

EDITORIAL

Werte Leser,

die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit basiert zum Großteil auf fortgesetzter, technischer Innovation. Neue Produktionsverfahren, die innovative messtechnische Lösungen benötigen, werden eingeführt. Die Sonde FA14 zur Messung von SAM-Schichten im Automobilbau adressiert solche Bedürfnisse.

Neben Messgeräten werden im Hause Helmut Fischer hochwertige Kalibriernormale für diese hergestellt. Bei deren Verwendung können Sie sich auf eine richtige Messung verlassen. Beispielhaft stellen wir Ihnen neue SnPb-Standards vor.

Die Messung von Gold-Schichtdicken bis zu 35 µm kann durch Beta-Rückstreuung zuverlässig gelöst werden.

Wir hoffen Ihnen mit den Fachartikeln neue Anregungen zu geben und freuen uns über Feedback unter kunde@helmut-fischer.de

Jürgen Florinski
Geschäftsführer

Thomas Wolf
Geschäftsführer

Aus der Praxis

Maßgeschneiderte Sonden für jede Anwendung – Beispiel Applikation SAM (spritzbare Akustikdämmmasse)

Die Firma FISCHER bietet ein sehr umfangreiches Spektrum verschiedenster Sondentypen für die Schichtdickenmessung an, denn es ist unsere erklärte Philosophie, für möglichst viele Applikationen aus den unterschiedlichsten Industriezweigen eine maß-

geschneiderte Lösung anbieten zu können. Werden neue Anwendungen im Bereich der Schichtdickenmessung bekannt, für die es noch keine passende technische Lösung gibt, versuchen wir auch dafür geeignete Sonden zu entwickeln.

Ein typisches Beispiel ist die Qualitätskontrolle der sogenannten SAM-Schichten. Im Automobilbereich werden große Anstrengungen unternommen, um das Gewicht von Komponenten zu verringern und gleichzeitig die automatisierte Fertigung konsequent durchzusetzen. In diesem Zusammenhang wurden z.B. auch die typischen großflächigen Schallschutzmatten im Fahrzeuginnenraum durch lokal selektiv aufgebraachte SAM-Schichten ersetzt (spritzbare Akustik-



Sonde FA14 im praktischen Einsatz beim Messen der SAM-Schichten (Daimler AG, Mercedes-Benz Werk Bremen)

INHALT

- Maßgeschneiderte Sonden für jede Anwendung – Beispiel Applikation SAM S. 1
- Spurelementanalyse in Materialien für Modeschmuck und Accessoires S. 3
- Neue SnPb Kalibrierstandards für die Röntgenfluoreszenzanalyse im High Reliability Bereich S. 4
- Betarückstreuung mißt dicke Goldschichten S. 6

dämmmasse). Im Bild 1 sind diese lokal aufgespritzten Schichten gut zu erkennen, hier im Fußbereich des Beifahrers. Diese müssen innerhalb vorgegebener Dickentoleranzen aufgetragen werden, um die Vorgaben bezüglich Gewicht, Baufreiheit und Kosten einzuhalten. Typische Schichten liegen im Bereich von etwa 2 mm bis 4.5 mm. Aufgetragen werden diese schallabsorbierenden Schichten sowohl auf Stahl- als auch auf Al-Teilen als Grundwerkstoff (GW). Weiterhin muss die Schichtdickenmessung auch an schwer zugänglichen Stellen durchführbar sein, was ein kompaktes Sonden-design und einen möglichst kleinen Randeinfluss bei der Messung erfordert.

Für den genannten Schichtdickenbereich stand keine geeignete Sonde zur Verfügung. Bei ausreichend kompakten Sonden war der Messbereich zu klein, Sonden mit ausreichendem Messbereich waren von der Bauform zu groß.

Als Lösung für diese und vergleichbare Applikationen wurde deshalb die Sonde FA14 entwickelt. Diese Sonde arbeitet nach dem Wirbelstromverfahren (DIN EN



Bild 2 : Sonde FA14 (betreibbar mit allen Handgeräten der FMP-Serie)

ISO 2360), ist aber so ausgelegt, dass damit nichtleitende Schichten sowohl auf leitfähigem, nicht-magnetisierbaren (z.B. Al), aber auch auf magnetisierbarem GW (z.B. Stahl) gemessen werden können. Der Messbereich ist auf beiden GW bis mindestens 5 mm abgesichert. Die Sonde wurde in Winkelausführung realisiert (s. Bild 2, Bauhöhe 31 mm), um die Messung auch in schwer zugänglichen Bereichen zu ermöglichen. Der Sensor hat einen äußeren Gehäusedurchmesser von 20 mm. Die Feldfokussierung ist dabei so optimiert, dass man bereits auf einem kreisförmigen Teil von 20 mm Durchmesser Messungen ohne Randeinfluss durchführen kann oder anders ausgedrückt, solange die zu vermessenden

Teile nicht deutlich kleiner als die Sonde selbst sind, kann randeinflussfrei gemessen werden. Die GW-Dicke spielt für die meisten praktischen Anwendungen keine Rolle, denn für GW-Dicken z.B. von Al größer als etwa 0,05 mm kann bereits einflussfrei gemessen werden.

Wie von den Wirbelstromsonden der Firma FISCHER prinzipiell bekannt, ist auch die Sonde FA14 leitfähigkeitskompensiert. D.h., die Leitfähigkeit des verwendeten nicht-magnetisierbaren GW spielt praktisch keine Rolle und damit beeinflussen z.B. unterschiedliche Al-Legierungen nicht die Schichtdickenmessung. Das sind in der Summe entscheidende Eigenschaften, um den praktischen Einsatz z.B. für die SAM-Applikation im Automobilbau optimal zu ermöglichen.

Im Mercedes-Benz Werk Bremen (Daimler AG) wurde der Messmittelfähigkeitsnachweis der Sonde FA14 für die Anwendung auf Al als auch auf Stahl erfolgreich durchgeführt.

Unser Dank gilt Herrn Dellwisch im Mercedes-Benz Werk Bremen (Daimler AG), Abt. Prozesstechnik Lack KF-OC2 PTL, der uns bei der Realisierung dieser Sonde mit vielen Hinweisen und praktischen Messungen unterstützt hat.

Dr. Hans-Peter Vollmar

Messstelle	Soll Min [mm]	Soll Max [mm]	Ist [mm]
MP1	2.7	3.5	2.8
MP2	2.7	3.5	2.9
MP3	2.7	3.5	3.1
MP4	1.7	2.5	2.0
MP5	2.7	3.5	2.9
MP6	2.7	3.5	2.9
MP7	3.7	4.5	3.4 !
MP8	1.7	2.5	2.1

Tabelle 1: Beispiel typischer Messwerte der Qualitätskontrolle von SAM-Schichten an 8 vorgegebenen Messstellen, wobei MP7 außerhalb der Toleranz liegt (Daimler AG, Mercedes-Benz Werk Bremen)

Aus der Praxis

Spurenelementanalyse in Materialien für Modeschmuck und Accessoires

Weltweit sind Bestrebungen im Gang, die Konzentrationen von gewissen chemischen Elementen in Konsumgütern zu limitieren. Nachdem Elemente wie Blei, Quecksilber, etc. erfolgreich aus elektronischen Produkten ‚entfernt‘ wurden, sollen nun ähnliche Richtlinien auch für andere Produkte eingeführt werden. Betroffen sind beispielsweise Modeschmuckartikel, Uhrenteile, Accessoires wie metallische Teile an Handtaschen, Portemonnaies oder an Kleidungsstücken. Treibende Kräfte sind dabei sowohl staatliche Organisationen, wie z.B. die amerikanische CPSC, als auch branchenspezifische Gremien wie etwa Oeko-Tex®, eine Organisation, die sich für schadstofffreie Textilien einsetzt.

Limitiert werden sollen diverse organische Schadstoffe aber auch Schwermetalle, insbesondere Pb, Cd und Ni. Die Grenzwerte variieren stark je nach Land bzw. Branche. Für Firmen, die für den globalen Markt produzieren, werden sinnvollerweise die weltweit strengsten Richtlinien befolgt, um den Handelsbetrieb zu vereinfachen. Das bedeutet z.B. max. 100 ppm Cd und max. 90 ppm Pb. Metallische Teile in Modeschmuck oder Accessoires werden aus Kostengründen nicht aus massiven Werkstoffen hergestellt. Die Grundkörper werden aus besonders gut bearbeitbaren, günstigen Legierungen gefertigt und anschliessend mit dekorativen Schichten überzogen. Dabei müssen sowohl Schicht- als auch Grundwerkstoff Pb- und Cd-frei sein. Dies individuell zu prüfen ist jedoch nicht trivial. Grundwerkstoffe wie Messinge, Zinklegierungen, etc. werden deshalb am effizientesten vor der Formgebung und Beschichtung analysiert.

Die Analysen erfolgen in der Regel mit ICP-Optical-Emission oder Röntgenfluoreszenz-Analysegeräten. Die Stärken der beiden Methoden sind recht unterschiedlich und komplementär. EDXRF Analysen



Abb. 1: Modeschmuckartikel sind in ständigem Kontakt mit der menschlichen Haut. Schadstoffgehalte sind deshalb in entsprechenden Materialien limitiert

sind sehr effizient und günstig, und die Nachweisstärke ist in der Regel ausreichend (siehe Tab. 1).

Spurenelement	Matrix	Std. Abweichung [ppm]
Pb	ABS	0.5
	Al	2
Pb	Cu	13
	Zn	20
	Sn	0.6
	Messing, real	10-30
	SnBi2, real	5-15
	SnBi50, real	50-100

Tab. 1: Typische Werte für Wiederholpräzisionen der Einzelwerte bei der Spurenelementmessung (EDXRF). Die Standardabweichungen sind ein direktes Mass für die minimalen Konzentrationen, die in einem Material noch nachgewiesen werden können (Nachweisgrenze ~ 3 x Std. Abw.)

Für schwierigere XRF-Messaufgaben werden simple statistische Betrachtungen bei der Auswertung relevant – eine Analyse sollte immer auf Mittelwerten aus mehreren Einzelwerten basieren.

Die Tabelle illustriert, dass der Nachweis von Spuren von Blei in Aluminium sehr viel einfacher ist als in SnBi-Loten oder Messingen. Wieso verhält sich dies so, bzw. wie kann man die Schwierigkeit einer solchen Messaufgabe abschätzen? Grundsätzlich sind schwere Elemente (hohe Ordnungszahl) gut nachweisbar in leichten Matrixmaterialien (tiefe Ordnungszahl). Der Pb-Nachweis in Kunststoffen, Leichtmetallen oder auch oxidischen Werkstoffen funktioniert mit EDXRF sehr gut. In Fe-, Cu-, Zn-Legierungen hingegen ist dieser Nachweis schwieriger. Für genauere Betrachtungen muss die konkrete Situation im Fluoreszenzspektrum betrachtet werden (genaue Energien der einzelnen Fluoreszenzlinien, Verhalten gegenseitiger Absorption/Anregung). Tiefe Nachweisgrenzen sind eine wichtige Voraussetzung für die Fähigkeit der Methode. Weiter ist jedoch auch die Richtigkeit der Messungen kritisch zu betrachten. Diese wurde für diverse Messaufgaben untersucht.

Als Beispiel sollen hier einige Resultate der sehr anspruchsvollen XRF Analyse von ZnAl Gusslegierungen mit X-Ray FISCHERSCOPE XDV®-SDD Geräten gezeigt werden (siehe Abb. 2). Die Messwerte sind bereits ohne Kalibrierung sehr nahe an den zertifizierten Sollwerten.

FISCHER X-Ray Geräte sind weltweit im Einsatz beim Screening von Materialien für die Produktion von Modeschmuck oder Accessoires.

Dr. Daniel Sutter,
Helmut Fischer AG Schweiz

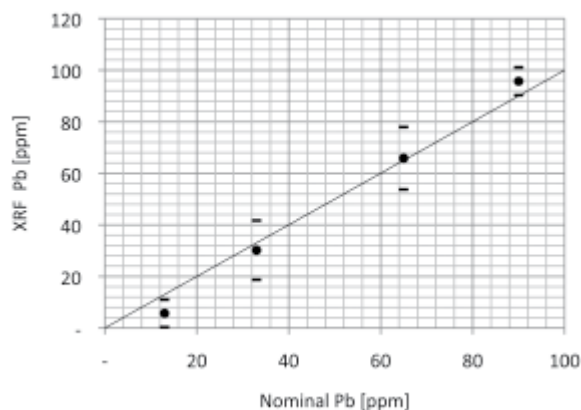


Abb. 2: Korrelation von XRF Pb Konzentrationsmessungen und zertifizierten Sollwerten. Die Richtigkeit der Werte ist bereits vor der Kalibrierung sehr gut. Dies ist für einen robusten Messprozess wichtig. Da die Variation der Messwerte auf realen Bauteilen grösser ist als auf den reinen Elementen muss mit Mittelwerten aus mehreren Einzelmessungen gearbeitet werden (hier gezeigt sind Mittelwerte aus zehn Einzelmessungen, 95% Konfidenzintervalle)

Genauer hingeschaut

Neue SnPb Kalibrierstandards für die Röntgenfluoreszenzanalyse im High Reliability Bereich

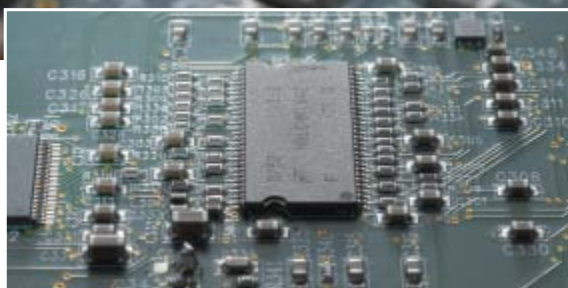
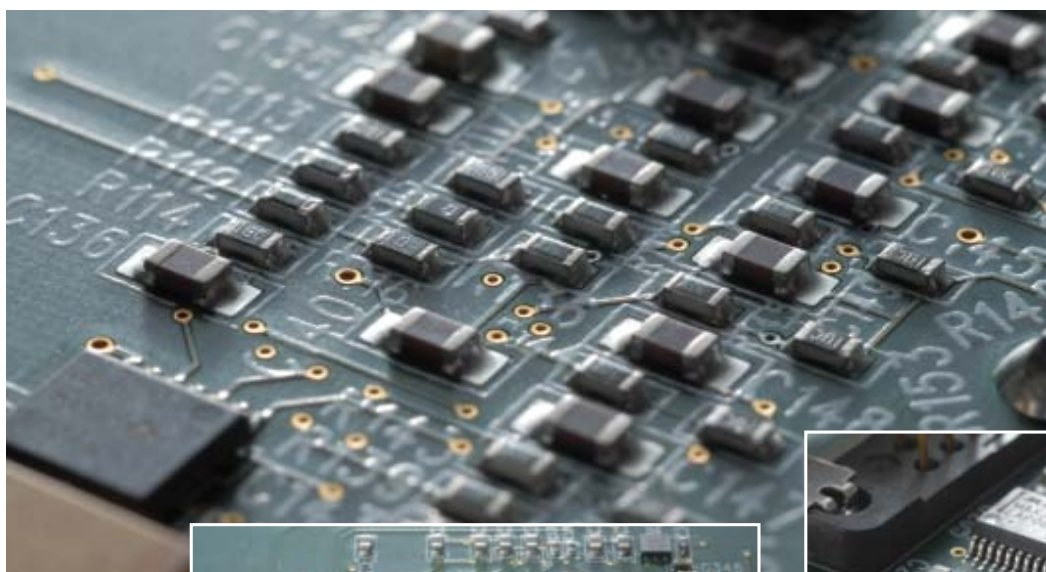


Abb. 1 zeigt verschiedene bestückte Leiterplatten. Die Lötstellen und Beschichtungen der elektronischen Baugruppen können zum Beispiel mit dem FISCHERSCOPE® XDAL® gemessen werden

Das zerstörungsfreie Röntgenfluoreszenzverfahren eignet sich sehr gut zur Analyse der Zusammensetzung von Zinnloten und -beschichtungen. Besonders die Analyse von Pb in Lötzinnlegierungen ist eine wichtige und weit verbreitete Anwendung der FISCHERSCOPE® X-RAY Geräte. Auf der einen Seite ist die zuläs-

sige Menge an Pb aus gesundheitlichen Gründen limitiert, zum anderen gibt es jedoch auch Anwendungen, bei denen Pb im Lötzinn mit einer minimalen Konzentration enthalten sein muss.

Die RoHS Norm reguliert die Verwendung von verschiedenen Schadstoffen,

darunter auch Pb in elektronischen Bauteilen, damit diese nicht vermehrt in die Umwelt gelangen können. So sind in den letzten Jahren Pb haltige Lote durch bleifreie ersetzt worden und es muss geprüft werden, ob Pb unter dem Grenzwert von 1000 ppm liegt. Auch der Consumer Product Safety Improvement Act (CPSIA)

reguliert die Verwendung von Pb und senkte den zulässigen Grenzwert im Jahr 2011 auf 100 ppm.

Im Bereich der Luftfahrt oder Medizintechnik (High Reliability Anwendungen) jedoch werden ausschließlich Pb haltige Lote gefordert. Hier muss nachgewiesen werden, dass mindestens 3% Pb in den Lotlegierungen enthalten ist. Der Grund dafür ist, dass reines Sn zu Whiskerbildung neigt. Whisker sind nadelförmige Sn Einkristalle, die nach einer gewissen Zeit an der Oberfläche entstehen und Auslöser eines Kurzschlusses sein können. Die Prüfung dieser Komponenten ist somit eine wichtige und verantwortungsvolle Aufgabe, die meist eine 100 %-ige Kontrolle aller Bauteile erfordert.

Mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse kann die Zusammensetzung der Lötzinlegierungen schnell und zerstörungsfrei gemessen werden. Mit der Software WinFTM® kann auch die Schichtdicke und damit erst die richtige Zusammensetzung der SnPb Beschichtung auf unterschiedlichen elektronischen Komponenten wie Leiterplatten, Steckern und Kontakten, BGAs oder SMD Widerständen und Kondensatoren (Abb. 1) bestimmt werden. Bei der Messung der SnPb Zusammensetzung der Deckschicht von SMD Bauteilen muss beachtet wer-

den, dass Pb auch in der Keramik oder vergrabenen Schichten vorkommen kann. Für diesen Fall gibt es eine spezielle Messaufgabe, die dies berücksichtigt.

Sn und Pb bilden eine eutektische Legierung. Dabei liegen stets eine Sn reiche und eine Pb reiche Phase nebeneinander vor. Die maximale Löslichkeit von Pb in Sn beträgt 2,5 Masse-% und die von Sn in Pb 19 Masse-%. Die tatsächliche Zusammensetzung der Phasen und die Homogenität bzw. das Gefüge dieser Legierung hängen nun allerdings von verschiedensten Faktoren ab. Einfluss haben unter anderem der Herstellungsprozess, z.B. ob die Legierung abgeschreckt oder langsam abgekühlt wurde, mechanische Bearbeitung der Oberfläche, Lagerung und Alterung der Proben usw. Tabelle 1 zeigt SEM Rückstreuerelektronenbilder verschiedener SnPb Proben mit einem Pb Gehalt größer 3 % sowie die dazugehörigen standardfreien Ergebnisse. Bei den hellen „Inseln“ handelt es sich um die Pb-reiche Phase, bei der dunkelgrauen „Matrix“ um die Sn-reiche Phase. Man erkennt, dass die „Inseln“ eine unterschiedliche Ausdehnung annehmen können und auch mehr oder weniger homogen verteilt sind. Die Größe bzw. Inhomogenität hat auch einen Einfluss auf die Intensitätsverhältnisse der Röntgenfluoreszenzlinien. Bei der homogenen

Referenzprobe stimmt der standardfreie XRF Wert sehr gut mit dem Sollwert überein, so dass der Pb Gehalt bereits standardfrei gut überprüft werden kann. Bei zunehmender Inhomogenität fällt die Abweichung zum Sollwert jedoch größer aus (siehe Tab. 1).

Ein Alterungseffekt, der auch in der Literatur beschrieben wird, kann sich bei SnPb Legierungen mit Pb Gehalten im ppm Bereich bemerkbar machen. So konnte, besonders bei Proben, die unsachgemäß (z.B. bei zu hoher Temperatur) aufbewahrt wurden, nach einigen Jahren eine Zunahme der Pb Konzentration beobachtet werden. Pb hatte sich an der Oberfläche angereichert. Die Oberfläche dieser gealterten Probe muss dann vor dem Messen wieder angeschliffen werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass kein Fremdeintrag in die Probe stattfindet.

Diese Problematik zeigt deutlich, wie wichtig es ist, dass Referenzmaterialien für das System SnPb sorgfältig erstellt und regelmäßig überprüft werden. Die Helmut Fischer GmbH bietet für beide Anwendungen (RoHS und High Reliability) Referenzmaterialien an, bei deren Herstellung große Sorgfalt auf die Homogenität des Materials gelegt wurde.

	Referenzprobe A SnPb3	SnPb3 Probe	SnPb8 Probe	Eutektischer SnPb38 Draht
SEM- Rückstreu- elektronenbild				
Sollwert Pb in Masse %	3,1 (+/- 0,15)	3,0	8,5	38
gemessen Pb in Masse %	3,0	2,8	7,5	33,6
rel. Diff. Soll - gem. in %	3	6	12	12
s_{inh} (Inhomogenität)	0,05	0,11	0,3	1,0

Tab. 1: Messungen von verschiedenen SnPb Legierungen mit dem FISCHERSCOPE® XDAL® (50 kV, Ni Filter, 0.2 mm *0.2 mm Blende, Fläche 3 mm *3 mm mit 64 Punkten, Messzeit 100 s, die Inhomogenität s_{inh} berechnet sich aus $s_{inh}^2 = s_{ges}^2 - s_{wdh}^2$)

Die Qualität der SnPb Legierung mit 3 % Pb konnte jetzt mit einem neuen Herstellungsverfahren wesentlich verbessert werden, so dass selbst mit Röntgenfluoreszenzgeräten mit keinem Messfleck von unter 50 μm (z.B. mit dem XDV®- μ mit Polykapillaroptyk) eine sehr gute homogene Verteilung der Pb reichen Phase erreicht wurde. Abb. 2 zeigt das zugehörige SEM – Rückstreuerelektronenbild der neuen Legierung sowie einen Linienscan über die Probe im Vergleich zu einem herkömmlichen SnPb3 Referenzmaterial, welches sich nur bedingt für die Mikroanalyse eignet. Die Referenzmaterialien von Fischer werden auch in regelmäßigen Abständen überprüft, um mögliche Alterungseffekte auszuschließen und eine hohe Qualität zu gewährleisten.

Dr. Simone Dill

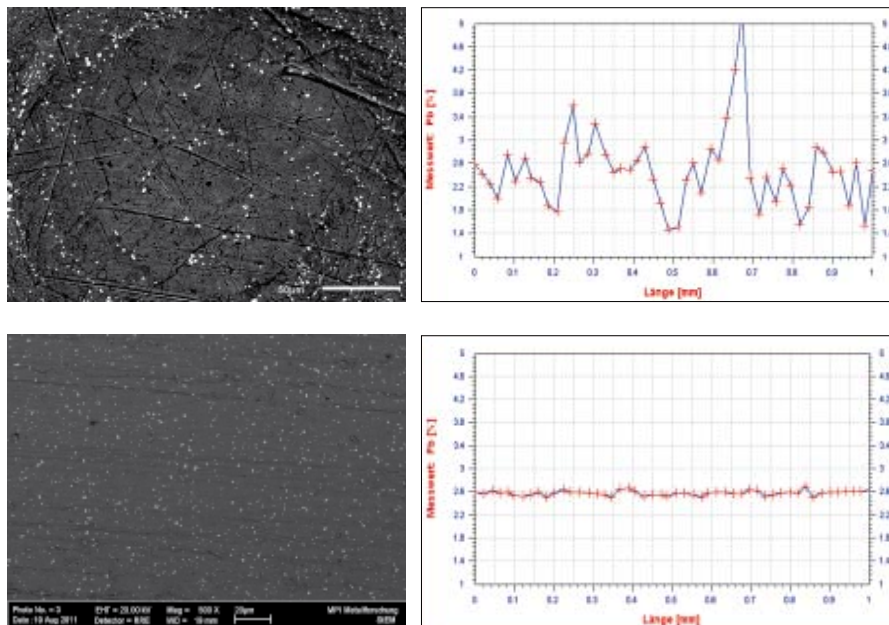


Abb. 2 zeigt die SEM-Rückstreuerelektronenbilder sowie jeweils einen Linienscan über das Referenzmaterial A von Tab. 1 (oben) und das neue SnPb Material (unten) über 1 mm Länge mit dem FISCHERSCOPE® XDV®- μ (Polykapillare mit FWHM von ca. 20 μm , 50 kV, Al Filter, 50 *25 s, Wiederholpräzision 0,031%).

Genauer hingeschaut

Betarückstreuung misst dicke Goldschichten

Für mehr als 2 Jahrzehnte (1960 bis 1985) war die Betarückstreu-Methode ein in vielen Industriebranchen häufig eingesetztes radiometrisches Verfahren zur Schichtdickenmessung von metallischen und organischen Beschichtungen gewesen. Grundlegende Arbeiten von Helmut Fischer führten zu einer praxiserfahrenen Gerätefamilie, die bereits seit dem Beginn der 60-er Jahre unter dem Warenzeichen BETASCOPE® in vielen internationalen Märkten erfolgreich war, insbesondere bei Anwendern in der Edelmetall-Galvanotechnik, sowie bei Leiterplatten- und Kontaktherstellern. Mit der Markteinführung der Röntgenfluoreszenz-Messtechnik etwa ab 1983, bei FISCHER unter der Bezeichnung FISCHERSCOPE® X-RAY produziert, wurde das Beta-Verfahren mehr und mehr in den Hintergrund gedrängt. Insbesondere die Fähigkeit des Röntgenfluoreszenz-Verfahrens Mehrschicht-Systeme berührungslos in einem Messvorgang messen zu können (beispielsweise Au/Ni/Cu oder Au/Pd/Ni) – und das



Abb.1 WIKA Membran-Druckmittler, Membran Gold-Beschichtung 2,5 μm auf CrNi-Stahl. Foto WIKA

bei Messfleckgrößen kleiner als 100 μm – begründete den Erfolg des RFA-Verfahrens.

Trotzdem besitzt das Betarückstreu-Verfahren auch heute vorteilhafte Eigenschaften, die bei technischen Nischenprodukten den Einsatz nahelegen können.

Diese Verfahrensvorteile sind:

- Eine Auswahl von vier Isotopenausführungen, mit unterschiedlichen Austrittsenergien der Betateilchen, erlaubt eine Anpassung an die Schichtdicke der Aufgabenstellung. Siehe Tabelle 1 mit Angabe der maximal messbaren Gold-Dicke auf Edelstahl.
- Organische Schichten (Lack, Teflon, Öl) auf metallischen Grundwerkstoffen sind messbar, ohne dass magnetische oder elektrische Materialeigenschaften oder Randeffekte des Grundwerkstoffes die Messung verfälschen könnten. Durch geeignete Isotopenauswahl ergeben sich bei organischen Schichten Messmöglichkeiten zwischen 1 µm und 800 µm.
- Im Vergleich zu taktilen Messverfahren (Wirbelstrom-, magnetinduktive Methode) existiert eine klar definierte Messfleckgröße durch geeignete Juwelling®-Blenden (typisch 0,63 mm bis 1.6 mm Durchmesser).

Funktionsweise

Die prinzipielle Funktionsweise des Beta-rückstreuverfahrens ist in Abb.2 gezeigt. Die chemischen Ordnungszahlen Z der Elemente in Schicht- und Grundwerkstoff müssen mindestens einen Unterschied von $\Delta Z=5$ aufweisen. Die Isotopenaus-

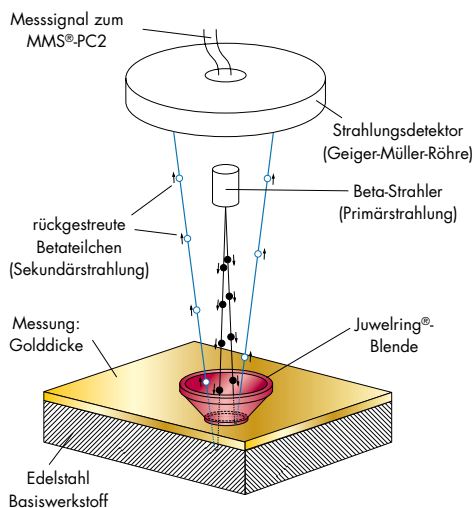


Abb. 2 Prinzipielle Funktionsweise der Beta-rückstreuermethode zur Schichtdickenmessung (Messobjekt: Gold auf Edelstahl)

- emittierte Betateilchen vom Betastrahler
- rückgestreute Betateilchen vom Messobjekt



Abb. 3: FISCHERSCOPE® MMS®-PC2 mit Beta-Strahler und Messobjekt Uhrengehäuse (goldbeschichtet)

wahl des Beta-Strahlers bestimmt die maximal messbaren Schichtdicken – siehe auch Tabelle 1, rechte Spalte für Gold auf Edelstahl.

Technische Produkte mit dicken Goldschichten (20 µm bis 35 µm)

Insbesondere bei dicken Schichten kann das Beta-rückstreuverfahren flexibel durch Isotopenauswahl angepasst werden, siehe Tabelle 1. Die energiereichen Sr 90-Betateilchen dringen so tief in die Schicht ein, dass Goldschichten bis 35 µm messbar werden. Die Röntgenfluoreszenzmethode misst nur bis etwa 8 µm Goldschichtdicke.

Membran-Druckmittler

werden in der Petrochemie und der chemischen Prozessindustrie für aggressive und hochviskose Medien eingesetzt. Abb. 1 zeigt eine Ausführung bei der alle medienberührten Bauteile mit einer

Goldbeschichtung von 25 µm beschichtet sind. Grundwerkstoff CrNi-Stahl. Die dicke Goldschicht soll eine Porendichtigkeit gegenüber aggressiven Medien erzielen. Messtechnik: Sr-90 Strahler in Handmesssonde Z9NG, Messzeit 20 sec, Auswertung mit MMS®-PC2, BETA-SCOPE®-Modul.

Chronograph-Gehäuse

Hochwertige Chronographen gibt es mit Edelstahlgehäuse und 20 µm Goldauflage. Abb. 3 zeigt die Messung an einem vergoldeten Uhrengehäuse. Das Gehäuse wird manuell auf eine Juwelling®-Blende, 0,6 x 1.2 mm, aufgesetzt. Dekorative Erscheinung und Korrosionsbeständigkeit soll die dicke Goldschicht gewährleisten. Messtechnik: Sr-90 Strahler in Handmesssonde Z9NG oder Tisch Z5NG, Messzeit 20 sec, Auswertung mit MMS®-PC2, BETA-SCOPE®-Modul.

Isotopensorte	Betateilchen-Energie	max. Golddicke auf Stahl
Promethium Pm-147	0,22 MeV	3 µm
Thallium Tl-204	0,76 MeV	12 µm
Strontium Sr-90	2,27 MeV	35 µm
Kohlenstoff C-14	0,156 MeV	< 2 µm

Tab. 1: Isotopenquellen und Energie der Betateilchen