

Verschleiß bestimmen

Strahlerosionsverhalten von Kunststoffen

Egon Moos, Nektaria-Marianthi Barkoula und József Karger-Kocsis, Kaiserslautern

Das Strahlerosionsverhalten von Faserkunststoffverbunden (FKV) ist durch hohe Verschleißraten gekennzeichnet. Dagegen zeigen viele Kunststoffe, speziell Elastomere, geringe Verschleißraten. Untersuchungen des Erosionsverhaltens anhand ausgewählter Polymere und FKV sollen Zusammenhänge zwischen Werkstoff- und Verschleiß-eigenschaften aufzeigen.

Erosionsverschleiß entsteht beim Auftreffen von festen oder flüssigen Partikeln auf Oberflächen und ist üblicherweise durch einen Materialabtrag ge-

den für Anwendungen, bei denen mit hohem Erosionsverschleiß zu rechnen ist (Turbinenschaufeln, Rotorblätter), stehen die bisher noch nicht eindeutig

Das Ziel der laufenden Untersuchungen besteht zum einen darin, einen Überblick über die verschiedenen Verschleißmechanismen von ausgewählten Kunststoffen und Verbundwerkstoffen zu geben, zum anderen die damit verknüpften Materialeigenschaften und Kennwerte zu erfassen, um Anwendungen dieser Werkstoffe unter Erosionsbedingungen zu ermöglichen bzw. zu verbessern.

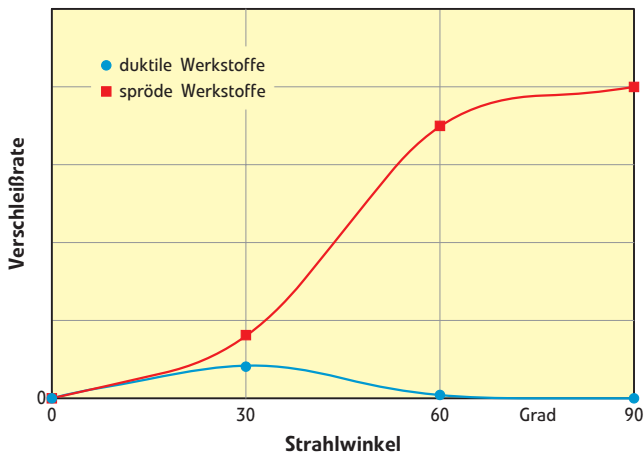


Bild 1. Schematische Darstellung der Verschleißrate in Abhängigkeit des Strahlwinkels für duktile und für spröde Werkstoffe

Experimentelle Untersuchungen

Die Untersuchungen des Strahlverschleißverhaltens von Kunststoffen, Faserverbunden und Werkstoffverbunden in Abhängigkeit des Strahlwinkels, also dem Winkel zwischen der Probe und dem Partikelstrahl (0° bis 90°), erfolgten nach dem Injektor-Strahlverfahren in einer geschlossenen Strahlkabine. Als Strahlmittel diente Korund mit einem Partikeldurchmesser von 60 bis 120 µm

kennzeichnet, der neben der Partikelgeschwindigkeit und dem Strahlwinkel stark vom jeweiligen Werkstoff abhängt. Dem Einsatz von Faserkunststoffverbun-

den gegenüber, die von Matrix- und Fasereigenschaften sowie von der Faserorientierung abhängig sind [1, 2].

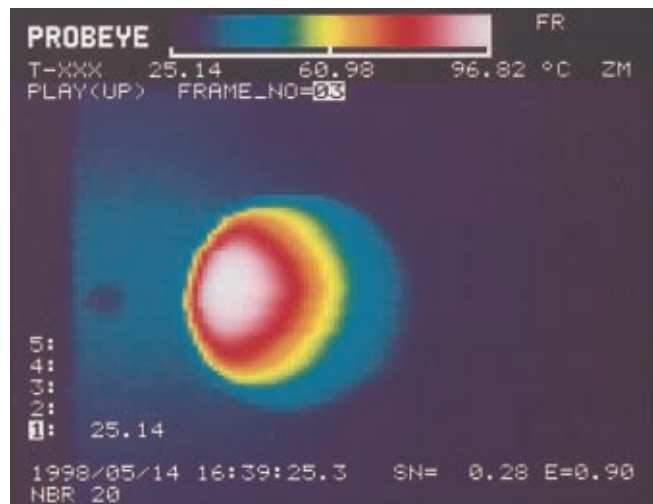
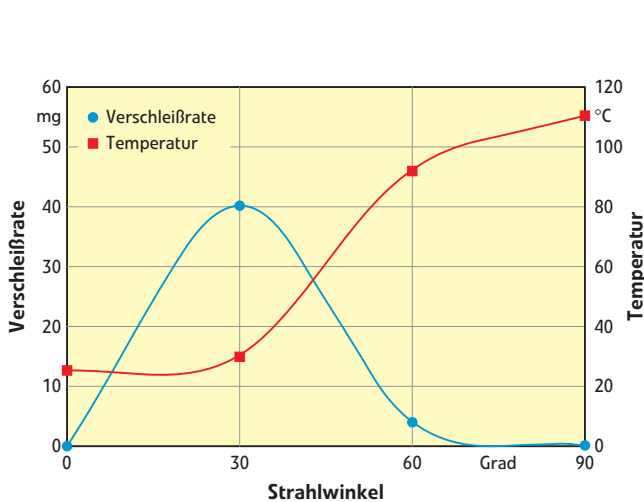
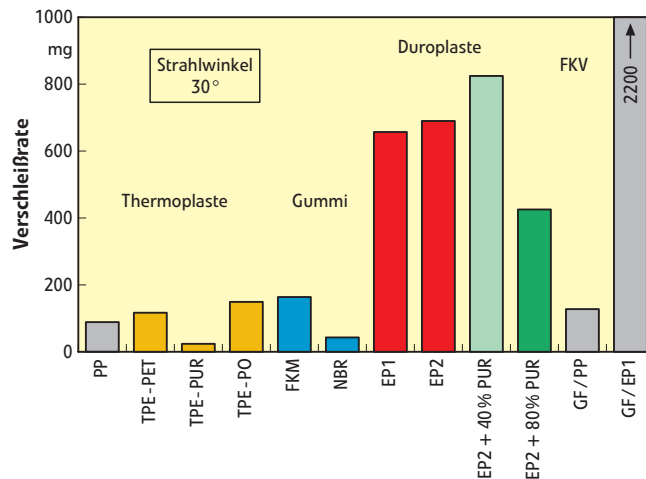


Bild 2. Einfluss des Strahlwinkels auf die Verschleißrate und die maximale Oberflächentemperatur beim Erosionsverschleiß von NBR sowie eine Infrarot-Thermographie-Aufnahme der Temperaturverteilung (rechts) bei einem Strahlwinkel von 60°

Bild 3. Verschleißraten von unterschiedlichen Kunst- und Verbundwerkstoffen bei einem Strahlwinkel von 30°



und einer scharfkantigen Partikelform. Die Geschwindigkeit der Korundpartikel betrug etwa 70 m/s. Die Verschleißrate kennzeichnet den Materialabtrag bezogen auf eine Strahldauer von 5 min, da der stationäre Zustand sowohl werkstoff- als auch strahlwinkelabhängig ist. Untersuchungen der Oberflächen mit Rasterelektronenmikroskopie (REM) sollen die unterschiedlichen Verschleißmechanismen näher charakterisieren.

Ergebnisse

Duktile Werkstoffe zeigen eine ausgeprägte Verschleißrate bei niedrigen Strahlwinkeln, spröde Werkstoffe dagegen meist höhere Verschleißraten bei hohen Strahlwinkeln. Darüber hinaus findet man bei Faserverbunden häufig eine Mischform mit einem hohen Verschleiß bei mittleren Strahlwinkeln [1]. Bild 1 zeigt die Verschleißrate von duktilen und spröden Werkstoffen, d.h. den Materialabtrag durch die Partikel in Abhängigkeit des Strahlwinkels in einer schematischen Darstellung. Zu den duktilen Werkstoffen gehören vor allem Elastomere und unverstärkte Polymere, aber auch Metalle. In der Gruppe der spröden Werkstoffe findet man die meisten faserverstärkten Verbundwerkstoffe, wobei glas- oder kohlenstofffaserverstärkte Verbunde mit Duromermatrix besonders hohe Verschleißraten besitzen.

Der Einfluss des Strahlwinkels auf die Verschleißrate und die maximale Oberflächentemperatur des Elastomers Nitrilgummi (NBR) ist in Bild 2 links dargestellt. Das Verschleißmaximum findet man bei kleinen Strahlwinkeln (30°). Mit zunehmendem Strahlwinkel nimmt der Erosionsverschleiß von NBR deut-

lich ab, die maximale Oberflächentemperatur dagegen zu. Die Temperaturverteilung einer NBR-Probe nach einer Strahldauer von 20 Sekunden unter einem Strahlwinkel von 60° ist in Bild 2 rechts dargestellt. Bei kleinen Strahlwinkeln (Gleitstrahl) findet man kaum eine Temperaturerhöhung, im Prallstrahl (hohe Winkel) dagegen ist ein

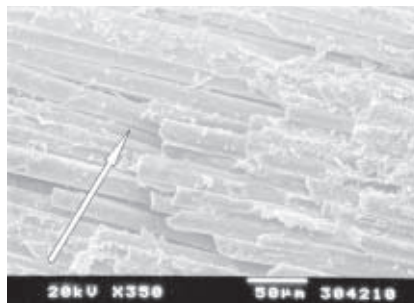


Bild 4. REM-Aufnahmen einer GF/EP-Oberfläche bei einem Strahlwinkel von 30° (Pfeil markiert die Strahlrichtung)

deutlicher Temperaturanstieg feststellbar. Fast die gesamte kinetische Energie wird hier in Wärme umgewandelt, die Korundpartikel prallen ohne große Schädigung der Oberfläche zurück, vereinzelt kommt es zu Einlagerungen von Partikeln, so dass zunächst keine direkt messbare Verschleißrate auftritt.

Bei spröden Werkstoffen (z.B. Epoxidharz, EP) können die Korundpartikel nicht elastisch zurückprallen, ohne die Oberfläche durch Mikrorisse und Materialabtrag zu schädigen.

Modifizierungsmöglichkeiten

In Bild 3 sind die Verschleißraten von unterschiedlichen Kunst- und Verbund-

werkstoffen bei einem Strahlwinkel von 30° abgebildet. Thermoplaste (PP), Thermoplastische Elastomere auf Basis von Polyester (TPE-PET), Polyurethan (TPE-PUR) und Polyolefin (TPE-PO) sowie Elastomere (Fluor gummi (FKM), NBR) zeigen eine geringe Verschleißrate, wobei TPE-PUR und NBR besonders positiv auffallen. Bei Duromeren (EP1, EP2) erkennt man deutlich höhere Verschleißraten, die auf das insgesamt spröde Materialverhalten hindeuten [3]. Eine Modifizierung von EP1 durch 40 Gew.-% bzw. 80 Gew.-% hygrothermisch abgebautem, vernetztem PUR führt erst bei einem relativ hohen Anteil (80%) an PUR zu einer Verbesserung der Verschleißrate, was vor allem mit der Abnahme der Vernetzungsdichte zusammenhängt [4]. Die Werte von TPE-PUR bzw. NBR lassen sich aber durch diese PUR-Modifizierungsmethode nicht erreichen.

Die Verschleißigenschaften von gebräuchlichen, kurzfaserverstärkten Verbunden (GF/PP mit 20 Vol.-% GF) sind dem unverstärkten PP sehr ähnlich, da an der Außenseite hauptsächlich die duktile Matrix und weniger die spröden Verstärkungsfasern zu finden sind.

Besonders hohe Verschleißraten liefern endlosfaserverstärkte Duroplaste (GF/EP1), wobei mit zunehmendem Strahlwinkel die Erosionsverschleißrate zusätzlich ansteigt (Bild 1).

Bei Faserverbunden mit einem geringen Faservolumen, z.B. gestrickeverstärkte GF/PET-Verbunde, machen sich die Einflüsse der hohen Matrixkristallinität und der lokalen Konzentration der Fasern negativ auf die Verschleißrate bemerkbar [5].

Bild 4 zeigt die Oberfläche eines GF/EP-Verbundes nach dem Strahlverschleiß unter einem Winkel von 30°. Durch den hohen Faservolumenanteil

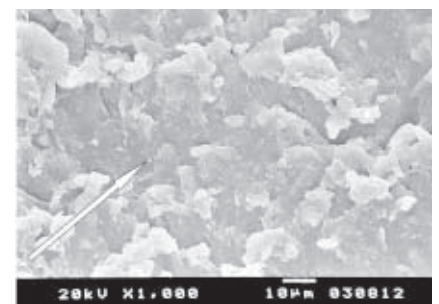


Bild 5. REM-Aufnahme einer NBR-Oberfläche bei einem Strahlwinkel von 30° (Pfeil markiert die Strahlrichtung)

(ca. 68 Vol.-%) und die spröde EP-Matrix ist bei diesen Verbunden eine mögliche Schutzfunktion der Matrix, wie bei kurzfaserverstärkten Thermoplasten, sehr begrenzt.

Bei der in Bild 5 dargestellten NBR-Oberfläche erkennt man bei hoher Vergrößerung eine weitgehend glatte Oberfläche, bei der das NBR durch Deformations- und Schneidprozesse der Korundpartikel eine typische Flockenstruktur ausbildet.

Fazit

Das Erosionsverhalten von Kunststoffen und Faserkunststoffverbunden (FKV) ist durch unterschiedliche Verschleißmechanismen geprägt. Kunststoffen versagen duktil, FKV tendieren – vor allem bei hohem Faservolumengehalt – zu sehr sprödem Verhalten. Elastomere können das Verschleißverhalten maßgeblich verbessern, so dass die weitere

Zielsetzung in der Untersuchung von Werkstoffverbunden aus Elastomeren und FKV liegt.

Dank

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG Ka 1202/6-1) für die Unterstützung.

Literatur

- 1 Pool, K. V.; Dharan, C. K. H.; Finnie, I.: Erosive wear of composite materials. *Wear* 107 (1986), S. 1–12
- 2 Friedrich, K.: Erosive wear of polymer surfaces by steel ball blasting. *Journal of Materials Science* 21 (1986), S. 3317–333
- 3 Leps, G.; Ding, J.; Steiner, R.; Lüderitz, K.: Untersuchungen zum Erosionsschutz kohlenstofffaserverstärkter Duroplaste, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, Band 26 (1995), Heft 7, Seite 374–378
- 4 Gremmels, J.; Karger-Kocsis, J.: Zähmodifizierung von Duroplasten, *Kunststoffe* 90 (2000) 5, S. 112–114
- 5 Moos, E.; Karger-Kocsis, J.: Solid Particle Erosion of Knitted Fabric-Reinforced GF/PET

Composites. Adv. Comp. Letters, (1999), S. 59–63

Die Autoren dieses Beitrags

Dipl.-Ing. Egon Moos und Dipl.-Ing. Nektaria-Marianthi Barkoula sind wissenschaftliche Mitarbeiter bei der Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, Abteilung Werkstoffwissenschaft, Universität Kaiserslautern.

Prof. Dr.-Ing. József Karger-Kocsis ist Gruppenleiter der Abteilung Werkstoffwissenschaft der Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, Universität Kaiserslautern.

Kontakt: karger@ivw.uni-kl.de