



Projektleiter
Dr.-Ing. Martin Bastian



Projektleiter
Dr. M. Eßer

Neue Verschleißapparaturen

Verschleiß an Kunststoffverarbeitungsmaschinen hat die Kunststoffverarbeitung von Beginn an begleitet. Der gesamtwirtschaftliche Verlust, der direkt auf Verschleißschäden zurückgeführt werden kann, wurde in der BRD für 1985 bereits auf umgerechnet 750 Millionen Euro geschätzt. Berücksichtigt man zusätzlich die durch den Ausfall der Maschinen entstandenen Stillstands- und Instandsetzungskosten, wird deutlich, dass ein erhebliches wirtschaftliches Potenzial in verschleißbeständigeren Lösungen für Kunststoffverarbeitungsmaschinen liegt. Obwohl in der jüngeren Vergangenheit erhebliche Fortschritte im Bereich der Werkstoffeigenschaften von Schnecken und Zylindern erzielt wurden, sind nach wie vor erhebliche Anstrengungen erforderlich, um ausreichend verschleißresistente Lösungen für verschiedene Polymere bereitstellen bzw. auswählen zu können. Gerade die immer wichtiger werdenden hochgefüllten, verstärkten oder auch flammgeschützten Polymere zeigen gegenüber ungefüllten Materialien ein verändertes Fließ- und Reibverhalten und wirken daher häufig deutlich stärker abrasiv und/oder korrosiv-abrasiv.

Verschleiß in der Kunststoffverarbeitung

Aus diesem Grund wurden zur Untersuchung des Verschleißverhaltens von Werkzeugen und Bauteilen eine Reihe von Verschleißprüfmethoden entwickelt. Hauptziel der Verschleißprüfung ist die Optimierung von Bauteilen bzw. tribotechnischen Systemen zur Erreichung von vorgegebenen, verschleißbedingten Standzeiten für Maschinen und Bauteile. Ein weiteres Aufgabenfeld für die Verschleißprüfung ergibt sich mit der Verschleißforschung. Hier stehen die Deutung von Verschleißmechanismen und die quantitative Erfassung von Verschleiß sowie die Diagnose von Betriebszuständen im Vordergrund.

In der Verschleißprüfung von tribologisch beanspruchten Bauteilen werden verschiedene Wege beschritten. Die eingesetzten Prüfverfahren reichen vom Betriebsversuch auf Prüfständen mit Originalteilen bis zur Prüfung am Modellsystem. Für die systematische Erfassung grundlegender Verschleißerkennnisse scheiden Feldversuche (Betriebsversuche) in der Praxis aus, weil diese mit relativ hohem Material-, Zeit- und Kostenaufwand verbunden sind. Verschleißprüfungen werden an Modellsystemen durchgeführt, um die gewonnenen Ergebnisse in die Praxis übertragen zu können. Die Verschleißprüfung an Ersatzsystemen wie dem einer Modell-Prüfapparatur bietet den Vorteil, dass sich die vielparametrischen Betriebszustände und Einflussgrößen von Originalsystemen auf maßgebende Parameter reduzieren lassen. Dabei werden die komplexen Vorgänge eines realen Tribosystems vereinfacht und in elementare Grundvorgänge zerlegt. Erst dieser Schritt erlaubt die kostengünstige Untersuchung von Verschleißphänomenen und damit die systematische Erarbeitung von Erkenntnissen für die Verschleißforschung, was gerade im verschleißrelevanten Bereich Kunststoff-Plastifiziereinheit mit seiner Vielzahl unterschiedlicher tribologischer Beanspruchungen von besonderer Bedeutung ist. Auf Grund der Komplexität des Tribosystems Kunststoff-Plastifiziereinheit ist zur Charakterisierung der in diesem Tribosystem auf-

Thema

Neu- und Weiterentwicklung von Modellprüfverfahren für den korrosiv/abrasiven Verschleiß bei der Kunststoffverarbeitung

Projekt-Nr.

AiF 12245N (DKI 18/0-87)

Laufzeit

01.12.1999 bis 28.02.2003

tretenen Verschleißerscheinungen eine Reihe von verschiedenen Prüfapparaturen erforderlich. Die hierzu entwickelten Prüfverfahren gliedern sich prinzipiell nach adhäsivem Verschleiß, Verschleiß durch feste oder plastifizierte Formmassen und Korrosion [Men80, Pal89].

Mit Hilfe von verschiedenen Modellprüfapparaturen wird versucht, das tribologische System in der Kunststoffplastifiziereinheit zu simulieren bzw. nachzustellen. Mit den Verschleißprüfungen erhofft man sich Erkenntnisse zum vorherrschenden Verschleißmechanismus sowie zur Intensität des Verschleißes.

Verschleiß- und Korrosionsprüfverfahren

In einem Standardwerk zur Korrosionsprüfung heißt es zur allgemeinen Problematik solcher Prüfungen [Men80]: „... es ist meist schwierig, das Zusammenwirken der mechanischen und korrosionschemischen Beanspruchungen, denen sich nicht selten noch Verschleißbeanspruchungen überlagern, zu erfassen und zu berücksichtigen ...“. Dabei können zwei Wege verfolgt werden:

- durch Einbau von Proben in Versuchsanlagen oder bereits bestehende Produktionsanlagen oder
- durch Korrosionsversuche im Laboratorium.

Beiden Wegen ist gemeinsam, dass auf der Seite des Angriffsmittels eine Reihe wichtiger Einflussgrößen, wie Konzentration, Temperatur, gelöste Gase, Verunreinigungen, Feststoffanteile und die Strömungsgeschwindigkeit zu berücksichtigen sind.

Bei Einbau von Werkstoffproben in eine Versuchsanlage oder Produktionsanlage ist wegen der Vielzahl der Parameter stets anzustreben, dass die Proben möglichst betriebsnah beansprucht werden, „... um eine unerwünschte Polarisierung der Proben durch Kontakt mit Anlageteilen und eine dadurch erzielte, fehlerhafte Messung (im Falle elektrochemischer Korrosion) zu vermeiden, werden die Proben unter Verwendung von Isolierhüllen verschraubt...“.

Diese Zitate zeigen bereits die grundsätzliche Problematik der Korrosionsprüfung auf. Im Sinne des obigen Textes ist unter der Produktionsanlage das Plastifizieraggregat einer Spritzgießmaschine oder eines Extruders zu verstehen. Hier scheidet ein Probeneinbau prinzipiell aus. Die „Versuchsanlage“ entspricht der noch zu erläuternden Plättchenapparatur, während ein „Laboratoriumsversuch“ beispielsweise mit der Korrosionsprüfung anhand der Flüchte oder von Bestandteilen der Flüchten im Labor oder mit der bloßen Benetzung der Metallproben mit Kunststoffschmelze bei stark vom Verarbeitungsprozess abweichenden Temperaturen, Zeiten und Drücken verglichen werden kann.

Den obigen Ausführungen muss hinzugefügt werden, dass die notwendigen Versuchszeiten in der Praxis von großer Bedeutung sind. Während ein Korrosionsvorgang an der Produktionsanlage sich über Monate erstrecken kann und dennoch beträchtlichen Schaden anrichtet, ist eine Laborprüfung, die Monate dauert, wenig akzeptabel.

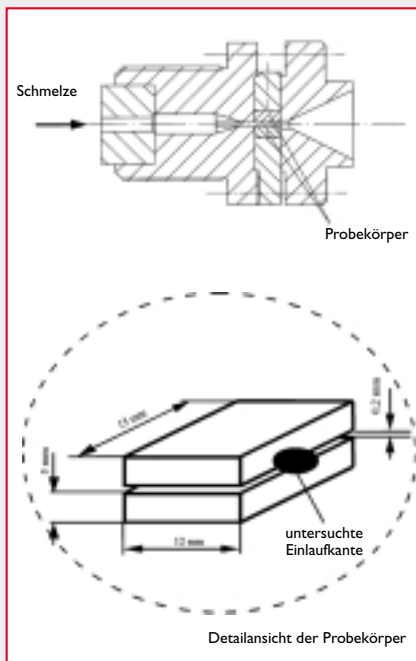


Abb. 1: Schnitt durch die DKI-Plättchenapparatur /Men80/

Viele einfache Laborkorrosionsprüfungen setzen die Probe einer kontrollierten, aggressiven Umgebung aus und bestimmen nach einer definierten Zeit den eingetretenen Gewichtsverlust. Auch im Bereich der Kunststoffverarbeitung werden Stähle in Ermangelung besserer Prüfverfahren durchaus so beurteilt, obwohl die Verfahren sehr weit vom Anwendungsfall entfernt sind [Hab91, Sch94, Tar93]. Diese einfachen Verfahren liefern auch ohne Strömungsbeanspruchung durch die stark korrosiven Medien deutliche Gewichtsabnahmen.

Unter den Möglichkeiten zur Verminderung von Verschleiß sind die Wahl eines Werkstoffes mit höherem Verschleißwiderstand und/oder die Anwendung eines Oberflächenbehandlungsverfahrens die wirkungsvollsten. Für den Schmelzebereich lässt sich eine Auswahl von Werkstoffen z.B. anhand von Untersuchungen mit der **DKI-Plättchenapparatur** (Abb. 1) treffen. Mit dieser Modellprüfapparatur kann der Verschleißwiderstand von Werkstoffen gegenüber einer verarbeiteten Formmasse und deren Zuschlagstoffen unter praxisrelevanten Bedingungen ermittelt werden. Die Untersuchungen mit der Plättchenapparatur lassen sich dem tribologischen System Schmelzekanal zwischen Zylinderwand und Schneckensteg zuordnen. Der prinzipielle Aufbau dieser Prüfapparatur ist einfach (Abb. 1). Zwei plättchenförmige Probekörper aus dem gleichen Werkstoff (15 x 12 x 5 mm) werden so in die Düse einer Spritzgießmaschine oder eines Extruders eingebaut, dass ein rechteckiger Spalt mit 0,2 mm Spaltweite für den Durchtritt der plastifizierten Formmasse entsteht.

Der Vorteil der Plättchenapparatur liegt in der einfachen Geometrie des Strömungsquerschnittes, die eine Beibehaltung konstanter rheologischer Verhältnisse während des gesamten Versuches ermöglicht. Insgesamt muss festgehalten werden, dass die DKI-Plättchenmethode die tatsächliche Beanspruchung und auch die Abbaubelastung der Schmelze mit der größten Realitätsnähe wiedergibt. Sie war lange Zeit das einzige Verfahren, welches die synergistische abrasivkorrosive Komplexbeanspruchung realitätsnah abbildet und vom tatsächlichen Medium, der praxisgerecht aufbereiteten Schmelze und nicht der Flüchte allein ausgeht. Dieses Modellprüfverfahren ist aber zeit- und kostenaufwendig, insbesondere wenn verschiedene hochkorrosionsbeständige Stähle zu vergleichen sind. Es war unumgänglich, eine verbesserte Prüfmethode durch eine konsequente Weiterentwicklung der Plättchenmethode zu schaffen.

Lösungsidee

Die neueren Arbeiten am DKI hatten das Ziel, Modelluntersuchungen im Bereich der Bauteile, die durch den Schmelzekontakt verschlissen werden, zu ermöglichen. Bei den jüngsten Entwicklungen wurde stets von der bewährten DKI-Plättchenapparatur ausgegangen. Da diese Methode jedoch nur bedingt für die Untersuchung des korrosiven Verschleißes geeignet ist, und ganz allgemein bei hochwertigen Stählen lange Versuchszeiten nötig sind, führte dies letztlich dazu, dass die Entwicklung verbesserter Modellprüfverfahren unausweichlich wurde.

Die am DKI neu- und weiterentwickelten Prüfmethode sollten die DKI-Plättchenmethode optimieren, d. h. im Detail eine höhere Abrasions- und Korrosionsbelastung und damit ein höheres Auflösungsvermögen hinsichtlich der Verschleißeffekte ermöglichen. Bei der ersten Methode, dem sogenannten **Gegentaktverfahren** (Abb. 2), wurde zunächst einmal das Oberflächen/Volumenverhältnis der Plättchen optimiert. Außerdem wird die Schmelze mit Hilfe einer Zweikomponentenspritzgießmaschine mehrmals hintereinander durch den Prüfspalt zwischen den Probeplättchen hin- und hergespritzt.

Um Verbesserungen gegenüber der bisher zum Einsatz gekommenen Plättchenapparatur zu ermöglichen, sind beim Gegentaktribometer folgende Aspekte berücksichtigt worden:

- Um größere, besser messbare Gewichtsverluste zu erreichen, wurde das Oberflächen/Volumen-Verhältnis der Plättchen vergrößert,
- Um mit einer geringeren Schmelzmenge dennoch einen größeren Verschleiß zu erzielen, überströmt ein und dasselbe Material die Plättchen mehrmals.
- Um eine größere abrasive Belastung zu erzielen, werden die Plättchen nahezu pausenlos überströmt, d. h. Zeiten, die bislang für die Plastifizierung und weitere Maschinenbewegungen erforderlich waren, wurden reduziert.

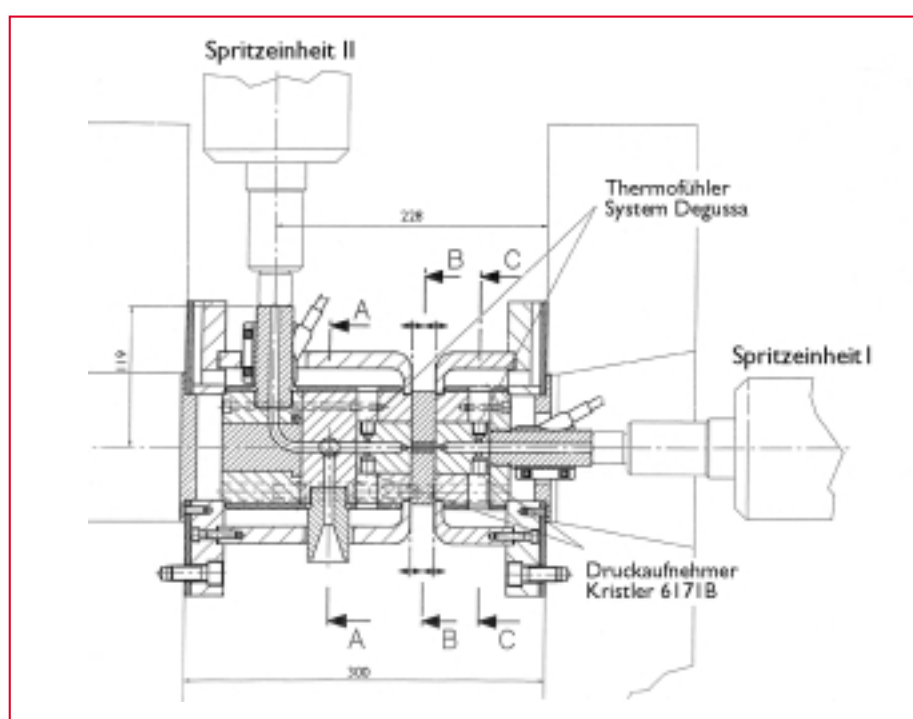


Abb. 2: Konstruktiver Aufbau der Gegentaktribometer

Wie aus Abb. 2 deutlich wird, werden die Probeplättchen in eine Art Heißkanalblock in einer 2K-Spritzgießmaschine integriert. Die Schmelze strömt vom ersten Einspritzaggregat über die Plättchen in das Aggregat II. Unmittelbar nach diesem Einspritzvorgang spritzt das Aggregat II die Schmelze wieder in das erste Aggregat zurück (Gegentakverfahren). Da sich die Schmelze dabei dissipativ erwärmt, muss die Maximaltemperatur der Schmelze im Heißkanalblock während der Versuche überwacht werden (Temperaturmessung s. Schnitt C). Nach einigen Gegentakzyklen (2–10) wird ein Schmelzeventil (A) betätigt, so dass die Schmelze aus dem Block ausgestoßen werden kann. Im Anschluss daran wird im ersten Plastifizieraggregat erneut Schmelze plastifiziert, das Ventil geschlossen und der Vorgang beginnt von vorne. Die Anzahl möglicher Gegentakzyklen richtet sich nach der akzeptablen Schmelztemperaturveränderung, der thermischen Stabilität der Schmelze und, im Falle von fasergefüllten Materialien, nach den auftretenden Faserschädigungen. Bei einer Verdopplung des Einspritzvolumenstromes im Vergleich zur bisher eingesetzten Plättchenmethode dauert ein Einspritzvorgang ca. 3 Sekunden. In etwa der gleichen Zeit, in der bei der alten Anlage einmal die

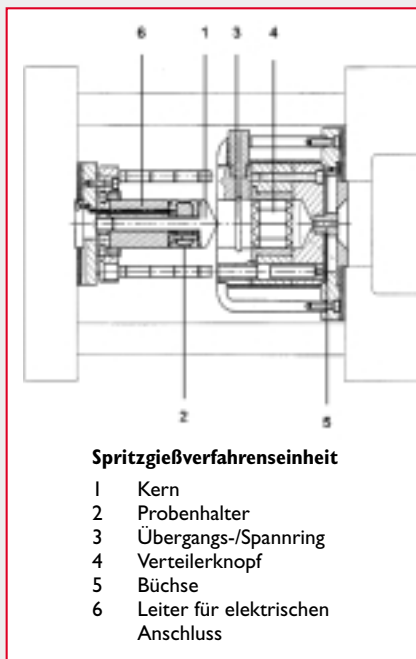


Abb. 3: Aufbau der Apparatur für Korrosionsuntersuchungen

Plättchen überströmt wurden, können etwa 8–10 Überströmzyklen realisiert werden, sofern die Schmelzeschädigung, die stark von der Spaltweite abhängig ist, nicht zu groß wird. Durch diesen Aufbau werden die Nebenzeiten stark verringert, und das Material wird bis zur Belastungsgrenze ausgenutzt. Dies bedeutet, dass Materialien, die in der Plättchen-Apparatur keinen auflösbaren Gewichtsverlustunterschied (z. B. 0,05–0,1 mg) zeigten, in dieser Apparatur auflösbare Unterschiede von mindestens 5 mg ergeben. Das Gegentakt-Prüfverfahren bringt somit eine Verbesserung um den Faktor 10. Ein großer Vorteil ist auch, dass weniger Material zu einem aussagefähigen Versuch in kürzerer Zeit führt, so dass Mehrfachmessungen und Parameterstudien unter wirtschaftlichen Bedingungen möglich werden. Als weitere Apparatur für Modelluntersuchungen im Bereich von Bauteilen, die durch den Schmelzekontakt verschlissen werden, wurde die sogenannte **Langzeitkorrosionsapparatur** (Abb. 3) entwickelt. Diese zeichnet sich durch einen besonders langsamen Schmelze austausch aus und lässt dadurch sehr große Versuchs- bzw. Kontaktzeiten zu. Diese Apparatur kann außerdem eine größere Zahl von Metallproben gleichzeitig belasten und hat darüber hinaus die Voraussetzungen geschaffen, elektrochemische Korrosionsuntersuchungen durchführen zu können.

Im linken Teil der Langzeitkorrosionsapparatur (Abb. 3) ist der Kern der Apparatur (1) dargestellt. Auf diesem wird der Probenhalter (2) für 10 Proben montiert. Die Proben werden mittels zweier Übergangsrings (3) verspannt. Vor den Proben befindet sich ein pilzförmiger Verteilerkopf (4). Um geringe Formmassenströme zu erreichen, wurden die Schmelzekanäle klein gehalten. Das Gegenstück zum Kern bildet eine Büchse (5). Dieses Vieleck garantiert, dass an allen Proben identische Strömungsverhältnisse herrschen. Es können zwei definierte Abstände (0,2 bzw. 0,3 mm) zwischen Probekörper und Außenwand gewählt werden. Diese haben sich bei den Untersuchungen mittels Plättchenapparatur bewährt.

Das Konzept dieser Versuchseinrichtung stützte sich im Detail auf die folgenden Grundgedanken:

- Es wurden lange Oberflächen-Kontaktzeiten zwischen plastifizierter Formmasse und metallischem Werkstoff bei maximalen Verweilzeiten der Schmelze realisiert, damit im Sinne eines korrosiven Angriffs die Additive der Formmasse sowie deren Abbauprodukte auf den Probekörper wirken können.
- Es können 10 Probeplättchenpaare gleichzeitig untersucht werden.
- Es ist phasenweise eine abrasive Belastung möglich, so dass Korrosionsschichten auch abgetragen werden können und deutliche Gewichtsverluste entstehen.
- Die Proben können elektrisch isoliert und an eine Spannungsquelle angeschlossen werden, damit Untersuchungen zur elektrochemischen Korrosion durchgeführt werden können.

Ergebnisse

Mit Hilfe der neu entwickelten Apparaturen lassen sich bei minimiertem Einsatz von Kunststoffmaterial gezielt und systematisch Untersuchungen zu einzelnen Verschleißmechanismen durchführen. Mit dem Gegentaktribometer kommt es durch die höheren Schmelzebelastungen zu einem weitaus stärkeren abrasiven Verschleiß der Probekörper, so dass schon nach kurzer Zeit vergleichbare Ergebnisse zur alten Apparatur mit besser auflösbaren Gewichtsunterschieden auch für Stahlwerkstoffe wie CrN und Co-Legierungen erzielt werden. Die Korrosionsapparatur ermöglicht durch die langen Oberflächenkontaktzeiten gezielte Reihenuntersuchungen von mehreren, auch harten Werkstoffen zum korrosiven Verhalten der metallischen Werkstoffe.

Ein potenziell bei Gegentakuntersuchungen auftretender Nachteil soll nicht verschwiegen werden: Die Materialtemperaturen und das Abbauverhalten insgesamt müssen sehr genau überwacht werden.

Dazu ist zu sagen, dass die Temperatur während des Versuchs überprüft wurde, wobei sich kein Temperaturanstieg durch die starke Scherung registrieren ließ. Um die Belastung bzw. die Verkürzung der Fasern im Spalt zu analysieren, wurden Faserlängenanalysen durchgeführt.

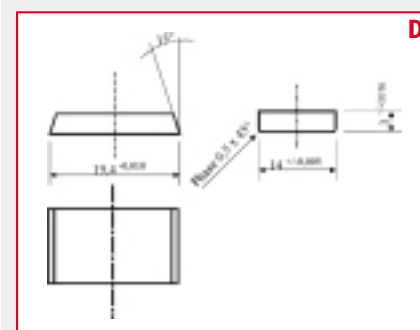


Abb.4: Langzeitkorrosionsapparatur: Auswerferseitige Werkzeughälfte mit Kern (A), Probenhalter (B), Probenhalter mit Übergangsrings (C), Probekörperbemaßung (D)

Wir danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA), aus dessen Haushaltsmitteln dieses Forschungsvorhaben (AiF Nr. I2245N) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) gefördert wurde. Ferner danken wir der Forschungsgesellschaft Kunststoffe e.V. für die zusätzliche finanzielle Unterstützung.

Literatur

- Men80 G. Mennig und P. Volz, „Verschleißprüfmethoden in der Kunststoffverarbeitung“, *Kunststoffe* **70** (1980), S. 7.
- Pal89 G. Paller, „Adhäsiver Gleitverschleiß beim Kontakt zwischen Schnecke und Zylinder in Kunststoffverarbeitungsmaschinen“, in G. K. Zum Gahr (Hrsg.), „Reibung und Verschleiß bei metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen“, DGM (1989), S. 115.
- Grä73 H. Gräfen, E. H. Horn, U. Gramberg, „Korrosion“ in Ullmanns Encyclopädie der Technischen Chemie, Band 15, Verlag Chemie, Weinheim (1973)
- Hab91 E. Haberling, J. Schruff, „Einfluss der Wärmebehandlung auf die Korrosionsbeständigkeit von Stählen für die Kunststoffaufbereitung und Kunststoffformen“ in „Verschleißminderung bei der Kunststoffverarbeitung“, VDI-Verlag, Düsseldorf (1991), S. 167
- Sch94 A. Schindler, A. Stix, „Korrosionsbeständige Stähle für den Kunststoffwerkzeugbau“, *Österr. Kunststoff Zeitschrift* 25, (1994), 9/10, S. 222
- Tar93 E. Tarney, „Understanding and choosing corrosion resistant mold materials“, SPE-Antec paper, ANTEC (1993), S. 2500
- Sau87 B. Sauer, „Aufbau und Inbetriebnahme des Ringspaltribometers“, Diplomarbeit, Technische Universität Darmstadt, (1987)