

Elastomerdichtungen · Beschichtung · Reibung · Heliumprüfung · Lackhaftung

Es werden Laborprüfungen vorgestellt, um unterschiedlichste Beschichtungssysteme für Elastomerdichtungen auf ihre Reibungsreduzierung zu bewerten. Dabei sind die vorgestellten Laborprüfungen in der Lage, die Anforderungen für unterschiedliche Anwendungen zu simulieren. So wird eine Prüfung für dynamische Anwendungen vorgestellt als auch ein Testprogramm, das das Einpressverhalten von Dichtungen in den Einbauraum quantitativ bewertet. Weiterhin wird anhand typischer Fehlerbilder, einer Heliumprüfung und der Bewertung der Lackhaftung gezeigt, dass beschichtete Dichtungen neben der verbesserten Reibungsreduzierung ein ausreichendes Dichtverhalten garantieren müssen.

Friction Reduction of Innovative Coating Systems in Dependence on Intended Application

Elastomer seals · Coating · Friction · Helium leakage test · Adhesive force

The appropriate laboratory test program in dependence on different kind of applications is introduced to qualify a defined coating system regarding friction reduction for elastomeric seals. Special tests are introduced for dynamic application as well as for friction reduction during assembly. In addition to improved friction reduction coated seal still has to guarantee leak tightness. Therefore sealing performance is visualised by typical pattern of defects and monitored by helium leakage test and evaluation of adhesive force of the coated seal.

Elastomerdichtungen und deren anwendungsbezogene Auswahl

Innovative Oberflächenbeschichtungen zur Reibungsreduktion

Zur Reibungsreduktion von Dichtungen haben sich eine Vielzahl unterschiedlichster Methoden am Markt etabliert. Beispielsweise kann der Dichtungshersteller im Rahmen einer gezielten Mischungsmodifikation durch Einbringung geeigneter gleitaktiver Substanzen den Reibwert reduzieren. Dabei darf das Gleitmittel jedoch unter Betriebsbedingungen nur mit einer definierten Geschwindigkeit aus der Mischung diffundieren. Auf der einen Seite muss dies so langsam geschehen, dass die Dichtung nicht durch den Maserverlust an Vorspannung bzw. Verpressung verliert und gleichzeitig so schnell erfolgen, dass in allen Betriebszuständen, z.B. auch nach Entfernung oder Verbrauch der Oberflächenbelegung wieder ein ausreichend reibungsoptimierter Belag entsteht [1]. Darüber hinaus hat der Produktwentwickler die Möglichkeit durch gezielte Veränderung des Dichtungsdesigns oder zum Beispiel durch den Einsatz von Mikrorillen die Schmierverhältnisse im Kontaktbereich deutlich zu verbessern und somit die auftretende Reibung zu reduzieren [2]. Beim Vorliegen überwiegend trocken beanspruchter dynamischer Betriebsverhältnisse hat sich in jüngster Zeit verstärkt eine chemische bzw. physikalische Beschichtung der Oberfläche der Dichtung im Kontaktbereich zur Reduzierung der Reibung in einer Vielzahl von Anwendungen durchgesetzt. Diese funktionellen Beschichtungen erfüllen dabei die unterschiedlichsten Anforderungen wie z.B. die Reduktion der Einpresskraft bei der Montage von O-Ringen oder die Reduktion der Stellkraft bei Ventilsitzen bis hin zu dauerhaft dynamisch beanspruchten Dichtungen mit kilometerlangen Gleitwegen wie beispielsweise in Pumpen oder Zylindern. Um bei der Vielzahl der vorliegenden Anforderungen unter unterschiedlichsten Betriebsbedingungen die jeweils optimale Oberflächenbeschichtung bzw. -modifikation auszuwählen, wurden bei der Firma Freudenberg umfangreiche Prüfmetho-

den entwickelt, um die entsprechenden Beschichtungstypen auf ihre Eignung für die unterschiedlichen Anwendungen zu charakterisieren. Nachfolgend werden die in einem umfangreichen Benchmarkprogramm anhand von O-Ringen (11 × 2,5 mm) aus dem Werkstoff 70 EPDM 291 ermittelten Ergebnisse auszugswise dargestellt. Dabei sollen die exemplarisch ausgewählten Kennwerte die Besonderheiten und Eignungen der unterschiedlichsten Beschichtungen in Abhängigkeit der jeweiligen Anwendung aufzeigen.

Translations-Reibprüfstand: Reibung bei dynamischer Belastung

Abbildung 1 zeigt hierzu den zur Durchführung der Dauerreibversuche bei konstanter Normalkraft verwendeten Translations-Reibprüfstand, der bei der Freudenberg Forschungsdienste KG speziell für Anwendungsfälle unter dynamischer Belastung entwickelt wurde.

Bei dem Versuch werden die O-Ringe in die spezielle Halterung eines Schlittens eingebracht. Die bei der translatorischen Bewegung auftretenden Reibungskräfte werden dann zur Ermittlung von dynamischen Reibungskoeffizienten verwendet. Dabei kommt in diesem Fall ein Stahlschlitten mit verchromter Oberfläche ($R_a \sim 0,2 \mu\text{m}$) zum Einsatz, der in aller Regel bei einer Geschwindigkeit von 150 mm/s (max. 400 mm/s) und einer konstanten Anpresskraft bewegt wird.

Autoren

H. Lang, V. Peterseim, T. Klenk, R. Weiss, Weinheim

Korrespondenz:
Dr. Volker Peterseim
Freudenberg O-Ring GmbH u. Co KG
Höhnerweg 2-4
Tel. 06201/80-6818
Fax: 06201/886818
E-mail:
Volker.Peterseim@freudenberg.de



KGK RUBBERPOINT

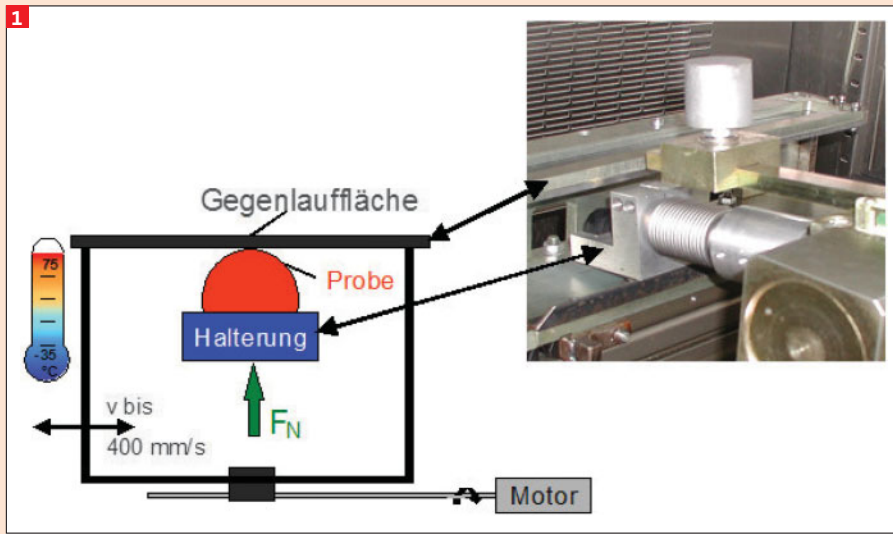
Discover more interesting articles
and news on the subject!

www.kgk-rubberpoint.de



Entdecken Sie weitere interessante
Artikel und News zum Thema!

1



1 Translations-Reibungsprüfstand

Abbildung 2 zeigt exemplarisch die für eine Verpressung von 1,5% und 15% ermittelten dynamischen Reibungskoeffizienten der unterschiedlichen Beschichtungssysteme beim Start des Versuches.

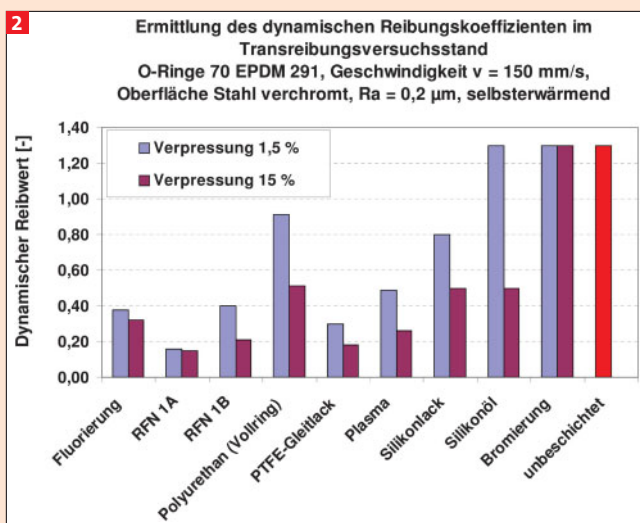
Es zeigt sich, dass die meisten der aufgetragenen Beschichtungen die Reibung gegenüber den unbehandelten Bauteilen deutlich reduzieren. Besonders auffällig ist das Ergebnis bei Versuchen mit erhöhter Anpressung (15%), da in diesen Fällen eine Versuchsdurchführung mit unbeschichteten O-Ringen aufgrund der hohen Reibung nicht möglich ist. Die unbeschichteten Ringe werden durch die hohen auftretenden Kräfte bereits bei Versuchsstart aus der Vorrichtung gerissen.

In den meisten Fällen nimmt bei den beschichteten O-Ringen der ermittelte Reibwert mit zunehmender Kontaktkraft ab. In vielen Fällen lässt sich die Abnahme der Reibkraft mit zunehmender Verpressung bei der Paarung von weichen Werkstoffen mit Stahl durch die folgende Modellverstärkung beschreiben. Aufgrund des geringen Elastizitätsmoduls elastomerer Werkstoffe ist beim Verpressen des Gummis von einer guten Anpassung an die Stahloberfläche auszugehen. Nimmt man daher als Kontaktfläche sogenannte Kugelkalotten an, ergibt sich mit der Hertz'schen Pressungsbeziehung der folgende Zusammenhang für den Reibwert μ [3]:

$$\mu \sim F_N^{-1/3}$$

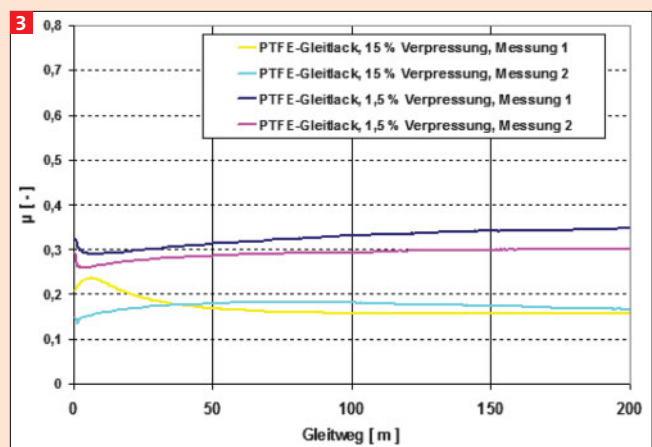
Bei einem detaillierten Vergleich der Ergebnisse zwischen den einzelnen Beschichtungstypen ist jedoch zu beachten, dass die erzielten Ergebnisse abhängig von den nur im Zusammenhang des bei den Versuchen eingesetzten Beschichtungsverfahrens sind. Der Effekt zeigt sich beispielhaft im obigen Benchmarkdiagramm beim Vergleich der Ergebnisse RFN 1A und RFN 1B. Beide Kennwerte basieren hierbei auf demselben Beschichtungstyp, die Schichten wurden jedoch mittels unterschiedlicher Beschichtungsverfahren realisiert. Das heißt, alleine durch veränderte Prozessparameter lässt sich die Qualität einer Beschichtung trotz gleicher chemischer Zusammensetzung erheblich beeinflussen. Damit können sich

2

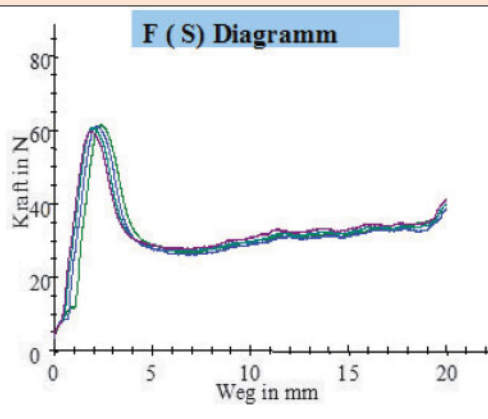


2 Dynamisch ermittelte Reibwerte für unterschiedliche Oberflächenbeschichtungen, RFN: Reduced Friction by Nanotechnology

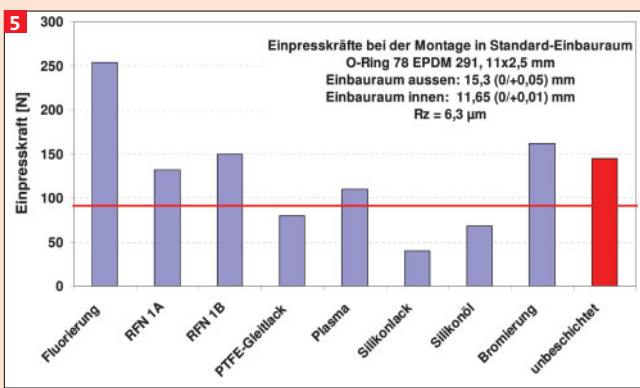
3



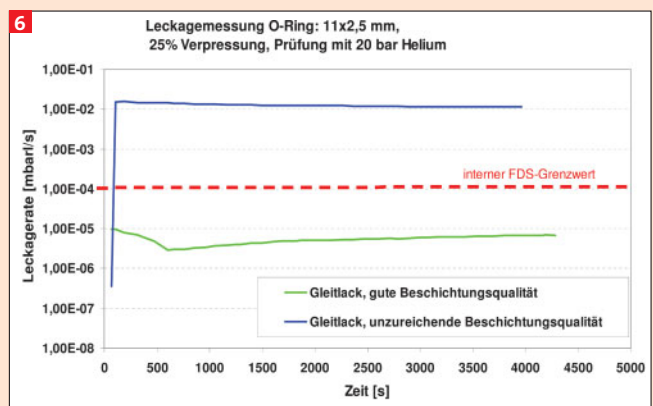
3 Dynamischer Reibwert μ einer PTFE-Gleitlackbeschichtung über einen Gleitweg von 200 m



4 Versuchsvorrichtung zur Durchführung von Einpressversuchen sowie typischer Kraft-Weg-Verlauf beim Einpressen



5 Im „Press-Fit“-Versuch ermittelte maximale Einpresskräfte beim Einpressen in den O-Ring-Standard-Einbauraum



6 Einfluss von Oberflächenbeschichtungen auf die Helium-Leckagerate Prüfdruck: 20 bar, Verpressung 25 %, Rauigkeit Rz = 6,3 µm

durch andere Applikationsverfahren und damit unterschiedlichen Schichtstrukturen die Vor- und Nachteile zwischen den unterschiedlichen Beschichtungstypen entsprechend verschieben. Gleiches gilt in entsprechender Weise für die im Diagramm erwähnten Gleitlacke (PTFE bzw. Silikongleitlack), bei denen zusätzlich zum Applikationsverfahren und der reibungsminimierenden Hauptkomponente (z. B. PTFE) auch noch die weitere chemische Zusammensetzung des gesamten Coatingsystems einen wesentlichen Einfluss auf die Gleiteigenschaften nimmt (Matrix, Füllstoff, Vernetzer etc.).

Für den späteren Einsatz in der Anwendung entscheidet häufig die Lebensdauer bzw. der Verschleiß der eingesetzten Beschichtungen über deren eigentliche Eignung im Betrieb. Exemplarisch ist in Abb. 3 die Veränderung des dynamischen Reibwertes μ einer PTFE-Gleitlackbeschichtung über einen Gleitweg von 200 m dargestellt. Dabei zeigt diese PTFE-Gleitlackbeschichtung eine gute Verschleißbeständigkeit sowie nahezu konstante dynamische Reibwerte über den gesamten Versuchsverlauf.

Es kommt weder zu einem Anstieg des Reibwertes mit zunehmendem Gleitweg noch zum sogenannten Stick-Slip. Dieses ruckartige Gleitverhalten wäre anhand eines zeitlichen Kurvenverlaufs ersichtlich.

Auch für das Verschleißverhalten bzw. den Anstieg des Reibwertes mit zunehmendem Gleitweg besitzt das eingesetzte Beschichtungsverfahren neben der chemische Zusammensetzung des Coatingsystems eine entscheidende Bedeutung, da nur bei ausreichender Stabilität der Schicht gute Ergebnisse erzielt werden können. So sind in Abhängigkeit von der Anwendung nicht zwingend PTFE-haltige Gleitlackssysteme als optimale Lösung anzusehen.

Press-Fit: das Einfahren von Dichtungen in den Einbauraum

Neben den Reibungsverhältnissen bei konstanten Anpresskräften bzw. bei dynamischer Belastung wie sie im Translationsversuch nachgestellt wurden, sind häufig Versuche wichtig, die das Einpressverhalten von O-Ringen in einen Einbauraum bzw. das Einfahren einer elastomeren Dichtung in den Ventilsitz beurteilen. Bei dieser Anwen-

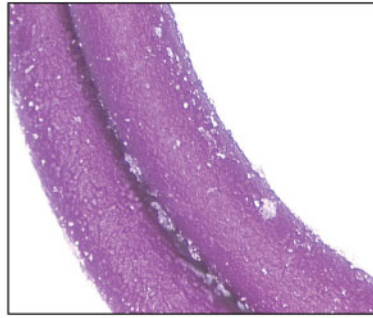
dung ändern sich die Kontaktkräfte aufgrund der jeweils unterschiedlichen Verpressungszustände der Dichtung während des Einfahrens in den Dichtsitz. Die hierbei auftretenden unterschiedlichen Reibungsverhältnisse stellen völlig andere Anforderungen an die Beschichtung, so dass die häufig sehr harten Beschichtungen für dynamische Anwendungen hier ungeeignet sind. Um diese Verhältnisse im Labor zu simulieren, zeigt Abb. 4 mit dem sogenannten „Press-Fit“ die hierzu geeignete Prüfvorrichtung. Ebenfalls ist exemplarisch der Kraftverlauf über dem Einpressweg gezeigt, so wie er typischerweise bei einem Einpressversuch auftritt.

Entscheidend für die meisten Anwendungen ist dabei die maximal zu überwindende Einpresskraft. Kann diese maximale Einpresskraft durch den verwendeten Stellantrieb bzw. durch das eingesetzte Montagepersonal nicht aufgebracht werden, ist die Funktion des Bauteils nicht gewährleistet. Darüber hinaus besteht ein nicht unerhebliches Risiko, den O-Ring aufgrund zu hoher Einpresskräfte schon bei der Montage zu beschädigen. Ein Abscheren oder das Verdrillen

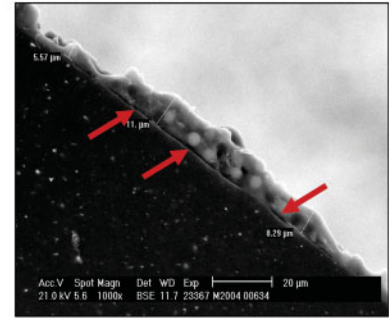
7



„Flusen“



„Orangenhaut“



„Haftung“

7 typische Fehlerbilder beschichteter O-Ringe

des O-Rings ist ein häufig auftretendes Fehlerbild, das zudem nicht zwangsläufig bei der Montage bemerkt werden muss und damit einen potentiellen Feldausfall darstellt. Dies ist gerade in Zeiten steigender Gewährleistungsansprüche ein hoch aktuelles Bewertungskriterium.

Nachfolgend sind die im beschriebenen Benchmarkversuch ermittelten maximalen Einpresskräfte beim Einpressen in den empfohlenen Standard-O-Ring Einbauraum (25 % Verpressung) vergleichend dargestellt (Abb. 5).

Es zeigt sich, dass viele Beschichtungen im Press-Fitversuch keine Reduktion bzw. in machen Fällen sogar eine Erhöhung der Einpresskräfte gegenüber der unbeschichteten Variante zur Folge haben. Der entsprechende Sachverhalt trifft dabei vor allem auf die im Rahmen des Versuchsprogramms untersuchten Halogenisierungsverfahren zu.

Das im Diagramm aufgelistete Silikonöl ist stellvertretend für „nicht grifffeste“, nicht

trockene Montagehilfen wie Fette und Öle in die Darstellung aufgenommen. Obwohl die Reduzierung der Einpresskraft über diese gängigen Montagehilfen sehr effektiv erreicht werden kann, besteht auch hier ein erhöhtes Risiko von Montagefehlern. Neben einer Kontamination der Montageanlagen durch die Fette und Öle selbst, kann es auf den feuchten Dichtungsoberflächen leicht zu einem Anhaften von Staub, Fäden oder ähnlichen Partikel kommen. Diese Partikel wiederum sind als potentielle Leckagefaden auf den verbauten Dichtungen zu bewerten (siehe hierzu auch Punkt 3: Heliumprüfung). Auch dies ist hinsichtlich von möglichen Gewährleistungsansprüchen kritisch zu bewerten.

Heliumprüfung: Dichtwirkung von beschichteten Dichtungen

Wie die Ergebnisse aus dem Translations-Reibungsversuch als auch aus dem durchgeführten Press-Fit Versuch zeigen, ist für eine

optimale Beschichtungsauswahl umfassendes Know-How des Dichtungsherstellers notwendig, um für den Kunden eine zielführende Beschichtung hinsichtlich der gewünschten Reibungsreduktion auszuwählen. Dabei darf sich die Bewertung der Beschichtungen für eine Anwendung jedoch nicht ausschließlich auf die damit verbundene Veränderung bzw. Reduktion der Reibung im Betrieb beschränken. Zusätzlich ist insbesondere der Einfluss der Beschichtung auf das eigentlich benötigte Abdichtverhalten zu berücksichtigen. Hierzu wurde im Innovationscenter der Freudenberg Dichtungs- und Schwingungstechnik GmbH & Co. KG ein spezieller Prüfstand auf Basis der Heliummassenspektrometrie aufgebaut.

Abbildung 6 zeigt exemplarisch die Helium-Leckageraten von O-Ringen, die zum einen mit einer guten, zum anderen mit einer unzureichenden Beschichtungsqualität beschichtet wurden.

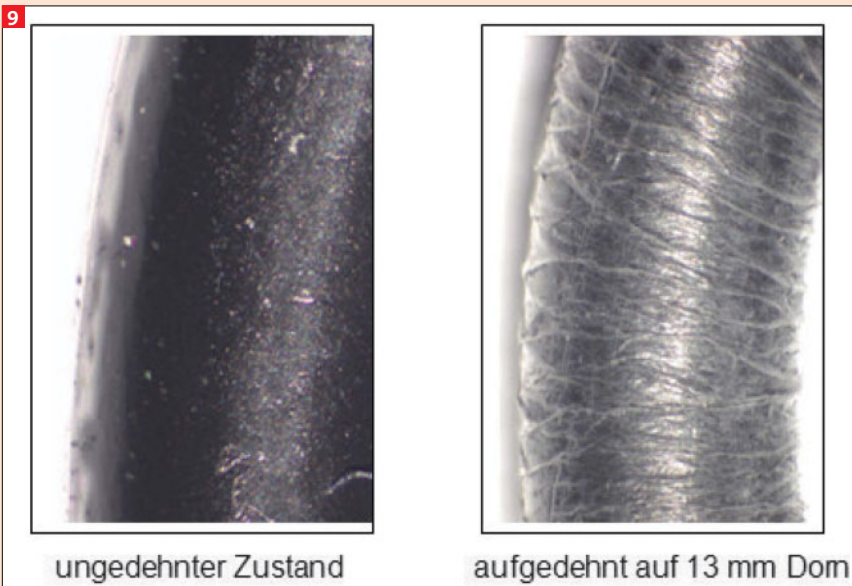
8

Beschichtung als „Added Value“



8

Kernkompetenz:
Beschichtungsauswahl
und Applikation Beschichtungszentrum
der Freudenberg O-Ring



9 Dehnungsprüfung am O-Ring 11 × 2,5 mm

Wie die unterschiedlichen Leckgeräten zeigen, kann je nach Art der Beschichtung bzw. insbesondere auch des durchgeführten Beschichtungsverfahrens (Einfluss der Schichtstruktur) die damit einhergehende Veränderung der Oberflächengüte entscheidend das Anpassungsverhalten der beschichteten Dichtungsoberfläche an die Rauigkeiten der Gegenläufigkeit beeinflussen. Typische Fehlerbilder, die bei einer unzureichenden Beschichtungsqualität auftreten können, sind in Abb. 7 zusammengestellt. Flusenbildung, „Orangenhaut“ oder unzureichende Lackhaftung auf dem Dichtwerkstoff führen in den meisten Fällen zu einer unerwünschten Leckage.

Das „Abdichtverhalten“ ist damit gerade auch für die Beurteilung von beschichteten Dichtwerkstoffen von entscheidender Bedeutung. Aus diesem Grund muss für jede Beschichtung ein genau auf den jeweiligen Beschichtungstyp abgestimmtes Beschichtungsverfahren eingesetzt werden. Dieses Know-how ist im Beschichtungszentrum der Freudenberg O-Ring GmbH u. Co. KG vorhanden. So ist für jedes Coatingsystem ein speziell abgestimmtes Programm aus Verfahren (Sprühen, Tauchen, Plasma) und den dazugehörigen Prozessparametern verfügbar, um Fehlerbilder wie in Abb. 7 dargestellt zu vermeiden. Das wichtige Zusammenspiel zwischen der Auswahl des richtigen Beschichtungssystems je nach Anwendungsfall und dem dazugehörigen optimalen Applikationsverfahren bestimmt die Funktion der Beschichtung in der späteren Anwendung (Abb. 8). Diese Kenntnisse sind mit Beginn des Jahres 2008 jetzt auch für alle weiteren

Bauteile von Freudenberg Dichtungs- und Schwingungstechnik in einem zweiten Beschichtungszentrum von FDS verfügbar.

Dehnungsprüfung: Haftung der Beschichtung

Als eine weitere wichtige Grundvoraussetzung für eine funktionsfähige Beschichtung gilt es, die Bindung zwischen der Beschichtung und dem jeweiligen Basis-Elastomer zu prüfen. Existiert zwischen der eingesetzten Beschichtung und dem Basis-Elastomer nur eine schlechte Anbindung, so lässt sich dies häufig direkt nach der Herstellung optisch erkennen. In vielen Fällen tritt die mangelnde Anbindung aber erst im Betrieb oder in der Anwendung auf und lässt sich auf die unterschiedliche Steifigkeit bzw. Elastizität zwischen Basis-Elastomer und Beschichtung zurückführen. Zur Absicherung einer für alle Betriebszustände ausreichenden Anbindung wurden die im Untersuchungsprogramm befindlichen Beschichtungen daher einer speziellen Dehnungsprüfung unterworfen, die u.a. auch in der Qualitätssicherung im Beschichtungszentrum der Freudenberg O-Ring GmbH u. Co. KG als Routineprüfung implementiert ist. Hierzu wurden O-Ringe der Abmessung 11 × 2,5 mm stufenweise auf Dorne mit wachsendem Durchmesser aufgezogen und so die Dehnung des O-Rings mit Beschichtung bis zum Dorndurchmesser 20 mm gesteigert. Abbildung 9 zeigt die bei einem Durchmesser von 13 mm ausgefallene Plasma-Beschichtung aufgrund mangelhafter Bindung zwischen Beschichtung und Basis-Elastomer.

Als weitere wichtige Maßnahme zur Sicherstellung der Funktion der Beschichtung in der jeweiligen Anwendung gilt es, die Medienbeständigkeit zu überprüfen. Hierzu werden umfangreiche Einlagerungstests der beschichteten Bauteile durchgeführt. Je nach Schwerpunkt des späteren Einsatzfalls wird dann anschließend im Translationsversuch bzw. im Press-Fitversuch die Aktivität der Reibungsreduktion nach Medieneinlagerung nochmals überprüft bzw. mit Hilfe der Elektronenmikroskopie das Vorhandensein der Beschichtung nach erfolgter Medienlagerung überprüft.

Fazit

Die vorgestellten Ergebnisse der untersuchten Beschichtungen aus dem Translationsversuch sowie dem Press-Fit Versuch zeigen, dass sich durch die Auswahl des optimalen Beschichtungssystems in der Praxis in vielen Fällen dramatische Reibungsreduktionen in der Anwendung bewirken lassen. Dies ermöglicht dem Kunden eine vereinfachte und schnellere Montage der Dichtungen. Ebenfalls wird die Gefahr von Gewährleistungsfällen aufgrund von Montagefehlern reduziert und zusätzlich ein signifikantes Kosteneinsparpotenzial realisiert. Darüber hinaus kann eine geeignete Beschichtung zur Steigerung der Lebensdauer bei dynamisch beanspruchten Dichtsystemen beitragen.

Auf der anderen Seite haben die durchgeführten Benchmarkuntersuchungen gezeigt, dass eine optimale Beschichtungstechnologie nur dann angewendet werden kann, wenn der Beschichter über das entsprechende Anwendungs- und Applikations-Know-How von Dichtungen verfügt, wie es in der Regel nur bei Dichtungsherstellern mit angeschlossenem Beschichtungszentrum in entsprechendem Umfang vorhanden ist. Im Extremfall führt die falsche Beschichtung in der falschen Anwendung sonst sogar zu einer Erhöhung der Reibung oder bei unzureichendem Applikations-Know How zu Leckage.

Literatur

- [1] B. Severich, M. Clemens, U. Liedtke, G. Stein, Abriebfeste Schutzschicht – optimale Reibungsreduktion für FDA-konforme Klappendichtung; dei 12/2006.
- [2] G. Stein, Oberflächenmodifizierung von Elastomeren zur Reibungsreduzierung; Gummi – Fasern – Kunststoffe, Heft 5, Mai 2008.
- [3] K. H. ZumGahr, Reibung und Verschleiß – Mechanismen, Prüftechnik, Werkstoffeigenschaften-, Deutsche Gesellschaft für Metallkunde e.V., 1983.