

FVA-INFORMATIONSBLATT

Nur für Mitglieder bestimmt!

zum Forschungsvorhaben Nr. 144/I und II

Mikrogeometrie – Spannungsspitzen

Thema: Einfluß der Mikrogeometrie auf die Spannungen im Gleit-Wälzkontakt

Forschungsstelle: Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. habil. J. Straub
Extraordinarius am Lehrstuhl A für Thermodynamik,
TU München (Tel. 089/2105-3438)

FVA-Arbeitskreis: „Wälzlager“
(Obmann: Dr.-Ing. P. Giese, INA, Herzogenaurach,
vormals Dipl.-Ing. H.-K. Lorösch, FAG Kugelfischer Georg Schäfer KGaA,
Schweinfurt)

1. Problem

Die Ursache von Ermüdungsschäden bei Wälzpaarungen liegt häufig in der unregelmäßigen Oberflächenbeschaffenheit, die zu einer örtlich erhöhten Beanspruchung führt. Mit einem speziellen Finite Elemente Verfahren werden die Einflußparameter auf die Spannungen und Verformungen an Oberflächendefekten untersucht, um deren lebensdauerermindernde Wirkung zu beurteilen. Hauptgegenstand der Untersuchung sind Oberflächeneindrücke. Für die Spannungskonzentration an Schmierbohrungen werden die grundlegenden Abhängigkeiten und geeignete Reduzierungsmaßnahmen untersucht.

2. Hypothese

Die Untersuchung des Baugrößeneinflusses (siehe Abs. 3) zeigt, daß die Beanspruchungserhöhung an Oberflächendefekten nicht allein für die Lebensdauererminderung maßgebend sein kann. Die Rechenergebnisse sowie experimentelle und praktische Erkenntnisse untermauern vielmehr die Hypothese, daß Oberflächendefekte nur zu einem großflächigen Rißwachstum und zum Totalausfall führen, wenn die hochbeanspruchte Zone um den Defekt weit genug an die Tiefe des Hertzschen Beanspruchungsmaximums heranreicht.

Demgemäß sind beim Schadensablauf zwei Phasen zu unterscheiden: 1. die Ermüdungsrißbildung, für die die Höhe der Spannungsspitzen sowie der plastischen Verformungen maßgebend ist; 2. die Phase der Rißausbreitung, die letztlich für den Ausfall entscheidend ist. Neben der Beanspruchungserhöhung muß somit auch die Schadensausbreitung zur Beurteilung der Wirkung einer Mikrogeometrie-störung herangezogen werden.

3. Baugrößeneinfluß

In der Praxis ist ein Baugrößeneinfluß derart zu beobachten, daß die zulässige Größe von Partikeleindrücken und damit die zulässige Größe der Schmierstoffpartikel selbst, bei der noch keine signifikante Lebensdauererminderung auftritt, mit steigender Kontaktgröße (= Baugröße) zunimmt. Die Analyse der Spannungen und Verformungen im Bereich der Eindrücke führte zur obigen Hypothese (siehe Abs. 2).

Als Maß für die Ausdehnung der hochbeanspruchten Zone um den Eindruck wird die Tiefe z_p eingeführt, bis zu der der Werkstoff bei der Eindrucküberrollung plastifiziert wird. Die Wahrscheinlichkeit, daß ein dort initiiertes Riß zu einem makroskopischen Pitting führt, ist dabei um so größer, je näher z_p an die Tiefe z_0 des Hertzschen Beanspruchungsmaximums heranreicht, d. h. je größer z_p/z_0 ist.

Für ein vorgegebenes Verhältnis z_p/z_0 , gleich einer gewissen Ausfallwahrscheinlichkeit, kann für eine bestimmte Eindruckart der zulässige Eindruckdurchmesser d in Abhängigkeit von der halben Kontaktlänge a_0 angegeben werden. Bild 1 zeigt die Zusammenhänge für Rockwelleindrücke. Frühere experimentelle Arbeiten [3, 4] deuten darauf hin, daß für Ehd-Bedingungen ab $z_p/z_0 \approx 0.6$ mit einem erhöhten Ausfallrisiko zu rechnen ist. Aufgrund der nahezu unendlichen Vielfalt der vorkommenden Partikel und somit der Eindruckformen kann aber dieser Wert nicht verallgemeinert werden.

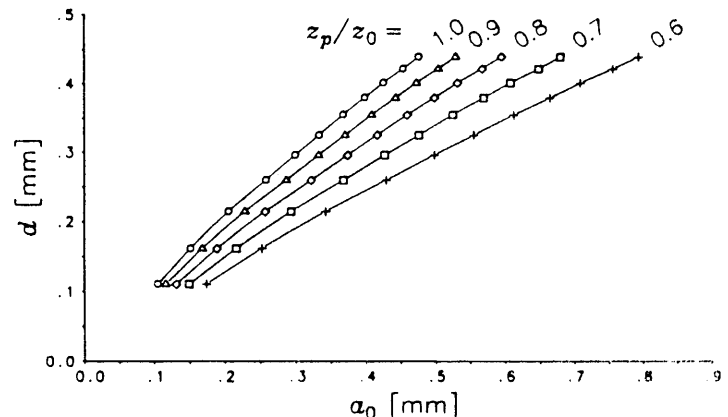


Bild 1: zulässige Größe d von Rockwelleindrücken für unterschiedliches z_p/z_0 in Abhängigkeit von der Kontaktgröße a_0 ($Y_0 = 2550 \text{ N/mm}^2$, $p_0 = 2800 \text{ N/mm}^2$)

Betrachtet man die Rockwelleindrücke als eine Art Referenzeindrücke, so ist eine quantitative Aussage der Gestalt möglich, daß die zulässige Eindruckgröße nahezu linear mit der Kontaktgröße zunimmt. Entsprechend gehen auch die Anforderungen an die Schmierstofffilterung zurück. Andererseits ist gerade bei kleinen Wälzpaarungen die Sauberkeit des Schmierstoffs sehr wichtig. Hier müssen selbst sehr kleine Partikel vermieden werden, um eine Beeinträchtigung der Gebrauchsdauer zu verhindern.

4. Einfluß der Eindruckgeometrie

Die Spannungskonzentration an Oberflächeneindrücken wird im wesentlichen durch zwei Geometrieparameter bestimmt: sie ist um so größer, je kleiner das Verhältnis r/c (Randkrümmungsradius / Eindruckhalbmesser) und je größer das Verhältnis h/c (Randhöhe /

Eindruckhalbmesser) ist (vgl. Bild 2). Dies deckt sich mit der experimentellen Erfahrung, daß Eindrücke um so schädlicher sind, je scharfkantiger und je höher ihre Ränder sind. Neu ist, daß die dimensionslosen Kennwerte r/c und h/c und nicht die absolute Größe der Randkrümmung und der Randhöhe maßgebend sind. Die übrigen Geometrieparameter (t , r_g , r_u , c_s) wirken sich nur wenig auf die Spannungskonzentration aus.

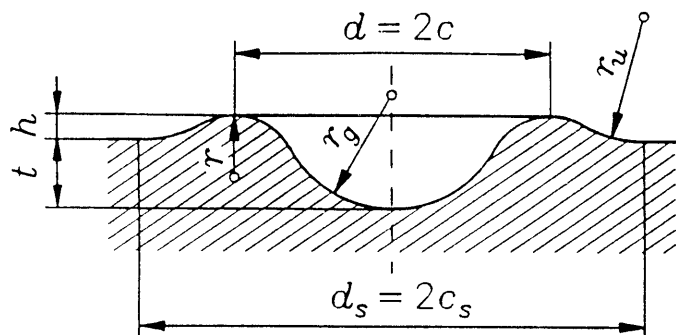


Bild 2: Geometrieparameter an einem Oberflächeneindruck

5. Einfluß der Nominalpressung

Eine Abhängigkeit der Spannungskonzentration von der Nominalpressung p_0 besteht dahingehend, daß die relativen Spannungsspitzen p_{max}/p_0 mit abnehmender Last stark zunehmen. Dies ist eine Erklärung dafür, daß im Experiment die Lebensdauerminde rung im Vergleich zur möglichen Lebensdauer bei niedrigeren Pressungen p_0 größer ist [3].

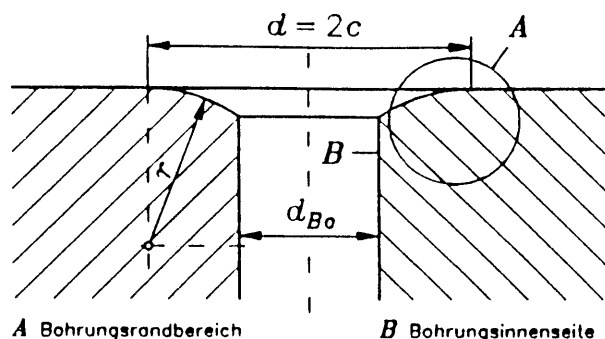


Bild 3: Geometrisches Modell einer Schmierbohrung

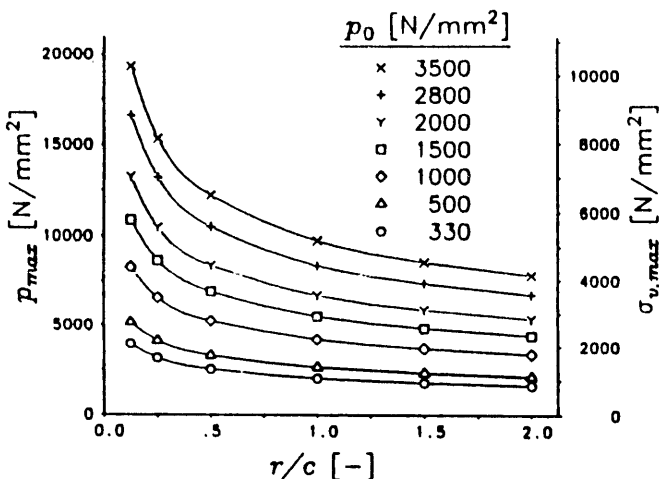


Bild 5: Spannungskonzentration im Randbereich von Schmierbohrungen in Abhängigkeit vom Randkrümmungsverhältnis r/c und der Nominalpressung p_0

7. Literatur

[1] Götz, F., Einfluß der Mikrogeometrie auf die Spannungen im Gleit-Wälzkontakt, Abschlußbericht zum FVA-Vorhaben Nr. 144/I und II, FVA-Heft Nr. 385/1993.
 [2] Götz, F & Winkler, H., Materialinhomogenitäten, Literaturrecherche und -auswertung, FVA-Heft Nr. 202, 1985.

6. Spannungskonzentration an Schmierbohrungen

Die Materialbeanspruchung im Randbereich von Schmierbohrungen ist genauso groß wie an Oberflächeneindrücken mit vergleichbarer Randgeometrie. Durch Abrunden der Bohrungskanten gemäß Bild 3 kann die Spannungskonzentration soweit herabgesetzt werden, daß Schmierbohrungen auch bei höheren Pressungen einsetzbar sind.

Bei der Bestimmung einer zulässigen Bohrungsgeometrie gehen wir von der gegebenen Pressung p_0 aus. Um die Plastifizierung des Werkstoffs am Bohrungsrand zu verhindern, darf die Vergleichsspannung $\sigma_{v,max}$ nicht größer sein als die Fließgrenze Y_0 . Mit Hilfe von Bild 5 kann damit das erforderliche Verhältnis r/c der Abrundung bestimmt werden. So ist beispielsweise bei einem üblichen Wälzlagerteil mit $Y_0 \approx 2500$ N/mm² und einer Pressung von $p_0 = 2800$ N/mm² ein Randkrümmungsverhältnis von $r/c \geq 5$ erforderlich.

Anhand von Bild 4 ist dann zu überprüfen, ob beim gewünschten Durchmesser d_{Bo} und der Pressung p_0 an der Bohrungsinne seite ein Beanspruchungsmaximum vorliegt, das höher als die Fließgrenze ist. Gegebenenfalls ist d_{Bo} entsprechend zu vergrößern.

Ausgehend vom Bohrungsdurchmesser d_{Bo} wird der Durchmesser $d = 2c$ des abgerundeten Bereichs festgelegt. Wichtig ist, daß das Kontaktgebiet nicht bis zu dessen Innenkante reicht (vgl. Bild 3), da es sonst zu einer hohen Kantenpressung kommt. Für $p_0 \leq 2000$ N/mm² ist ein Durchmesser $d = 2d_{Bo}$ und darüber von $d = 2.5d_{Bo}$ erforderlich. Über das vorher ermittelte Verhältnis r/c ergibt sich schließlich der Randradius r .

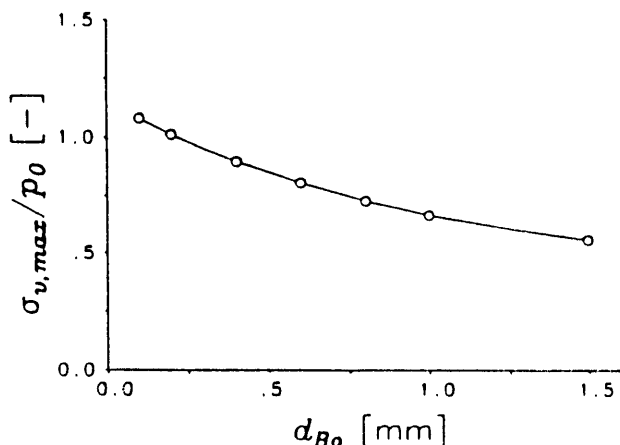
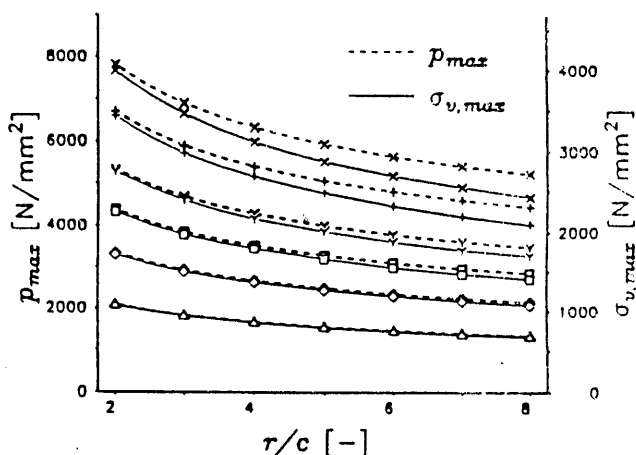


Bild 4: Vergleichsspannungsmaximum $\sigma_{v,max}$ an der Innenseite von Schmierbohrungen



[3] Lorösch, H. K., Einfluß fester Verunreinigungen auf die Lebensdauer von Wälzlagern, Antriebstechnik, 23 (1984) 10, S. 63 - 69.
 [4] Volger, J., Randschichtermüdung, Abschlußbericht zum FVA-Vorhaben Nr. 148, FVA-Heft Nr. 328, 1990.