

Klp./Ge.

Diplomarbeit

für Herrn cand.mach. Klaus Stärk

Um den Temperaturverlauf und die Temperaturbeanspruchung in Gleitringdichtungen zu berechnen, muß die Aufteilung der entstehenden Reibungswärme auf die beiden Gleitpartner bekannt sein. Für gasförmige Dichtmedien führt eine theoretische Überlegung zu der Aussage, daß die Aufteilung nur von den Temperaturgradienten an der makroskopischen Oberfläche abhängt, und daß diese Gradienten gleich sein müssen. Zur Ergänzung einer vorangegangenen Arbeit ist diese Aussage bei einigen extremen Belastungen zu untersuchen. Weiterhin ist zu überprüfen, ob die Überlegungen auch bei flüssigen Dichtmedien anwendbar sind. Dazu soll in einer Literaturuntersuchung untersucht werden, ob Aussagen über die Wärmeeaufteilung und die Wärmeabfuhr durch das Dichtmedium gemacht wurden (theoretischer oder experimenteller Art).

Zur Überprüfung der am besten erscheinenden Theorie sind eigene Versuche durchzuführen.



Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Vorbemerkung	8
2. Einführung	9
3. Änderungen und Verbesserungen am Prüfstand	10
3.1. Konstruktive Änderungen	10
3.1.1. Flansche und Gleitringbefestigung	10
3.1.2. Thermoelementbohrungen	13
3.1.3. Bohrlehre für Ultraschallbearbeitung	13
3.1.4. Kühlwasserstandskontrolle	16
3.1.5. Überdreheinrichtung	17
3.1.6. Anhebevorrichtung für den Prüfstandskopf	17
3.1.7. Druckdichte Thermoelementdurchführung	19
3.1.8. Abschleifvorrichtung	20
3.2. Meßtechnische Änderungen	22
3.2.1. Druckerbelegung	22
3.2.2. Belastungsdruckmanometer	22
3.2.3. Meßbereichserweiterung	24
4. Leckagemessung	26
4.1. Entwurf und Konstruktion der Meßapparatur	26
4.2. Erläuterung und Betriebshinweise	28
4.3. Inbetriebnahme	29
4.4. Vorbereitung der Messung	29
4.5. Die Leckagemessung	29
4.6. Prüfstandsanschluß	30
4.7. Temperaturmessung des Dichtmediums	32
4.8. Eichung der Meßkapillaren	32
4.9. Dichtheitsprobe	35
5. Versuchsvorbereitung	36
5.1. Vorbereiten der Gleitringe	36
5.2. Kühlwasser	36
5.3. Aufzunehmende Meßdaten	37
5.3.1. Vor jeder Versuchsserie aufzunehmen	37
5.3.2. Während jedem Versuch aufzunehmen	37
6. Versuchsauswertung und Fehlerabschätzung	38
6.1. 24-Punkte-Kompensationsdrucker	38
6.2. Induktivdrehzahlgeber	38
6.3. Meßbrücke	40
6.4. Auswertungsgleichungen	40
6.5. Werkstoffe	41

	Seite
7. Versuchsergebnisse	42
7.1. Untersuchungen zum Streubereich	42
7.1.1. Beispiel mehrerer Gradientenbestimmungen auf dem Umfang	43
7.1.2. Auswertung der Meßergebnisse nach DIN 53 804	45
7.1.3. Niveauschwankungen auf dem Umfang (ohne Kühlung)	47
7.1.4. Niveauschwankungen auf dem Umfang (mit Kühlung)	47
7.1.5. Gradientenbestimmung auf dem Umfang an Graphit	54
7.1.6. Auswertung der Meßergebnisse nach DIN 53 804 (nach Abb. 27)	57
7.1.7. Gradientenbestimmung auf dem Umfang an Stahl	57
7.1.8. Auswertung der Meßergebnisse nach DIN 53 804 (nach Abb. 31)	60
7.1.9. Gradientenbestimmung auf dem Umfang an Phenolharzschichtpreßstoff	63
7.1.10. Diskussion der Ergebnisse	65
7.2. Einfluß der radialen Wärmeströmung	67
7.3. Versuchsergebnisse im Mischreibungsbereich	68
7.3.1. Reproduktionsgenauigkeit der Leckagemessung	68
7.3.2. Leckageabhängigkeiten	68
7.3.3. Einfluß des Dichtmediums auf die Wärmeverteilung	70
7.3.4. Einfluß des Dichtmediums auf die Oberflächentemperatur	71
7.3.5. Isolation des Dichtraumes	75
7.4. Untersuchung verschiedener Gleitpaarungen auf die Wärmeverteilung	76
8. Vorgänge an der Gleitebene	78
8.1. Heizspiegelversuch	78
8.2. Messung der Temperatur im Dichtspalt	81
8.2.1. Meßeinrichtung	81
8.2.2. Ergebnisse	82

	Seite
9. Übergangswiderstand	87
9.1. Grundwiderstandsmessungen	87
9.2. Versuchsergebnisse im Trockenlauf	89
9.3. Versuchsergebnisse im Mischreibungsgebiet	89
10. Verbesserungsvorschläge	94
11. Zur Theorie der Wärmeverteilung	95
11.1. Betriebszustand A (Kontakt, $\delta_0 = 0$)	95
11.2. Betriebszustand B (endliche Reibzone, $\delta_0, \lambda_0 \neq 0$)	96
11.3. Betriebszustand C (ohne Kontakt, $\delta_0 \neq 0, \lambda_0 = 0$)	98
11.4. Diskussion	99
12. Zusammenfassung	101
13. Literaturverzeichnis	104

12. Zusammenfassung

Unter besonderer Beachtung der Gesichtspunkte Meßgenauigkeit, Betriebssicherheit, Unfallschutz und Einmannbedienung wurde der Prüfstand überarbeitet. Zahlreiche meßtechnische und konstruktive Änderungen führten zu einer Verbesserung der Meßgenauigkeit und der Handhabung.

Bei extremer Belastung der Gleitpaarungen treten instationäre Betriebszustände ein, die genaue Messungen nicht ermöglichen. Die Untersuchungen an der axialen Gleitringdichtung wurden im stationären Zustand bei Gleitflächenbelastungen bis $p \cdot v = 15 \text{ [kp/cm}^2 \cdot \text{m/s]}$ durchgeführt.

Die ersten Versuche galten der Bestimmung der zu erwartenden Meßgenauigkeit bei der Messung an einer beliebigen Stelle am Umfang der Gleitringe. Es ergab sich, daß die Ergiebigkeit der Wärmequellen auf dem Umfang der Dichtung stark von einander abweicht. Der Variationskoeffizient, die relative Schwankung der gemessenen Einzelwerte der Temperaturgradienten um ihren Mittelwert, beträgt am Stahlring 89%, am Graphitring 10,9% und an einem Gleitring aus Phenolharzschichtpreßstoff 2,3%. Die Abweichungen des Temperaturniveaus auf dem Umfang der Prüfringe vom Mittelwert lagen am Graphitring bei ca. +5%.

Die Messungen ergaben:

1. Die Temperaturgradienten der makroskopischen Oberfläche müssen nicht gleich sein! Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu der theoretischen Überlegung der Dissertation von H. Hartmann.
2. Die interpolierten Oberflächentemperaturen sind nicht generell als identisch anzunehmen.
3. Eine einseitige Beeinflussung der Kühlbedingungen ändert die Wärmeverteilung.
4. Ein gleichmäßiges Tragbild gibt keine Gewähr für einen gleichmäßigen Gleitflächendruck.

5. Unebenheiten bis zu einer Welligkeit von $1 \mu\text{m}$ üben einen starken Einfluß auf die spezifische Belastung und damit auf die Größe der örtlichen Wärmequellen aus.
6. Geeignete Versuchswerkstoffe sind
 - a) relativ leicht verschleißend
 - b) Materialien mit einem Produkt von
$$E \cdot \alpha \lesssim 50 \cdot 10^{-3} \text{ [kp/mm}^2 \cdot \text{m/mgrd]}$$

Der zweite Teil der Aufgabe bestand in Versuchen im Mischreibungsgebiet. Nach einer wenig ergiebigen Literaturuntersuchung wurde eine Apparatur zur Messung von Leckageströmen im Bereich von $1 \div 1000 \text{ [cm}^3/\text{h]}$ entworfen, konstruiert, gebaut und geeicht. Die durchgeführten Versuche ergaben:

7. Die Wärmeverteilung wird durch das Dichtmedium trotz starker Niveausenkung nicht geändert, da die Kühlwirkung der Dichtflüssigkeit beide Flansche etwa gleich stark beeinflusst.
8. Eine Angleichung der Oberflächentemperaturen im Dichtspalt ist bei höherem Leckagestrom möglich.

Um einen Einblick in die Vorgänge an der Gleitebene zu erhalten, wurden im wesentlichen zwei Versuchsreihen durchgeführt:

- a) Versuch der Erfassung der Dichtspalttemperatur mit dynamischen Thermoelementen
- b) Messung des elektrischen Übergangswiderstandes an den Gleitringen bei unterschiedlichen Betriebszuständen im Trockenlauf und im Mischreibungsgebiet

Die aus den Ergebnissen gezogenen Schlußfolgerungen lauten:

9. Ein Temperatursprung in einer unendlich dünnen Reibzone ist nicht möglich.

10. Die unterschiedlichen, interpolierten Temperaturen der makroskopischen Oberflächen bedingen eine endliche Ausdehnung der Reibzone im Dichtspalt. Sie schließt die Rauigkeitsspitzen der Oberflächen, die Abriebteilchen und Gaseinschlüsse ein. Die axiale Ausdehnung beträgt etwa $\delta = (0,5 \div 1,0) \cdot (R_{T1} + R_{T2}) \mu\text{m}$.
11. Die Temperaturmessung im Dichtspalt ergab mit dynamischen Thermoelementen eine um 50% ÷ 100% höhere Temperatur als die der makroskopischen Oberflächen. Die Meßwerte deuten darauf hin, daß die Dichtspalttemperatur eine Funktion der Reibleistung ist und unabhängig von der Kühlung der Gleitringe zu sein scheint.
12. Eine hohe Dichtspalttemperatur schließt Wärmeausgleichsströme von einem Reibpartner höherer makroskopischer Oberflächentemperatur auf einen niedrigeren Temperatur auch im Mischreibungsgebiet aus.
13. Der elektrische Übergangswiderstand an den Gleitringen ist hauptsächlich eine Funktion der Reibleistung und steht im Mischreibungsgebiet zusätzlich in einer Abhängigkeit vom Leckagestrom.

Die theoretischen Überlegungen zur Wärmeverteilung führten zur Untersuchung von 3 ausgezeichneten Betriebszuständen einer Reibpaarung. Es ergab sich:

14. Die Wärmeverteilung steht in engem Zusammenhang mit den Vorgängen in der Reibzone.
15. Für eine exakte Aussage ist die Kenntnis der Stärke der Reibzone, deren Wärmeleitfähigkeit und die Wärmequellenverteilung erforderlich.
16. Es stellt sich ein Zustand zwischen einer aufgezungenen identischen Oberflächentemperatur und einem freien Energiegleichgewicht zwischen den beiden Gleitpartnern ein.
17. Je nach Betriebszustand bewegt sich das Gradientenverhältnis in dem Bereich

$$1 \gg \frac{\text{grad1}}{\text{grad2}} \gg \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad \text{für } \lambda_1 \gg \lambda_2$$