

#### 4.0 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass das Beflammen im Vergleich zur Gasphasenfluorierung und zum Atmosphärendruck-Plasmaverfahren PP-EPDM-Werkstoffe relativ schonend aktiviert. Bei keiner Prozessvariante waren nach dem Beflammen in den von der Substratoberfläche löslichen Anteilen Abbauprodukte des PP-EPDM-Werkstoffes infrarotspektroskopisch nachweisbar. Mit der Beflammungsintensität nahmen der Sauerstoffgehalt und die polaren Gruppen an der Werkstoffoberfläche zu, während die Rauigkeit unverändert blieb. Dies zeigt, dass beim Beflammen die gewünschten Aktivierungseffekte auftreten, nämlich die Erzeugung von polaren Gruppen, die fest mit dem Werkstoff verankert sind. Zwischen Labor- und Industriebeflammungen waren hinsichtlich der Aktivierungseffekte keine signifikanten Unterschiede zu erkennen.

Auffällig war, dass beim Beflammen, auch bei den optimierten Prozessvarianten im Labor und bei den industriellen Beflammungen, der Anstieg in der Polarität nur relativ schwach ausgeprägt ist. Die untersuchten PP-EPDM-Werkstofftypen unterschieden sich in den erzielten Polaritäten nicht signifikant. Dennoch war die Lackhaftung der verschiedenen wasserbasierenden Beschichtungsvarianten sehr gut, wenn der Additivanteil an der PP-EPDM-Werkstoffoberfläche relativ niedrig ist. Bei keiner der eingesetzten wässrigen Beschichtungsvarianten traten in diesem Fall beim Dampfstrahltest partielle Lackenthaftungen auf. Bei PP-EPDM-Werkstoffen mit höherer Additivaufgabe an der Oberfläche nahmen die Lackenthaftungen beim Dampfstrahltest mit steigendem Additivanteil zu.

Die Additive konnten durch praxisübliche Reinigung bzw. Reinigung und Beflammung nicht von der Werkstoffoberfläche entfernt werden. Das Reinigungsverfahren (Powerwash, CO<sub>2</sub>-Reinigung, Wasser-Isopropanol/Ultraschall) und die Beflammungsintensität haben keinen Einfluss. Die auf den gereinigten und aktivierten Werkstoffoberflächen festgestellten Auflagemengen an löslichen Anteilen entsprachen in der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung dem jeweils unbehandelten PP-EPDM-Werkstoff. Bei den Additiven handelt es sich um ein typisches Stoffgemisch aus Antioxidanzien, Antistatika, Wachsen etc. Die Additive konnten nur mit einem chlorierten Lösemittel größtenteils entfernt werden, allerdings migrierten sie innerhalb kurzer Zeit wieder nach.

Bei einer Gasphasenfluorierung werden polarere Oberflächen erzeugt, besonders ausgeprägt ist dieser Effekt bei einer Gasphasenfluorierung in Gegenwart von Sauerstoff (Oxifluorierung). Der bei dieser Prozessvariante beobachtete starke Anstieg der Oberflächenenergie korreliert mit einem höheren Sauerstoffgehalt und einer erhöhten Acidität. Die Untersuchung der löslichen Anteile ergab, dass PP-Abbauprodukte die Ursache für eine starke Zunahme der Polarität bei der Oxifluorierung sind. Gegenüber einer Fluorierung ohne Sauerstoff (Spuren von Sauerstoff sind aber vorhanden) sind in den von einer oxifluorierten Werkstoffoberfläche löslichen Anteilen neben den Kunststoffadditiven auch PP-Abbauprodukte enthalten und insgesamt war die Menge an löslichen Anteilen deutlich höher. Der Aktivierungseffekt (Bildung polarer Gruppen, Polaritätsanstieg) beruht bei dieser Prozessvariante nicht, wie bei einer Aktivierung gewünscht, auf einer Anoxidation des Polymeren, sondern auf der Bildung einer löslichen polaren Schicht. Bei einer Fluorierung ohne Sauerstoff entspricht die Menge löslicher Anteile dem unbehandelten Werkstoff, in diesem Fall waren nur Kunststoffadditive (Antioxidanzien, Wachse) enthalten. Trotz dieser deutlich unterschiedlichen Aktivierungseffekte veränderte sich die Rauigkeit bei beiden Gasphasenfluorierungsvarianten nicht signifikant. Die Streuung der Ra-Werte war

zudem sehr gering, d.h. die Oberflächenheterogenität nimmt bei einer Gasphasenfluorierung nicht zu.

Bei einer Atmosphärendruck-Plasmaaktivierung sind die Effekte besonders stark ausgeprägt. Bei allen Prozessvarianten nimmt die Polarität stark zu. Die Zunahme der Oberflächenenergie korreliert gut mit hohen Sauerstoffgehalten und dem Anstieg polarer saurer Gruppen. Allerdings wird die Oberfläche stark angegriffen. Die Oberflächenrauigkeit und -heterogenität ist, abhängig von den Aktivierungsparametern, gegenüber dem Ausgangszustand deutlich erhöht. Die Rauigkeiten sind verdoppelt bis verdreifacht. Bei allen Varianten waren Flecken auf der Oberfläche erkennbar, was auf eine Überbehandlung hinweist. Bereits kleinste Veränderungen in den einzelnen Prozessparametern führen zu starken Veränderungen bei den ermittelten Oberflächenanalysendaten. Bei allen Prozessvarianten bildeten sich PP-Abbauprodukte, unabhängig ob mit einer starren oder rotierenden Plasmadüse aktiviert wurde. Der Vergleich rotierende vs. starre Plasmadüse ergab, dass die rotierende Plasmadüse etwas schonender ist. Die resultierenden Oberflächenenergien / pol. Anteile sind tendenziell niedriger und die Rauigkeit bleibt bei optimalen Bedingungen konstant, jedoch sind immer noch PP-Abbauprodukte als lösliche Anteile enthalten.

Der angegebene Füllstoffanteil korreliert nicht mit den im XPS gefundenen Mg / Si-gehalten (Talkum) auf den Oberflächen. Allerdings zeigten sich parallel zu den PP-EPDM-Substraten mit höherer Additivaufgabe an der Oberfläche auch deutlich höhere Mg / Si-Gehalte. Die Untersuchung enthafteter Stellen zeigt eine deutliche Erhöhung von Mg / Si an der Oberfläche, was auf eine verstärkte Migration nach Kontakt mit der Beschichtung hindeutet.

Die an der Werkstoffoberfläche vorhandenen niedermolekularen Stoffe / Stoffgemische (Additive und Abbauprodukte des PP-EPDM-Werkstoffes) spielen bei den Lackenthaftungen eine wichtige Rolle. Dabei scheint nicht nur die Aufgabemenge dieser niedermolekularen Stoffe / Stoffgemische sondern auch deren stoffliche Zusammensetzung für die Lackhaftung entscheidend zu sein. PP-Abbauprodukte (Carbonsäuren, Alkohole etc.) verursachten nur bei extremer Überbehandlung partielle Lackenthaftungen. Positive Faktoren scheinen dabei die polaren Gruppen der Abbauprodukte zu sein, die mit Isocyanaten reagieren und stabile Verbindungen bilden können. Die im Kunststoff enthaltenen Additive können aufgrund ihrer Strukturmerkmale dagegen nicht mit Isocyanaten reagieren und führen daher ab einer bestimmten Aufgabemenge zu Lackenthaftungen, auch bei optimal aktivierten PP-Werkstoffen, bei denen sich keine PP-Abbauprodukte bilden.

Das Forschungsziel wurde erreicht.