Übungsaufgabe

Wälzlagerauswahl, Einbauprinzipien und Lebensdauerberechnung

Universität:	Technische Universität Berlin
Kurs/Modul:	Konstruktion 1
Erstellungsdatum:	September 6, 2025

Zielorientierte Lerninhalte, kostenlos!
Entdecke zugeschnittene Materialien für deine Kurse:

https://study.AllWeCanLearn.com

Konstruktion 1

Aufgabe 1: Wälzlagerauswahl, Einbauprinzipien und Lebensdauerberechnung

In diesem Aufgabenblock befassen Sie sich mit der Auswahl von Wälzlagern, den Einbauprinzipien sowie der Berechnung der Lebensdauer von Wälzlagern unter gegebenen Lasten und Drehzahlen. Nutze die gegebene Last- und Geometriegröße und wende gängige Beziehungen zur Berechnung von P (äquivalente dynamische Last) und L10 (Lebensdauer in Mio. Umdrehungen) an. Die Werte dienen als Randbedingungen; begründen Sie Ihre Schritte nachvollziehbar.

Gegebene Größen - Radiale Lagerbelastung: $F_r = 80$ kN - Axiale Lagerbelastung: $F_a = 25$ kN - Drehzahl: $n = 1800$ min^{-1} - Dynamische Tragzahl des betrachteten Lagertyps: $C = 120$ kN - Typischer Wertebereich: Für Wälzlager gilt grob - Falls $\frac{F_a}{F_r} \leq e \approx 0.3$: $P = F_r$ - Falls $\frac{F_a}{F_r} > e$: $P = 0.56\,F_r + 1.63\,F_a$

a) Bestimmen Sie den äquivalenten dynamischen Lastwert P in kN gemäß obiger Regel, und formulieren Sie die Rechenlogik. (Hinweis: $\frac{F_a}{F_r} = \frac{25}{80} \approx 0.3125 > 0.3$.)

b) Berechnen Sie die kumulierte Lebensdauer L_{10} in Mio. Umdrehungen gemäß

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^{p}, \quad p = 3 \quad \text{für Kugellager.}$$

Geben Sie die verwendeten Einheitenkriterien an und führen Sie die Rechenschritte durch. Vergleichen Sie das Ergebnis gegebenenfalls mit einer geforderten Lebensdauergröße $L_{10,\mathrm{req}}$ falls vorhanden (Beispielwert: $L_{10,\mathrm{req}} = 20$ Mio. Umdrehungen).

c) Bestimmen Sie, welche minimale dynamische Tragzahl $C_{\min}$ erforderlich wäre, damit

$$L_{10} \geq L_{10,\mathrm{req}}$$

Bei gegebener Last P und gewünschter Lebensdauer $L_{10,\mathrm{req}}$ (für ein Beispiel $L_{10,\mathrm{req}} = 20$ Mio. Umdrehungen) gilt $C_{\min} = P \cdot (L_{10,\mathrm{req}})^{1/3}$. Geben Sie die Formel an und erläutern Sie kurz die Bedeutung der Größe.

d) Geben Sie eine kurze, begründete Empfehlung zur Lagertypwahl (z. B. Rillenkugellager, Axial-/Kegelrollenlager) basierend auf der gegebenen Lastsituation und der geforderten Lebensdauer. Welche Kriterien bei der Auswahl wären zusätzlich zu beachten (Dichtungen, Schmierung, Temperaturbereich, Wartung)?

Aufgabe 2: Einbauprinzipien und Lebensdauerberechnung – Montage, Schmierung und Diagnostik

In dieser Aufgabe sollen Sie das Vorgehen beim Einbauen von Wälzlagern, Prinzipien der Passungen sowie Überlegungen zur Schmierung berücksichtigen. Arbeiten Sie die Schritte sauber aus und führen Sie eine kleine Beispielrechnung durch.

a) Beschreiben Sie die wichtigsten Einbauprinzipien eines Wälzlagers in eine Naben-/Wellenkonstruktion. Nennen Sie in Stichpunkten die typischen Montageschritte, typische Fehlerquellen und Hinweise zur Werkstoff- bzw. Oberflächenvorbereitung (Reinigung, Kontamination vermeiden, Endkontrollen).

b) Interferenzpassung – Beispielrechnung: Gegeben seien eine Welle mit Durchmesser $d = 40$ mm und eine Innenbohrung eines Lagers mit dem gleichen Durchmesser $d = 40$ mm. Die Passung weist einen theoretischen Interferenzanteil von $\Delta d = 0.04$ mm auf. Die radialsprängende Steifigkeit der Passung sei $k = 50$ N/μm. Berechnen Sie die maximale Presskraft F_{press}, die beim Einpressen des Lagers auf die Welle übertragen werden kann, nach $F_{\text{press}} = k \cdot \Delta d$. Geben Sie die Einheitenkonsistenz an und interpretieren Sie das Ergebnis kurz im Hinblick auf die Montagepraxis.

c) Schmierung und Betriebslaufzeit: Nennen Sie zwei gängige Schmierstoffarten für Wälzlager (Fett- und Ölbasierte Schmierstoffe) und diskutieren Sie, in welchen Anwendungsfällen Sie welches Schmiermittel bevorzugen würden. Geben Sie grob an, welche Faktoren die Lebensdauer eines schmiertechnisch betriebenen Lagers beeinflussen (z. B. Temperatur, Last, Drehzahl, Sauberkeit, Schmierstoffalterung) und welche typischen Wartungsintervalle oder Kontrollen sinnvoll sind.

d) Diagnostische Hinweise: Welche typischen Anzeichen deuten auf Verschleiß oder Fehlbelastung in einem Wälzlager hin (z. B. Geräusche, Vibrationen, Wärmeentwicklung)? Welche Messgrößen würden Sie zur Zustandsüberwachung heranziehen (z. B. Ölanalyse, Vibration, Temperatur, Laufgeräusch) und wie würden Sie vorgehen, um rechtzeitig Gegenmaßnahmen einzuleiten?

Aufgabe 3: Lebensdauerberechnung bei wechselnder Last und Zuverlässigkeit

In dieser Aufgabe setzen Sie sich mit der Lebensdauerberechnung unter variierenden Lasten und mit Zuverlässigkeitsaspekten auseinander. Verwenden Sie einfache Modelle, um das Verhalten zu veranschaulichen.

a) Wechselnde Lastannahme: Angenommen, eine Achse wirkt zeitlich linear wechselnd auf das Lagertyp-System, sodass der radiale Lastanteil über den Betriebszeitraum hinweg von $F_r(t)$ von 20 kN bis 60 kN variiert, während der axiale Anteil konstant $F_a = 15$ kN bleibt. Nehmen Sie an, der effektive Lastanteil könne durch den Mittelwert von F_r approximiert werden (vereinfachtes Modell). Bestimmen Sie den mittleren äquivalenten P-Wert P_{eq} nach der Regel aus Aufgabe 1b (mit F_r und F_a substituiert). Geben Sie die Gleichung und den Rechenweg an, ohne eine numerische Lösung zu erzwingen.

b) Zuverlässigkeit und Lebensdauer: Diskutieren Sie, wie sich eine höhere Zuverlässigkeit (z. B. 99

c) Betriebsdauer in Stunden: Angenommen, das System läuft bei einer mittleren Drehzahl von $n = 1500\ \text{min}^{-1}$ und Sie haben eine berechnete Lebensdauer L_{10} in Mio. Umdrehungen. Formulieren Sie die Beziehung, wie viele Betriebsstunden diese Lebensdauer entsprechen:

$$t_{\text{Betriebsstunden}} \approx \frac{L_{10} \cdot 10^6}{60\, n}.$$

Beschreiben Sie die Schritte, wie Sie t aus L_{10} ableiten würden.

Lösungen

Aufgabe 1: Wälzlagerauswahl, Einbauprinzipien und Lebensdauerberechnung

Lösung

a) Bestimmung des äquivalenten dynamischen Lastwert P.

Nach gegebener Regel gilt:

$$P = \begin{cases} F_r, & \dfrac{F_a}{F_r} \le e \approx 0{,}3, \\ 0{,}56\,F_r + 1{,}63\,F_a, & \dfrac{F_a}{F_r} > e. \end{cases}$$

Gegebene Größen: $F_r = 80$ kN, $F_a = 25$ kN.

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{25}{80} = 0{,}3125 > 0{,}3 \quad \Rightarrow \quad P = 0{,}56\,F_r + 1{,}63\,F_a.$$

Rechenweg:

$$0{,}56\,F_r = 0{,}56 \cdot 80 = 44{,}8 \text{ kN}, \qquad 1{,}63\,F_a = 1{,}63 \cdot 25 = 40{,}75 \text{ kN},$$

$$P = 44{,}8 + 40{,}75 = 85{,}55 \text{ kN} \approx 85{,}6 \text{ kN}.$$

b) Kumulierte Lebensdauer L_{10} gemäß $L_{10} = (C/P)^p$, $p = 3$ (Kugellager).

Gegebene Werte: $C = 120$ kN, $P = 85{,}55$ kN, $p = 3$.

$$\frac{C}{P} = \frac{120}{85{,}55} \approx 1{,}402 \quad \Rightarrow \quad L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \approx 1{,}402^3 \approx 2{,}75.$$

Damit ergibt sich

$$L_{10} \approx 2{,}75 \text{ Mio Umdrehungen}.$$

Hinweis: Falls $L_{10,\text{req}}$ gegeben ist, kann dieser Wert mit dem rechten Zweck verglichen werden.

c) Minimal erforderliche dynamische Tragzahl $C_{\min}$.

Gegeben $L_{10} \ge L_{10,\text{req}}$ mit $L_{10,\text{req}} = 20$ Mio Umdrehungen (Beispiel).

Aus

$$L_{10} \ge L_{10,\text{req}} \quad \Rightarrow \quad C_{\min} = P \cdot (L_{10,\text{req}})^{1/3}.$$

Berechnung:

$$(L_{10,\text{req}})^{1/3} = 20^{1/3} \approx 2{,}714, \qquad C_{\min} \approx 85{,}55 \text{ kN} \cdot 2{,}714 \approx 232 \text{ kN}.$$

Bedeutung von $C_{\min}$: Die minimale Tragzahl definiert die Tragfähigkeit des Lagertyps, um die gewünschte Lebensdauer unter der gegebenen Last sicherzustellen. Sie gibt an, mit welcher dynamischen Tragzahl das Lager die geforderte Lebensdauer zuverlässig erreichen kann.

d) Empfehlung zur Lagertypwahl.

- Bei der gegebenen Lastkombination (radial dominiert, aber auch axial wirkend) und dem Ziel einer hohen Lebensdauer sind Kugellager oder Axial-/Kegelrollenlager geeignete Kandidaten, je nach Verläufen der Drehzahlen und der zulässigen Baugröße. - Grundsätzlich sinnvoll: - Tiefenringkugellager (Rillenkugellager) für einfache Radiallasten mit moderatem Axialanteil und hohen

Drehzahlen. - Angular-Contact-Ball Bearings oder Zylinderrollenlager bei höheren axialen Anteilen oder höheren Spitzenlasten sowie größerer L10-Anforderung. - Berücksichtigung von Dichtungen, Schmierung, Temperaturbereich und Wartung. - Weitere Kriterien bei der Auswahl: - Dynamische Tragzahl C in Abhängigkeit von geforderter Lebensdauer L_{10}, - Statische Tragzahl C_0 und Spiel-/Spaltverhältnis, -Passungen, Endkontrollen, Oberflächenzustand und Reinigung, - Schmierung (Fett/Öl), Dichtungen, Betriebstemperaturen, - Wartungsintervalle, Verfügbarkeit von Ersatzteilen, Kosten.

Aufgabe 2: Einbauprinzipien und Lebensdauerberechnung – Montage, Schmierung und Diagnostik

Lösung

a) Einbauprinzipien eines Wälzlagers in Naben-/Wellenkonstruktion.

- Vorbereitung: - Reinigungs- und Oberflächenvorbereitung (Kontamination vermeiden, sterile Umgebung, sauberer Arbeitsplatz). - Prüfen der Passungen (Interferenz-/Klemmungen je nach Lagerart). - Einbauprinzipien: - Passstückung und Zwischenscheiben beachten. - Einsatz geeigneter Einbauwerkzeuge (Presspassungen, Montagehülsen, Hohlkehlen). - Gleichmäßige Kraftverteilung; keine lokalen Schlagkräfte. - Typische Montageschritte (stichpunktartig): - Reinigung von Lager, Welle, Nabe; Messung von Durchmesser-/Wellendefekten; - Aufbringen von korrekter Schmierung bzw. Schmierstoffauflage; - Einsetzen des Lagers mit kontrolliertem Druck (z. B. Pressen), Hilfswerkzeuge verwenden; - Endkontrollen (Spaltmaße, axialer Spiel, Rundlauf, Passzustand); - Dichtungsteile korrekt positionieren; Endmontage prüfen. - Typische Fehlerquellen: - Verunreinigungen in Passungen, unsachgemäße Schmierung, falsche Ausrichtung, Deformation der Bauteile, falsche Werkzeugnutzung. - Werkstoff- bzw. Oberflächenvorbereitung: - Reinigung von Kontaminationen; Vermeidung von Kratzern; Oberflächen auf Verformungen prüfen; Endkontrollen durchführen.

b) Interferenzpassung – Beispielrechnung.

Gegeben: Welle $d = 40$ mm, Innenbohrung des Lagers $d = 40$ mm, theoretischer Interferenzanteil $\Delta d = 0{,}04$ mm, radialsprengende Steifigkeit der Passung $k = 50$ N/μm.

Berechnung:

$$F_{\text{press}} = k \cdot \Delta d.$$

Zuerst Umrechnung:

$$\Delta d = 0{,}04 \text{ mm} = 40 \ \mu\text{m}.$$

Daraus:

$$F_{\text{press}} = 50 \ \frac{\text{N}}{\mu\text{m}} \cdot 40 \ \mu\text{m} = 2000 \text{ N} = 2 \text{ kN}.$$

Einheitenkonsistenz: N = (N/m)·m; Interferenzbereich in m.

Interpretation: Die maximale Presskraft beim Einpressen beträgt ca. 2 kN. In der Praxis muss diese Kraft entsprechend der Pressungskapazität der Werkzeuge, der zulässigen Presskraft des Lagers sowie der Werkstoffgrenzen (Durchsetzung, Verformung) gewählt werden.

c) Schmierung und Betriebslaufzeit.

- Zwei gängige Schmierstoffarten: - Fettbasierte Schmierstoffe (Schmierfette): langanhaltende Schmierung, gut bei moderaten bis hohen Temperaturen, staub- und wassergeschützt in ungeschützten Umgebungen. - Ölbasierte Schmierstoffe: bei hohen Drehzahlen, schlechteren Umgebungsbedingungen, hoher Wärmeabfuhr; Geeignet für kontinuierliche Schmierung und Freibewegung. - Anwendungsfälle: - Fett: Lager mit geringen Wartungsintervallen, staubige/schmutzige Umgebungen, Raum- und Tragkonstruktionen; moderate Geschwindigkeiten. - Öl: Hochgeschwindigkeitsanwendungen, Wärme-intensive Anwendungen, gute Kühlung, präzise Kontrolle der Schmierfilmbildung. - Faktoren, die die Lebensdauer beeinflussen: - Temperatur, Last, Drehzahl, Sauberkeit, Schmierstoffalterung (Alterung, Verschmutzung), Schmierstoffwechselintervalle. - Typische Wartungsintervalle/Kontrollen (allgemein): - Fett: Nachrüsten oder Nachpumpen je nach Betriebsbedingungen alle 6–24 Monate; regelmäßige Sichtkontrolle der Schmierstoffe. - Öl: Ölwechsel gemäß Betriebsdauer oder Ölwechselintervalle; Ölzustand (Viskosität, Verschmutzungen) prüfen; Schmierstoff-Festigkeitsprüfung.

d) Diagnostische Hinweise.

- Typische Anzeichen von Verschleiß/Fehlbelastung: - Geräusche (Rattern, Schleifen, Klappern), auffällige Vibrationen, Wärmeentwicklung über Grenzwerte, stattfindende Leckagen (bei Dichtungen), veränderte Drehmomentwerte. - Messgrößen zur Zustandsüberwachung: - Ölanalyse (Schmutz, Partikel, Verschleißpartikel), Vibration (Amplitude, Frequenzspektrum), Temperatur, Laufgeräusch. - Vorgehen bei Abweichungen: - Baseline-Referenzen erstellen, Trendanalyse durchführen, Grenzwerte definieren, frühzeitige Gegenmaßnahmen (Reinigung, Schmierstoffwechsel, Lageraustausch) durchführen.

Aufgabe 3: Lebensdauerberechnung bei wechselnder Last und Zuverlässigkeit

Lösung

a) Wechselnde Lastannahme.

Gegeben: Radiale Lastanteile $F_r(t)$ variieren linear von 20 kN bis 60 kN; Axiale Last $F_a = 15$ kN konstant. Als vereinfachtes Modell wird der mittlere Radialanteil verwendet:

$$F_{r,\text{avg}} = \frac{20+60}{2} = 40 \text{ kN}, \qquad F_a = 15 \text{ kN}.$$

Prüfung des Verhältnisses:

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{15}{40} = 0{,}375 > 0{,}3 \quad \Rightarrow \quad P_{\text{eq}} = 0{,}56\,F_r + 1{,}63\,F_a.$$

Rechenweg:

$$0{,}56\,F_r = 0{,}56 \cdot 40 = 22{,}4 \text{ kN}, \qquad 1{,}63\,F_a = 1{,}63 \cdot 15 = 24{,}45 \text{ kN},$$

$$P_{\text{eq}} = 22{,}4 + 24{,}45 = 46{,}85 \text{ kN} \approx 46{,}9 \text{ kN}.$$

b) Zuverlässigkeit und Lebensdauer.

- Erhöhung der Zuverlässigkeit (z. B. von 90- Grobe rationale Überlegung (ohne explizite Formel): Höhere Zuverlässigkeit verschiebt die zu erwartende Lebensdauer nach rechts der Spannungs-/Lebensdauer-Verteilung; um dieses Ziel zu erreichen, werden in der Praxis größere Tragzahlen (bessere Lager) gewählt, bessere Passungen, niedrigere Belastungen oder eine Optimierung der Schmierung, wodurch sich die erwartete Lebensdauer erhöht.

c) Betriebsdauer in Stunden.

Gegeben: mittlere Drehzahl $n = 1500 \text{ min}^{-1}$ und berechnete Lebensdauer L_{10} in Mio. Umdrehungen.

Beziehung:

$$t_{\text{Betriebsstunden}} \approx \frac{L_{10} \cdot 10^6}{60\,n}.$$

Beispielrechnung (mit dem in Teil a) ermittelten $L_{10} \approx 2{,}75$):

$$t \approx \frac{2{,}75 \cdot 10^6}{60 \cdot 1500} = \frac{2{,}75 \cdot 10^6}{90{,}000} \approx 30{,}6 \text{ Stunden}.$$

Damit zeigt sich, wie aus der Lebensdauer in Millionen Umdrehungen die tatsächliche Betriebsdauer bei einer gegebenen Drehzahl bestimmt wird.