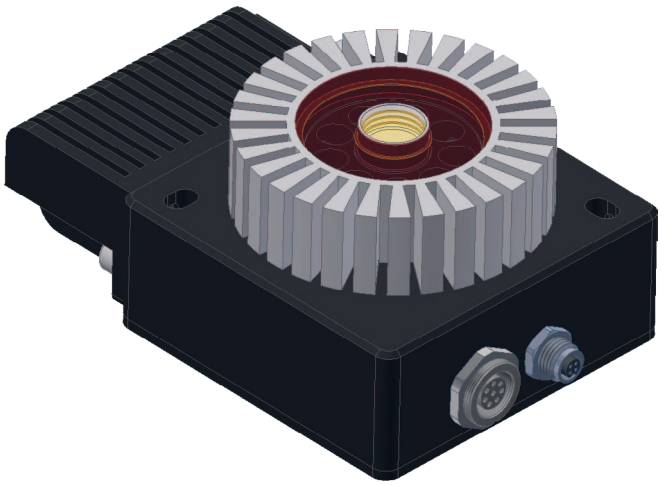

Bild 5: SPECTRO-3-30-UV/BL-MSM-ANA

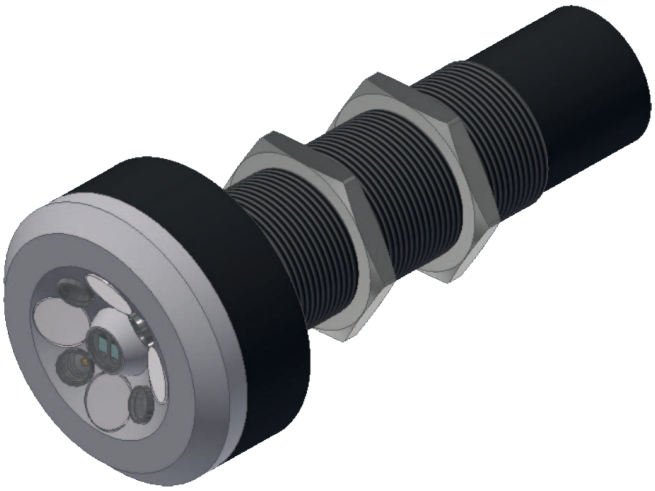

Bild 6: Sensor mit Abstandshalter (A3.0-OFL)

von der metallischen Oberfläche abhängt. Eine Kalibrierung auf die jeweilige Oberfläche respektive auf die jeweilige Objektform ist daher zwingend erforderlich.

Messverfahren 3: Absorption von MIR-Licht

Als Beleuchtungseinheit dient eine breitbandige MIR-Lichtquelle, die einen Wellenlängenbereich von in etwa 2 µm bis 6 µm abdeckt. Mit Hilfe zweier Empfänger, die über unterschiedliche optische Filter verfügen, erfolgt eine normierte Signalauswertung. Empfänger 1 detektiert dabei in einem schmalen Wellenlängenbereich mit einer Zentralwellenlänge von ca. 3µm, während Empfänger 2, ebenfalls schmalbandig arbeitend, mit einer Zentralwellenlänge von in etwa 4µm ausgestattet ist. Dabei wirkt Empfänger 2 als Referenz, da dessen Wellenlängenbereich im Vergleich zum Wellenlängenbereich von Empfänger 1 unmerklich von der Ölschicht beeinflusst wird. Von der Metalloberfläche erfolgt gleichermaßen eine Reflexion in beiden Wellenlängenbereichen. Eine normierte Auswertung der beiden Messsignale informiert über die Absorption der Ölschicht; das Ergebnis ist dabei weitestgehend unabhängig von der jeweils vorhandenen Metalloberfläche. Der Messabstand von der Sensorik (SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)) (Bild 6) zur Metalloberfläche beträgt während der INLINE-Messung 10 mm, der Detektionsbereich liegt dabei bei 10 mm im Durchmesser. Eine Beeinträchtigung der Messung infolge von Umgebungslicht (Weißlicht-LED Innenbeleuchtung) konnte nicht festgestellt werden, infolgedessen kann mit hoher Messfrequenz (> 1 kHz) gearbeitet werden. Für die OFF-LINE-Messung steht ein Abstandshalter (SPECTRO-M-30-OFL) zur Verfügung, der ebenfalls für einen Messabstand zur Metalloberfläche von 10 mm sorgt.

Der Messaufbau

Als Messobjekt wurde eine Edelstahlplatte verwendet, auf deren Oberfläche verschieden dicke Ölschichten zwischen <1 µm und ca. 20 µm des jeweils gleichen Öls aufgetragen wurden. Hierbei wurde mittels verschieden großer Ölmengen (in den Sektoren 1,2,3: mittlere Ölmenge, in den Sektoren 4,5,6: geringe Ölmenge und in den Sektoren 7,8,9: üppige Ölmenge) getestet. Bild 7 zeigt die einzelnen Sektoren:

- 1,2 und 3: mittlere Schichtdicken (von 1 nach 3 abnehmend)
- 4,5 und 6: geringe Schichtdicken (von 4 nach 6 abnehmend)
- 7,8 und 9: große Schichtdicken (von 7 nach 9 abnehmend)

Anschließend wurde der Ölfleck jeweils über einen Durchmesser in etwa von 60 mm mittels Einwegtuch (fuselfrei) homogen in allen Sektoren verstrichen. Ferner wurde die bereits verstrichene Ölmenge die Sektoren 2,3,5,6,8 und 9 ein weiteres Mal mittels Einwegtuch verstrichen, ohne dabei den Durchmesser des jeweiligen Sektors zu verändern. Dieser Vorgang wurde in den Sektoren 3,6 und 9 ein weiteres Mal wiederholt. Bild 8 zeigt die Edelstahlplatte mit den 9 verschiedenen Sektoren. Nach den jeweiligen Tests mit einer bestimmten Ölsorte wurde die Metallplatte nahezu rückstandslos vom Öl gereinigt (entfettet). Damit geprüft werden kann, ob das Öl von vorhergehenden Tests von der Metalloberfläche entfernt worden ist, wurde auch zwischen den einzelnen Ölaufträgen (Sektoren 1 - 9) gemessen. Diese Bereiche wurden als Sektoren 10 - 13 bezeichnet.

Wie eingangs schon erwähnt, dient als Bezug zu den jeweiligen Messungen die Oberflächenspannung in den jeweiligen Sektoren. Diese wurde mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Testtinten (von 30 mN/m bis 50 mN/m) jeweils nach den Messungen mit den 3 verschiedenen Sensoren je Ölsorte ermittelt.

Die Bilder 9, 10 und 11 zeigen unterschiedliche Ölproben:

Bild 9 zeigt die Ölprobe: CASTROL Iloform HFO 10. Verwendet wurden die Testtinten: 30 mN/m, 32 mN/m, 34 mN/m sowie 36 mN/m im Sektor: 1

Bild 10 zeigt die Ölprobe: CASTROL Iloform HFO 10 im Sektor 4. Verwendet wurden die Testtinten: 30 mN/m, 32 mN/m, 34 mN/m, 36 mN/m, 38 mN/m und 40 mN/m.

Bild 11 zeigt die Ölprobe: BECHEM BERUFORM STO 533. Geprüft wurden 9 verschiedene Sektoren mit den Testtinten: 30 mN/m bis 44 mN/m .

Die Ölproben

Folgende Öle standen für die Tests zur Verfügung:

- CASTROL HFO10
- BECHEM STO533

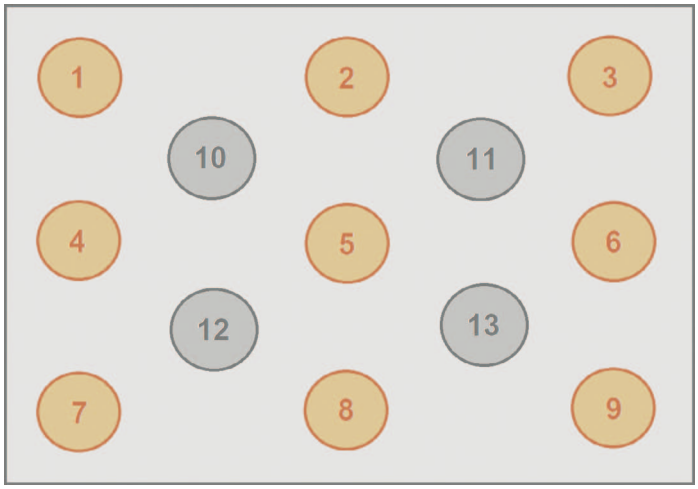

Bild 7: In den Sektoren 1,2,3: mittlere Ölmenge, in den Sektoren 4,5,6: geringe Ölmenge und in den Sektoren 7,8,9: üppige Ölmenge, die Sektoren 10,11,12 und 13 dienen zur Referenzmessung und haben keinen Ölauftrag

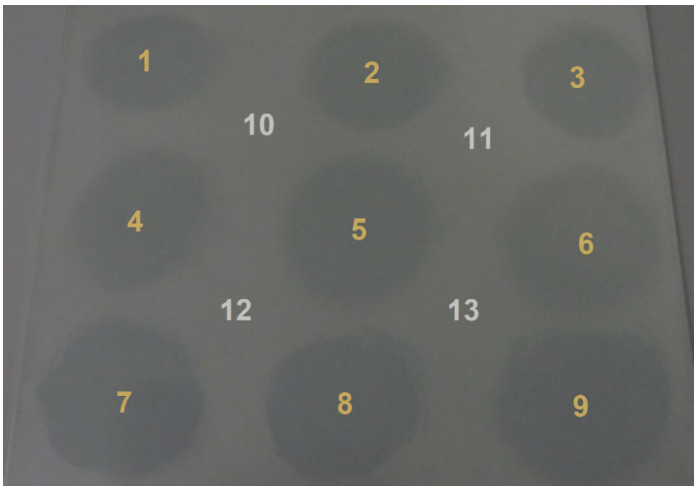

Bild 8: Edelstahlplatte mit den neun verschiedenen Sektoren. Nach den jeweiligen Tests mit einer bestimmten Ölsorte wurde die Metallplatte nahezu rückstandslos vom Öl gereinigt (entfettet) und auf Rückstände gemessen

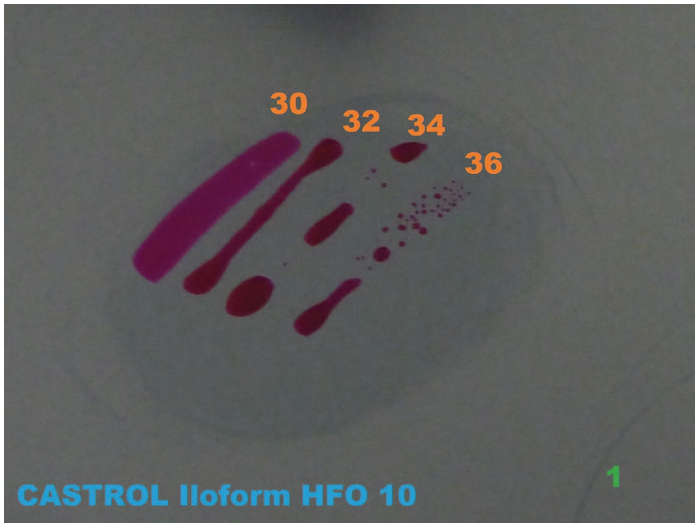

Bild 9: Ölprobe: CASTROL Iloform HFO 10, Testtinten: 30, 32, 34, 36 mN/m

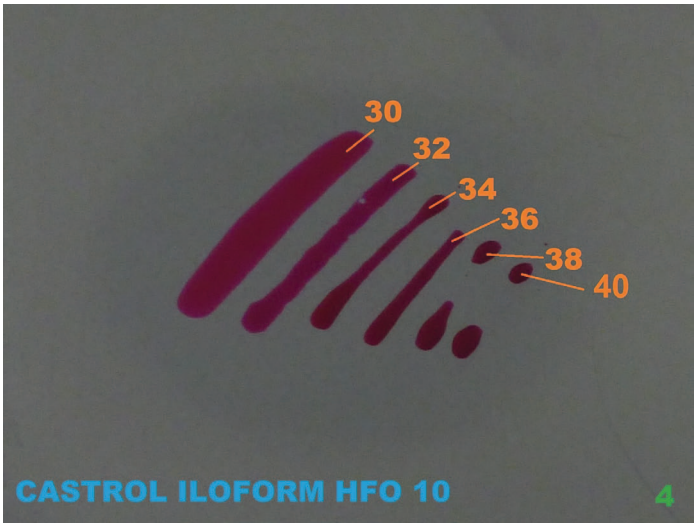

Bild 10: CASTROL Iloform HFO 10, Testtinten: 30, 32, 34, 36, 38 und 40 mN/m

- Z+G KTL N16
- BECHEM KFP95
- BECHEM MF85
- WILKE 628
- WISURA AK3614SF
- RAZIOL CLF11S
- RAZIOL CLF11L
- TRUMPF C462
- TRUMPF B30
- TRUMPF SRH/5
- TRUMPF AKAMIN
- OW 30 NEUTRAL
- OW 30 0.01% GRÜN
- OW 30 0.01% UV-FARBE

Vergleich der Oberflächenspannung der verschiedenen Öle

Bei der Untersuchung der verschiedenen Öle hat sich gezeigt, dass die Oberflächenspannung bei in etwa gleicher Ölschichtdicke in Abhängigkeit vom jeweiligen Öl unterschiedliche Werte einnimmt. Verglichen wurden dabei die Oberflächenspannungswerte jeweils im Sektor 6, also der geringsten aufgetragenen Ölmenge (<1 µm Schichtdicke). Ein Rückschluss von der Oberflächenspannung auf die Ölschichtdicke ist also ohne Kenntnis des Öles nicht möglich.

Die Messergebnisse

Messverfahren 1: Absorption von UVC-Strahlung

Gemessen wurde mittels Lichtleitersensor SPECTRO-1-FIO-(UVC/UVC) inkl. Reflexlichtleiter R-S-A3.0-(3.0)-1200-22°-UV sowie Lichtleiter-Offline-Aufsatz A3.0-OFL zunächst je Ölsorte in den Sektoren 10 bis 13 und anschließend in den Sektoren 1 bis 9. Der Lichtleiterkopf inkl. Offline-Aufsatz wurde dabei jeweils in der Mitte des jeweiligen Sektors aufgelegt (Bild 12).

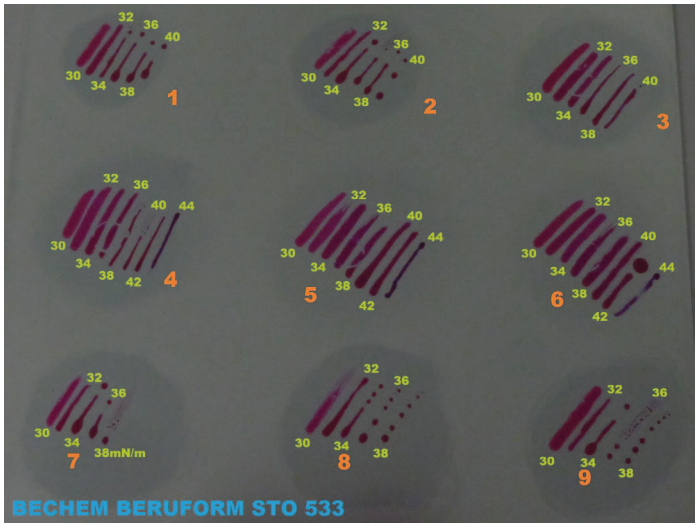

Bild 11: Ölprobe: BECHEM BERUFORM STO 533

Vergleich der Empfindlichkeiten

Die Untersuchungen der verschiedenen Ölsorten mittels Messverfahren 1 führten doch zu deutlich unterschiedlichen Messergebnissen bei gleicher Ölschichtdicke. Gemessen wurde hierbei jeweils der Signaleinbruch der von der Metalloberfläche reflektierten und vom Lichtleiter erfassten UVC-Strahlung CH0ref abzüglich der von der Metalloberfläche reflektierten und sowohl auf dem hin- als auch auf dem rückwärtigen Weg reduzierten (durch Absorption) UVC-Strahlung CH0. Das Verhältnis der Differenz CH0ref - CH0 aus der am stärksten absorbierenden Ölprobe zu der Ölprobe, die sich nahezu neutral verhält, beträgt in etwa Faktor 22.

Bei der Ermittlung des Messwertes ist der Zeitpunkt nach dem Aufsetzen des Messkopfes auf die jeweilige Ölprobe entscheidend.

Messverfahren 2: Anregung einer Ölschicht zur Fluoreszenz

Als Sensor wurde hierbei ein SPECTRO-3-30-UV/BL-MSM-ANA mit einer UVA-Ringlichtbeleuchtung (365 nm) und einem empfängerseitigen Detektionsbereich von typ. 450 nm bis 700 nm verwendet. Damit auch hier aufliegend gemessen werden konnte, wurde das INLINE-System frontseitig mit einem Abstandshalter SPECTRO-3-15-d65-OFL versehen. Zunächst wurde wiederum an den Referenzpunkten ein mittlerer Referenzwert ermittelt (10 - 13) und anschließend

Bild 12: Gemessen wurde mittels Lichtleitersensor SPECTRO-1-FIO-(UVC/UVC) inkl. Reflexlichtleiter R-S-A3.0-(3.0)-1200-22°-UV sowie Lichtleiter-Offline-Aufsatz A3.0-OFL

Bild 13: Als Sensor diente hierbei ein SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)

der Reihe nach an den Punkten 1 - 9 je Ölprobe gemessen.

Vergleich der Empfindlichkeiten

Auch bei diesem Messverfahren gab es große Unterschiede beim Wert Y-Yref bei gleicher Ölschichtdicke der einzelnen Ölsorten. Bei den folgenden Ölsorten konnte keine Fluoreszenz festgestellt werden: WILKE 628, WISURA AK 3614SF, RAZIOL CLF 11S, RAZIOL CLF 11L, TRUMPF AKAMIN. Bleiben diese Ölsorten unberücksichtigt, ergibt sich zwischen der empfindlichsten (Z+G KTL N16) und der unempfindlichsten Probe (TRUMPF B30) ein Unterschied von ca. 61.

Auch bei diesem Messverfahren ist es entscheidend, wann genau der Messwert nach Aufsetzen der Sensorik aufgezeichnet worden ist. Beim INLINE-Einsatz der Sensorik dürfte das aber weniger eine Rolle spielen, da in diesem Fall jede Messprobe nur für kurze Zeit der relativ intensiven UVA-Strahlung ausgesetzt ist. Der zeitsynchrone Ablauf erfolgt dabei zwischen der speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) und der jeweiligen Aktuatorik.

Messverfahren 3: Normierter Vergleich zweier Wellenlängenbereiche im mittleren Infrarotbereich

Als Sensor diente hierbei ein SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2), betrachtet wurden auch hier die Messstellen 1 - 9, während die Positionen 10 - 13 als Referenzorte dienten. Mittels Abstandshalter SPECTRO-M-30-OFL wurde das INLINE-Messsystem zum Handmessgerät umfunktioniert (Bild 13). Der Abstand zur Messoberfläche betrug dabei 10 mm. Der normierte Messwert ergibt sich aus den beiden ermittelten Messwerten der beiden Messfenster im MIR-Bereich mit den Zentralwellenlängen von 3 µm bzw. 4 µm, wobei letzteres als Referenzfenster dient, da vorausgehende spektrometrische Untersuchungen ergeben haben, dass in diesem Wellenlängenbereich keine merkliche Absorption der MIR-Strahlung vorliegt.

Während der Messungen wurde mittels serieller Schnittstelle eine Verbindung zum PC hergestellt. Die Parametrisierung der Sensorik sowie die numerische sowie graphische Anzeige der Messdaten erfolgte dabei über die Windows-Software SPECTRO MIR Scope V1.0. (Bild 14).

Neben der Anzeige der beiden Messwerte CH0 (Referenzwert bei 4 µm) und CH1 (Messwert bei 3 µm) wird auch der normierte Wert SIG = 4095 x CH0/(CH0+CH1) dargestellt.

Während der INLINE-Messung kann auch auf die Software MIR MONITORING zurückgegriffen werden. Dem Anlagenbediener wird dabei während der Produktion via Säulendiagramm die aktuelle Qualitätssituation sowie der Trend auf dem Monitor angezeigt. Des Weiteren werden die Messdaten in einem geeigneten Format abgespeichert, sodass diese anschließend mittels Word bzw. Excel genutzt werden können.

Vergleich der Empfindlichkeiten

Auch bei dieser Messmethode konnten zwischen den verschiedenen Ölsorten (bei vergleichbarer Schichtdicke) Empfindlichkeitsunterschiede festgestellt werden. Im Vergleich zu den beiden anderen Messmethoden konnten aller-

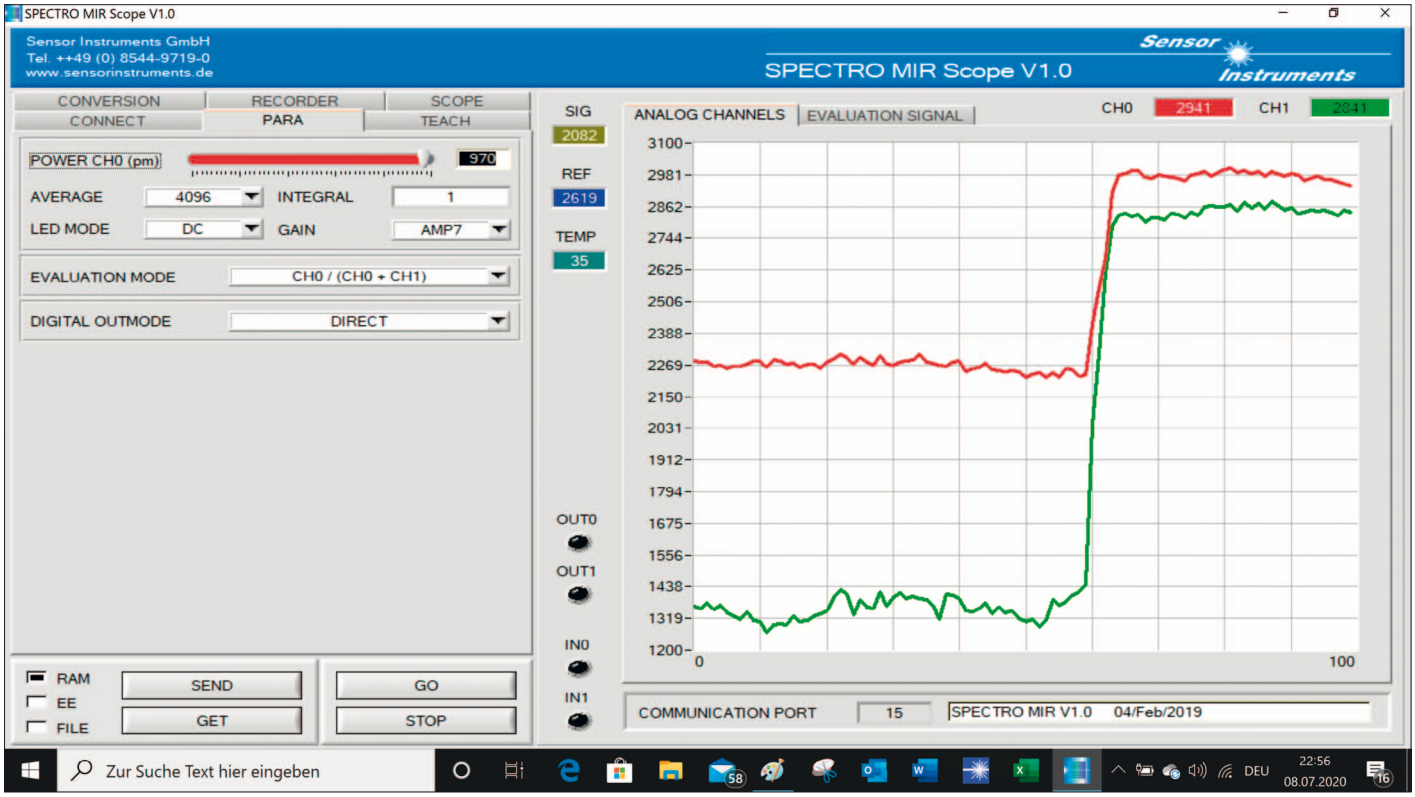

Bild 14: Die Parametrisierung der Sensorik sowie die numerische sowie graphische Anzeige der Messdaten erfolgte dabei über die Windows-Software SPECTRO MIR Scope V1.0.