

Manche mögen's nicht heiß

Einsatz von Schraubenspindelpumpen im Ex-Bereich

Mit der Explosions-Richtlinie Atex 100a (94/9/EG) rücken auch die Oberflächentemperaturen von Pumpen verstärkt in das Blickfeld von Prozessbetreibern und Herstellern. So können z.B. Störungen zu einer unzulässigen Temperaturerhöhung führen. Für dreispindelige „mediumgelagerte“ Schraubenspindelpumpen werden hier Ursachen und Abhilfemaßnahmen beschrieben.



Richard Breisinger, Allweiler

Die Einteilung in Temperaturklassen mit Festlegung der jeweils höchstzulässigen Mediumtemperatur erfolgt anhand der bei Untersuchungen ermittelten Oberflächentemperaturen. Für Pumpen sind die Kategorien 2 und 3 maßgebend. Nach Atex wird in Abhängigkeit der Zündtemperatur der explosiven Atmosphäre die höchstzulässige Oberflächentemperatur durch Vorgabe einer der sechs Temperaturklassen festgelegt. Diese darf bei Kategorie 3 bei normalem Betrieb und bei Kategorie 2 auch bei Auftreten einer „zu erwartenden“ Störung nicht überschritten werden. Die im Folgenden formulierten Aussagen, Schlussfolgerungen und Empfehlungen stützen sich auf Betriebserfahrung, Schadensfall-Recherchen, Versuchs- und Berechnungsergebnisse. Praktische Erfahrungen und Berechnungen ergänzen sich gegenseitig.

Hauptgrund für eine unzulässig starke Erwärmung ist der Trockenlauf des Spindelsatzes und/oder der Gleitringdichtung. Denn

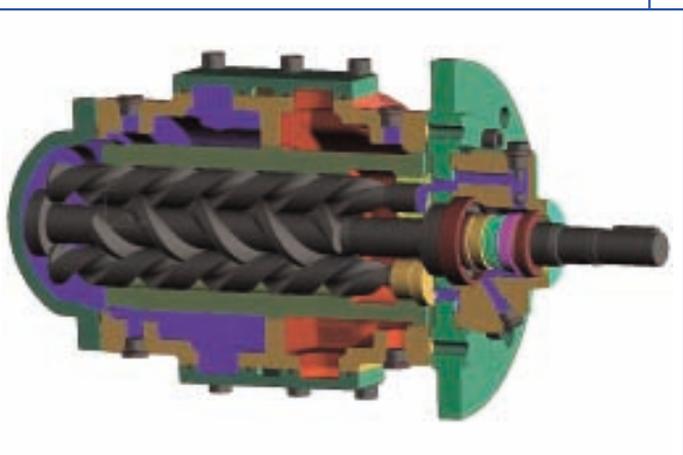
bei diesem Pumpentyp bildet die Spindel mit dem umgebenden Gehäuse ein Gleitlager, bei dem im normalen Betrieb die Gleitflächen durch einen Schmierfilm getrennt sind (Bild 1a). Durch verschiedene Störungen kann diese hydrodynamische Schmierung beeinträchtigt oder verhindert werden. Trägt der Schmierfilm nicht mehr, sind die Gleitflächen beschädigt oder fehlt das Fördergut, kommt es zu einer starken und schnellen Erwärmung (Bild 1b). Beim Trockenlauf sind zwei grundsätzlich verschiedene Fälle zu unterscheiden: 1. Die Pumpe wird bei vollständig oder fast entleertem Gehäuse betrieben. 2. Die Pumpe läuft bei vollständig oder fast vollständig gefülltem Gehäuse.

Der Fall 1 tritt ein, wenn von der Pumpe kein Medium angesaugt wird, weil z.B. ein Ventil in der Saugleitung geschlossen ist, vergessen wurde, die Pumpe mit Medium zu füllen, oder interne Leckage es nicht erlaubt, die Saughöhe zu überwinden. Hydraulische Kräfte können bei nahezu entleertem Gehäuse nicht aufgebaut werden.

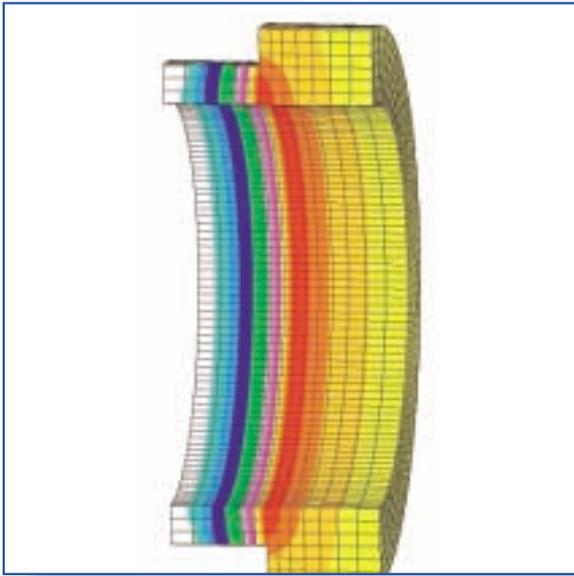
Problem: Trockenlauf

Der Reibwiderstand ist zu Beginn des Trockenlaufs meist noch gering, da die Pumpen mit geöltem Spindelsatz ausgeliefert werden. Bei einem länger andauernden Trockenlauf nimmt der Reibwiderstand und damit die Wärmeentwicklung jedoch infolge nachlassender Schmierung stark zu. Bei Werkstoffpaarungen (Spindeln/Gehäuse) mit starker Neigung zum Adhäsionsverschleiß und hohen Drehzahlen kann dieser Zustand bereits in weniger als einer Minute

1a: Schnitt durch eine dreispindelige mediumgelagerte Schraubenspindel-pumpe. Die saugseitigen Innenwände sind blau und die druckseitigen rot



1b: Temperaturverteilung im Schadensfall von 45 °C (hellblau) bis 125 °C (dunkelrot)



2: Temperaturverlauf in Gleit- u. Gegenring nach 20 Sekunden Trockenlauf; links: Gleitring, rechts: Gegenring. Pumpe SN210 bei einer Drehzahl von 1450/min und einer Umgebungstemperatur von 20 °C

erreicht werden. Je nach Werkstoffpaarung kommt es dann schnell zum Blockieren. Bei einem Gehäusewerkstoff mit guten Notlaufeigenschaften wie z.B. Grauguss ist die Neigung zum Blockieren gering. Die Spindel „arbeitet“ sich in das Gehäuse ein, was zu einer starken Erwärmung führt.

Für die Beurteilung ist vor allem auch die Temperaturerhöhung der Gleitringdichtung (GLRD) wichtig, weil diese in Berührung mit explosiven Gasen kommen kann. Am schnellsten werden an dieser unzulässig hohe Temperaturen erreicht, wenn die Wellendurchführung durch eine Einfach-Gleitringdichtung ohne Quench abgedichtet wird. Das gilt auch für Einzel-GLRD mit Quench und Doppel-GLRD, wenn die Kühlung der trocken laufenden Dichtung z.B. wegen ausbleibender Zirkulation, fast leerem Versorgungsbehälter oder Luftteinschlüssen wegfällt.

Die an den Reibflächen der Gleitringdichtung entwickelte Wärme kann durch Wärmeleitung nur schlecht zum Gehäuse und zur Welle abfließen, weil der Wärmeweg sowohl zum Gehäuse als auch zur Welle jeweils über ein sehr schlecht leitendes Elastomerteil

(Winkelmanschette, Balg, O-Ring) führt. Der Trockenlauf der GLRD führt am Gehäuse zu einer lokalen, auf das Dichtungsgehäuse beschränkten Erwärmung, weil die benachbarten Gehäuseteile durch wärmeisolierende Flachdichtungen voneinander getrennt sind.

Knackpunkt Gleitringdichtung

Für den Spindelsatz wurde die anfänglich noch sehr kleine Reibleistung berechnet und das Ergebnis durch einen Versuch verifiziert (Bild 2). Die Annahme einer annähernd konstanten Reibleistung sowohl für die Spindeln als auch für die GLRD trifft nur für die Anfangszeit des Trockenlaufes zu. Danach wird die Wärmeentwicklung durch Effekte verändert, die von vielen Einflüssen abhängen und einer Berechnung nicht zugänglich sind. Dies sind z.B. der Übergang von Mischreibung zu Trockenreibung an den zu Anfang ölbenetzten Spindeln oder das Verschmoren von Elastomerteilen an der GLRD.

Die GLRD kann einen länger dauernden Trockenlauf nicht schadlos überstehen und erwärmt sich wegen des kleinen Wärmespei-

chervermögens und der schlechten Kühlung innerhalb sehr kurzer Zeit auf unzulässig hohe Temperaturen, wobei die Aufheizgeschwindigkeit je nach Drehzahl, Dichtungstyp und -größe verschieden ist.

Wegen der schlechten Wärmeübertragung von der GLRD zum Gehäuse und zur Welle stellt sich das Wärmestromgleichgewicht erst bei einem hohen treibenden Temperaturgefälle zwischen GLRD und Gehäuse ein. Ohne Abschaltung würde die GLRD gemäß Berechnung auf eine Beharrungstemperatur von etwa 500 °C aufgeheizt werden. Sie wird jedoch schon vorher durch thermische u. mechanische Überlastung zerstört.

Gemäß Berechnung liegt für den vorliegenden Fall (Bild 2) die Aufheizzeit der GLRD für einen Temperaturanstieg von 100 °C an der heißesten Stelle (Reibflächen) bei etwa 20 Sekunden. Das Pumpengehäuse erwärmt sich sehr viel langsamer als die GLRD. Durch den Trockenlauf wird die GLRD beschädigt oder abgenutzt, so dass sie anschließend mit großer Wahrscheinlichkeit ihre Dichtfunktion nicht mehr erfüllen und somit brennbare Flüssigkeit austreten kann.

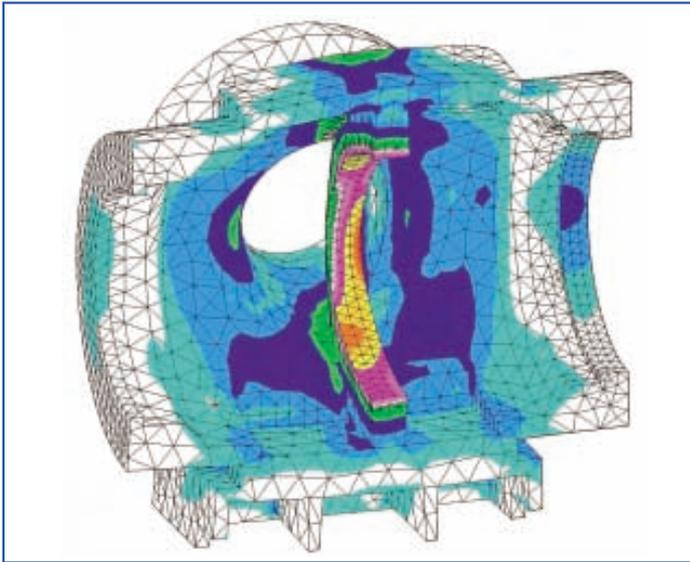
Im Gegensatz zum oben beschriebenen Fall 1 treten beim Fall 2 einer gefüllten Pumpe große hydraulische Kräfte auf. Der Reibwiderstand steigt beim Übergang von Flüssigkeits- auf Misch- oder Festkörperreibung sehr stark an, es wird sehr viel Reibwärme entwickelt. Ursache dafür sind oft Partikel auf Grund ungenügender Filtration. Aber auch Luftteinschlüsse können zu einem partiellen Ausfall der hydrodynamischen Schmierung führen.

Die Nachlässigkeit bei der Schmierölpflege führt dazu, dass durch die schmirgelnde Wirkung der mitgeführten metallischen Partikel die Laufflächen so geschädigt werden, dass sich kein Schmierfilm mehr bilden kann. Die hohe Reibleistung führt zu einem starken Temperaturanstieg im Bereich der Laufflächen, wodurch der Reibwiderstand noch weiter ansteigt. Die durch Abrasion und Adhäsionsverschleiß verursachte Beschädigung der Laufflächen (Bild 3) schreitet progressiv fort, was schließlich zum Festfressen oder zum Gewaltbruch der Welle infolge mechanischer Überlastung führen kann, wenn nicht vorher der Motorschutz anspricht oder die Motorwicklung durchbrennt.

Bei innengelagerten Pumpen kann zudem das durch die Förderflüssigkeit geschmierte Wälzlager der Antriebswelle durch die Partikel beschädigt oder völlig zerstört werden, was ebenfalls mit einer starken Wärmeentwicklung einhergeht. Nach der instationären Temperaturfeldberechnung für die in Bild 1a dargestellte Bauart werden bereits nach zwei Minuten unzulässig hohe Oberflächentemperaturen erreicht.



3: Adhäsionsverschleiß an den Laufflächen einer Schraubenspindel



4: Spannungsverlauf (von Mieses Vergleichssp.) an dem verformt dargestellten Außengehäuse. Gehäuse aus GGG-40, Fördermedium Schmieröl, nahezu gesamte Motorleistung wird in Reibwärme umgesetzt, GLRD wird durch Produkt geschmiert und gekühlt. Von 9 (hellblau) bis 133 N/mm² (dunkelrot)

Überwiegend abrasiver Verschleiß mit gleichmäßigem Abtrag ohne örtliches Verschweißen führt zu einer allmählichen Vergrößerung des Abstandes zwischen den Gleitflächen, wodurch die Tragfähigkeit des Schmierfilms abnimmt. Dabei nimmt der Leckstrom zu, was durch Abnahme des Förderstromes und damit der Kühlwirkung einen Temperaturanstieg im Schmierfilm zur Folge hat. Der dadurch bedingte Abfall der Viskosität führt zu einer weiteren Verminderung der Tragfähigkeit. Schließlich reicht der Druck im Schmierpalt nicht mehr aus, um die Gleitflächen voneinander zu trennen und es kommt zu einer verschleißbehafteten Festkörperreibung mit starker Wärmeentwicklung. Bei stark vermindertem Förderstrom oder gar „abgerissemem“ Förderstrom werden innerhalb kürzester Zeit unzulässig hohe Oberflächentemperaturen erreicht.

Problem: geschlossene Druckleitung

Unzulässig hohe Temperaturen entstehen auch, wenn die Pumpe gegen ein geschlossenes Ventil in der Druckleitung fördert. Wird der Druck nicht durch ein Sicherheitsventil begrenzt, führt das zu einer sofortigen Drücküberlastung. Durch die mit dem Druck wachsenden, großen Radialkräfte an den Laufspindeln wird der Schmierfilm „weggequetscht“. Durch Versagen eines der druckbelasteten Bauteile kann auch eine größere Menge brennbare Flüssigkeit austreten. Die Drucküberlastung kann durch ein in die Pumpe integriertes oder externes Überdruckventil verhindert werden. Ein in die Pumpe integriertes Sicherheitsventil bietet beim Verschluss der Druckleitung nur sehr kurze Zeit Schutz gegen Trockenlauf und Erwärmung, weil nahezu die gesamte An-

triebsenergie am Sicherheitsventil in Wärme umgewandelt wird und nicht mehr vom Medium abgeführt wird. Besser ist es, wenn das Sicherheitsventil in der Rohrleitung zwischen Druckstutzen und vor dem ersten Absperrorgan eingebaut wird. In diesem Fall wird die Antriebsleistung außerhalb der Pumpe in Wärmeenergie umgewandelt und die erwärmte Flüssigkeit strömt zur Kühlung zum Tank zurück.

Maßnahmenpaket für sicheren Betrieb

Generell sind beim Einsatz von Schraubenspindelpumpen im Ex-Bereich folgende Maßnahmen zu empfehlen:

- Der Trockenlauf der Pumpe ist nicht zulässig, weil dabei an der Außenoberfläche unzulässig hohe Temperaturen auftreten (T3-T6). Er kann auch bei gefülltem Gehäuse

KOMPAKT

Maßnahmenpaket

Beim Einsatz von Schraubenspindelpumpen im explosionsgefährdeten Bereich sollten folgende Maßnahmen beachtet werden:

- Trockenlauf vermeiden durch Temperatur- und Leistungsüberwachung,
- Schmieröl pflegen,
- Schutz gegen Drucküberlastung installieren,
- Trockenlauf der Gleitringdichtung verhindern durch Einfach-GLRD mit Quench oder Doppel-GLRD in Tandem- oder Back-to-Back-Anordnung.

nicht völlig ausgeschlossen werden. Deshalb sollte im Ex-Bereich die Oberflächentemperatur des Pumpengehäuses generell überwacht werden. Dies ist besonders beim Fördern von partikelhaltigen Flüssigkeiten wichtig. Eine Leistungsüberwachung ist zwar ebenfalls empfehlenswert, aber nicht so sicher wie die Temperaturüberwachung, weil nicht alle temperaturerhöhenden Störungen rechtzeitig zu einer Überschreitung des voreingestellten Schwellwertes führen. Der Betreiber sollte besonders im Ex-Bereich auf eine hohe Ölreinheit achten. Zur Vermeidung des Trockenlaufs könnte man auch die Mediumtemperatur überwachen, denn bei Überschreitung einer vom Medium und vom Druck abhängigen Temperatur ist keine hydrodynamische Schmierung mehr möglich.

- Ein Schutz gegen Drucküberlastung durch ein in die Rohrleitung (kein Aufheizen der Pumpe durch Strömungsverluste) eingebautes Überdruckventil empfiehlt sich, wenn bei Förderung brennbarer Flüssigkeiten ein Verschluss der Druckleitung durch Fehlsteuerung oder Bedienungsfehler nicht sicher ausgeschlossen werden kann. Die Reaktionszeit der Temperaturüberwachung ist zu lang, um einen mechanischen Schaden zu verhindern.
- Der Trockenlauf der GLRD muss unbedingt verhindert werden. Deshalb sollte die Abdichtung entweder durch eine Einfach-GLRD mit Quench oder eine Doppel-GLRD in Tandem- oder Back-to-Back-Anordnung erfolgen, weil bei dieser Art der Abdichtung beim Trockenlauf eine Kühlung durch die Quench- bzw. Sperrflüssigkeit erfolgt. Die Kühlwirkung muss durch Überwachen der Temperatur der Quench- bzw. Sperrflüssigkeit sicher gestellt werden. Bei der Back-to-Back-Anordnung ist alternativ auch eine Drucküberwachung möglich. Bei dieser Abdichtung führt der Wegfall des Produktes nicht zum Trockenlauf der GLRD, weil ohnehin beide Dichtungen durch die Sperrflüssigkeit geschmiert werden.

- Die Abdichtung mit Packungsstopfbuchsen ist weniger empfehlenswert, weil die höchste Temperatur an der rotierenden Welle bzw. Wellenhülse entsteht und weil es durch falsches Anziehen leicht passieren kann, dass die Leckage oder die Reibwärme zu groß ist.

ACHEMA Halle 8.0 M42



Info

CT 613