

Ergebniszusammenfassung: IGF-Vorhaben Nr. 19322 N

Untersuchung der material- und verfahrenstechnischen Grundlagen für die Entwicklung eines neuen Gleitlackkonzepts für hohe Beanspruchungen im Maschinen- und Automobilbau

– Graphenbasierte Lacke –

Das Projekt Graphen-Lack hatte das Ziel, die material- und verfahrenstechnischen Grundlagen für die Entwicklung eines neuen Gleitlackkonzepts für hohe Beanspruchungen im Maschinen- und Automobilbau zu untersuchen. Im Rahmen dieses Projekts wurde dies realisiert, indem Gleitlacke entwickelt und untersucht wurden, die mit mechanisch verstärkenden sowie thermisch und elektrisch leitfähigen Graphenen in Kombination mit dem reibmindernden PTFE formuliert wurden. Die wesentlichen Prozessschritte, bestehend aus Lackformulierung, Lackapplikation und Härtung, können einfach und kostengünstig in die bestehenden, industriellen Prozesse integriert werden. Die in dem Projekt generierten Ergebnisse zeigen, dass die Graphenprodukte unter Einsatz von geeigneten Dispergieradditiven mittels Perlmühle in die ausgewählten Bindemittelsysteme eingearbeitet werden können. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von ausgehärteten freien Lackfilmen der verschiedenen Lacksysteme zeigen eine homogene Verteilung der Graphenprodukte im ausgehärteten Lackfilm; auch die Ausrichtung und die Form der Graphenflakes war wie erwartet. Die mechanische Verstärkung der Polymermatrix durch Graphen, als plättchenförmiger Füllstoff, konnte nachgewiesen werden. Die tribologischen Prüfungen zeigen, dass der Zusatz von Graphen im allgemeinen den Verschleiß absenkt. Die Prüfung der Ritzhärte zeigt bei allen Systemen, dass die Zugabe von Graphen die Kraft erhöht, welche nötig ist, um die Lackschicht bis zum Substrat zu durchdringen. Die Prüfung der Eindringhärte bestätigt die Ergebnisse der Ritzhärteprüfung. Die Erhöhung der Härte und des E-Moduls durch die Zugabe von Graphen ist deutlich zu sehen. Darüber hinaus korreliert der Härteanstieg mit steigendem Füllstoffgehalt. Bei Polyurethansystemen ist dieser Trend stärker ausgeprägt als bei den wässrigen Epoxidsystemen. Durch die Zugabe von Graphentyp SE1233 konnte eine signifikante Erhöhung der thermischen und der elektrischen Leitfähigkeit erreicht werden.

Die durchgeführten Untersuchungen und die erzielten Ergebnisse liefern die material- und verfahrenstechnischen Grundlagen für die Entwicklung eines neuen Gleitlackkonzepts für hohe Beanspruchungen.

Die Ziele des Projekts wurden vollumfänglich erreicht und die zu Beginn des Projektes gestellten Fragen konnten beantwortet werden.

Im Folgenden sind die Antworten auf die zu Beginn des Projektes gestellten Fragen:

Welche Bindemittel-Graphen-Kombinationen sind für Gleitlacke einsetzbar?

Sowohl Polyurethan, als auch Epoxidsysteme eignen sich für die Herstellung von graphenhaltigen Gleitlacken. Die Kombination von organischen Bindemitteln, Graphenen zur mechanischen Verstärkung und PTFE-Partikeln zur Reibungsminimierung wurden mit folgenden Bindemitteln durchgeführt.

- Polyurethan-basiert → (Setalux D A 870 BA)
- Epoxid-basiert (wässrig) → EPI-REZ 6521-WH-53
- Epoxid-basiert (lösemittelhaltig) → Epilox L50 – 54

Die lösemittelhaltigen Systeme sind den wässrigen Systemen vorzuziehen, da deutlich mehr Graphen eingearbeitet werden kann. Sowohl die mechanische Verstärkung der Polymermatrix, als auch das Abriebverhalten von den formulierten, wässrigen EP Lacken sind schlechter verglichen mit den lösemittelhaltigen Systemen.

Welche Dispergierungsmethoden sind für die Einarbeitung von Graphen- und PTFE-Partikeln in das Lacksystem geeignet?

Das Dispergieren mit Perlmühle unter Verwendung von ZrO₂-Perlen hat sich als geeignet erwiesen. Es konnte gezeigt werden, dass eine Vermahlungszeit von 20 Minuten bei 4000 bis 4500 U/min bereits ausreicht, um die gewünschten Lackeigenschaften zu erhalten. Die Partikelgröße und die Ausrichtung der Graphenflakes in den ausgehärteten Lackfilmen ändern sich mit einer längeren Vermahlungszeit von 60 Minuten nicht. Bei allen lösemittelhaltigen Systemen konnte gezeigt werden, dass das Dispergieradditiv SOLSPERSE 88000 sich sowohl auf die eingearbeitete Menge an Graphen, als auch auf die Viskosität bei dem Vermahlen positiv auswirkt. Für die wässrigen Systeme hat sich das DISPERBYK-184 als geeignet erwiesen.

Welche anwendungstechnischen Eigenschaften hinsichtlich Abriebschutz, Dauerhaftigkeit sind erreichbar?

Der Zusatz von Graphen senkt im allgemeinen den Verschleiß durch mechanische Verstärkung. Die Kombination von Graphen und PTFE führt bei PUL und EPL zu gleichem oder um bis zu 50% verbessertem Abriebverhalten. Der Graphentyp SE1233 ist hierbei besonders interessant. Beim EPW-Lacksystem führt SE1233 hingegen zu gleichem oder deutlich schlechterem Abriebverhalten und kann bis zu 200% höheren Abrieb bewirken.

Die alleinige Verwendung von Graphen führte zwar zur Reib- und Verschleißminimierung, jedoch konnten, wie erwartet, erst durch die Zugabe von PTFE die neuen Lacksysteme in einen anwendungsrelevanten Bereich gebracht werden. Die Kombination Graphen/PTFE als Füllstoff zeigte sich im Vergleich zum reinen PTFE sehr positiv: Die Reibwerte konnten im Verschleißversuch beim PUL-System mit der Graphen/PTFE-Kombination um bis zu 35% im Vergleich zum rein mit PTFE-gefüllten jedoch graphenfreien System verringert werden. Bei den EPL und EPW Systemen blieb er in etwa gleich. Die ungeschmierten Gleitreibversuche zeigten bei etwas höheren Lasten durch die Graphen/PTFE Kombination im Vergleich zum reinen PTFE-gefüllten System deutliche Reibwertminderungen (PUL: bis zu 20%; EPL: bis zu 25%; EPW: bis zu 50%).

Welche anwendungstechnischen Eigenschaften hinsichtlich Wärmeleitfähigkeit und elektrischer Leitfähigkeit sind erreichbar?

Graphene haben eine vorteilhafte Wirkung auf die Wärmeleitfähigkeit der Lackoberfläche und in die Tiefe des Lacks: Da diese im Graphen extrem hoch ist, kann die Wärmeleitfähigkeit des Beschichtungssystems deutlich angehoben werden, wodurch Reibwärme besser abgeleitet und auf größere Wirtiefen verteilt werden kann. Darüber hinaus bietet die hohe elektrische Leitfähigkeit von Graphen die Möglichkeit, bereits bei geringen Graphengehalten eine ausreichende elektrische Leitfähigkeit von Lacken zu erreichen. Anhand von graphenhaltigen (2% an SE 1233) PU-Systemen konnte gezeigt werden, dass die Wärmeleitfähigkeit um 40%, verglichen mit dem ungefüllten Lack, erhöht werden konnte. Das PTFE in dem Kombinationssystem beeinflusst die Wärmeleitfähigkeit nicht. Darüber hinaus werden die zuvor elektrisch isolierenden PU-Lacke leitfähig gemacht und der Volumenwiderstand sinkt von 10^{12} auf $10^1 \Omega\text{m}$.

Wie ist die Verträglichkeit graphenbasierter Gleitlacke mit üblichen Schmiermitteln?

Schmierstoffe senken den Reibwert in Stribeck-Kurven im Vergleich zum Trockenlauf um ca. 50% auf μ 0.16 (bei 20°C). Bei höheren Temperaturen können die Reibwerte je nach Lacksystem auf ähnliche Werte wie im Trockenlauf ansteigen. Werden die gleichen Versuche nach einer Auslagerung der Proben in Öl durchgeführt, so zeigt sich, dass graphenbasierte Gleitlacke sowohl von PAO als auch von PEG aufgeweicht werden. In den PU-Lacken führt Graphen teilweise zu einer besseren Verträglichkeit der Schmierstoffe. Die graphenfreien Systeme zeigen hohe Reibwerte. In den EPL-Lacken führt der zunehmende Graphengehalt zu einer geringeren Schmierverträglichkeit.

Das IGF-Vorhaben Nr. 19322 N der Forschungsvereinigung „Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e.V.“ wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die aktive Mitarbeit des projektbegleitenden Ausschusses sei ebenfalls dankend erwähnt.

Ansprechpartner:

Andreas Stake

0421 2246-432

andreas.stake@ifam.fraunhofer.de

Dr. Andreas Kailer

0761 5142-247

andreas.kailer@iwm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung

Wiener Str. 12

28359 Bremen

Fraunhofer-Institut für
Werkstoffmechanik

Wöhlerstr. 11

79108 Freiburg

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages