AIF-IGF Projekt Abrasio:
Methoden zur Abschätzung des Verschleißes von Dosieranlagen bei der Verarbeitung von höherviskosen gefüllten Klebstoffen

H. Fricke, B. Mayer, Fraunhofer IFAM, Bremen

D. Philipp, E. Stammen, K. Dilger, ifs, TU Braunschweig

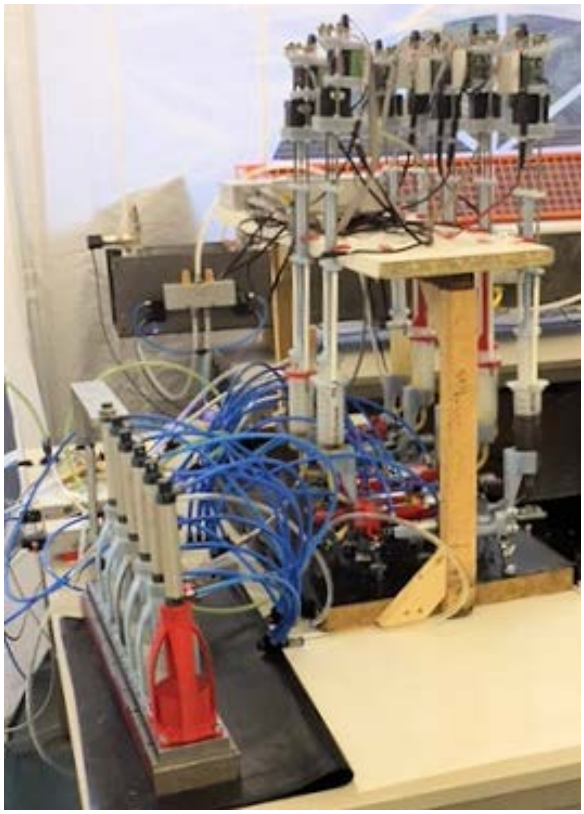
Ausgangssituation und Zielsetzung

In der industriellen klebtechnischen Fertigung werden Klebstoffe meist durch Dosieranlagen (bestehend aus spezifischen Pumpen und weiteren Komponenten) aus dem Vorratsbehälter zur Applikationsstelle gefördert. Häufig werden mittel- bis hochviskose Kleb- oder Dichtstoffe verarbeitet, die zur Verbesserung ihrer Endeigenschaften einen großen Anteil an Füllstoffen besitzen. Beispielsweise werden zur Optimierung der Wärmeleitfähigkeit korundhaltige Systeme eingesetzt. Der Füllstoff Korund hat dabei den Nachteil, dass er durch seine hohe Härte abrasiv auf die Werkstoffe der Dosieranlage wirkt. Hierdurch tritt ein deutlicher Verschleiß der Anlagen auf, der die Standzeit der Dosieranlagenkomponenten stark einschränkt. Neben Korund werden aber auch noch weitere abrasive Füllstoffe eingesetzt, um bestimmte mechanische, thermodynamische, elektrische und optische Eigenschaften unter Beachtung wirtschaftlicher Randbedingungen zu erzielen. Den Klebstoff-Dosieranlagen-Herstellern ist die genaue Zusammensetzung der Klebstoffe bei der Planung der Anlagen meist nicht genau bekannt; die Bewertung eines möglichen Verschleißrisikos ist daher schwierig.
Um die Dosieranlagen günstig zu fertigen und dennoch eine adäquate Lebensdauer zu gewährleisten, muss der Verschleiß durch den zu verarbeitenden Klebstoff während der Auslegung der Dosieranlage abgeschätzt werden. Da Klebstoff-Dosieranlagen meistens für spezielle Anwendungsfälle hergestellt werden, ist die Verschleißermittlung an einer Prototypen-Anlage zeit- und kostenintensiv. Ziel des abgeschlossenen Vorhabens war daher die wissensbasierte Entwicklung und die Erprobung von Schnelltests, mit denen die meist mittelständischen Dosieranlagenhersteller die Abrasivität von höherviskosen, gefüllten Klebstoffen mit unbekannter Zusammensetzung auf die verschiedenen Werkstoffe abschätzen können.

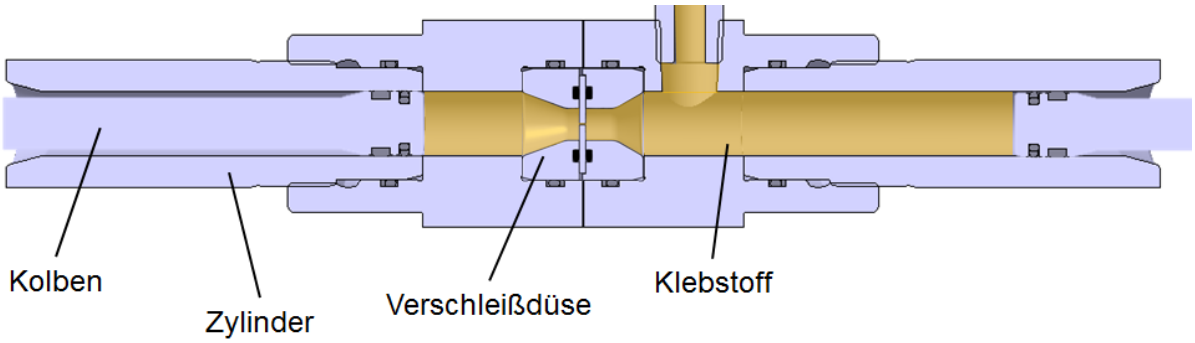
Arbeitsinhalte und ausgewählte Ergebnisse

Zu Beginn des Vorhabens wurde in empirischen Studien der Verschleiß in Dosieranlagenkomponenten verschiedener Hersteller untersucht. Dabei konnte der aufgetretene Verschleiß den drei Verschleißarten Gleitverschleiß, Stampfverschleiß und Hydroabrasivverschleiß zugeordnet werden. Gleichzeitig wurden auf Wunsch des PbA verschiedene nicht-reaktive mittelviskose Musterklebstoffe mit Füllstoffen von unterschiedlicher Körnung und Härte formuliert. Für den Gleitverschleiß und den Stampfverschleiß wurden spezielle Tribometer konstruiert und aufgebaut. Die Konstruktionen berücksichtigen die spezifischen Eigenschaften mittel- bis

hochviskoser Klebstoffe. Von besonderer Bedeutung war dabei, dass diese Klebstoffe aufgrund ihres Fließverhaltens unter dem Einfluss reiner Gravitation nicht in den verschleißverursachenden Prüfspalt nachlaufen und daher konstruktiv eine Zwangsförderung des fluiden Materials in den Spalt vorgesehen werden musste. Beide Aufbauten wurden nach einer Optimierung der Konstruktionen mehrfach hergestellt. Die mehrfache Ausführung erlaubt es, zeitintensive Verschleißmessungen an unterschiedlichen Werkstoff-Klebstoffstoff-Paarungen parallel durchzuführen. Die Abbildung rechts zeigt die Versuchsstände für den Stampfverschleiß (links) und den Gleitverschleiß (rechts). Beide Tribometerarten wurden bei verschiedenen Werkstoffpaarungen betrieben und die Versuche ausgewertet. Die Verschleißstärke wurde durch Abwiegen der belasteten Komponenten in Abhängigkeit der Anzahl der Verschleißzyklen ausgewertet. Im Rahmen dieser Zusammenfassung wird nicht weiter auf die Versuchsergebnisse dieser Verschleißarten eingegangen.



Zur Untersuchung des Spülverschleißes wurde ein Hydroabrasiv-Tribometer konstruiert und aufgebaut; nachdem sich ein standardmäßig verwendetes Miller Tribometer für die untersuchten Klebstoffe als nicht geeignet erwiesen hatte. Harte Partikel im bewegten Fluid wirken bei dieser Verschleißart spanend durch ein furchendes oder ritzendes Gleiten über die Bauteiloberfläche (Mikrozerspanung, Mikropflügen, Mikroermüden, Mikrobrechen). Der Hydroabrasiv-Verschleiß tritt im Besonderen in Engstellen des Strömungskanals (Düsen, Einläufe, Kanten, Ventile) auf. In diesen Zonen tritt neben einer erhöhten Strömungsgeschwindigkeit auch eine deutlich vergrößerte Wandschubspannung auf. Das Versagen des Bauteils tritt ein, sobald der Materialabtrag ein bestimmtes Ausmaß erreicht hat, sodass in einem Ventil z. B. ein zu hoher Rückstrom auftritt. Im hier verwendeten Hydroabrasiv-Tribometer werden die Klebstoffe durch Kolben unter hohem Druck durch eine Scheibe aus dem zu untersuchenden Werkstoff mit einer Kapillarbohrung gepresst. Bestimmt wird wieder der Masse- bzw. Volumenverlust der Scheibe V_W (bewirkt durch eine Zunahme des Kapillarradius) in Abhängigkeit vom Gesamtvolumen V_F des durchströmten Fluides, das durch die Kapillare gepresst wurde. Die folgende Abbildung zeigt das Hydroabrasiv-Tribometer in einer schematischen Darstellung.



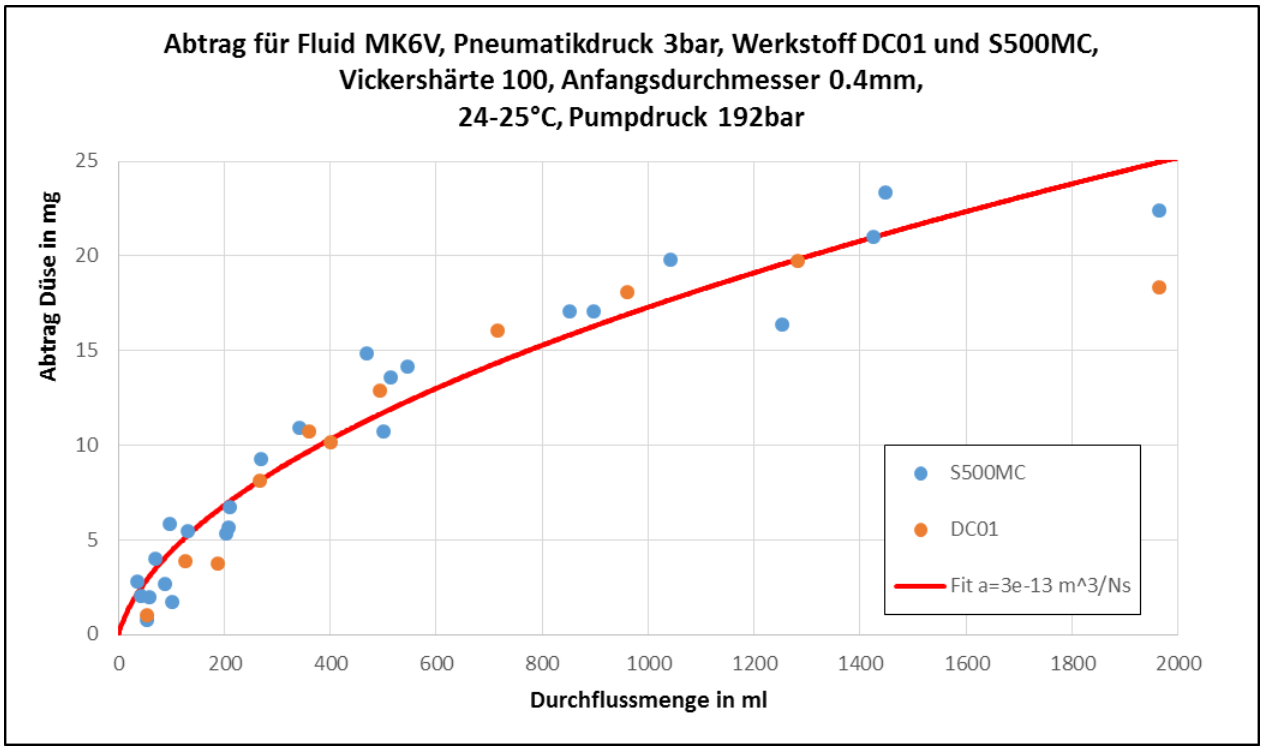
Die im Vorhaben entwickelten Verschleißannahme besagt, dass der mittlere Abtrag (Änderung des Volumens der metallischen Kapillare mit Anfangsradius r_0 und Länge l) linear von der mittleren Wandschubspannung des durchströmenden Mediums an der Kapillarwand und der gegenwärtigen Fläche der Kapillarwand abhängt. Der neu eingeführte Proportionalitätsfaktor a wird als Abrasionsfaktor bezeichnet. Die zeitliche Änderung des Abtrags der Scheibe V_W hängt in erster Näherung also nur über den Abrasionsfaktor a von dem metallischen Werkstoff der kreisrunden Kapillare und den abrasiven Eigenschaften des Fluides ab:

$$\dot{V}_w(t) = a\tau_w(t)F_w(t)$$

Auf Basis dieser Annahme lässt sich der Gesamtvolumenverlust V_W nach einer Zeit t für ein newtonsches Fluid analytisch berechnen als:

$$V_W(t) = \pi\, l \left(\left(\frac{16\, a\ \eta V_F(t)}{\pi} + {r_0}^4 \right)^{1/2} - {r_0}^2 \right)$$

Der Abrasionsfaktor lässt sich daher leicht durch einen Fit der Experimente im Hydroabrasivtribometer bestimmen.
Die unten stehende Abbildung stellt exemplarisch den Abtrag der Kapillardüse in mg in Abhängigkeit von der Durchflussmenge des korundhaltigen Musterklebstoffs (hier als MK6V bezeichnet) in ml für die Werkstoffe DC01 und S500MC dar. Eingezeichnet ist ein Fit der Experimente auf Basis der obigen analytischen Verschleißfunktion mit Ansatz eines konstanten Abrasionsfaktors von $a=3x10^{-13}$ m^3/Ns.
Die bis zum Abschluss des Vorhabens durchgeführten Experimente stützen die Annahme, dass beim Strömungsverschleiß die Wandschubspannung maßgebend für den Materialabtrag an den strömungsführenden Komponenten ist. Strömungssimulationen an den Dosierkomponenten aus der zu Beginn des Vorhabens durchgeführten empirischen Studie stützen ebenfalls diese Modellvorstellung. In den durchströmten Bereichen mit maximaler Wandschubspannung tritt der stärkste Verschleiß auf. Entsprechende Verschleißsimulationen wurden an drei Komponenten von Dosieranlagen durchgeführt.



Zusammenfassend konnten im Vorhaben verschiedene Schnelltests für die unterschiedlichen Verschleißarten konzipiert werden. Diese Schnelltests lassen sich innerhalb weniger Stunden bis Tage realisieren und geben daher in der frühen Entwicklungsphase einer Dosieranlage Aufschluss über das Verschleißrisiko eines Werkstoffs durch einen ausgewählten füllstoffhaltigen Klebstoff. Ausgehend von dem oben vorgestellten Modell zum Hydroabrasivverschleiß kann im Hydroabrasivtribometer der Abrasionsfaktor a für verschiedene Werkstoff-Klebstoff-Paarungen ermittelt werden. Zur Verringerung des Hydroabrasivverschleißes kann durch konstruktive Optimierungen auf Basis von Strömungssimulationen und unter Nutzung des Abrasionsfaktors das Verschleißpotential für kritische strömungsführende Komponenten reduziert werden.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben IGF 18.155 N/DVS 08.088 der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS 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.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Die Forschungsstellen danken den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses herzlich für die aktive fachliche Unterstützung des Projekts sowie für die Bereitstellung von Komponenten und Materialien.