

Sicherstellung der Produktqualität durch maßgeschneiderte Materialtests

Klassifizierung von Werkstoffen

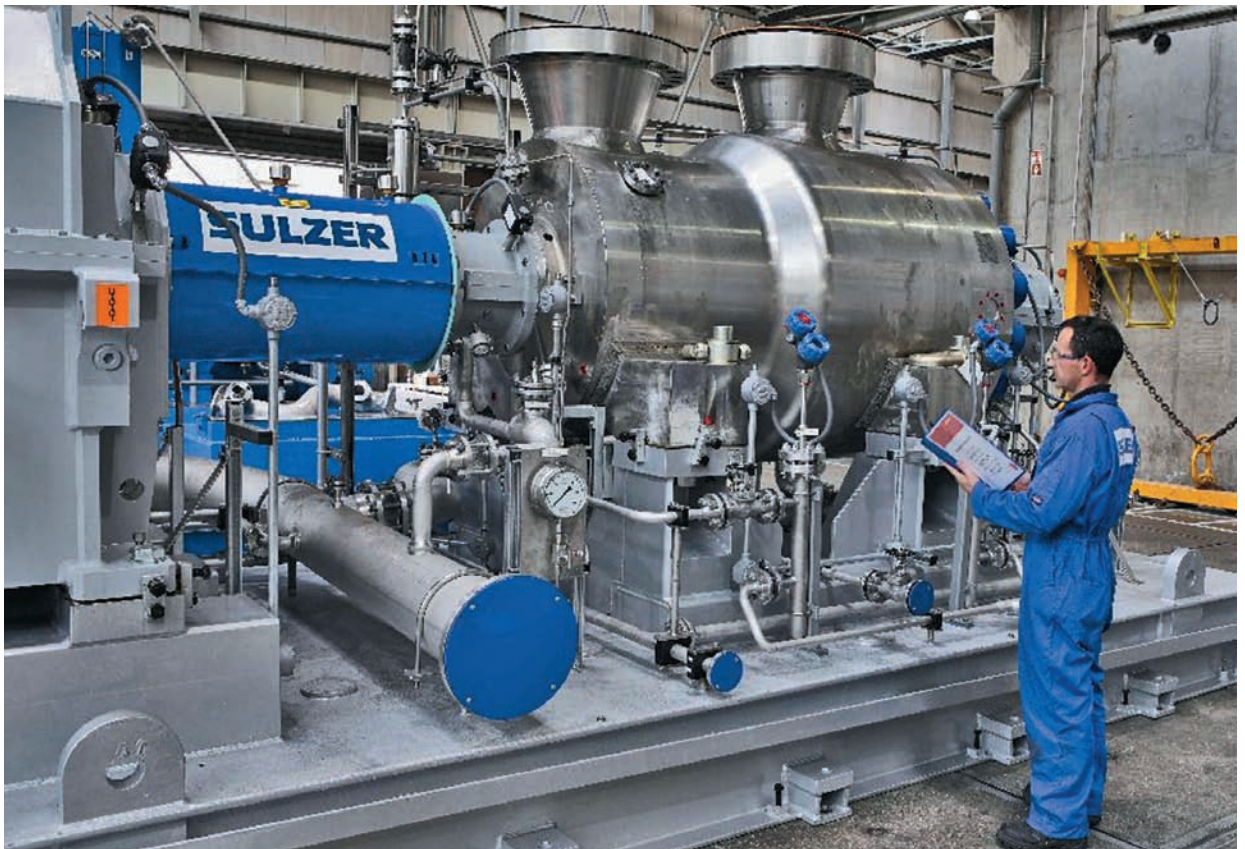
Das Verschleißverhalten eines Werkstoffs kann nicht mithilfe seiner einfachen physikalischen und mechanischen Kenngrößen wie Härte, E-Modul oder Zugfestigkeit vorhergesagt werden. Sulzer Innotec entwickelt neue Testverfahren, um eine präzise Lebensdauervorhersage zu ermöglichen.

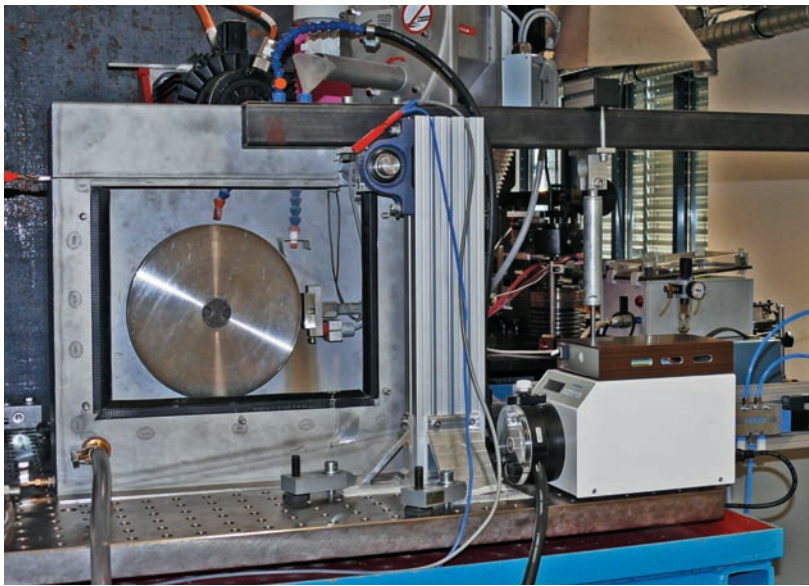
Sulzer Innotec verfügt über eine breite Palette unterschiedlichster Testverfahren zur Charakterisierung von Werkstoffen und Beschichtungen. Neben Standardtests werden vermehrt maßgeschneiderte Verfahren eingesetzt, um möglichst nahe am tatsächlichen Belastungskollektiv der späteren Anwendung testen zu können.

Werkstoffe als Schlüssel zum Erfolg
Hydroabrasiver Verschleiß und Korrosion bestimmen maßgeblich die Lebensdauer von Pumpenkomponenten. Durch die Auswahl spezieller Werkstoffe und Beschichtungen kann die Standzeit von Pumpen in vielen Fällen deutlich verbessert werden ¹. Voraussetzungen hierfür sind umfassende Informationen über die

korrosiven und abrasiven Eigenschaften der zu pumpenden Flüssigkeit sowie weitreichende Kenntnisse des Werkstoffverhaltens unter den jeweiligen Bedingungen. Für moderne Pumpenwerkstoffe und Beschichtungen sind diese Daten allerdings weder in der Literatur noch in öffentlich zugänglichen Datenbanken zu finden, sondern müssen in anwendungs-

¹ Sulzer baut die weltweit leistungsstärksten Wasserinjektionspumpen, die den Druck in den Ölfeldern über deren gesamten Lebenszyklus hoch halten. Besonders beanspruchte Komponenten dieser Pumpe sind zum Schutze vor Korrosion, Erosion und Kavitation beschichtet.





2 Block-on-Ring-Teststand zur Prüfung von Gleitreibungverschleiß und 3-Körper-Abrasion.

spezifischen Testverfahren bestimmt werden.

Die Tatsache, dass diese Daten und die darauf basierende Auswahl des richtigen Werkstoffs nicht nur den technischen, sondern auch den wirtschaftlichen Erfolg einer Pumpe maßgeblich mitentscheiden, erklärt, warum Prüfen und Charakterisieren von Werkstoffen zu den zentralen Aufgaben von Sulzer Innotec gehören.

In enger Zusammenarbeit mit den Spezialisten von Sulzer Pumps und Sulzer Metco werden sowohl die zu testenden Werkstoffe und Beschichtungen als auch die anzuwendenden Tests ausgewählt, angepasst und, wenn notwendig, auch neu entwickelt. Dieses Vorgehen hat bei Sulzer eine lange Tradition; schon in den 1980er und 1990er Jahren

wurden mit SAPHYR, EROCOR und TRIPAL hochkomplexe Teststände entwickelt, die maßgeblich zum Verständnis der Verschleißvorgänge in Pumpen und zur Entwicklung äußerst widerstandsfähiger Schutzschichten (SUMEPUMP™) beigetragen haben und zum Teil heute noch im Einsatz sind.

Belastungskollektive

Im Gegensatz zu vielen anderen Anwendungen im Maschinenbau ist die Belastung bei Pumpenwerkstoffen oft nicht klar zu definieren. Anstelle einer einzelnen Hauptbelastung tritt ein Kollektiv aus unterschiedlichen Belastungen, die zum Teil untereinander in Wechselwirkung treten und sich im ungünstigsten Fall sogar gegenseitig verstärken. Ein Beispiel hierfür ist die sogenannte Erosions-Korrosion, bei der entweder durch den erosiven Abbau der schützenden Oxidschicht eine Verstärkung der Korrosion hervorgerufen wird oder durch den korrosiv bedingten Aufbau weicher Hydroxidschichten ein erhöhter Verschleiß resultiert.

Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass der Verschleiß durch Abrasion, Erosionskorrosion und Kavitation mit der Strömungsgeschwindigkeit,

dem Feststoffgehalt und dem Korrosionspotenzial der gepumpten Flüssigkeit zunimmt. Spezifische Grenzen für einzelne Materialien sind jedoch schwer anzugeben, da der Verschleiß im Betrieb von weiteren Faktoren wie der Größe, der Form und der Härte der Feststoffpartikel abhängt. Darüber hinaus ist der Einsatzbereich von Pumpen bezüglich Abrasivstoffen und Konzentrationen sehr breit; er reicht von niedrig konzentriertem Flusswasser bei Trinkwasserversorgungsanlagen bis hin zu hochbelastetem Schlamm in der Düngemittelindustrie. Um die Komplexität weiter zu erhöhen, wird der Verschleißmechanismus ganz entscheidend durch die Struktur und das Design der Pumpe beeinflusst.

Aus diesem Grund ist der beste Teststand immer die Pumpe selbst. Da Verschleißtests beim Kunden nur in Ausnahmefällen zu empfehlen sind und der Betrieb von Pumpentestständen sehr zeit- und kostenintensiv ist, wurden verschiedene Labortests entwickelt, um das Verschleißverhalten von Werkstoffen unter definierten Bedingungen testen zu können.

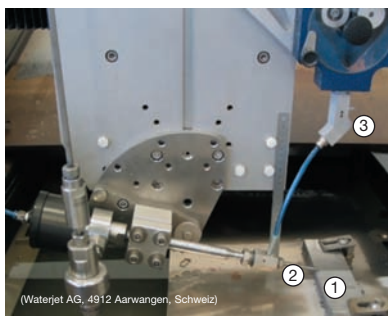
Verschleißtests

Aufgrund der Tatsache, dass das Verschleißverhalten eines Werkstoffs nicht mithilfe seiner einfachen physikalischen und mechanischen Kenngrößen wie Härte, E-Modul oder Zugfestigkeit vorhergesagt werden kann, ist die Durchführung spezieller Verschleißtests notwendig.

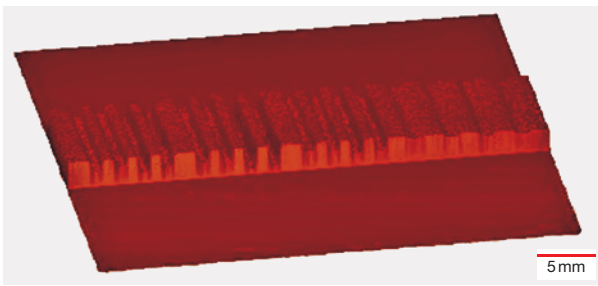
Die Tests können in zwei Kategorien unterteilt werden: phänomenologische Tests und anwendungsspezifische Tests. Phänomenologische Tests werden eingesetzt, um das grundlegende Verschleißverhalten eines Werkstoffs unter klar definierten Belastungen zu bestimmen, während die zweite Kategorie bereits auf Komponenten und spezifische Einsatzfälle ausgelegt ist. Die Ergebnisse dieser Versuche können häufig direkt in eine Anwendung übergeführt werden. Nachteilig sind hier die hohen Kosten und die geringe Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Anwendungen. Generell gilt,

3 Aufbau des Wasserstrahl-Erosionstests.

- 1 Werkstoffprobe
- 2 Hochdruckdüse
- 3 Pulverdosiierer für Abrasivstoff



(Waterjet AG, 4912 Aarwangen, Schweiz)



4 3D-Aufnahmen der Erosionsspuren, verursacht durch den Wasserstrahl.

je näher der Test an der Realität ist, um so höher sind die Kosten. Dazu tragen neben den Investitionskosten für den Teststand und den Betriebskosten vor allem die Herstellkosten der oft sehr komplexen Testmuster in erheblichem Maße bei. Deshalb besteht eine der Hauptaufgaben bei der Definition von Verschleißtests in der industriellen Forschung darin, den richtigen Kompromiss zu finden zwischen rein akademischen Labortests und den extrem kostspieligen Komponententests.

Testverfahren bei Sulzer Innotec

Sulzer Innotec legt bei der Auswahl seiner Verschleißtests sehr großen Wert darauf, dass die Prüfverfahren möglichst nahe an der tatsächlichen Belastung der späteren Anwendung liegen, auf der anderen Seite aber auch eine Durchführung von Materialscreenings mit einer Vielzahl unterschiedlicher Werkstoffe erlauben. Da ein einzelner Test nicht in der Lage ist, das Verschleißverhalten eines Werkstoffs zu erfassen, werden die Ergebnisse der unterschiedlichen Tests in einem Materialsteckbrief zusammengefasst und dann je nach Anwendungsfall von den Werkstoffspezialisten speziell gewichtet.

Ein Materialsteckbrief enthält neben den reinen Werkstoffdaten unter anderem auch Angaben über Mikrostruktur, Härte, Porosität sowie die Ergebnisse der Verschleißtests. Zurzeit werden die Materialeigenschaften mittels folgender Prüfverfahren bestimmt:

- Gleitverschleiß: Der *2-Body-Block-on-Ring-Test* [2] bewertet das Verschleißverhalten von Reibpaarungen unter Gleitreibung, wie sie z.B. beim

Anfahren oder Abschalten von Pumpen zwischen Schaft und Buchse vorkommen kann. Bei der Durchführung des Tests wird ein Prüfblock mit definierter Normalkraft auf eine rotierende, mit Wasser gekühlte Scheibe gepresst und mittels Dehn-Messstreifen die resultierende Reibkraft gemessen. Die Normalkraft wird so lange erhöht, bis ein starker Anstieg der Reibkraft den Übergang zu schwerem Verschleiß signalisiert.

- Abrasion: Beim *3-Body-Block-on-Ring-Test* wird, ähnlich wie im vorangegangenen Test, ein Prüfblock mit definierter Kraft auf eine rotierende Metall-

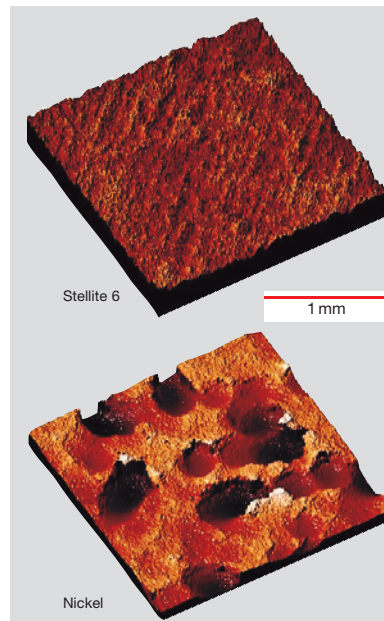
5 Beim Kavitationstest wird der Werkstoff in hochfrequente Ultraschallschwingungen versetzt.



scheibe gedrückt, die in diesem Fall allerdings zusätzlich mit einem Wasser-Sand-Schlamm beaufschlagt wird. Somit ist es möglich, den sogenannten 3-Körper-Verschleiß durch Sand beladene Flüssigkeiten in engen Spalten der Pumpe sehr realitätsnah zu simulieren.

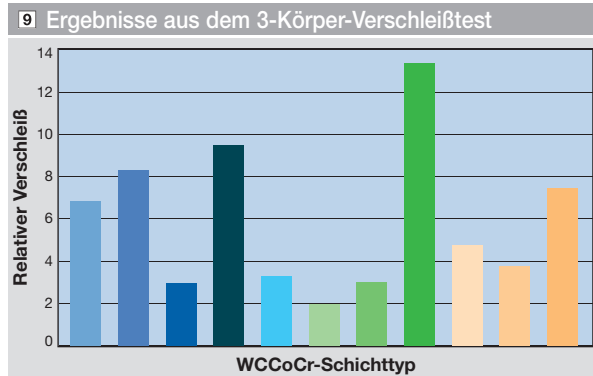
- Erosion: Beim Wasserstrahl-Erosionstest [3] wird ein fein fokussierter, mit Abrasivstoff beladener Hochdruckwasserstrahl in unterschiedlichen Winkeln über den Werkstoff geführt und anschließend das Verschleißvolumen für jeden Winkel bestimmt [4]. Aus diesen Werten wird dann das Erosionsverhalten des Werkstoffs berechnet, das je nach Sprödigkeit des Werkstoffs sehr stark winkelabhängig sein kann.
- Kavitation: Beim Kavitationstest wird der Werkstoff in einem Wasserbad in hochfrequente Ultraschallschwingungen versetzt [5]. Dabei entstehen feinste Wasserdampfbläschen, bei deren Implosion Schockwellen im Werkstoff erzeugt werden, die zu einer starken Zerrüttung der Oberfläche führen.

6 Nach dem Kavitationstest zeigen sich deutliche Unterschiede in der Oberflächenstruktur von Stellite 6 und Nickel.





7 Oszillierender Prüfstand zur Bestimmung von Adhäsiv- und Gleitverschleiß unter reversierenden Bedingungen.



Unterschiede im 3-Körper-Verschleiß von thermisch gespritzten Schutzschichten gleicher metallurgischer Zusammensetzung. Schicht mit geringstem Verschleiß (hellgrün), Schicht mit höchstem Verschleiß (dunkelgrün).

Neben dem Verschleißvolumen und der Rautiefe 6, die eine Aussage über die Zähigkeit des Materials erlauben, werden bei beschichteten Materialien im Kavitationsversuch auch sehr schnell potenzielle Schwachstellen in der Grenzfläche zwischen Substrat und Beschichtung sichtbar.

Weiterhin wird das Korrosionsverhalten der Materialien geprüft. Dabei werden sowohl Auslagerungstests als auch hochmoderne elektrochemische Verfahren eingesetzt. Je nach Werkstoff und Einsatzgebiet werden weitere Prüfungen vorge-

nommen. Wärmebehandelte Teile werden zusätzlich im Kerbschlagversuch geprüft, während beschichtete Werkstoffe standardmäßig einem Thermoschocktest und einem Stirnabzugtest unterzogen werden. Dazu wird die beschichtete Probe zwischen zwei Stempel geklebt und in einer Zugprüfmaschine belastet, bis der Prüfkörper entweder an der Klebung oder an der Grenzschicht zwischen Grundkörper und Beschichtung versagt.

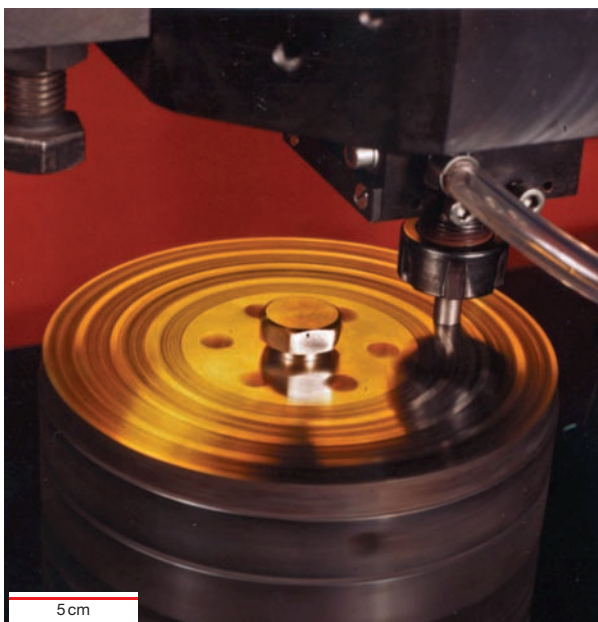
Daneben stehen für spezielle Anwendungen weitere Testverfahren wie HELI-Erosionstest (Erosion durch trockenen

Sand), Frettingtester (Verschleiß infolge Mikrooszillation), 2-Körper-Abrasion (Verschleiß des Prüfkörpers gegen ein Schleifband), ein oszillierender Prüfstand (Adhäsiv- und Gleitverschleiß unter reversierenden Belastungen 7) sowie verschiedene Stift-Scheibe-Prüfstände 8, die auch unter definiert korrosiver Atmosphäre betrieben werden können, zur Verfügung.

Expertensysteme für Werkstoffdaten

Die oben beschriebenen Tests haben sich als Standardverfahren sowohl bei der Werkstoffentwicklung als auch zur Qualitätssicherung, vor allem im Bereich von Beschichtungen 9, bei Sulzer bewährt und liefern einen wichtigen Beitrag zum Verständnis von Materialverhalten und Verschleißvorgängen in Pumpen. Mittelfristiges Ziel ist es, die ermittelten Materialdaten mit dem Wissen und den Erfahrungen der Pumpeningenieure in einer Datenbank zu kombinieren und damit ein Expertensystem aufzubauen, das in Zukunft noch bessere Lebensdauervorhersagen auch für neue Anwendungen und Werkstoffe erlaubt.

8 Stift-Scheibe-Anordnung zur Bestimmung von Gleit- und Haftreibungskoeffizienten. Der Betrieb ist sowohl mit Schmierstoff als auch unter definierter Atmosphäre möglich.



Thomas Kränzler
 Sulzer Markets and Technology AG
 Sulzer Innotec
 Sulzer-Allee 25
 8404 Winterthur
 Schweiz
 Telefon +41 52 262 51 16
 thomas.kraenzler@sulzer.com