

**Poškození valivých ložisek  
Uznání poškození a kontrola ložiska**

Poškození valivých ložisek

Uznání poškození a kontrola ložiska

Publ. No. WL 82 102/3 EA

Status 2001

## **Předmluva**

Valivá ložiska jsou prvky stroje, které se nacházejí v široké oblasti použití. Jsou spolehlivé i za nejnáročnějších podmínek a předčasné selhání je velmi vzácné.

Prvním příznakem poškození valivých ložisek je především neobvyklé provozní chování ložisek. Zkoumání poškozených ložisek odhaluje širokou a rozmanitou škálu jevů. Kontrola ložisek sama o sobě nestačí k určení příčiny poškození, nýbrž spíše ke kontrole spojovacích částí, mazání a těsnění, jakož i provozních a okolních podmínek. Stanovený postup pro vyšetření usnadňuje určení příčiny selhání.

Tato brožura je v zásadě dílenská příručka. Poskytuje přehled typických poškození ložisek, jejich příčiny a nápravných opatření. Vedle příkladů způsobů poškození je na začátku uvedena možnost rozpoznání poškození ložiska v rané fázi.

Ložiska, která nejsou klasifikována jako poškozená, jsou rovněž kontrolována v rámci preventivní údržby, která je často prováděna. Tato brožura proto obsahuje příklady ložisek s běžnými vlastnostmi běhu pro daný život.

**Titulní strana:** To, co se na první pohled může zdát jako fotka písečných dun ve vysoké nadmořské výšce, je ve skutečnosti profil deformačního opotřebení válcového válečkového ložiska ve tvaru vlny. Od vrcholu do údolí je méně než pouhý 1 mikron. Při pomalé rychlosti dochází ke smíšenému tření v oblastech namáhaných kluzným kontaktem. Zvlnění je výsledkem efektů prokluzu.

1. Neobvyklé provozní chování, které ukazuje na poškození .....	4
1.1 Subjektivní rozpoznání poškození .....	4
1.2 Monitorování ložisek pomocí technických zařízení .....	4
1.2.1 Rozsáhlé poškození .....	4
1.2.2 Poškození na určitých místech .....	6
1.3 Naléhavost výměny ložisek - zbývající životnost .....	7
2 Zajištění poškozených ložisek .....	9
2.1 Stanovení provozních údajů .....	9
2.2 Extrakce a vyhodnocení vzorků maziva .....	9
2.3 Kontrola prostředí ložiska .....	10
2.4 Posouzení ložiska v namontovaném stavu .....	10
2.5 Demontáž poškozeného ložiska .....	10
2.6 Kontrola sedadla .....	10
2.7 Posouzení úplného uložení .....	10
2.8 Expedice do FAG nebo posouzení jednotlivých částí ložiska .....	10
3 Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek .....	11
3.1 Opatření, která mají být přijata .....	14
3.1.1 Označení samostatných částí .....	14
3.1.2 Měření provedená s úplným ložiskem .....	14
3.1.3 Demontáž ložiska na samostatné části .....	14
3.1.4 Posouzení ložiskových částí .....	14
3.2 Stav sedadel .....	15
3.2.1 Dráždivá koroze .....	15
3.2.2 Zachycení značek nebo kluzného opotřebení .....	16
3.2.3 Nerovnoměrná podpora ložiskových kroužků .....	17
3.2.4 Boční pastviny .....	18
3.3 Vzor valivého kontaktu .....	19
3.3.1 Zdroj a význam skladeb .....	19
3.3.1.1 Normální skladby .....	19
3.3.1.2 Neobvyklé stopy .....	21
3.3.2 Odsazení v drahách a povrchech valivých prvků .....	27
3.3.2.1 Zlomeniny .....	27
3.3.2.2 Poškození korozí .....	34
3.3.2.3 Falešné brinelling .....	36
3.3.2.4 Osazení válcových prvků .....	37
3.3.2.5 Krátery a drážkování v důsledku průchodu elektrického proudu .....	38
3.3.2.6 Běh hrany válcovacího prvku .....	39
3.3.3 Zlomeniny prstenu .....	40

3.3.3.1 Zlomeniny únavy v důsledku únavy závodní dráhy .....	40
3.3.3.2 Axiální počáteční trhliny a trhliny vnitřních kroužků .....	40
3.3.3.3 Zlomeniny vnějšího prstence v obvodovém směru .....	41
3.3.4 Hluboké škrábance a skvrny na kontaktních plochách .....	42
3.3.4.1 Poškození opotřebením při špatném mazání .....	42
3.3.4.2 Škrábance na vnějším průměru valivého tělesa .....	44
3.3.4.3 Posuvné stopy .....	45
3.3.4.4 Bodové hodnocení .....	46
3.3.5 Poškození přehřátím .....	47
3.4 Vyhodnocení kontaktu s rty .....	48
3.4.1 Poškození čelních a valivých ploch valivých ložisek .....	48
3.4.1.1 Bodování kvůli cizím částicím .....	48
3.4.1.2 Záchvaty při kontaktu s rty .....	49
3.4.1.3 Používejte v oblasti kontaktu s rty .....	50
3.4.1.4 Zlomeniny rtů .....	51
3.4.2 Opotřebením vodících ploch klece .....	52
3.4.3 Poškození těsnících ploch .....	53
3.4.3.1 Opotřebované těsnicí břity .....	53
3.4.3.2 Odbarvení těsnicí dráhy .....	53
3.5 Poškození klece .....	54
3.5.1 Opotřebením kvůli hladovému mazání a kontaminaci .....	54
3.5.2 Opotřebením kvůli nadměrné rychlosti .....	54
3.5.3 Opotřebením způsobené šikmým válčováním .....	55
3.5.4 Opotřebením v klecích s kuličkovými ložisky v důsledku naklopení .....	55
3.5.5 Zlomenina spojení klece .....	56
3.5.6 Zlomenina klece .....	56
3.5.7 Poškození v důsledku nesprávné montáže .....	57
3.6 Poškození těsněním .....	58
3.6.1 Opotřebením těsnících rtů .....	58
3.6.2 Poškození v důsledku nesprávné montáže .....	59
4 Jiné způsoby kontroly na FAG .....	60
4.1 Geometrické měření ložisek a částí ložisek .....	60
4.2 Analýzy maziv a kontroly maziv .....	63
4.3 Kontrola materiálu .....	65
4.4 Rentgenová mikrostrukturní analýza .....	66
4.5 Vyšetřování vyšetřovacích elektronových mikroskopů .....	67
4.6 Zkoušky součástí .....	69
4.7 Výpočet podmínek zatížení .....	71

## Neobvyklé provozní chování, které naznačuje poškození

Subjektivní rozpoznávání poškození · Sledování ložisek pomocí technických zařízení

### 1: Uznávání škod obsluhou

1 Neobvyklé provozní chování, které ukazuje poškození

Postupné zhoršování provozního chování je obvykle prvním příznakem poškození ložiska. Spontánní poškození je vzácné, například způsobené chybami montáže nebo nedostatkem mazání, což vede k okamžitým prostojům stroje. V závislosti na provozních podmínkách může několik minut, nebo za určitých okolností i několik měsíců, uplynout od okamžiku, kdy dojde k poškození až do okamžiku, kdy dojde ke skutečnému selhání ložiska. Příslušný případ použití a účinky poškození ložisek na provoz stroje se berou jako základ při výběru typu monitorování ložiska, které má být poskytnuto.

#### 1.1 Subjektivní rozpoznání poškození

V převážně většině ložiskových aplikací postačuje, když obsluha strojů dává pozor na nerovnoměrný chod nebo neobvyklý hluk v ložiskovém systému, viz tabulka 1.

#### 1.2 Monitorování ložisek pomocí technických zařízení

Ložiska, která by mohla být nebezpečná při poškození nebo která by mohla vést k dlouhým výpadkům výroby, vyžadují na druhé straně přesné a stálé monitorování. Dva příklady jsou turbíny s tryskovým motorem a papírenské stroje. Aby bylo

monitorování spolehlivé, musí být jeho rozsah založen na druhu poškození, které lze očekávat.

#### 1.2.1 Rozsáhlé poškození

Dostatečný přísun čistého maziva je hlavním předpokladem bezporuchového provozu. Nežádoucí změny lze zjistit pomocí:

Příznaky	Zdroje potíží	Příklady
Nerovnoměrný běh	Poškozené kroužky nebo valivé prvky  Kontaminace  Nadměrná vůle ložiska	Motorová vozidla: více a více kolísání kol zvyšuje vibrace vůle řízení naklápění  Ventilátory: rostoucí vibrace  Pily: více nárazů a úderů do ojníc
Snížená přesnost práce	Noste kvůli znečištění nebo nedostatečnému mazání  Poškozené kroužky nebo valivé prvky  Změna nastavení (vůle nebo předpětí)	Soustruh: postupný vývoj chvění na obročku  Brusky: zvlněný povrch země  Válcovna za studena: Pravidelné povrchové defekty na válcovaném materiálu, jako jsou napínáky napínáků, linie duchů atd. (valivá dráha?)
Neobvyklý hluk při běhu: kňučení nebo pískání hluku  dunivý nebo nepravidelný hluk  postupná změna hluku při provozu	Nedostatečná provozní vzdálenost  Nadměrné povolení Poškozené kontaktní plochy Kontaminace Nevhodné mazivo  Změna provozní vůle v důsledku teploty Poškozená běžecká dráha (např. Kvůli kontaminaci nebo únavě)	Elektrické motory ozubená kola (hluk ložiska je obtížné identifikovat, protože je obecně utopen hlukem převodů)

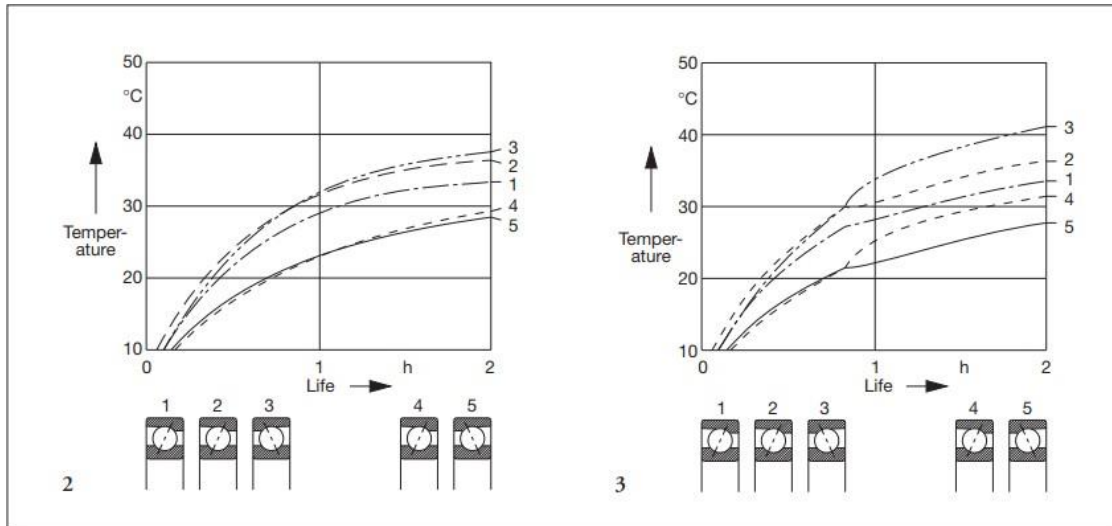
## Neobvyklé provozní chování, které naznačuje poškození

### Sledování ložisek technickými zařízeními

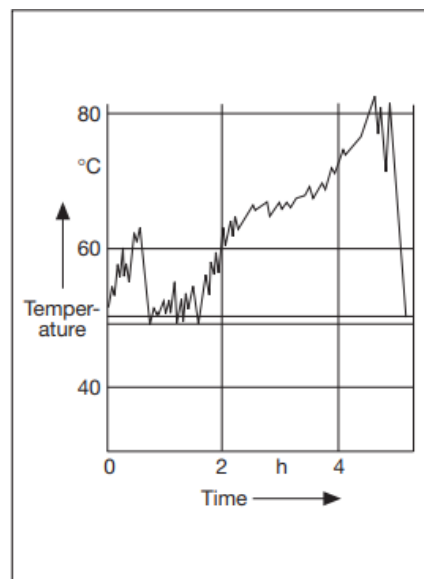
2: Pochod teploty s neporušenými ložisky hlavního vřetena ve stroji.

Zkušební podmínka:  $n \cdot dm = 750\,000 \text{ min} - 1 \cdot \text{mm}$ .

3: Pochod teploty s narušenými plovoucími ložisky. Zkušební podmínka:  $n \cdot dm = 750\,000 \text{ min} - 1 \cdot \text{mm}$ .



- Sledování dodávky maziva
- okno hladiny oleje
- měření tlaku oleje
- měření průtoku oleje
- Měření obrusovaných látek v mazivo
- v intervalech magnetická zástrčka
- spektrální analýza maziva
- Vzorky kontrola vzorků oleje v laboratoři
- nepřetržitě vysílač magnetického signálu
- zjištění množství proudících částic prostřednictvím online částice čelit
- Měření teploty
- obvykle s termočlánky



Velmi spolehlivým a relativně snadným způsobem rozpoznání poškození způsobeného nedostatečným mazáním je měření teploty.

Normální teplotní chování:

- dosažení ustálené teploty ve stacionárním provozu, obr. 2.

Poruchové chování:

- náhlý nárůst teploty způsobený nedostatkem maziva nebo výskytem nadměrného radiálního nebo axiálního předpětí na ložiskách, obr. 3.

- nerovnoměrný teplotní pochod s maximálními hodnotami, které mají sklon stoupat v důsledku obecného zhoršení mazacích podmínek, např. s dosaženou životností maziva, obr. 4.

Měření teploty však není vhodné k lokální registraci poškození v rané fázi, např. únava.

4: Březen teploty v závislosti na čase při selhání mazání tukem.

Zkušební podmínka:  $n \cdot dm = 200\,000 \text{ min} - 1 \cdot \text{mm}$ .

## Neobvyklé provozní chování, které naznačuje poškození

### Sledování ložisek technickými zařízeními

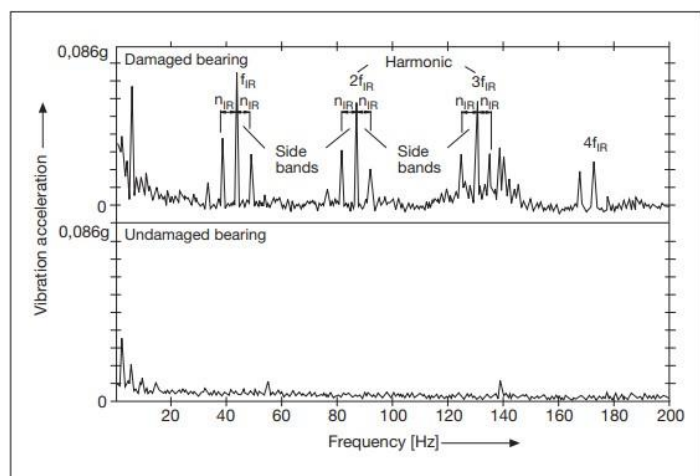
#### 1.2.2 Poškození na určitých místech

Pokud by se poškození ložisek omezilo na určitá místa, jako jsou vrubkování způsobená valivými prvky, klidová koroze nebo lomy, lze to nejdříve rozpoznat měřením vibrací. Rázové vlny, které pocházejí z cyklování lokálních vrubů, mohou být zaznamenány pomocí snímání dráhy, rychlosti a zrychlení. Tyto signály mohou být dále zpracovávány s malými nebo velkými náklady v závislosti na provozních podmínkách a přesnosti očekávaného faktoru spolehlivosti. Nejběžnější jsou:

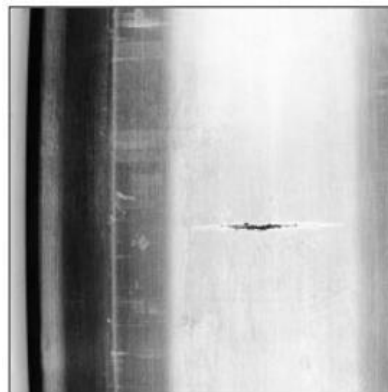
- měření efektivní hodnoty
- měření hodnoty šoku
- analýza signálu detekcí obálky.

Zkušenost ukázala, že tento posledně uvedený postup je při používání zvláště spolehlivý a praktický. Poškozené součásti ložiska lze dokonce určit speciálním typem zpracování signálu, obr. 5 a 6. Další informace naleznete v naší TI č. WL 80-36> Diagnostika valivých ložisek s analyzátozem ložisek FAG <".

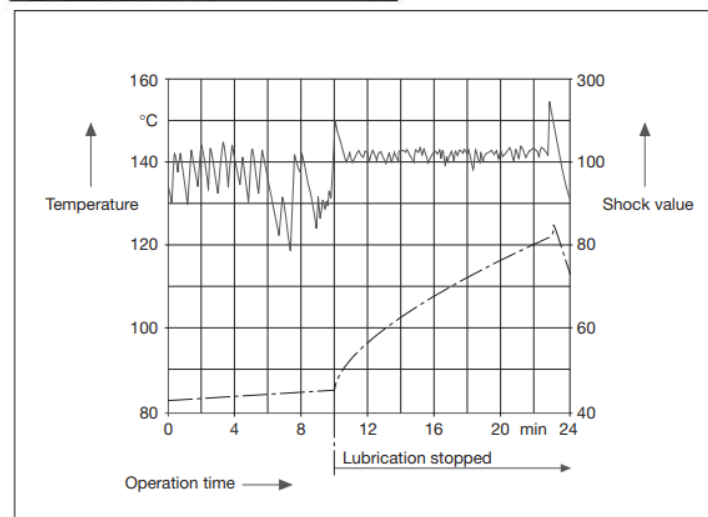
**5:** Frekvenční spektrum signálu obálky mezi 0 a 200 Hz,  
dole: nepoškozené ložisko; výše:  
poškozené ložisko  
 $n_{IR}$  Vnitřní rychlost zvonění [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $f_{IR}$  Frekvence signálu vnitřního zvonění  
(frekvence cyklů) [Hz]



**6:** Poškození vnitřního kroužku soudečkového ložiska v papírenském stroji zjištěném pomocí postupu detekce obálky.



**7:** Pochod teploty a rázy jako funkce časového zastavení mazání. Ložisko vřetena B7216E.TPA;  $P/C = 0,1$ ;  $n = 9000 \text{ min}^{-1}$ ; Mazací olej ISO VG100.





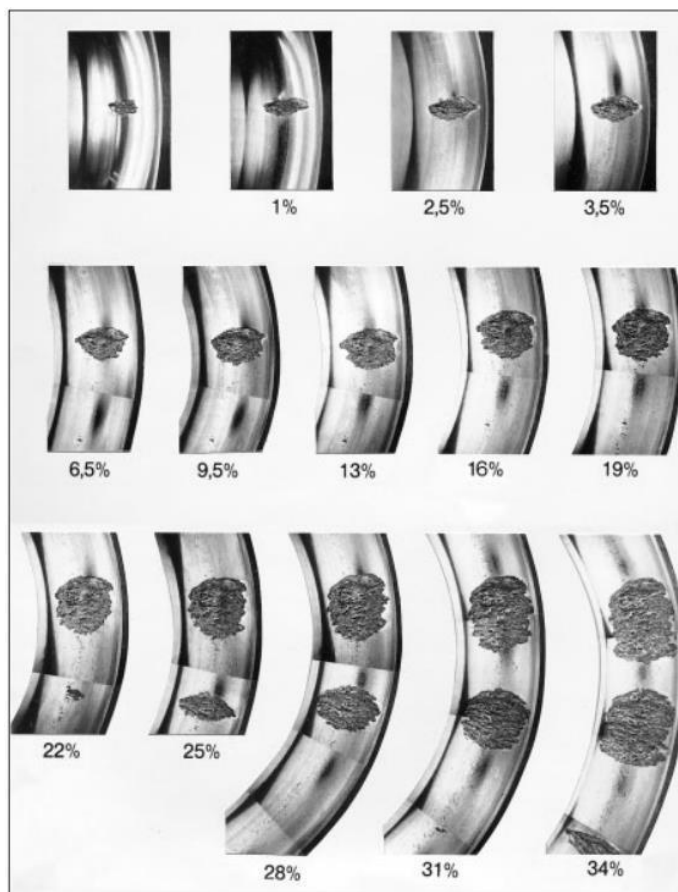
## Neobvyklé provozní chování, které naznačuje poškození

### Monitorování ložisek technickými zařízeními · Naléhavost výměny ložisek

Postupy měření vibrací jsou velmi vhodné pro detekci únavového poškození. Nejjednodušší je to u ložisek s bodovým kontaktem (kuličková ložiska) a se sofistikovanějšími postupy vyhodnocování, jako je detekce obálky, například poškození valivých ložisek se zjistí stejně spolehlivě. Jsou však méně vhodné pro sledování stavu mazání. Porucha v dodávce maziva může být spolehlivě detekována měřením teploty, jak je popsáno výše. To je zvláště dobře znázorněno na obrázku 7. Hodnota nárazu je mnohem méně citlivá než teplotní senzor. V případě drahých technických zařízení se tedy měření teploty a vibrací vzájemně optimálně doplňují.

V mnoha případech může stroj zůstat v provozu bez poškození produktu i přes poškození. Jak dlouho to může trvat, závisí na zatížení ložiska, rychlosti, mazání a čistotě maziva. U kuličkových ložisek byly provedeny důkladné kontroly průběhu poškození při různých zatíženích. Hlavní výsledky jsou následující:

**8:** Vývoj únavového poškození na oběžných drahách vnitřního kroužku kuličkového ložiska s kosoúhlým stykem. Periodické intervaly mezi kontrolami od poškození začínají, jsou uvedeny v procentech jmenovité životnosti L10.



#### 1.3 Naléhavost výměny ložisek - zbývající životnost

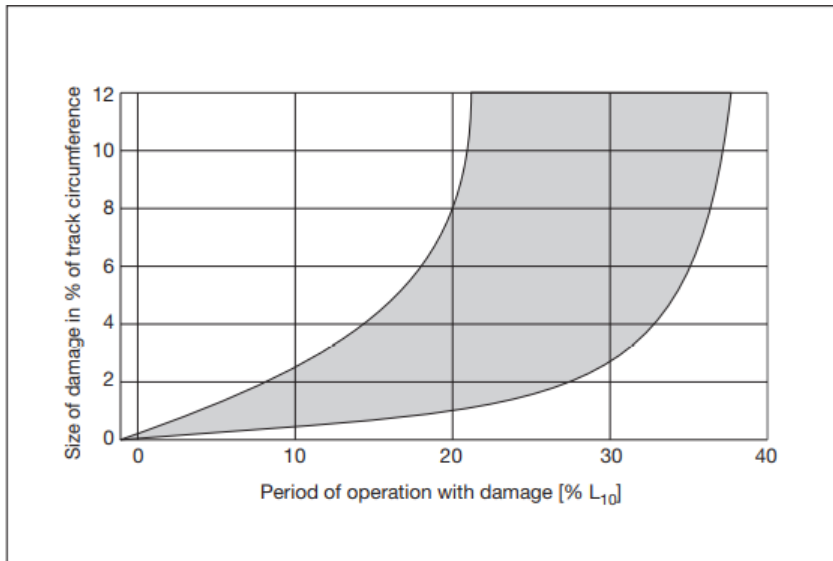
Po zjištění poškození ložiska vyvstává otázka, zda je nutné ložisko okamžitě vyměnit nebo zda je možné jej nechat v provozu až do dalšího plánovaného zastavení stroje. Před jakýmkoli rozhodnutím musí být zváženo několik podmínek. Pokud je například důvodem podezření na poškození ložiska snížená přesnost obrábění obráběcího stroje, závisí naléhavost výměny ložisek především na tom, jak dlouho mohou být součásti nadále vyráběny, aniž by došlo ke zhoršení kvality. Ložiska, která se náhle zablokují vysokou rychlostí v důsledku horkého chodu způsobeného přerušením dodávky maziva nerozpoznaným, musí být samozřejmě okamžitě vyměněna.

## Neobvyklé provozní chování, které naznačuje poškození

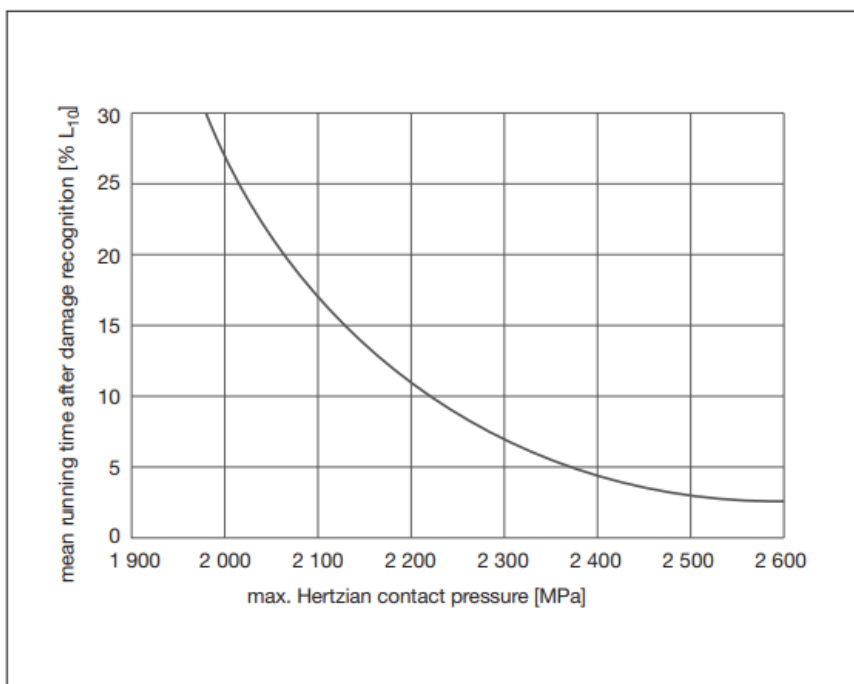
### Naléhavost výměny ložisek

- Při mírném zatížení dochází k poškození velmi pomalu obvykle není nutné vyměňovat ložisko před dalším plánovaným zastavením.
  - S rostoucí zátěží roste poškození mnohem rychleji.
  - Poškození se nejprve vyvíjí pomalu, ale jak se zvětšuje, šíří se rychleji.
- Obrázky 8 (strana 7), 9 a 10 ilustrují tato zjištění.

**9:** Velikost poškození na základě doby běhu po rozpoznání poškození (když je vloupáno přibližně 0,1% obvodu dráhy)



**10:** Průměrná zbývající doba chodu kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem po rozpoznání únavového poškození na základě stavu napětí, dokud není poškozena 1/10 obvodu dráhy. Provozní stav před prvními známkami únavového poškození: Maximální čistota mazací mezery EHD.



## Zajištění poškozených ložisek

Stanovení provozních údajů · Extrakce a vyhodnocení vzorků maziv

### 2 Zajištění poškozených ložisek

Je-li ložisko odstraněno ze stroje z důvodu poškození, musí být objasněna jeho příčina a prostředky, jak zabránit budoucímu selhání. Pro co nejspolehlivější možné výsledky je praktické při zajišťování a kontrole ložiska postupovat systematicky. Mimochodem, při kontrole ložisek demontovaných během preventivní údržby je třeba vzít v úvahu několik níže uvedených bodů.

Doporučená posloupnost opatření:

- Určete provozní data, vyhodnoťte záznamy a tabulky z monitorovacích zařízení ložisek
- Extrahujte vzorky maziva
- Zkontrolujte vnější vliv ložiska a další poškození
- Posouzení ložiska v namontovaném stavu
- Označte montážní polohu
- Demontujte ložisko
- Označte ložiska a součásti
- Zkontrolujte sedla ložisek
- Posouzení úplného uložení
- Prohlídka jednotlivých ložiskových částí nebo odeslání do FAG

Pokud zvolený postup není vhodný, mohou být navždy ztraceny důležité faktory potřebné pro zjištění příčiny poškození. Poruchy vzniklé při zajištění poškozeného ložiska mohou také maskovat poškození nebo alespoň znesnadnit správné vysvětlení poškození.

#### 2.1 Stanovení provozních dat

Při kontrole poškození valivých ložisek se zkoumá nejen samotné ložisko, ale předem se kontrolují také podmínky prostředí a aplikace (s výkresem sestavy, je-li to možné).

- Příklad aplikace:

stroj (zařízení), místo uložení, životnost, kolik podobných strojů a kolik poruch v těchto strojích

- Ložisková konstrukce:

polohovací ložisko, plovoucí ložisko plovoucí ložiskové uspořádání

nastavitelná ložiska (volná, tuhá; s rozpěrkami, přes montážní podložky)

- Rychlost:

konstantní, měnící se (vnitřní a vnější kroužek) zrychlení, zpomalení nebo zpomalení

- Zatížení:

axiální, radiální, kombinovaná, konstanta naklápěcího momentu, měnící se (kolektivní) oscilace (zrychlení, amplituda kmitání) zatížení odstředivé síly, obvodové zatížení (který kruh se otáčí?)

- Pářící části:

upevňovací části sedla hřídele, sedačky (fitinky) (např. typ pojistné matice, pružné šrouby atd.)

- Ekologické předpoklady:

vnější teplo, chlazení speciálních médií (např. kyslík, vakuum,

záření) vibrace v klidovém prachu, nečistotách, vlhkosti, elektrických nebo magnetických polích korozivních látek

- Mazání:

mazivo, množství maziva množství dodaného mazacího intervalu datum posledního mazacího intervalu / poslední výměny oleje

- Těsnění

kontakt, nekontaktní

- Historie poškození ložiska:

první změna uložení nebo výměny ložiska v místě uložení / stroji v minulé četnosti poruch doposud vypočtené životnosti L10

životnost normálně dosažitelných zvláštností během provozu

období doposud opravy na jiných částech stroje (konstrukční opatření, svařování) potíže se strojem kvůli jiným prvkům stroje (např. poškození těsnění, ztráta oleje) vzdálenost a dopravní prostředky stroje nebo obaly ložisek

- Vyhodnocovat záznamy a grafy z monitorovacích zařízení ložisek, pokud jsou k dispozici

## 2.2 Extrakce a vyhodnocení vzorků maziva

Maziva mohou odhalit různé náznaky příčin poškození valivých ložisek. Vhodné zkušební vzorky jsou nutností (pouze u otevřených ložisek), viz DIN 51750, ASTM Standard D270-65 a 4057-81.

- Vazelínové mazání:

- Dokumentace distribuce maziva a barvy v prostředí ložiska
- Extrakce vzorků z různých míst v ložisku a prostředí ložiska s odpovídajícím značením

- Mazání olejem:

- Odstraňte vzorky z proudu oleje v blízkosti ložiska nebo ze středu zásobní nádoby
- Extrahujte vzorky během provozu stroje nebo přímo po něm, abyste získali typickou distribuci cizích látek
- Neodstraňujte vzorky ze dna ani přímo za filtry (nesprávná koncentrace částic)

• Nezávisle na vzorcích oleje by měly být zachovány i zbytky filtru pro kontrolu (označení historie před poškozením)

- Všeobecné

- Jak často bylo ložisko domazáváno nebo došlo k výměně oleje? Kdy bylo naposledy provedeno?
- Zkontrolujte, zda olej nebo mastnota není poškozená na ložisku nebo jiných součástech
- Pro vzorky používejte čisté nádoby. Měly by být vyrobeny z vhodného materiálu (například ze skla)
- V nádobě by měl být dostatečný prostor pro míchání vzorku oleje v laboratoři
- Analýza vzorků může probíhat u zákazníka, v externí mazací laboratoři nebo ve FAG. Zajímavá místa jsou obecně stupeň kontaminace a její typ (písek, ocel, měkké části, voda, chladicí kapalina), jakož i analýza mazivosti (např. Stárnutí, konsolidace, barva, koksování, podíl přísad). Pokud je to možné, měl by se předat vzorek čerstvého tuku nebo oleje a také se nechat zafixovat (v případě neznámých maziv, účinků tepla).

## 2.3 Kontrola prostředí ložiska

- Mohly by se okolní části kdekoli spásat proti nosným dílům?

- Jsou nějaké další části v blízkosti ložiska poškozené (následné nebo primární poškození)?

- Čistota uvnitř a vně těsnění (jakákoli cizí látka v ložiskovém prostoru?)

- Uvolňovací síla upevňovacích dílů ložiska (bylo ložisko nuceno deformovat? Jsou šrouby uvolněné?)

## 2.4 Posouzení ložiska v namontovaném stavu

- Existují nějaké prasklé nebo štěpené oblasti?

- Jsou těsnění poškozená, zejména zdeformovaná nebo tvrzená?

- Je ložisko deformováno ve viditelných oblastech?

- Lze detekovat škrábance cizími látkami?

- Běží ložisko snadno nebo pevně v namontovaném stavu? (fit efekt)

## 2.5 Demontáž poškozeného ložiska

Při demontáži poškozeného ložiska je třeba věnovat velkou pozornost tomu, aby nedošlo ke zkreslení vzoru poškození. Pokud to není možné, musí být při demontáži způsobeno poškození a zaznamenáno. Pokud je to možné, je třeba dodržovat následující postup:

- Demontujte demontážní sílu prostřednictvím valivých prvků

- Vysoká demontážní síla může být známkou narušení funkce plovoucího ložiska

- Neotevírejte těsněná ložiska

- Při přílišném zahřívání nezničujte ani nepoškozujte části citlivé na teplo (mazivo, těsnění, klec)

- Označení ložiska (místo montáže, směr montáže)

## 2.6 Kontrola sedadla

- rozměry hřídele a pouzdra (škodlivé předpětí, příliš uvolněná sedadla)

- Tolerance tvaru sedadel (oválná deformace)

- drsnost sedadel (nadměrná ztráta materiálu)

- Koroze pražců (různé stupně označují nerovnoměrnou podporu, směr zatížení)

## 2.7 Posouzení úplného uložení

Ložiska by měla být vždy předána k posouzení nevyčištěná, tj. Se zbytky maziva.

Je třeba zkontrolovat následující:

- Obecný stav (čistota ložiska a stav povrchů kování, tj. Stopy montáže, koroze pražců, lomové kroužky, rozměrová přesnost, značky zabavení, změna barvy)

- Stav těsnění a protiprachových štítů. Fotografie nebo popis místa a rozsahu úniku mastnoty.

- Stav klece
- Ruční rotační zkouška (indikace kontaminace, poškození nebo předběžného zatížení)
- Změřte vůli ložiska (přemístitelnost kroužků v radiálním i axiálním směru), přičemž ložiska jsou zatížena rovnoměrně a otáčejí!

### 2.8 Odeslání na FAG nebo posouzení jednotlivých částí ložiska

Příčiny selhání jsou v zásadě možné odhalit sami zákazníci nebo zaměstnanec FAG na místě. To, zda jsou požadována specifitější vyšetření, závisí na odlišnosti každého poškození. Postup kontroly jednotlivých ložiskových částí je podrobně popsán níže.

Pokud je zcela zřejmé, že má být provedena prohlídka na FAG, měly by být díly připraveny k odeslání následovně:

- ložisko nerozebírejte ani nevyčistěte. V žádném případě by neměly být pro oplachování používány prostředky na čištění za studena nebo benzín (jinak by stopy po mazání zmizely, korodovaly).
- Po demontáži se vyhněte kontaminaci. Pokud je to možné, ložiska zabalte do čisté fólie, protože papír a hadříky odstraňují olej z tuku.
- Vyberte dostatečně silné a silné obaly, aby nedošlo k poškození během přepravy.

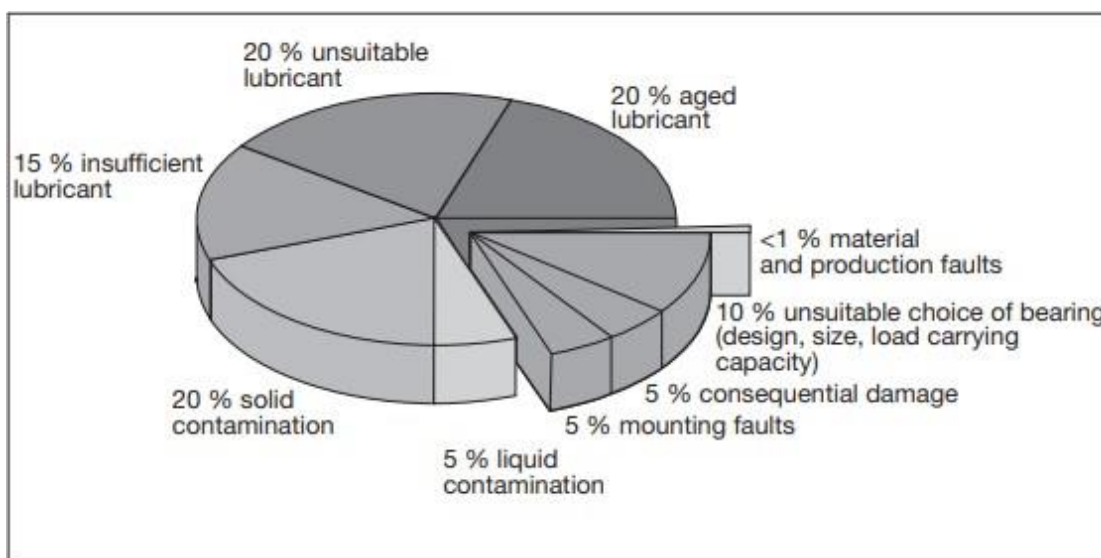
## 3 Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Poškození ložiska nemusí vždy znamenat úplné selhání valivého ložiska, ale také znamená snížení účinnosti uspořádání ložiska. V této souvislosti je třeba mít na paměti, že čím dříve je konkrétní ložisko demontováno, tím dříve může být zdroj problémů detekován.

Uspořádání ložisek může hladce fungovat, pouze pokud jsou provozní a okolní podmínky a součásti uspořádání (ložiska, protilehlé části, mazání, těsnění) správně koordinovány. Příčinou poškození ložiska není vždy pouze ložisko. Poškození způsobené poruchami ložiskového materiálu a výroby je velmi vzácné. Před inspekcí poškození ložisek pomocí jednotlivých částí je třeba prostudovat možné zdroje poškození na základě skutečností zjištěných podle bodu 2. Provozní podmínky nebo vnější vlastnosti ložiska často ukazují na příčinu poškození. Tabulka na obr. 12 znázorňuje hlavní znaky poškození valivých ložisek s jejich typickými příčinami.

Toto shrnutí nemůže vzít v úvahu všechny typy poškození, ale pouze poskytnout hrubý obrys. Rovněž je třeba mít na paměti, že u některých typů ložisek nebo za zvláštních aplikačních podmínek se vyskytuje celá řada poškození pouze nebo téměř pouze. V mnoha případech může jedno ložisko odhalit několik funkcí poškození současně. Poté je často obtížné určit primární příčinu selhání a jedinou odpověď je systematické objasnění hypotézy o různých poškozeních. V takových případech se doporučuje níže popsaný systematický postup.

11: Příčiny selhání valivých ložisek (Zdroj: antriebstechnik 18 (1979) č. 3, 71-74). Pouze asi 0,35% všech valivých ložisek nedosahuje očekávané životnosti.



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

### 12: Příznaky poškození valivých ložisek a jejich příčiny

Symptom	Damaged area of bearing					Typical causes of rolling bearing damage					
	Seats	Rolling contact areas	Lip and roller face areas	Cage	Sealing	Mounting					
						Incorrect mounting procedure or tools	Dirt	Fit too tight, too much preload	Fit too loose, too little preload	Poor support of rings	Misalignment or shaft deflection
<b>a) Unusual running behaviour</b>											
Uneven running						■	■		■		
Unusual noise						■	■	■	■	■	■
Disturbed temperature behaviour								■			■
<b>b) Appearance of dis-mounted bearing parts</b>											
1 Foreign particle indentations		■					■				
2 Fatigue		■				■	■	■		■	■
3 Stationary vibration marks		■									
4 Molten dents and flutes		■									
5 Skidding		■							■		
6 Rolling element indentations, scuffing		■	■			■					
7 Seizing marks		■	■	■							
8 Wear		■	■	■	■		■				
9 Corrosion		■	■	■	■						
10 Overheating damage	■	■	■	■	■			■			
11 Fractures	■	■	■	■		■		■		■	
12 Fretting corrosion (false brinelling)	■								■	■	



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Opatření, která mají být přijata

### 3.1 Opatření, která mají být přijata

#### 3.1.1 Označení samostatných částí

- Pokud existuje několik ložisek ze stejného typu ložiskového čísla, všechny ložiskové díly a zaznamenejte si jejich umístění na místě.
- Označte boční uspořádání ložiskových částí navzájem a v jejich montážní poloze.
- Označte radiální montážní směr kroužků s ohledem na vnější síly.

#### 3.1.2 Měření prováděná s kompletním ložiskem

- Kontrola hluku
- Kontrola radiální / axiální vůle
- Kontrola radiální / axiální házení
- Kontrola třecího momentu

#### 3.1.3 Demontáž ložiska na samostatné části

- Určete množství maziva, pokud mazivo uniklo z utěsněných ložisek.
- Odstraňte protiprachové štíty a těsnění pečlivě z těsněných ložisek, abyste předešli deformacím, jak je to jen možné.
- Posoudit rozložení tuku v ložisku.
- Odebrat vzorek mastnoty; pokud existuje nepravidelný vzorec maziva, odeberte několik vzorků.
- Pokud demontáž nemůže být nedestruktivní, měly by být zničeny ty části, u nichž se předpokládá, že nemají žádný vliv na příčinu poškození (např. Uřízněte nebo vypněte přídržný okraj na malém průměru kužele válečkového ložiska).
- Pokud by při demontáži bylo poškození nevyhnutelné, mělo by se to označit a vzít na vědomí.

#### 3.1.4 Posouzení ložiskových částí

Dobrý pohled na hlavní funkce chodu a montáže je proveden jako první bez použití jakýchkoli zařízení.

Pro většinu ložisek se doporučuje mikroskopická kontrola částí ložiska.

Obvykle je vhodný následující postup pro posouzení ložiskových částí:

Posouzení:

- Sedadla (axiální protilehlé plochy, vnitřní vrtaný otvor, vnější průměr vnějšího kroužku)
- Dostihové dráhy
- Rty
- Těsnicí plocha sedadla / kontaktní plocha
- Válcovací prvky (vnější průměr a plocha v případě válečků)
- Klece
- Těsnění

K objasnění příčiny poškození mohou být rovněž vyžadovány další kontroly.

Patří sem analýzy maziv, měření, elektronové mikroskopické testy atd. V laboratořích FAG pro výzkum a vývoj výrobků najdete kompetentní zaměstnance připraveni vám pomoci (viz oddíl 4).

Často se musí rozhodnout, zda lze ložisko použít znovu nebo zda musí být vyměněno. Není pochyb o tom, jak postupovat, když je škoda zcela zřejmá. Takové poškození je však málokdy. Posouzení ložiska nicméně často poskytuje indikaci provozního stavu. Při zjištění neobvyklých příznaků a jejich příčin je často možné zabránit rozsáhlému poškození.

Následující oddíly obsahují popisy příznaků, rady ohledně jejich významu a příčiny a případně preventivní opatření.



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

### Stav sedadel

#### 3.2 Stav sedadel

Ze stavu sedadel lze vyvodit různé závěry o nosné kvalitě ložiskových kroužků na hřídeli a v pouzdru. Pohyb kroužků proti sedadlům způsobuje hluk, který je často rušivý. Vedou také k tření koroze a opotřebení, což zase vede ke kontaminaci maziva korozivními a abrazivními částicemi. Kromě toho se prstencová opěra stále zhoršuje a koroze třením může znesnadnit demontáž. Níže je uvedeno několik příkladů.

- Používejte rozměrově stabilní kroužky pro vysoké provozní teploty (zabraňuje uvolnění v důsledku roztažení kroužků v důsledku změn v ocelové konstrukci)
- Zlepšit kruhovitost sedadel
- Zkontrolujte a v případě potřeby zvyšte kvalitu povrchu sedadel

#### 3.2.1 Dráždivá koroze

##### Příznaky:

Hnědo-černé skvrny na sedadlech, příležitostně s hnědou obroušenou hmotou poblíž ložiska nebo také v mazivu. Opotřebení na montážních plochách (otvor, vnější průměr), v případě rotujících částí (obvykle hřídele) možné únavové lomy, v případě stacionárních částí (obvykle pouzdra) možné porušení funkce plovoucího ložiska, obr. 13. S takovými obavami mohou být často učiněny závěry o poloze a velikosti nákladové zóny, Obr. 14 a dotvarování prstenců.

##### Příčiny:

- Mikromotorika mezi namontovanými částmi, kde je uložení příliš volné vzhledem k působícím silám, ale nedochází k dotvarování prstenců
- Forma narušení montážních ploch
- Průhyb hřídele, deformace tělesa
- Funkce plovoucího ložiska na kroužku s obvodovým zatížením

##### Nápravná opatření:

- Zajistěte funkci plovoucího ložiska na kroužku s bodovým zatížením
- Používejte co možná nejpevnější ložisková sedadla
- Zajistěte, aby hřídel (skříň) byla pevnější vůči ohybu
- Potahová sedadla

13: Tření koroze ve vrtání vnitřního kroužku válečkového ložiska s příliš volným sedadlem



14: Koroze tření odhaluje velikost oblastí zatížení na stacionárním vnějším kroužku



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Stav sedadel

### 3.2.2 Zachycení značek nebo kluzného opotřebení

Příznaky:

Svařování za studena na montážních plochách (vnitřní otvor kroužku, vnější průměr vnějšího kroužku) a axiální styčné plochy nebo také lesklé kontaktní oblasti, kde je drsnost povrchu dobrá, obr. 15, 16. Opotřebení montážního povrchu a obličejce, obr. 17, možná snížení rozšíření předpětí nebo vůle.

Příčiny:

- rotační pohyb mezi kroužkem a hřídelí / skříní s volnými uloženými při obvodovém zatížení; se statickým zatížením a nevyvážeností také
- Axiální podpora kroužků nedostatečná
- Nepatrný pohyb plovoucího ložiska

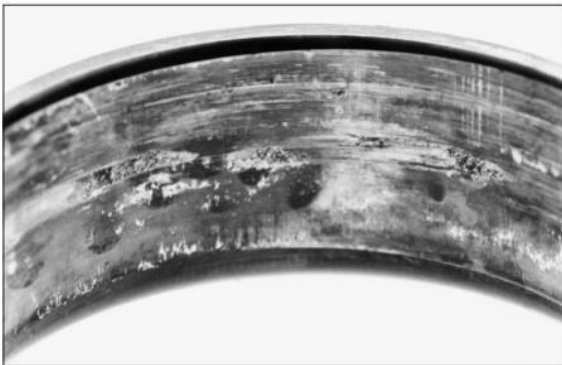
Nápravná opatření:

- Používejte co možná nejpevnější ložisková sedadla
- Prodlužte axiální dosedací plochy
- Bezpečná axiální podpora
- Udržujte povrchy v suchu
- Vylepšete funkci plovoucího ložiska

15: Uchopení značek na vnějším průměru v důsledku plížení vnějšího kroužku v pouzdru



16: Uchopení značek ve vnitřním otvoru kroužku v důsledku plížení vnitřního kroužku na hřídeli



17: Obvodové rýhování a svařování za studena na vnitřních plochách kroužků v důsledku plížení vnitřních kroužků na hřídeli



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Stav sedadel

### 3.2.3 Nerovnoměrná podpora ložiskových kroužků

Příznaky:

Sedací značky ne v oblasti očekávané oblasti zatížení.

Obráběcí struktura kování povrchů opotřebovaných v některých oblastech a zcela nedotčených v jiných oblastech, figy. 18, 19. Pozdější poškození únavou a lomy způsobené nerovnoměrným rozložením zatížení a ohýbáním kroužků. Zlomeniny rtů jsou důsledkem příliš malé podpory kuželkových ložisek, obr. 20, a jevem tuhnutí z kontaktních povrchů, které jsou příliš malé.

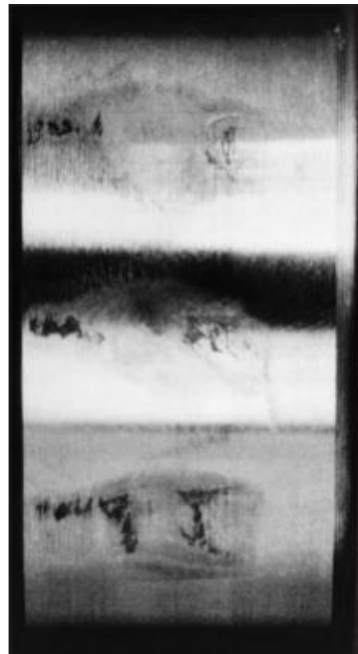
Příčiny:

- Nevhodný design
- Nesprávné obrábění

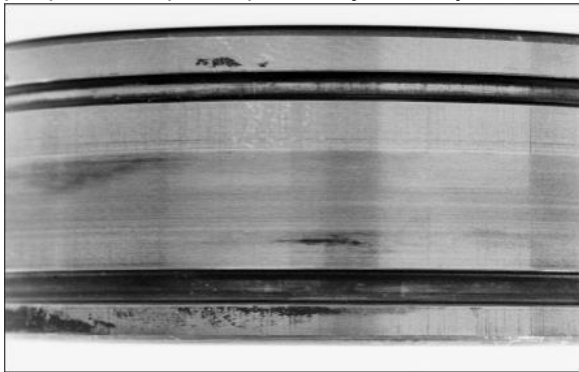
Nápravná opatření:

- Konstrukčně vyměňovat protilehlé části s ohledem na rovnoměrnou tuhost pláště; v případě potřeby použijte jiná ložiska
- Zkontrolujte výrobu protilehlých dílů

18: Vnější průměr vnějšího kroužku, který způsobuje korozi v „tvrdých bodech“ (např. Žebra) v pouzdru



19: Vnější průměr vnějšího kroužku, podporovaná pouze polovina jeho šířky



20: Zlomenina rtu zužujícího se kužele válečkového ložiska v důsledku nedostatečné axiální podpory obličeje



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Stav sedadel

### 3.2.4 Boční pastviny

Příznaky:

Obvodové škrábance / opotřebení na stranách ložiskových kroužků nebo těsnění, obr. 21, 22.

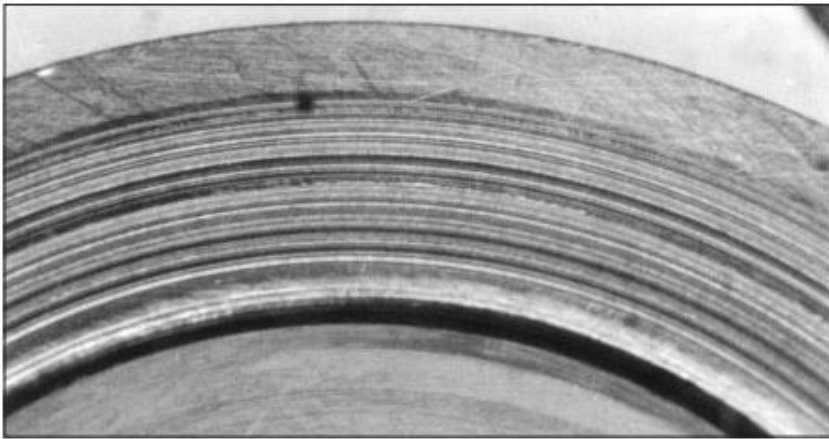
Příčiny:

- Nedostatečné upevnění ložisek v krytu nebo na hřídeli
- Velké množství vnější kontaminace s úzkou mezerou mezi ložiskovou a protikusovou částí
- Uvolněné spojovací části
- Axiální vůle je příliš velká

Nápravná opatření:

- Správně seřídte díly
- Zajistěte čistotu maziva
- Zkontrolujte axiální vůli a možná ji přiblížte

21: Obvodové rýhování a svařování za studena na čelních plochách způsobené pastvou protilehlou částí



22: Poškození těsněním způsobené bočním pasením



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

### 3.3 Vzor valivého kontaktu

#### 3.3.1 Zdroj a význam skladeb

Bez ohledu na výskyt poškození se na každém ložisku, které bylo v provozu, vyskytují změny v kontaktních plochách mezi kroužky a valivými prvky zvané kolejnice. Tyto stopy vznikají zdrsněním nebo vyhlazením původně vyrobené povrchové struktury. Vyznačují se také prohlubněmi vytvořenými cyklickými cizími částicemi, které jsou často mikroskopicky malé. Z kolejí lze tedy vyvodit závěry o kvalitě mazání, čistotě maziva a směru zatížení, jakož i o jeho rozdělení v ložisku.

##### 3.3.1.1 Normální skladby

Při rotačním pohybu a zatěžování zanechávají válečkové prvky stopy na oběžných drahách, které mají jasný vzhled, když se mazací film dobře odděluje. Jednotlivá struktura stop je však do značné míry závislá na osvětlení povrchu, ale mělo by být možné rozpoznat téměř celou strukturu obrábění, zejména při práci se zvětšovací sklem a mikroskopem (porovnání s nekontaktními oblastmi na okraji závodní dráha!). Jednotlivé zářezy malých cizích částic jsou nevyhnutelné. Pokud je mazání obzvláště dobré, je to jediná indikace polohy oblastí zatížení v ložisku, obr. 23.

Pokud jsou teploty nad přibližně 80 ° C, je častým znakem zbarvení oběžných drah nebo valivých prvků. Vychází z chemických reakcí oceli s lubrikantem nebo jeho přísadami a nemá žádný negativní vliv na životnost ložiska. Právě naopak: Tyto povrchové vlastnosti často označují účinnou ochranu aditiva proti opotřebení.

Výsledkem jsou obvykle hnědé nebo modré barvy. Z barvy však nelze vyvodit žádné zřejmé závěry o provozní teplotě, která vedla k jejímu vzniku. Na valivých prvcích ložiska byly občas pozorovány velmi odlišné odstíny barvy, i když provozní podmínky jsou velmi podobné.

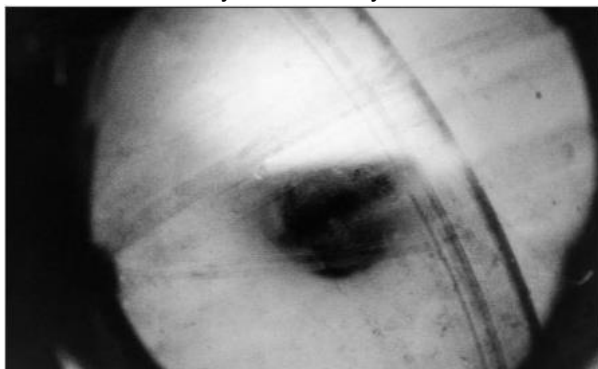
Toto zbarvení oleje by nemělo být v žádném případě zaměňováno s temperovacími barvami, které se ve vzácných případech vyskytují na vadných ložiscích a které vznikají v důsledku mnohem vyšších teplot, viz oddíl 3.3.5.

Na koulích se někdy nacházejí i stopy ve formě rovníkových linií. Objevují se na kuličkových ložiscích s kosoúhlým stykem, když kuličky mají vždy stejnou rotační osu. Žádné významné zkrácení života z nich nevyplývá, obr. 24.

23: Normální stopa, povrchová struktura je stále viditelná, jen malé odsazení cizími částicemi



24: Míč s rovníkovými obvodovými liniemi



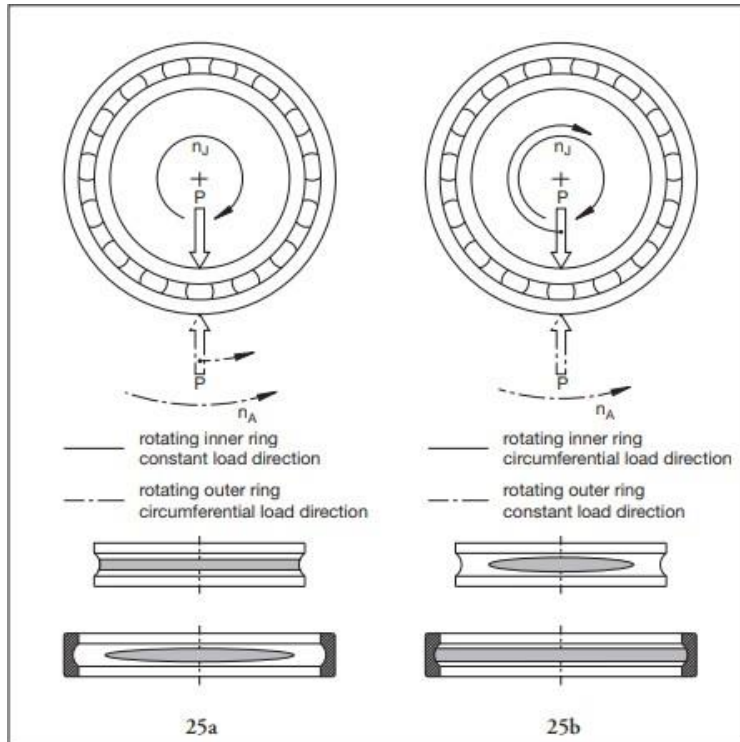
## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

25: Radiální zatížení radiálního ložiska, např. kuličkové ložisko s hlubokou drážkou. Při bodovém zatížení a s dostatečně tuhým krytem je dráha na stacionárním kroužku kratší než polovina obvodu oběžného kola, pokud nedochází k radiálnímu předpětí. Při obvodovém zatížení se trať rozprostírá po celém obvodu oběžné dráhy.

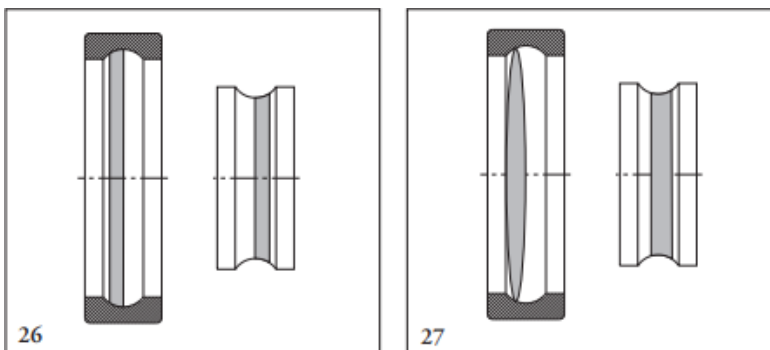
a: Bodové zatížení vnějšího kroužku, obvodové zatížení vnitřního kroužku

b: Bodové zatížení pro vnitřní kroužek, obvodové zatížení pro vnější kroužek



26: Axiální zatížení radiálního ložiska, např. kuličkové ložisko s hlubokou drážkou. Na vnitřním a vnějším kroužku se stopy rozprostírají mimo střed po celém obvodu dráhy.

27: Kombinované radiální osové zatížení kuličkového ložiska s hlubokou drážkou. V případě vnitřního prstence (obvodové zatížení) je po celém obvodu oběžných drah konstantní široká kolej. Dráha na vnějším kroužku (bodové zatížení) je širší v zóně radiálního zatížení než na zbytku obvodu.



Uspořádání kolejí je založeno na směru vnějšího zatížení a na podmínkách cyklování (bodové zatížení nebo obvodové zatížení, axiální zatížení, kombinované zatížení), obr. 25 až 27. „Targetactual“ srovnání by také odhalilo důležité informace o neočekávaných podmínkách zatížení, např. narušená funkce plovoucího ložiska. Pouze u radiálního zatížení závisí vznik kolejí v obvodovém směru na stacionárním kroužku hlavně na velikosti zatížení, velikosti vůle ložiska a tuhosti protilehlých částí. Čím větší je zatížení a menší vůle a měkčí kryt, tím delší je nákladová zóna a tím také kolejí.

## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

### 3.3.1.2 Neobvyklé skladby

To, zda jsou skladby považovány za normální nebo neobvyklé, do značné míry závisí na případě aplikace. Ložiska mohou mít například naprosto normální dráhy, které jsou známkou převážně radiálního zatížení. Pokud by však ložiska fungovala pod axiálním předpětím, znamenalo by to stopy nesprávné montáže ložiska. Proto by měly být známy podmínky aplikace, aby bylo možné správně posoudit stopy. Některé základní příznaky však lze vždy posoudit pomocí stop.

- Skladby v případě nedostatečného mazání

Příznaky:

Vizuální struktura stop a povrch pozorovaný mikroskopem, tj. Drsnost, umožňuje vyvodit závěry o kvalitě mazání. Tmavé zdrsňené stopy vznikají z neoddělovacího mazacího filmu při mírném zatížení.

Čím tenčí mazací film, tím větší je vliv na povrch. V tomto případě odkazujeme na špatnou separaci povrchu, obr. 28. Je-li měrné zatížení v kontaktních oblastech vysoké, jsou stopy světlé, tlakově leštěné a často lesklé a jsou jasným kontrastem k nezasypané části oběžných drah, obr. 29.

Příčiny:

- V ložisku není k dispozici dostatečné množství maziva
- Viskozita maziva není dostatečná pro provozní teplotu a rychlost (viz katalog "FAG Valivá ložiska", upravený výpočet životnosti)

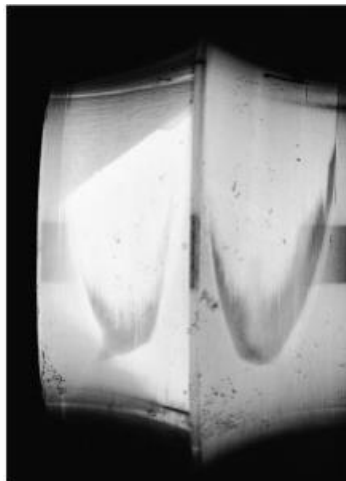
Nápravná opatření:

- Zlepšete přívod maziva
- Přizpůsobte viskozitu maziva provozním podmínkám
- Používejte mazivo se schválenými přísadami
- Používejte ložiskové díly s povrchovým nátěrem

28: Kolej s opotřebením povrchu



29: Tlakově leštěná dráha



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

- Skladby v případě kontaminace ložiskem nebo mazivem  
Nejprve musíme rozlišovat mezi pevnou a kapalnou kontaminací.

Příznaky s pevnou kontaminací:

Odsazení jsou výsledkem toho, že se na oběžné dráze cyklují cizí částice. Mikroskopická kontrola drážek umožňuje pomocí vrubů rozlišit mezi částicemi vyrobenými z měkkého materiálu, kalené oceli a tvrdých minerálů, fíků. 30, 31, 32. Cizí částice, které jsou zvláště velké a tvrdé, představují nebezpečí pro život. Více informací najdete v popisu poškození únavou, viz také „Únava způsobená cyklováním cizích částic“ v kapitole 3.3.2.1. Velké množství malých tvrdých cizích částic vede ke zdrsnění, jak je znázorněno na Obr. 28 a urychluje abrazivní opotřebení.

Příznaky s kapalnou kontaminací:

Voda je jednou z hlavních kapalných kontaminantů. Mazivo může být absorbováno v malém množství. Zhoršuje však účinek mazání a často vede ke stopám, jako jsou stopy znázorněné na obr. 29. Když se v ložiskových ložiscích vyskytuje velké množství vlhkosti, vznikají matné stopy. Tlakově leštěné tratě s poškozením únavou jsou způsobeny také korozí nebo vysokým zatížením, viz "Únava v důsledku špatného mazání" v kapitole 3.3.2.1.

Příčiny:

- Nedostatečné utěsnění
- Montážní podmínky nejsou čisté
- zbytky produkce, např. slévárenský písek
- teplotní rozdíly (kondenzace vody)
- Špinavý olej

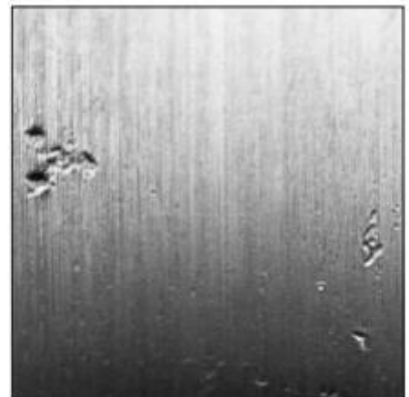
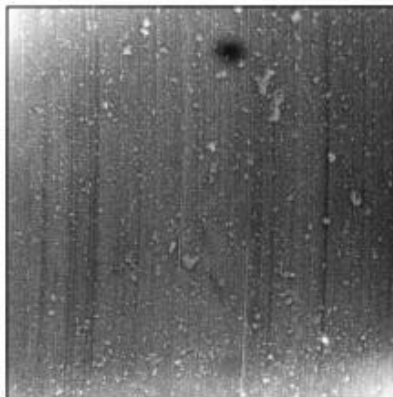
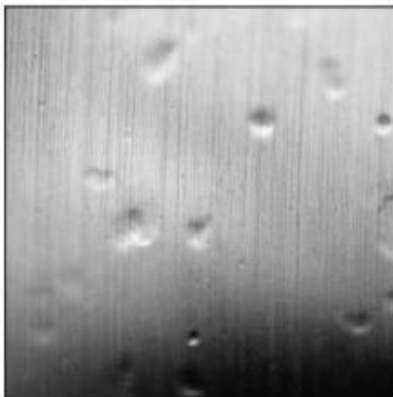
Nápravná opatření:

- Zlepšit konstrukční těsnění
- Vyčistěte upevnění a dobře omyté spojovací díly, v případě potřeby natřete
- Před uvedením do provozu vypláchněte celý olejový systém (před prvním otáčením ložiska!)

30: Odsazení měkkých cizích částic

31: Odsazení cizích částic z tvrzené oceli

32: Odsazení tvrdých minerálních cizích částic





## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

- Skladby se škodlivým radiálním předpětím

Příznaky:

Obvodové stopy se objevují na obou prstencích v případě škodlivého radiálního předpětí, obr. 33. V extrémních případech může dojít k poškození za běhu, oddíl 3.3.5.

Příčiny:

- Nasadíte rušení na hřídel / skříň příliš velké
- Příliš velký teplotní rozdíl mezi vnitřním a vnějším kroužkem
- Světlá výška ložiska je příliš malá

- Stopy s oválnou deformací

Příznaky:

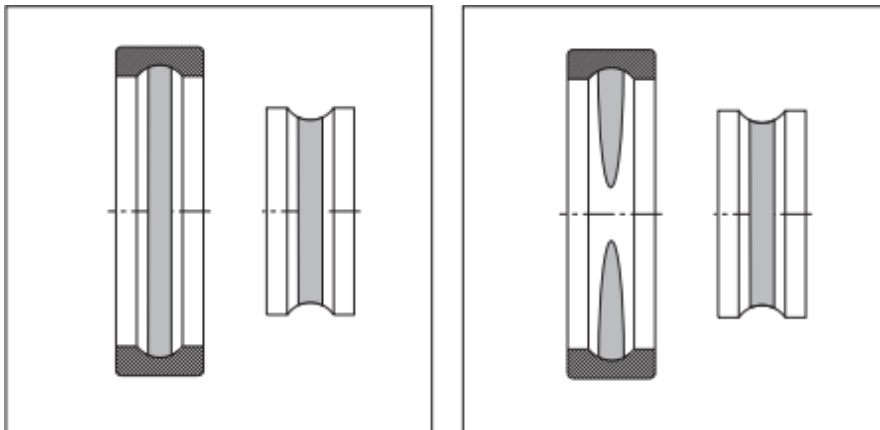
Na obvodu stacionárního prstence se tvoří několik samostatných oblastí kolejí, obr. 34.

Příčiny:

- oválný kryt nebo hřídel, např. v důsledku rozdílné tuhosti po celém obvodu během obrábění nebo v důsledku děrovaných otvorů v blízkosti ložiskových sedel
- Různá tuhost tělesa v obvodovém směru s vysokou interferencí vnějšího kroužku
- Uložení tenkostěnných ložisek ve svislé poloze

33: Hluboké drážkové kuličkové ložisko pod škodlivým radiálním předpětím. Dráhy se rozprostírají po celém obvodu, dokonce i na bodově zatíženém kruhu.

34: Oválná deformace kuličkového ložiska s hlubokou drážkou. Dvě protilehlé zóny radiálního zatížení vytvořené v oběžné dráze oválně deformovaného vnějšího prstence (bodové zatížení).



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

- Skladby se škodlivým axiálním předpětím

Příznaky:

Rozlišovací stopy mohou mít pouze polohovací ložisko polohovacího plovoucího uspořádání, jak je znázorněno na obr. 35b, protože vznikají při axiálním zatížení (obr. 26). Na plovoucím ložisku by měl být nanajvýš detekován mírný podíl axiálního zatížení (pokud možno vůbec žádný).

Příčiny:

- Porucha funkce plovoucího ložiska (nesprávné uložení, radiální působící tepelná roztažnost, naklápění, koroze pražce)
- Neočekávaně vysoká tepelná expanze v axiálním směru

Nápravná opatření:

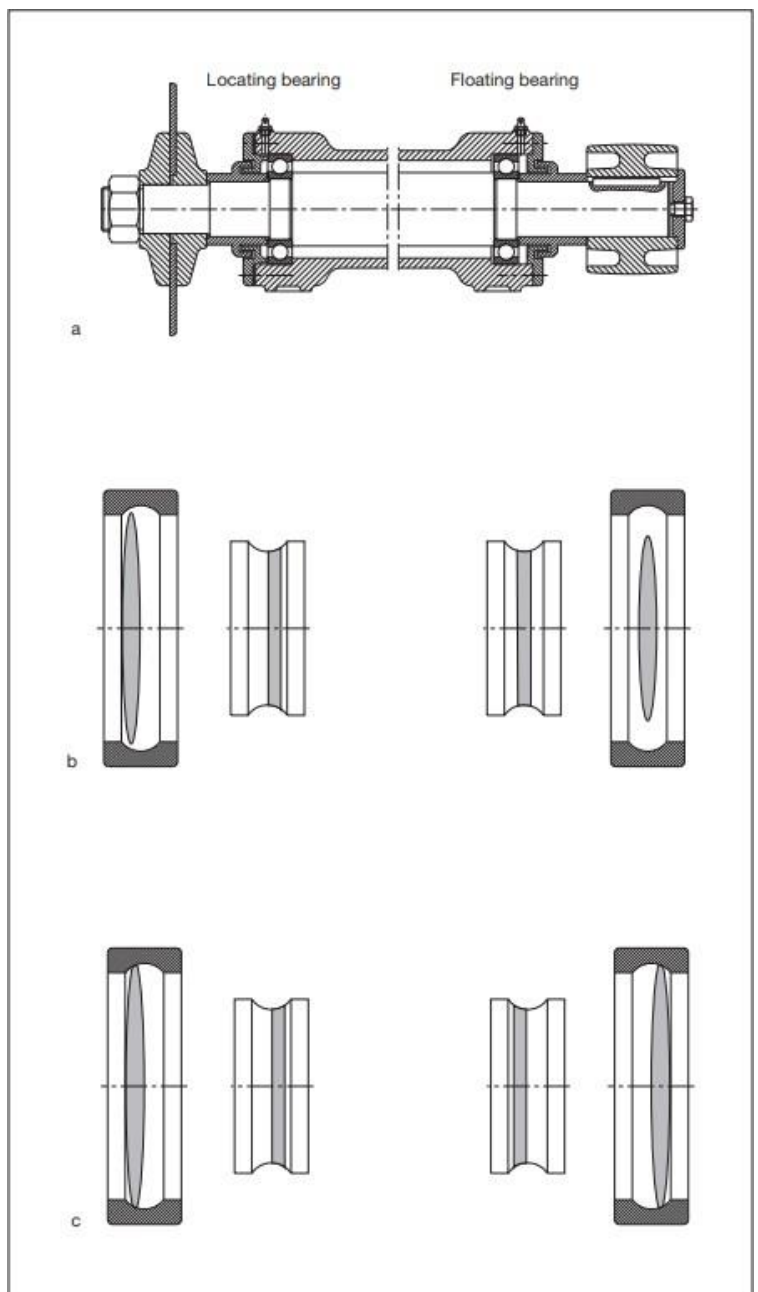
- Zkontrolujte správnost a přesnost tvarů odpovídajících částí
- Změnit montážní a provozní podmínky
- Používejte ložisko s axiální posuvností: válečkové ložisko N, NU, NJ

35: Uspořádání plovoucího ložiska se dvěma kuličkovými ložisky s hlubokou drážkou.

a: Hluboké drážkové kuličkové ložisko na pracovním konci je vytvořeno jako polohovací ložisko, ložisko na hnacím konci jako plovoucí ložisko.

b: Stopy ložisek v provozuschopném stavu. Polohovací ložisko ukazuje vlastnosti ložiska při kombinovaném zatížení, plovoucí ložisko vlastnosti ložiska při převážně / čistě radiálním zatížení.

c: Stopy na ložiscích pod škodlivým axiálním předpětím (vnější kroužek plovoucího ložiska se nepohybuje). Každé ložisko ukazuje vlastnosti kombinovaného zatížení. Škodlivé axiální předpětí je zřejmé ze symetrických drah obou ložisek.



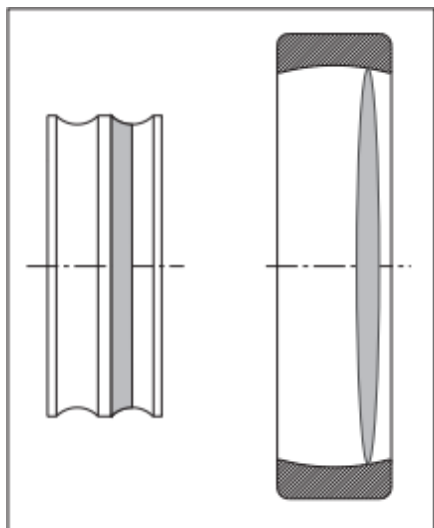
## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

36: Odlupování v jedné ze stop na vnějším kroužku samonosného kuličkového ložiska způsobené škodlivým axiálním předpětím



37: Vývoj tratí v případě naklápěcího kuličkového ložiska s rotujícím vnitřním kroužkem při škodlivém axiálním předpětí a radiálním zatížení



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

### • Stopy s vychýlení

Příznaky:

V případě kuličkových ložisek není dráha stacionárního kroužku vedena svisle, ale šikmo k axiálnímu směru, obr. 38 a 39. U válečkových ložisek je dráha zřetelnější na jedné hraně oběžné dráhy než na druhé při naklápění, obr. 40.

Příčiny:

- Průhyb hřídele
- Nevyrovnané poloviny skříně nebo skříně plummerového bloku
- Mimořádné opěrné plochy
- Během montáže nečistoty mezi dosedacími plochami a ložiskovými kroužky
- Příliš velká vůle ložiska v kombinaci s momentovým zatížením

Opatření k nápravě:

- Dodržujte montážní údaje týkající se přípustného naklápění, viz katalog FAG
- Při montáži dbejte na čistotu
- Nastavte vhodnou vůli ložiska

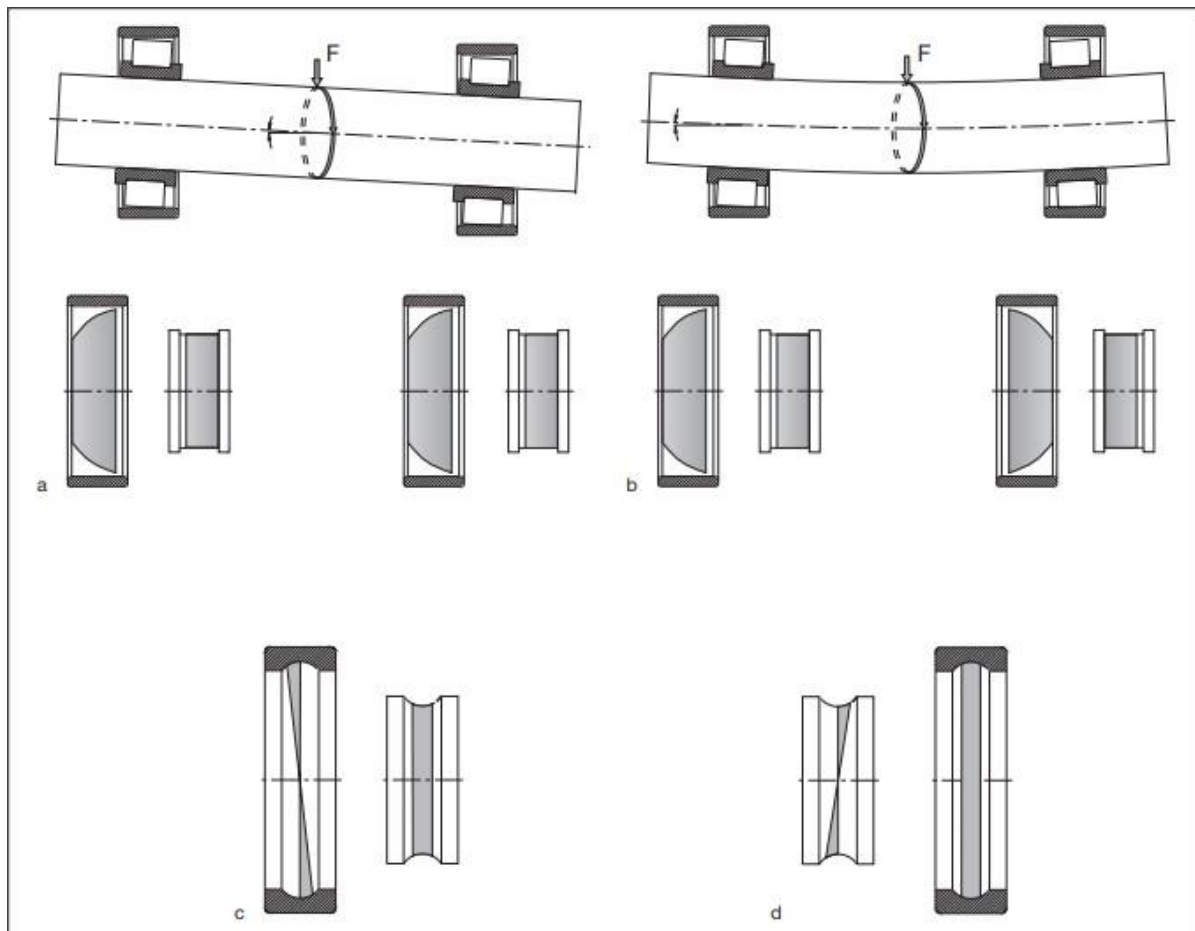
### 38: Vychýlená ložiska

a: Naklonění vnitřních kroužků vzhledem k vnějším kroužkům v případě nevyrovnaných sedadel skříně

b: Naklonění vnitřních kroužků vůči sobě v případě vychýlení hřídele

c: Stopy nevyrovnaného kuličkového ložiska s hlubokou drážkou s rotujícím vnitřním kroužkem

d: Stopy nevyrovnaného kuličkového ložiska s hlubokou drážkou a rotujícím vnějším kroužkem



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

### 3.3.2 Odsazení v drahách a povrchech valivých prvků

Na poškozených ložiskových částech se často vyskytují vroubkování v kontaktních oblastech, které by mohly mít nejrůznější příčiny. Vzhledem k tomu, že se obvykle vyskytují rovnoměrně ve velkém počtu, byly při posuzování stop zohledněny odsazení pocházející z cyklování cizích částic (oddíl 3.3.1). V následujících odstavcích se odkazuje zejména na ty, které jsou místně omezeny na kruh



39: Šikmá dráha ve vnitřním kroužku kuličkového ložiska s hlubokou drážkou



40: Nakloněná kolej na kuželíkovém ložisku

#### 3.3.2.1 Zlomeniny

Během cyklování je materiál oběžných drah a valivých prvků vystaven neustálému pulzujícímu napětí. To vede k poruchovým vzorům, jako jsou ty, které jsou důsledkem únavy krycích částí pod ohybovým napětím: vznikají únavové zlomeniny. Ve valivých ložiskách tyto zlomené oblasti probíhají převážně rovnoběžně s povrchem a vedou k odlupování materiálu a jsou označovány jako poškození únavou, odlupování, důlky, odlupování, šedá přilnavost, mikro důlky, ocelové důlky atd.

## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

- Klasická únava

I při velmi příznivých provozních podmínkách, tj. Hydrodynamickém oddělovacím mazacím filmu, maximální čistotě a mírných teplotách, může na částech valivých ložisek v závislosti na namáhání dojít k únavovému poškození. Vytrvalostní síla se předpokládá tam, kde je index napětí  $f_s^* = C_0 / P_0^* \geq 8$  ( $C_0$  = statické zatížení,  $P_0^*$  = ekvivalentní zatížení). Pokud je napětí větší, což znamená, že hodnota  $f_s^*$  je menší, lze očekávat únavové poškození po více či méně dlouhé době provozu.

K takovému poškození v důsledku klasické únavy s prasklinami začínajícími pod povrchem dochází zřídka. Poškození způsobené únavou začíná mnohem častěji na povrchu součástí ve valivém kontaktu v důsledku nedostatečného mazání nebo čistoty. Příčiny již nelze zjistit, když došlo k poškození.

Příznaky:

Podpovrchové trhliny oběžných drah a valivých prvků, odlupování materiálu (relativně hluboké důlky), nepoškozené oblasti oběžných drah naznačují dobré mazání v časném stadiu poškození (viz obr. 23), zatímco víceméně mnoho vrubů cyklickými zlomenými částmi (viz obr. 31) lze detekovat podle toho, jak daleko došlo k poškození, obr. 41 až 43.

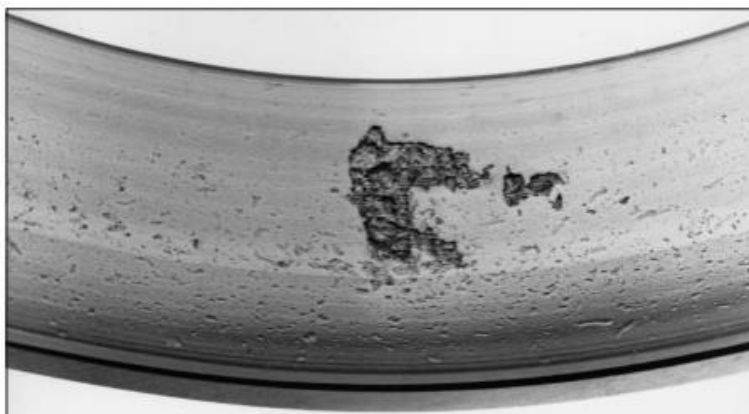


41: Klasická únava může být rozpoznána prohloubením vnitřního kroužku kuličkového ložiska s hlubokou drážkou do dráhy. Při postupném poškození se materiál odlupuje z celé dráhy.



42: Pokročilé únavové poškození kuličkových ložisek s hlubokými drážkami.

43: Únava v oběžném kole vnějšího kroužku zužujícího se válečkového ložiska.



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

- Únava v důsledku cyklování cizích částic

Pokud jsou v ložisku přítomny hrubé nečistoty, dochází ke značnému snížení únavové životnosti, Obr. 44. Škodlivost poškození způsobeného cizími částicemi ve skutečných případech aplikace závisí na jejich tvrdosti, velikosti a množství a také na velikosti ložiska. Pokud jde o únavová kuličková ložiska, reagují na znečištění citlivěji než válečková ložiska a ložiska s malými valivými prvky citlivěji než ložiska s velkými. Srolovaný materiál hraje velmi důležitou roli, pokud jde o odsazení cizích částic. Je zvláště pod tlakem během následného cyklování a je zodpovědný za první vznikající trhliny, SEM obr. v oddíle 4.

Příznaky:

Odlupování materiálu; Šíření ve tvaru V za odsazením cizích částic ve směru cyklování (V důlkování), obr. 45.

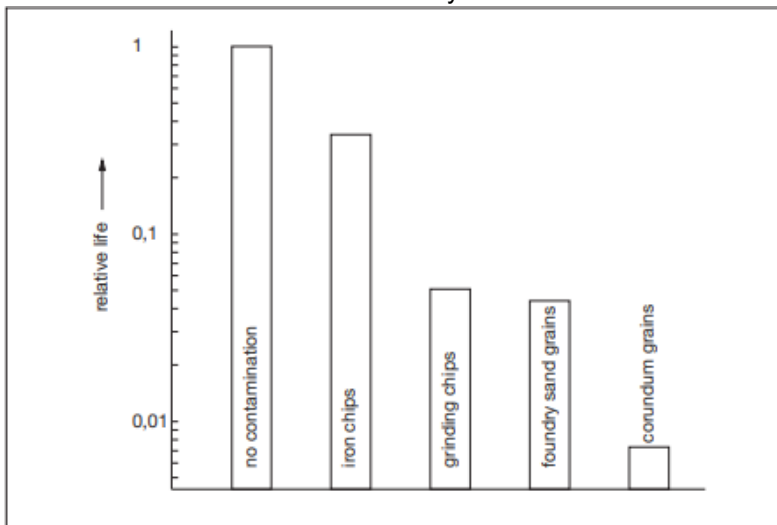
Způsobit:

Poškozená oběžná dráha, zářezy tvrdými částicemi (slévárenský písek, brusný prostředek) jsou zvláště nebezpečné.

Nápravná opatření:

- Důkladně umyjte části skříně a možná je natřete
- Při montáži je nutná čistota a opatrnost
- Vylepšete těsnění
- Používejte nosnou konstrukci chráněnou proti nečistotám
- Důležitá je čistota maziva
- Proplachovací postup s filtrací před uvedením jednotky do provozu

44: Snížení životnosti v důsledku různých kontaminantů



45: Poškození únavou způsobená odsazením cizích částic se šíří ve směru cyklování a vytváří tvar V

a: Poškození v době detekce

b: Poškození po asi 1 000 provozních hodinách

c: Poškození po přibližně 1 200 provozních hodinách



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

### Vzor valivého kontaktu

- Únava v důsledku statického přetížení

Stejně jako prohlubně cizích částic se prohlubně valivých prvků vyvíjejí kvůli vysokému statickému přetížení ložiska a jejich srolované okraje vedou k poruše.

#### Příznaky:

V počátečním stádiu rovnoměrně ohraničené prohlubně v rozteči valivých prvků, ze kterých vznikají zlomeniny, často pouze na části obvodu.

Někdy jen na jednom prstenu. Obvykle asymetrické ke středu oběžné dráhy.

#### Příčiny:

- Statické přetížení, náraz
- Upevňovací síla působící na valivý prvek

#### Opravné opatření:

- Montáž podle specifikace
- Vyvarujte se silným nárazům, nepřetěžujte

- Únava v důsledku nesprávné montáže

#### Příznaky:

Únava v blízkosti malého osazení v případě kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem, mimo oblast kontaktního úhlu, obr. 46.

#### Příčiny:

- Nedostatečné nastavení
- Nastavení jevu axiálních kontaktních ploch nebo závitu upínacích šroubů
- Radiální předpětí

#### Opatření k nápravě:

- Pevné okolní části
- Správná montáž

46: Únavové poškození ve spodní části drážky vnitřního kroužku kuličkového ložiska s kosoúhlým stykem v důsledku nedostatečné seřizovací síly.





## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

- Únava v důsledku nesprávného vyrovnání

Příznaky:

- Trať asymetrická ke středu ložiska, obr. 40
- Únava na okrajích oběžných drah / valivých prvků, obr. 47
- Obvodové zářezy na celém povrchu koule nebo její části způsobené plastickou deformací, a proto mají hladké hrany. V extrémních případech mohou mít dna zářezů praskliny, obr. 48.

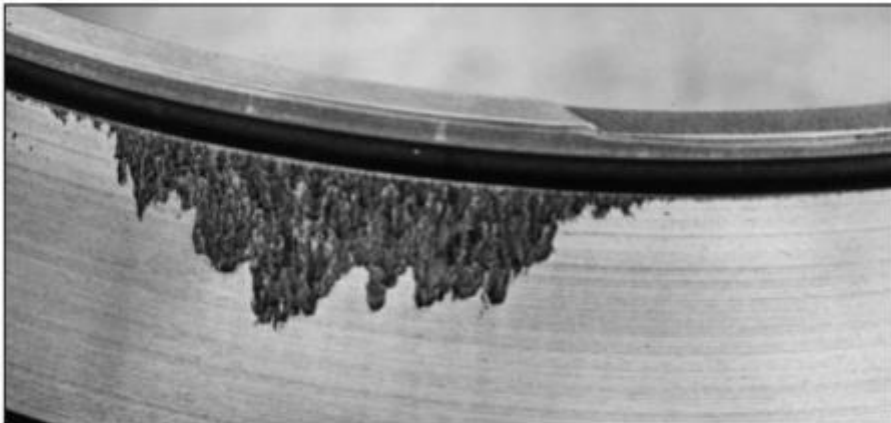
Příčiny:

V důsledku nesouososti skříně nebo ohýbání hřídele dochází k naklonění vnitřního kroužku na rozdíl od vnějšího kroužku a dochází k vysokému momentovému zatížení. U kuličkových ložisek to vede k omezující síle v kapsách klece (oddíl 3.5.4) a k většímu klouzání v oběžných drahách i kuličkách běžících po okraji ramene. V případě valivých ložisek je oběžná dráha asymetricky zatížena; pokud je naklonění prstenců extrémní, okraje oběžných drah a valivých prvků nesou také zatížení způsobující nadměrné namáhání v těchto polohách, viz část „Stopy se špatným vyrovnáním“ v kapitole 3.3.1.2.

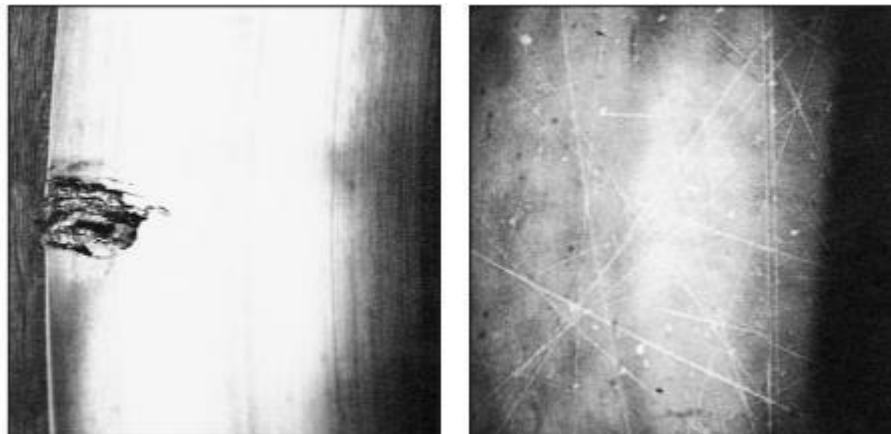
Nápravná opatření:

- Používejte samonosná ložiska
- Správné vyrovnání
- Posílit hřídel

47: Únava může nastat na okraji oběžného kola špatně zarovnaného kuželkového ložiska v důsledku lokálního přetížení.



48: Únava na okraji oběžné dráhy v případě kuličkových ložisek, např. s vysokým momentovým zatížením (běh hrany); levý okraj oběžné dráhy, pravý míč.



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

### Vzor valivého kontaktu

- Únava v důsledku špatného mazání

#### Příznaky:

V závislosti na zatížení dochází v případě špatného mazání k různým způsobům poškození. Při nízkém zatížení a prokluzu také dochází k drobným povrchovým zlomeninám. Protože rostou ve velkém počtu, vypadají jako skvrny na dráze, obr. 49. Poukazujeme na pojmy šedá přilnavost nebo mikroklipey. Pokud je zatížení velmi vysoké a mazivo například ztenčeno v důsledku pronikání vody, vzniknou důlky ve tvaru mušlí, když jsou oběžné dráhy (obr. 29) také tlakově leštěny, obr. 50.

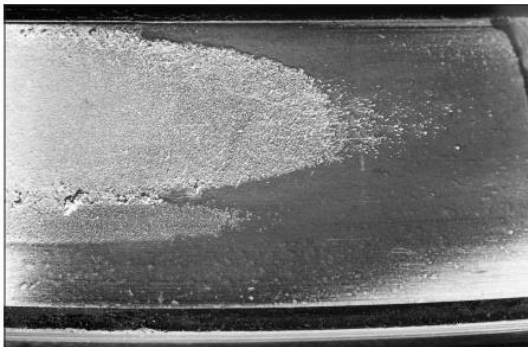
Pokud je zatížení velmi vysoké a špatné mazání, v oběžné dráze vznikají velmi výrazné zóny ohřevu, kde při pokračování jízdy na kole zase vznikají začínající trhliny.

#### Příčiny:

- Špatný stav mazání v důsledku
  - • nedostatečný přísun maziva
  - • příliš vysoká provozní teplota
  - • proniká voda
- způsobuje větší tření a materiální napětí na povrchu oběžných drah
- Občas sklouznutí

#### Nápravná opatření:

- Zvyšte množství maziva
- Používejte mazivo s vyšší viskozitou, pokud možno s testovanými aditivami EP
- Chladné mazivo / poloha ložiska
- Možná použijte měkčí tuk
- Zabraňte pronikání vody



49: Mikro důlky



50: Únava ve tvaru slávky

## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

### Vzor valivého kontaktu

- Únava v důsledku opotřebení

#### Příznaky:

Místní odlupování, např. na valivých prvcích zužujícího se válečkového ložiska, obr. 51 a 52.  
Pruhovaná kolej, obr. 68.

#### Příčiny:

Změna geometrie součástí válcovaného kontaktu v důsledku opotřebení v případě kontaminovaného maziva, například v důsledku pronikání cizích částic při poškození těsnění. Výsledkem je místní přetížení, částečně ve spojení také s nedostatečným nastavením kuželíkových ložisek.

#### Opatření k nápravě:

- Mazivo vyměňte včas
- Filtrovat mazací olej
- Vylepšete utěsnění
- Opotřeбенé těsnění vyměňte včas
- Speciální tepelné zpracování pro kroužky a válečky

- Únava způsobená zlomeninou vrstvy vrstvy

#### Příznaky:

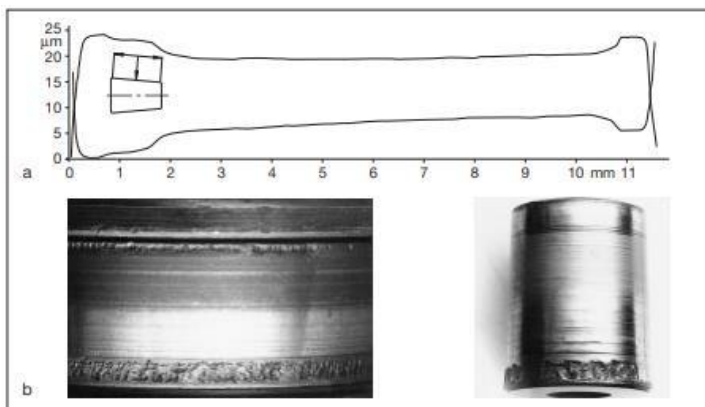
Odlupování oběžné dráhy silnými kusy v případě cementovaných ložiskových dílů.

#### Příčiny:

- Zlomenina nebo oddělení vrstvy obalu
- Zatížení příliš vysoké nebo tloušťka vrstvy případu příliš malá pro dané zatížení, např. kvůli špatnému návrhovému zatížení

#### Opatření k nápravě:

- Upravte tloušťku vrstvy skříně tak, aby vyhovovala podmínkám zatížení
- Vyvarujte se přetížení



51: Opotřebení v různých oblastech může změnit geometrii součástí při válcování tak, že místní přetížení vede k únavě.

a: příčný profil válce;

b: Oběžná dráha a váleček s vnitřním kroužkem s poškozením únavou



52: Poruchový mechanismus jako na obr. 51, ale s opotřebem okrajů oběžné dráhy, příčný profil válce viz obr. 69.

## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

### 3.3.2.2 Poškození korozí

- Koroze vlivem vlhkosti (rzi)

Příznaky:

Hnědé zabarvení celé nosné plochy, obvykle nerovnoměrně rozložené ve formě jednotlivých jám, obr. 53.

V mnoha případech se také vyskytují skvrny rzi s jámami na rozteči valivých těles (klidová koroze). Kapilární účinek způsobuje, že se vlhkost koncentruje na kontaktní plochy, když je po delší dobu nečinnost, obr. 54. To vede k opotřebení v pozdějším stadiu a předčasné únavě vznikající na rzi.

Příčiny:

- Nesprávné skladování ve skladu (relativní vlhkost vzduchu > 60%)
- Extrémní výkyvy teploty (kondenzační vlhkost)
- Selhání těsnění (zrychleno abrazivním působením nečistot, obr. 87)
- Nevhodné mazivo

Opatření k nápravě:

- Vhodné skladování podle údajů výrobce valivých ložisek
- Vylepšení těsnění (možná další štíty)
- Používejte mazivo s inhibitory koroze
- V případě mazání tukem často domazávejte, zejména před odstávkami

53: Koroze vnějšího kroužku kuličkového ložiska s hlubokou drážkou, jehož ochrana proti korozi byla zničena vlhkostí



54: Korozní jámy v oběžné dráze při stoupání valivých prvků



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

- Koroze v důsledku agresivních médií

Příznaky:

Obvykle černé leptané jámy, obr. 55.

Příčiny:

- Nesprávné skladování ve skladu (skladování agresivních chemikálií ve stejné oblasti)
- Selhání těsnění
- Nevhodné mazivo

Opatření k nápravě:

- Skladování podle specifikací výrobce valivých ložisek
- Vylepšení těsnění
- Používejte mazivo s inhibitory koroze

55: Poškození povrchu v důsledku útoku agresivních médií. Leptací jámy jsou obvykle černé.



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

### 3.3.2.3 Falešné brinelling

Příznaky:

Značky na povrchu oběžné dráhy při stoupání valivých prvků, obr. 56 a 57. Žádné zvýšené hrany na rozdíl od značek v důsledku nesprávné montáže (viz část 3.3.2.4 „Odsazení valivých prvků“). Povrchy v prohlubních jsou často hnědé barvy (koroze), zejména u špatně zdrsňených kuličkových ložisek (chybí struktura obrábění). Škrábance v axiálním směru lze detekovat také pomocí kuličkových ložisek. Když se ložisko občas trochu otáčí, vznikne několik skvrn v důsledku falešného briningu.

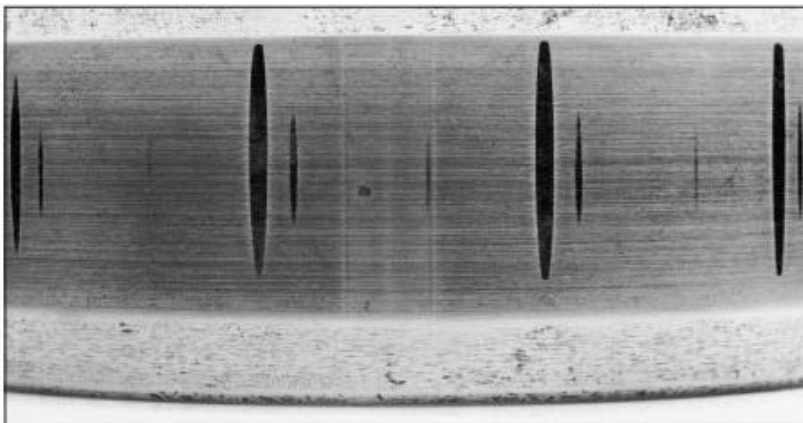
Příčiny:

Vibrace ve stacionárních strojích, které vedou k mikromotorům v dotkových oblastech součástí ve valivém kontaktu.

Opatření k nápravě:

- Odstraňte nebo absorbujte vibrace
- Vyvarujte se zastavení citlivých strojů, nechte běžet; během přepravy používejte bezpečnostní zařízení, která vykládají nebo předpínají ložiska.
  - Použijte vhodné mazivo (přísady).
- Vyberte větší radiální vůli pro rotující zatížení.

56: Na vnitřním kroužku válečkového ložiska se na oběžné dráze při stoupání valivých prvků vytvořily značky v důsledku falešného brinlování.



57: Falešný odraz na kuličkovém ložisku



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

### 3.3.2.4 Odsazení valivých prvků

Příznaky:

Odsazení na rozteči valivých prvků v oběžných drahách nerozebíratelných ložisek, obr. 58. Únava z toho vyplývající, viz také „Únava v důsledku statického přetížení“ v části 3.3.2.1.

Odsazení se také mohlo vyskytnout během demontáže: zkontrolujte vlastnosti cyklování (lesklé hrany), určete směr montáže.

Příčiny:

- Statické přetížení / nárazy
- Montážní nebo demontážní síly působící na valivá tělesa (nesprávné pořadí montáže, nevhodné příslušenství)

Nápravná opatření:

Nejprve namontujte prsten pevně. Pokud jsou oba kroužky těsně spojeny, namontujte je společně s vhodným diskem.

58: Kulisové prohlubně v ramenou kuličkového ložiska s hlubokou drážkou. Upevňovací nástroj byl ke kroužku připevněn volným uložením, a síly byly proto aplikovány prostřednictvím koulí.



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

### 3.3.2.5 Krátery a vlnění v důsledku průchodu elektrického proudu

- Krátery

Příznaky:

Krátery v oběžné dráze v důsledku místního tavení v kontaktní oblasti dílů ve valivém kontaktu, někdy několik kráterů v řadě nebo celé řetězy po obvodu. Povrch v kráterech je částečně vytvořen jako svarovací housenky, obr. 59.

Příčiny:

Jiskření nad proudem, například během svařování nebo v důsledku poruchy zemního kontaktu

Opatření k nápravě:

Během svařování elektrickým proudem (uzemnění) nesměřujte proud přes ložisko.

- Třepetání

Příznaky:

Hnědé značky rovnoběžné s osou na velké části oběžné dráhy nebo pokrývající celý obvod oběžné dráhy, obr. 60.

Příčiny:

Neustálý přechod střídavého nebo stejnosměrného proudu, dokonce i nízké proudy, způsobují známky.

Nápravná opatření:

- Zabraňte protékání proudů ložiskem (uzemnění, izolace).
- Použijte proudově izolovaná ložiska.

59: Současný sparkover vedl k tvorbě kráterů v oběžné dráze válečkového ložiska.



60: Třepetání ve vnějším kroužku oběžné dráhy kuličkového ložiska s hlubokou drážkou bylo způsobeno neustálým průchodem proudu.





## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

### 3.3.2.6 Chod hrany valivého prvku

Příznaky:

V případě kuliček, klenutých zářezů na povrchu nebo toho, co lze popsat jako „vlněné kuličky“ zářezů, hrany zaoblené, protože jsou plasticky deformovány, obr. 61, 62. Obvodové zářezy v blízkosti ploch v případě válečků. Nesmí být zaměňována s poškrábáním cizími částicemi, viz část 3.3.4.2 „Škrábance na vnějších průměrech valivých těles“.

Příčiny:

- Nadměrné (axiální) zatížení
- Momentové zatížení je příliš vysoké
- Provozní vůle je příliš velká
- Naklápěcí

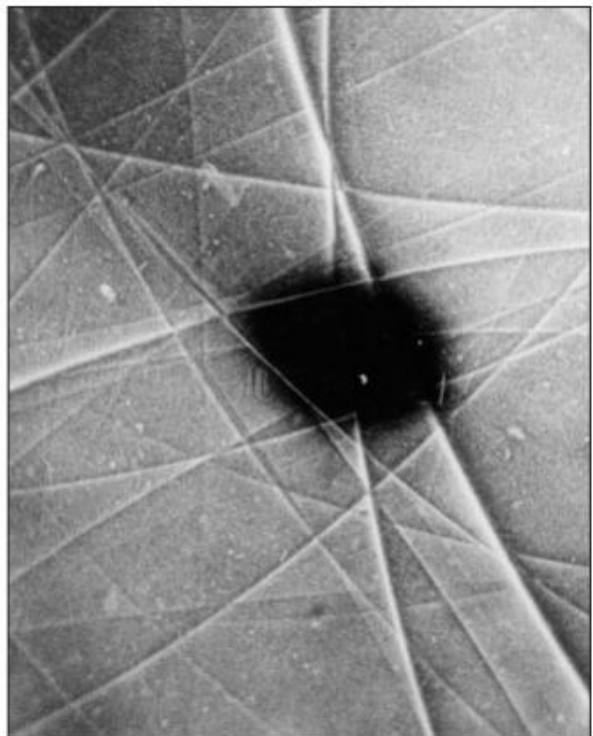
Nápravná opatření:

- Vyvarujte se přetížení
- Použijte ložisko s vyšší nosností
- Snižte provozní vůli
- Vyvarujte se naklánění

61: Míč s extrémními stopami hrany způsobený Dlouhodobým konstantní zatížení.



62: Míč s „vlněnými míčky“ zářezů způsobených dlouhodobou měnící se zátěží.



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

### 3.3.3 Zlomeniny prstenců

#### 3.3.3.1 Únavové zlomeniny v důsledku únavy oběžné dráhy

Příznaky:

Obecně velkoplošné únavové poškození na oběžné dráze; často kroky (linie odpočinku) v oblasti zlomeniny, obr.63

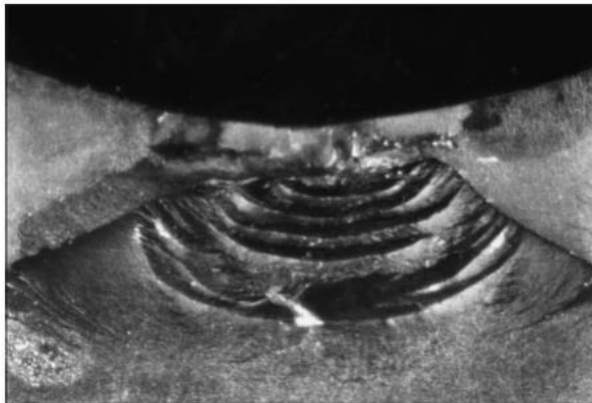
Příčiny:

Dobře pokročilé únavové poškození

Nápravná opatření:

Viz část 3.3.2.1 „Zlomeniny“

63: Zlomení vnějšího kroužku kuličkového ložiska s hlubokou drážkou v axiálním směru v důsledku únavy.



#### 3.3.3.2 Axiální začínající trhliny a trhliny vnitřních kroužků

Příznaky:

Prsten částečně nebo úplně popraskaný v axiálním směru. Zlomené hrany mírně zaoblené: naznačuje, že zlomenina vznikla během operace a byla cyklována. Ostré hrany trhlin naznačují, že během demontáže došlo ke zlomenině. V případě dlouhodobého provozu s prasklinami mohou být jeho okraje částečně odlomeny, obr. 64.

Příčiny:

- Skluz ložiska
- Zlomeniny na oběžné dráze
- Otáčení vnitřního kroužku na hřídeli
- Nevhodné mazání
- Nasadíte příliš těsně na hřídel
- Drážka hřídele
- Mimo kruhovitost
- Pastva proti okolním částem

64: Axiální průnik vnitřního kroužku soudečkového ložiska



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

### 3.3.3.3 Zlomeniny vnějšího prstence v obvodovém směru

Příznaky:

Obvykle se trhlina šíří rovnoměrně v obvodovém směru. Několik zlomených kusů často pochází. Při axiálním zatížení se tyto zlomeniny vyskytují zpravidla trochu za středem oběžné dráhy. Příčinou je často únavové poškození. Vnější povrch vnějšího prstence obvykle vykazuje nepravidelný vzor nesoucí zatížení, obr. 65.

Příčiny:

Špatná podpora kroužků v krytu

Opatření k nápravě:

Je nutné konstruktivní vylepšení montáže

65: Prasklina ve vnějším kroužku v obvodovém směru



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

### 3.3.4 Hluboké škrábance a skvrny na kontaktních plochách

Kromě lokálních zlomenin, trhlin a jiných promáčknutí na oběžné dráze nebo na valivých plochách často dochází také k velkoplošnému poškození povrchu v důsledku klouzání v ložisku, které vede k opotřebení. Kromě cyklistických podmínek je rozsah tohoto poškození v zásadě ovlivněn intenzitou a čistotou mazání.

#### 3.3.4.1 Poškození při špatném mazání

Příznaky:

Kontaktní oblasti jsou matné a zdrsňené, obr. 28 a 66. Obroušená hmota změní barvu maziva na tmavou; také žluté v případě mosazných klecí. Tuk také ztuhne. V mnoha případech však vlhkost vede k vodnaté konzistenci maziva. Buď se sníží předpětí, nebo se zvětší vůle ložiska. Pokud jsou příčinou opotřebení cizí částice, budou povrchy valivých prvků obzvláště špatně hodnoceny, obr. 67. Za nepříznivých podmínek mohou být oběžné dráhy valivých ložisek po celém obvodu nerovnoměrně opotřebované. Vzhled oběžných drah je pak pruhovaný, obr. 68 a 69. Tento typ opotřebení vede k únavovému poškození, viz část „Únava v důsledku opotřebení“ v části 3.3.2.1.

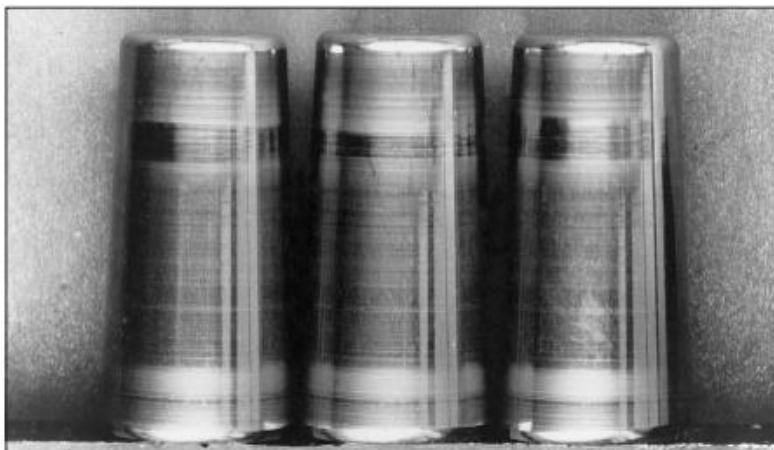
Příčiny:

- Nenosný mazací film
- Kontaminující látky v mazivu (jemné, tvrdé částice, např. Prach nebo také voda)
- Nedostatečné seřízení ložisek v případě nerovnoměrného opotřebení kuželíkových ložisek

66: Opotřebovaná, zdrsňená oběžná dráha



67: Stopy opotřebení lze obvykle nejprve detekovat na povrchu valivých prvků



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

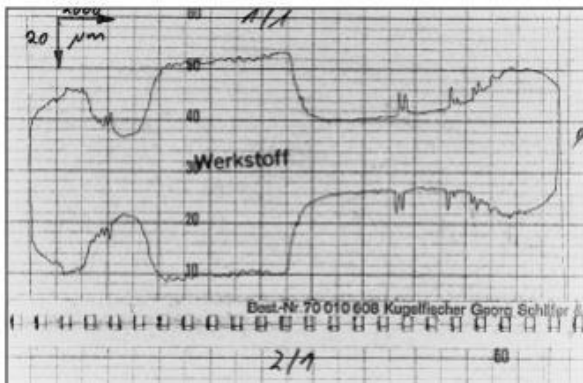
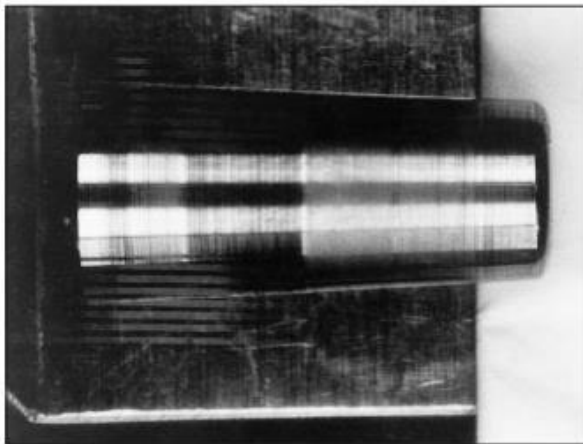
Opatření k nápravě:

- Používejte mazivo s vyšší nosností, např. s vyšší viskozitou nebo EP přísadami
- Zkraťte intervaly výměny maziva
- Vylepšete utěsnění
- Mazivo filtru
- Zajistěte správné seřízení ložisek

68: Vytvoření pruhů v důsledku opotřebení určitých oblastí.

a: Váleček

b: Závodní dráha



69: Tabulka pro obr. 68a

## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

### 3.3.4.2 Škrábance na vnějších průměrech valivých těles

Příznaky:

Obvodové zářezy v kontaktních oblastech valivých těles. Paralelní kroužky u válečků, obr. 70 a 71, a obvykle jako „koule z vlny“ v případě míčků, obr. 72. Nesmí být zaměňována s hranovými stopami (viz část 3.3.2.6). Běh hran vytváří stopy s hladkými hranami v důsledku plastické deformace; škrábance mají ostré hrany. Do kapes klece jsou často vtlačovány tvrdé částice, které způsobují škrábance, obr. 73.

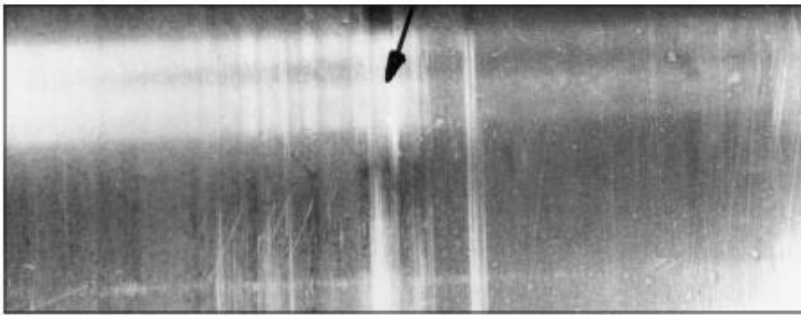
Příčiny:

Znečištěné mazivo; tvrdé částice se fixují v kapsách klece a chovají se jako zrna v brusném kotouči.

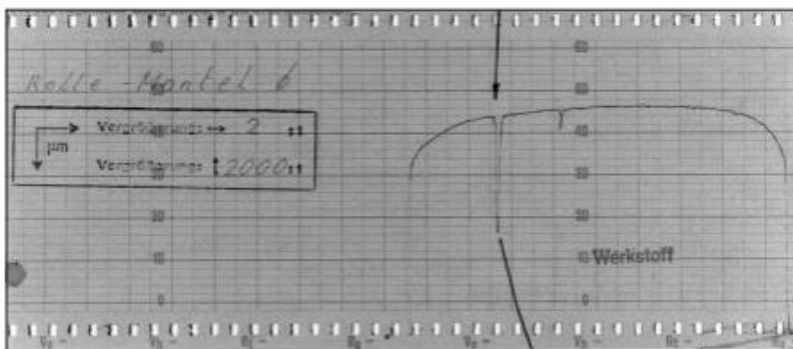
Opatření k nápravě:

- Zajistěte čisté montážní podmínky
- Vylepšete utěsnění
- Mazivo filtru

70: Hluboké škrábance na válcích v důsledku cizích částic v kleci

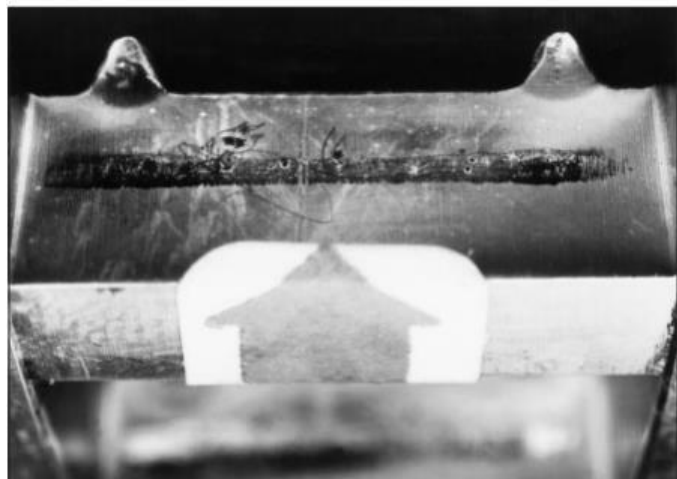
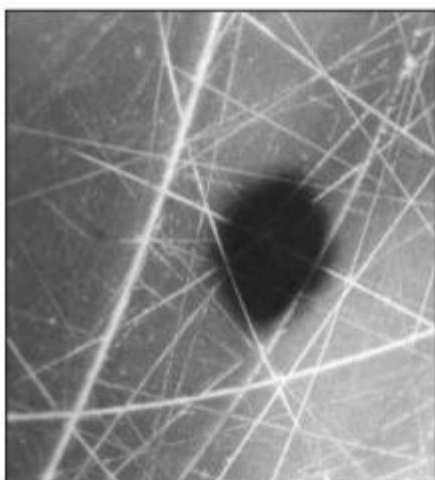


71: Tabulka pro obr. 70.



72: Škrábance na povrchu koule připomínající vlněnou kouli

73: Vložení cizího materiálu do klecového trnu válečkového ložiska



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

### 3.3.4.3 Skluzové stopy

Příznaky:

Kluzný prvek valivého prvku, zejména v případě velkých a těžkých válečků, např. v bezkabelových ložiskách. Zdrsnění oběžných drah nebo valivých těles. Materiál se často sroloval a měl stopy skvrn. Obvykle nejsou rovnoměrně rozloženy na povrchu, ale ve skvrnách, obr. 74 a 75. Nalezené často v souvislosti s mikrotitrací, viz „Únava v důsledku špatného mazání“ v části 3.3.2.1.

Příčiny:

- Valivá tělesa kloužají po oběžných drahách, když je nízké zatížení a špatné mazání. Někdy také kvůli příliš krátkým zónám zatížení, kdy valivá tělesa zabrzdí v nezatížené zóně v kapsách klece a následně znovu zrychlí při vstupu do oblasti zatížení.

- Rychlé změny rychlosti.

Nápravná opatření:

- Používejte ložiska s nižší nosností

- Předpětí ložisek, např. s pružinami

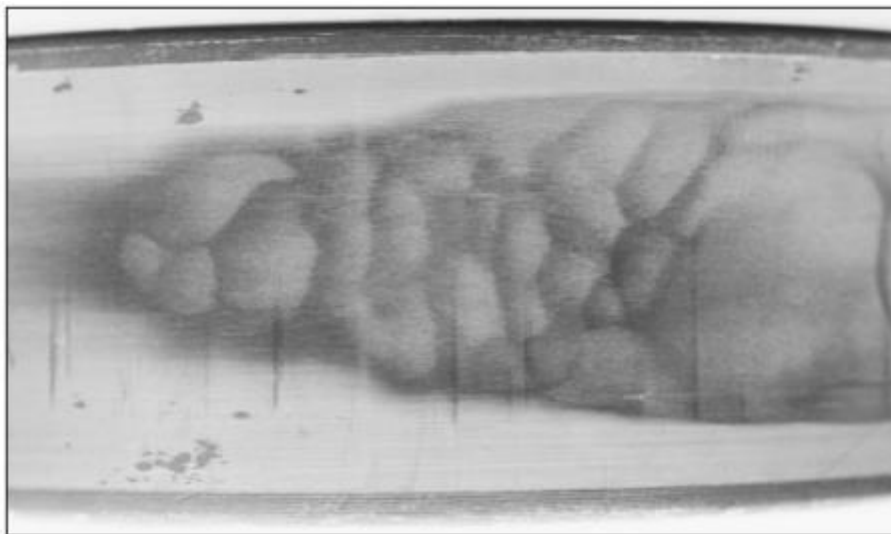
- Zmenšete vůli ložiska

- Zajistěte také dostatečné zatížení během zkušebního provozu

- Vylepšete mazání



74: Kluzné dráhy na válcových válcích



75: Poškození prokluzu na vnitřním kroužku válečkového ložiska

## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

### 3.3.4.4 Skóre

Příznaky:

Posun materiálu při stoupání valivých těles rovnoběžně s osou v oběžných drahách a valivých prvcích odnímatelných válečkových ložisek nebo kuželíkových ložisek. Někdy se několik sad takových značek posunulo k sobě o několik sestupů po obvodu. Často se nachází jen na 1/3 obvodu, a ne na celém obvodu, obr. 76.

Příčiny:

Během montáže jeden kroužek a kroužek se sadou valivých prvků nejsou vzájemně soustředné nebo jsou špatně vyrovnány a jsou silně strčeny. To může být zvláště nebezpečné u velkých pohybujících se hmot (velký hřídel je zasunut s vnitřním kroužkem ložiska a valivými prvky do vnějšího kroužku, který byl již vtlačen do skříně).

Opatření k nápravě:

- Používejte vhodné montážní pomůcky
- Vyvarujte se vychýlení
- Je-li to možné, sestavujte díly pomalým rotujícím pohybem

76: Značky v oběžné dráze vnitřního kroužku válečkového ložiska způsobené vložením do čtverce do sady valivých prvků





## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

Vzor valivého kontaktu

### 3.3.5 Poškození v důsledku přehřátí

Příznaky:

Špatně zbarvené části ložiska \*). Dráha / valivé prvky se do značné míry plasticky deformovaly. Teplotní nárůst. Častý záchvat ložiska, obr. 77. Tvrdost hluboko pod 58 HRC.

Příčiny:

Obvykle již není zjistitelné z poškození způsobeného přehřátými ložisky. Možné příčiny:

- Vůle ložiska v provozním stavu je příliš nízká, zejména u vysokorychlostních ložisek
- Nedostatečné mazání
- Radiální předpětí v důsledku externího vytápění
- Nadměrné mazání
- Omezený běh kvůli zlomení klece

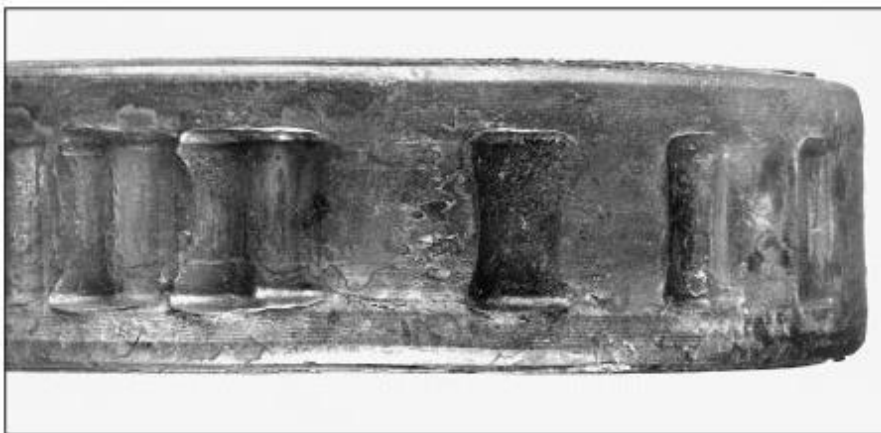
Opatření k nápravě:

- Zvětšete vůli ložiska
- U externího ohřevu zajistěte dostatečně pomalé zahřívání a ochlazování, tj. Rovnoměrné zahřívání celého ložiska
- Vyvarujte se hromadění maziva
- Vylepšete mazání

\*) Poznámka k zbarvení:

Popouštěcí barvy souvisejí s poškozením přehřátím. Hnědé a modré odstíny se vyvíjejí podle toho, jak vysoká je teplota a jak dlouho trvá. Velmi se podobají zbarvení oleje, které se objevuje mnohem častěji (viz část 3.3.1.1). Proto nelze v žádném případě vyvodit závěry týkající se nadměrné provozní teploty pouze ze zbarvení. Rozprostření zbarvení může sloužit k rozlišení mezi popouštěcí barvou a zbarvením oleje: zatímco druhá se často vyskytuje pouze na valivých prvcích a přímo v oblasti dráhy první pokrývá obvykle velkou část volných nosných ploch. Jedinou odpovědí na výskyt extrémně vysokých provozních teplot je však kontrola tvrdosti.

77: Válečky zanechaly hluboké otisky v oběžné dráze zadřeného, přehřátého válečkového ložiska.



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

### Kontakt rtů

#### 3.4 Posouzení kontaktu rtů

Obr. 78 zobrazuje dobře zaběhnutý povrch rtů.

#### 3.4.1 Poškození rtů a ploch válečkových ložisek

##### 3.4.1.1 Bodování kvůli cizím částicím

Příznaky:

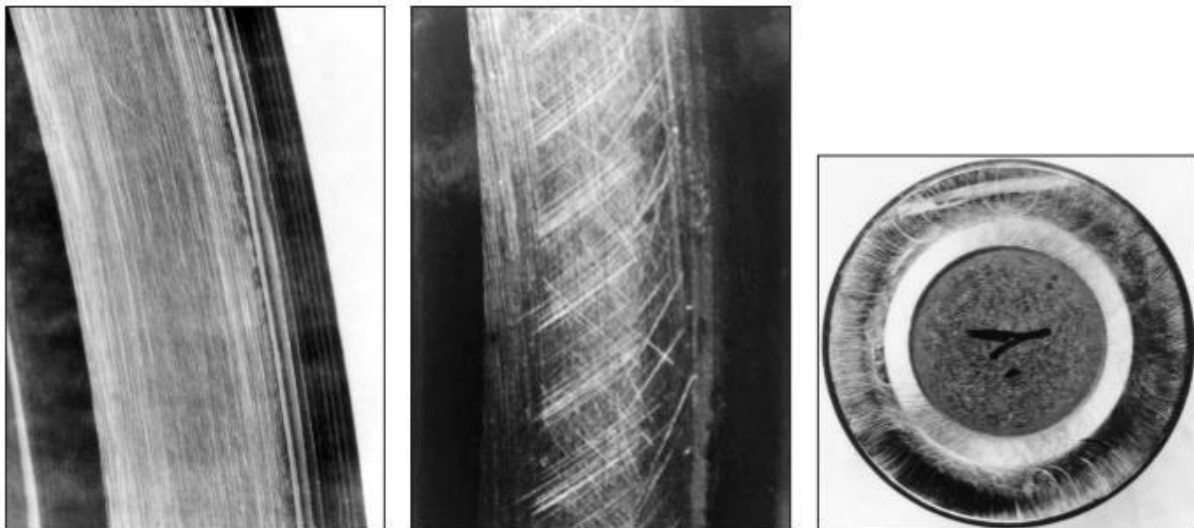
Obloukové škrábance na povrchu rtů nebo na povrchu válečku (obzvláště časté u kuželíkových ložisek), obr. 79 a 80. Jejich hloubka do oblasti rtů závisí na poloměru valivého prvku, ve kterém se cizí částice zasekla.

Příčiny:

Tvrdé cizí částice v mazivu, které se vtahují do oblasti kontaktu mezi čelem válečku a okrajem.

Nápravná opatření:

Zlepšete čistotu maziva.



78: Normální zaběhnutá kontaktní dráha rtů v a kuželíkové ložisko

79: Bodování oblasti rtů kvůli cizím částicím

80: Bodování na tváři zúžené Váleček

## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

### Kontakt rtů

#### 3.4.1.2 Záchvat při kontaktu rtu

##### Příznaky:

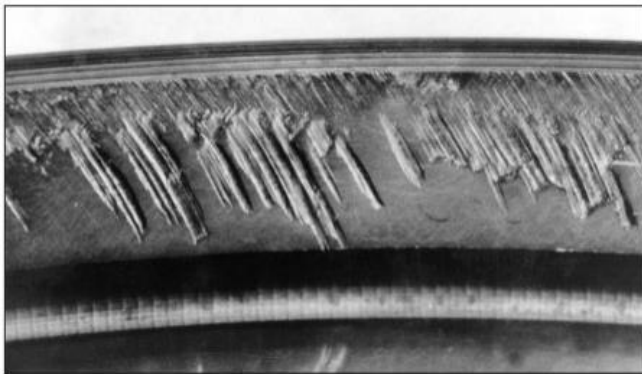
Částečné nebo velkoplošné svařování a hluboké škrábance v oblasti rtu a tváře válečku, obr. 81 a 82. V této oblasti také koksujete mazivo. Často souvisí s velmi vysokým zatížením.

##### Příčiny:

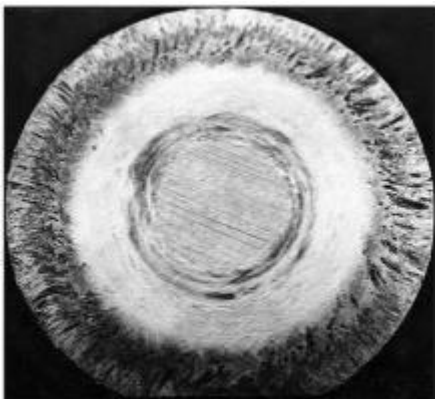
- Nedostatečné mazání při vysokém zatížení a vysokých rychlostech (příliš malé množství nebo provozní viskozita maziva)
- Nedostatečné mazání při vysokém zatížení a nízkých otáčkách, když mezi čelem válce a okrajem není žádný hydrodynamický mazací film
- Příliš vysoké předpětí kuželkových ložisek
- Škodlivé předpětí v důsledku tepelné expanze
- Šikmení válečků například v případě opotřebení oběžné dráhy, naklonění kroužku nebo nedostatečného seřízení, obr. 81
- Příliš vysoké axiální zatížení válečkových ložisek
- Axiální předpětí vnitřního kroužku je příliš vysoké na to, aby se protilehlé plochy spojily mimo čtverce.

##### Opatření k nápravě:

- Zlepšit mazání (zvýšit viskozitu, přísady EP, zvýšit množství maziva)
- Zajistěte správné seřízení ložisek



81: Šikmé válečky způsobily na rtu stopy po zadření při kontaktu s jeho okrajem.



82: Při nedostatečném zásobování mazivem a vysokém zatížení může na tváři a rtu válce dojít k zadření.

## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

### Kontakt rtů

#### 3.4.1.3 Noste v oblasti kontaktu s rty

##### Příznaky:

V případě valivých ložisek špatné podmínky mazání nejprve odhalí čelo / břit válečku s kluzným kontaktem. V závažných případech dochází k dříve zmíněným záchvatovým jevům. Ve všech případech však mají kontaktní oblasti charakteristiky opotřebení. To je jasně vidět na grafu příčného profilu tváře rtu nebo válečku, obr. 83. Ráfky se často vyvíjejí také na čelních plochách válečků. U kuželíkových ložisek dochází ke snížení předpětí nebo prodloužené axiální vůle. To vede, například u převodovek s inverzí směru zatížení, ke zvýšenému hluku běhu. Míra opotřebení v oblasti kontaktu s břitem vstupuje v případě kuželíkových ložisek kvůli geometrickým podmínkám pouze asi do 1/3 axiální vůle. Opotřebení rtů je také indikátorem opotřebení vnějšího obvodu oběžné dráhy nebo válečku.

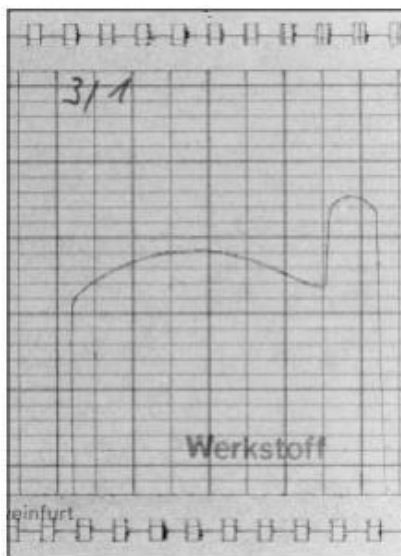
##### Příčiny:

- Nedostatečné mazání (typ, množství)
- Znečištěné mazivo

##### Opatření k nápravě:

- Zajistěte maximální čistotu
- Vyberte vhodné mazivo (viskozita, přísady EP) a zajistěte dostatečný přísun

83: Tabulka křížových profilů opotřebeného kuželového čela válečku



84: Tvorba ráfku u zúženého válce



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

### Kontakt rtů

#### 3.4.1.4 Zlomeniny rtů

##### Příznaky:

Nosné rty jsou úplně nebo částečně odlomeny nebo prasklé, obr. 85.

##### Příčiny:

- Axiální zatížení nepřijatelně vysoké
- Ret nedostatečně podepřený, obr. 20
- Axiální rázové zatížení
- Následné poškození klece a zlomení valivého prvku
- Poškození montáže

##### Opatření k nápravě:

- Zajistěte dobrý design podpory rtů
- Udržujte zatížení v mezích předpokládaných pro návrh
- Dodržujte montážní specifikace

85: Odlomení rtu od valivého ložiska. Vnitřní kroužek byl na hřídel zatlačen kladivem.



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

### Kontakt rtů

#### 3.4.2 Opotřebení vodících ploch klece

##### Příznaky:

Pokud jsou klece - zejména mosazné klece - vedeny k okrajům ložiskových kroužků, může dojít k opotřebení. Povrch je obvykle špatně zdrsňený a také dochází k zadření (materiál klece se drží na rtu). Při velkém opotřebení se na rtu vyvíjí rameno, protože klec není zpravidla v kontaktu s celou šířkou, obr. 86. Podobné charakteristiky opotřebení lze nalézt také na bočních okrajích odpovídající klece, viz část 3.5.1. To je zvláště nebezpečné pro kontakt s vnitřním kroužkem vysokorychlostních ložisek.

##### Příčiny:

- Nedostatečný přísun maziva do kontaktních oblastí, často nedostatečný odtok maziva
- Znečištěné mazivo
- Příliš vysoká rychlost pro použitá ložiska
- Nadměrné naklánění během montáže
- Neočekávaně vysoká provozní teplota v případě mosazných klecí vedených vnějším kroužkem (různá tepelná roztažnost ocel / mosaz)

##### Opatření k nápravě:

- Vylepšete mazání (větší průtok, větší čistota)
- Používejte ložiska určená pro dané provozní podmínky
- Kabát

86: Špatné kontaktní značky na vodící ploše klece okraje vnějšího prstence s rozmazáním na materiálu



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

### Kontakt rtů

#### 3.4.3 Poškození utěsněných provozních oblastí

##### 3.4.3.1 Opatřené stopy těsnicího břítu

###### Příznaky:

V oblasti kontaktu těsnicího břítu se v břítu vytvoří obvodová drážka, obvykle lesklá. Rovněž často ve spojení s opotřebenými těsnicími bříty a poškozením ložiska v důsledku pronikajících nečistot. Koroze v těsnicí oblasti se také vyskytuje v několika případech, obr. 87.

###### Příčiny:

- Extrémní množství vnějších nečistot, zejména ve vlhkém prostředí.
- Rty jsou suché.

###### Opatření k nápravě:

- Použijte preseals, např. flinger prsteny.
- Namažte těsnicí břit

##### 3.4.3.2 Odbarvení těsnicí stopy

###### Příznaky:

Hnědá nebo modrá barva v oblasti kontaktu těsnicího břítu, zejména v případě hřídelových těsnění. Přehřátí vede k vytvrzení a intenzivnímu opotřebením těsnění, viz část 3.6.1.

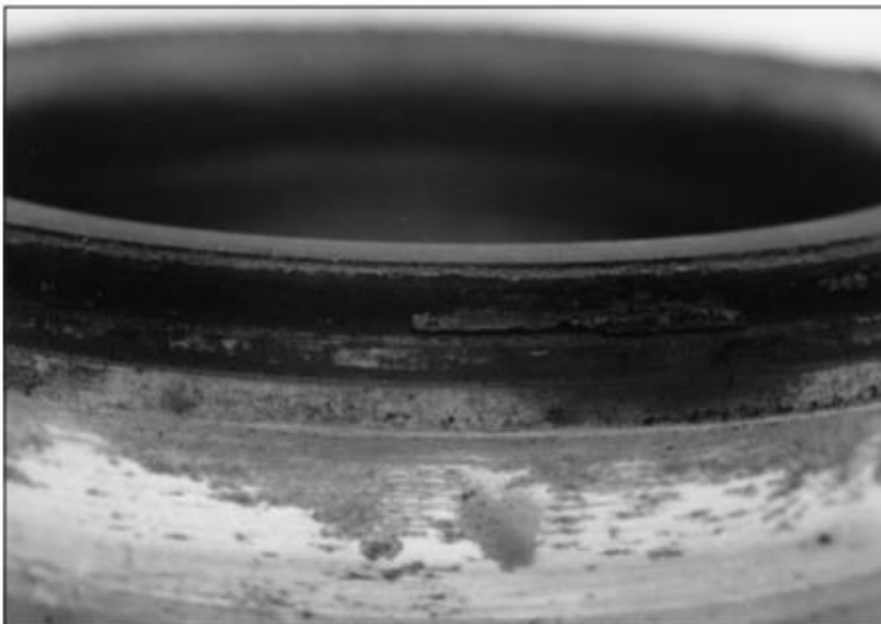
###### Příčiny:

- Intenzivní ohřev oblasti břítu a hřídele v důsledku překrytí nebo vysoké lisovací síly těsnění
- Těsnicí plocha kontaktu není dostatečně namazaná

###### Opatření k nápravě:

- Namažte těsnicí břit
- Snižte přítlačnou sílu, pokud je to pro těsnicí účinek přípustné

87: Koroze v oblasti těsnicí dráhy na okraji kuličkového ložiska s kosoúhlým stykem



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

### Poškození klece

#### 3.5 Poškození klece

##### 3.5.1 Opotřebenění způsobené hladovým mazáním a znečištěním

###### Příznaky:

U klecí s vedením na rtech se opotřebovávají boční hrany, u klecí vedených valivými prvky se opotřebovávají v kapsách. Následné poškození v důsledku pokročilého opotřebenění může způsobit, že se vedení valivých prvků vyvine do vedení rtů a také se tam obrusuje nebo naopak. Opotřebenění je obecně v axiálním směru do značné míry symetrické v kapsách nebo v případě válečkových ložisek na obou bočních okrajích, obr. 88.

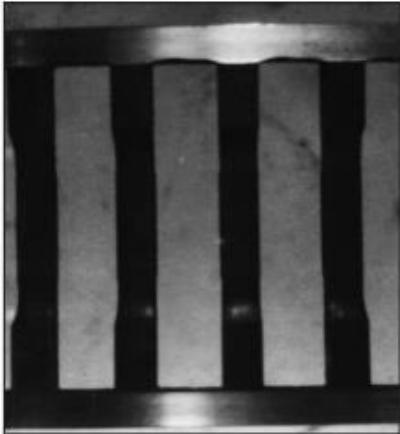
###### Příčiny:

- Mazivo znečištěné tvrdými cizími částicemi
- Příliš málo nebo nevhodné mazivo

###### Opatření k nápravě:

- Zajistěte čisté montážní podmínky
- Mazivo filtru
- Zvyšte průtok maziva a / nebo použijte jinou viskozitu

#### 88: Opotřebenění bočních okrajů klece



#### 3.5.2 Opotřebenění v důsledku nadměrné rychlosti

###### Příznaky:

Opotřebenění vnějšího průměru klece v důsledku oděru na vnějším kroužku ložiska, obr. 89.

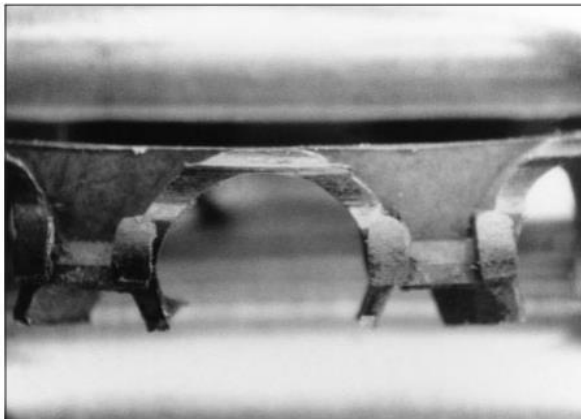
###### Příčiny:

- Nadměrná rychlost
- Je vybrána nevhodná konstrukce klece

###### Opatření k nápravě:

- Použijte jiný typ klece

#### 89: Opotřebenění vnějšího průměru klece v důsledku pastvy na vnějším kroužku ložiska





## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

### Poškození klece

#### 3.5.3 Opatření způsobené zkosením válečků

##### Příznaky:

Výsledek zkosení válečku je způsoben tím, že válečková ložiska nesou malé zatížení nebo jsou špatně nakloněná, nebo když kuželíková ložiska nejsou dostatečně seříděna. Pokud nemohou být síly zkosení zachyceny rty, vzniknou v důsledku nepřijatelně vysokého zatížení klecových kapes oblasti opotřebení, které jsou úhlopříčně proti sobě.

To může vést k zlomeninám mezi příčnickem a boční hranou v pokročilém stadiu poškození, obr. 90.

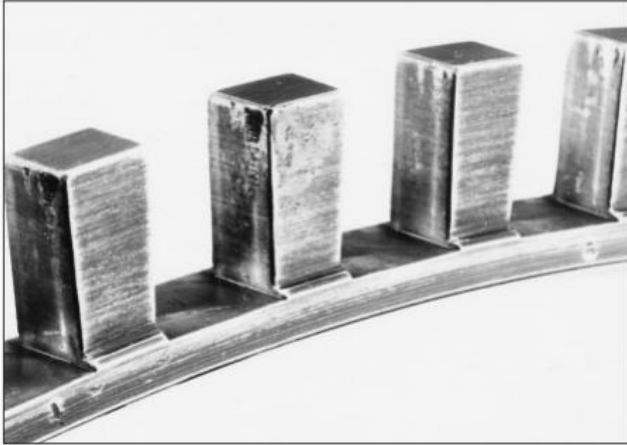
##### Příčiny:

- Nepřípustné naklonění ložisek, částečně kvůli vychýlení
- Chybné nastavení vůle v ložiskách

##### Opatření k nápravě:

- Ložiska správně seřídte
- Použijte naklápěcí ložiska, vyvarujte se vychýlení

#### 90: Diagonální opotřebení v klecových kapsách válečkových ložisek



#### 3.5.4 Opatření v klecích s kuličkovými ložisky v důsledku naklonění

##### Příznaky:

Mohlo by dojít k intenzivnímu opotřebení můstků mezi kapsami klece, deformaci nebo zlomení, obr. 91 (stopy, srovnej s obr. 38).

##### Příčiny:

- Nadměrné naklonění ložiskových kroužků k sobě, např. kuličková ložiska s kombinovaným zatížením.

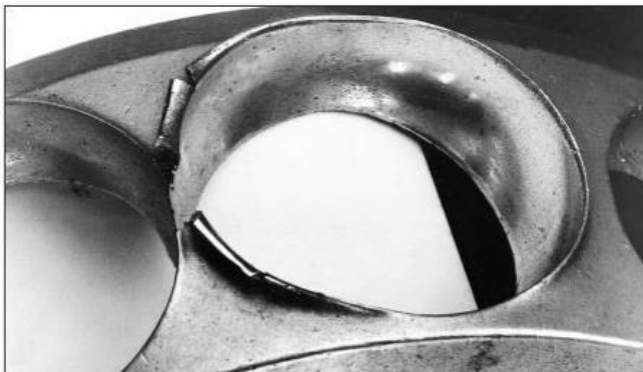
Výsledkem je různá obvodová rychlost koulí.

- Napětí v kleci je vysoké, zejména při špatném mazání

##### Opatření k nápravě:

- Vyvarujte se co největšího naklání
- Nakonec naneste naklápěcí ložiska nebo ložiska s polyamidovými klecemi
- Speciální design: kapsy s dlouhými otvory

91: Ložiskové kroužky nakloněné k sobě vedly k vysokým omezujícím silám mezi kuličkami a klecí, což následně vedlo k prasknutí pásu.



### 3.5.5 Zlomení spojení klece

Příznaky:

- Uvolnění nýtovaných spojů, zlomení nýtu (obr. 92)
- Odlomení hrotů klece

Příčiny:

- Vibrace nebo rázy, které překrývají normální napětí v kleci, např. vibrační jednotky nebo vozidla
- Naklápění v případě kuličkových ložisek s hlubokými drážkami

Opatření k nápravě:

- Použití pevné klece místo lisované klece
- Použití okenní klece, zvláště když je velké namáhání

92: Zlomené spoje klece a nýtu mohou být výsledkem vibračního namáhání.



### 3.5.6 Zlomenina klece

Příznaky:

Zlomenina bočních okrajů klece (obr. 93), zlomenina příčnicku zřídka

Příčiny:

- Poškození montáže
- Byla překročena kinematically přípustná rychlost
- V důsledku opotřebení a špatného mazání (viz část 3.5.1)
- Příliš vysoké momentové zatížení nebo naklápění kuličkových ložisek (viz část 3.5.4)
- U párů kuželíkových ložisek, která mají velkou vůli, také při rychlém obrácení axiálních zatížení

Opatření k nápravě:

- Namontujte opatrně
- Mazivo filtru
- Zvyšte průtok maziva a / nebo použijte jinou viskozitu
- Vyvarujte se co největšího naklápění
- Pokud je to možné, provozujte předepnutý pár ložisek

93: Rušivý zlom na bočním okraji klece s kulovým ložiskem



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

### Poškození klece

#### 3.5.7 Poškození v důsledku nesprávné montáže

Příznaky:

Počáteční fixace v případě plastových klecí, drážek nebo deformace v případě kovových klecí, obr. 94 a 95.

Příčiny:

- Nesprávné zahřátí ložisek pro montáž
- Nevhodné montážní pomůcky

Opatření k nápravě:

Montáž podle specifikací výrobce (viz například publikace FAG WL 80 100 „Montáž a demontáž valivých ložisek“).

94: Roztavená fáze plastové klece v případě nesprávného zahřátí ložiska na topné desce



95: Kovová klec s důlky



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

### Poškození těsnění

#### 3.6 Poškození těsnění

##### 3.6.1 Opatření těsnících chlopní

###### Příznaky:

Těsnící rty už ne jako hrany, ale rozšířené. Trhliny v těsnícím materiálu, těsnící chlopeň částečně odlomená, obr. 96, 97.

###### Příčiny:

- Příliš vysoké provozní teploty pro těsnící materiál
- Extrémní množství nečistot na těsnící hraně
- Těsnění je příliš vysoké
- Těsnící chlopeň není namazaná

###### Opatření k nápravě:

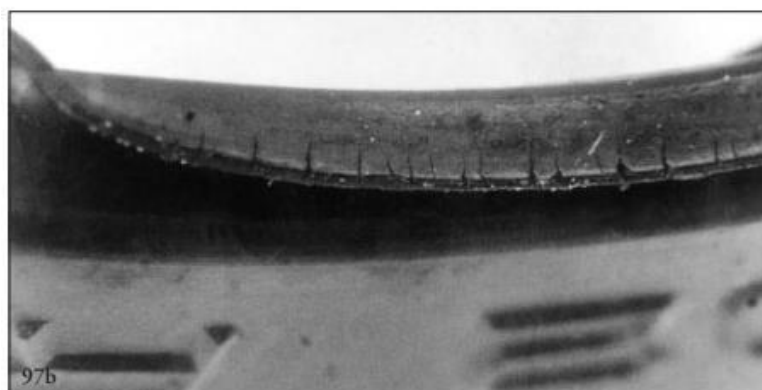
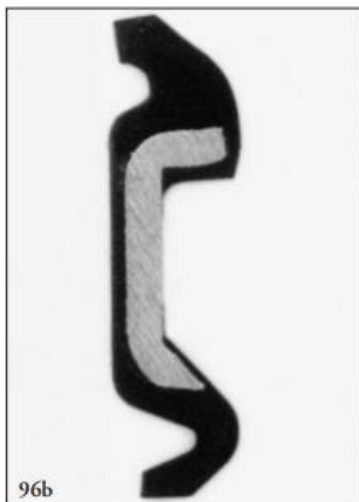
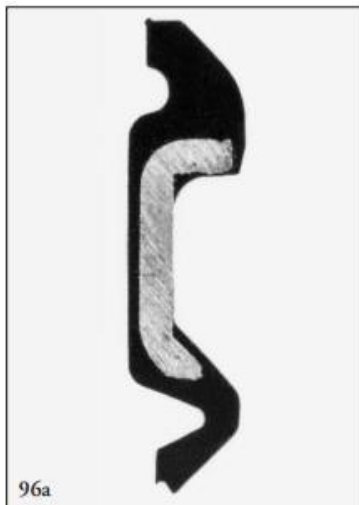
- Upravte těsnící materiál podle provozních teplot.
- Použijte předtisk bez tření
- Namažte těsnící chlopeň.

###### 96: Průřez těsnění.

a: nový těsnící břit; b: opotřebovaný těsnící břit

97: a: Tvrdné těsnění s opotřebováním a zlomeninami

b: Část opotřebovaného rtu zblízka



## Vyhodnocení provozních vlastností a poškození demontovaných ložisek

### Poškození těsnění

#### 3.6.2 Poškození v důsledku nesprávné montáže

##### Příznaky:

Těsnění je uvnitř příliš daleko, promáčknuté, zbarvené, poškrábané. Těsnicí rty jsou otočené nahoru, fíky. 98 a 99.

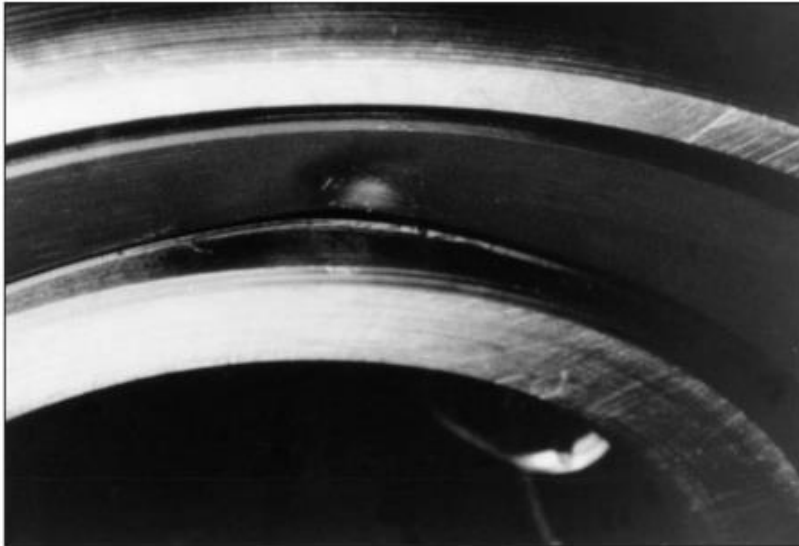
##### Příčiny:

- Nesprávné montážní pomůcky
- Ložisko je příliš zahřáté
- Těsnění občas odstraněno
- Ložisko je odfouknuto stlačeným vzduchem

##### Opatření k nápravě:

- Zajistěte opatrnou montáž pomocí vhodných montážních zařízení.
- Nikdy neotevírejte zapouzdřená ložiska, pokud se mají později použít.

#### 98: Zoubkovaná pečeť se škrábanci



#### 99: Otočené těsnicí rty



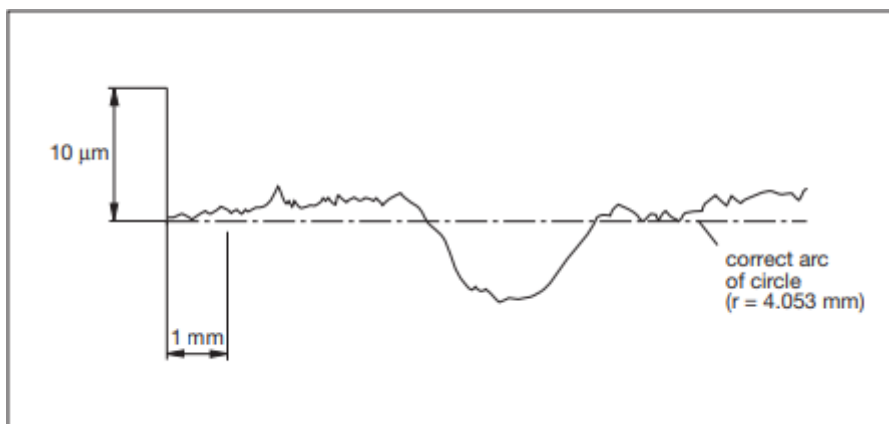
## Další způsoby kontroly u FAG

### Geometrické měření

#### Další způsoby kontroly u FAG

Zkušenosti ukazují, že ve většině případů poškození ložiska lze příčinu poškození vyjasnit pečlivým zvážení symptomů poškození spolu s údaji o provozních podmínkách. U velkého množství zbývajících neobjasněných případů lze příčinu poškození určit pomocí stereomikroskopu. Pouze velmi malé množství případů poškození ložiska vyžaduje důkladné prozkoumání symptomů poškození a intenzivní analýzu podmínek aplikace. Kapacity FAG pro výzkum a vývoj zahrnují nejrozmanitější a vysoce rozvinuté prostředky technické kontroly s některými velmi zvláštními vlastnostmi. Srovnání nákladů a přínosů těchto inspekci se doporučuje předem, protože ty se mohou ukázat jako docela nákladné. Hlavní kontrolní oblasti doprovázené několika příklady jsou uvedeny v následujících částech.

100: Profil oběžné dráhy kuličkového ložiska s hlubokou drážkou s drážkou pro opotřebením (křivka oběžné dráhy kompenzována měřicím zařízením)



4.1 Geometrická měření ložisek a částí ložisek Společnost FAG se neustále snaží zlepšovat kvalitu výroby valivých ložisek.

Proto máme nejsofistikovanější vybavení s různými měřicími zařízeními pro kontrolu rozměrů a tvarů jak na místě v naší záruce kvality, tak ve vlastní laboratoři:

- Délka a průměr se měří přesně na mikrometr
- Kontrola kontur tvaru a poloměru se zvětšením až 100 000krát, obr. 69, 100 a 101

101: Form Talysurf

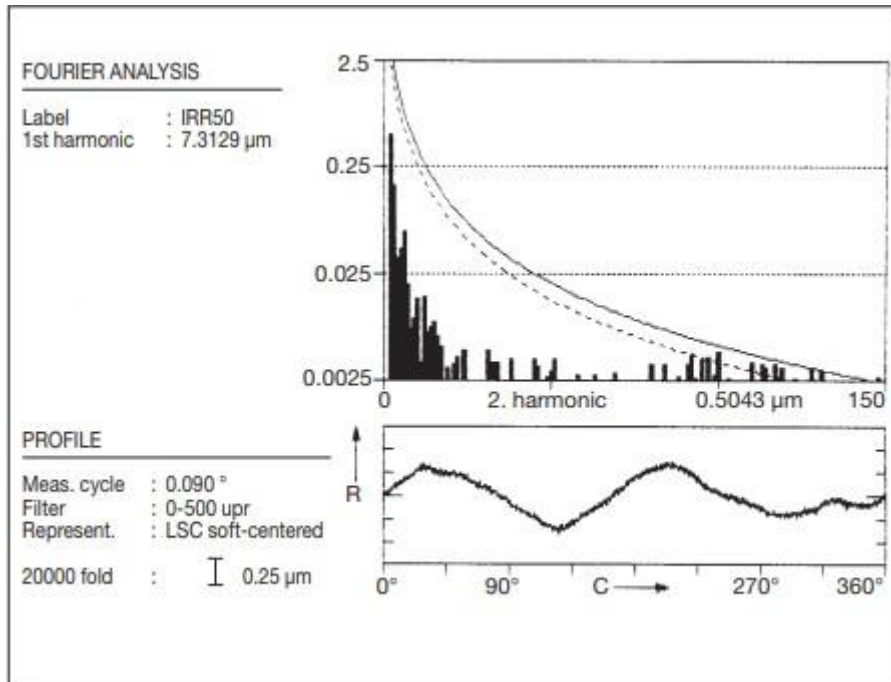


## Další způsoby kontroly u FAG

### Geometrické měření

- Odchylna kontroly kruhovitosti až do 100 000 násobné velikosti včetně frekvenční analýzy vlnitosti, obr. 102 a 103

102: Kresba formuláře s frekvenční analýzou vlnitosti, vnitřní kroužek 6207



103: Systém měření tvaru

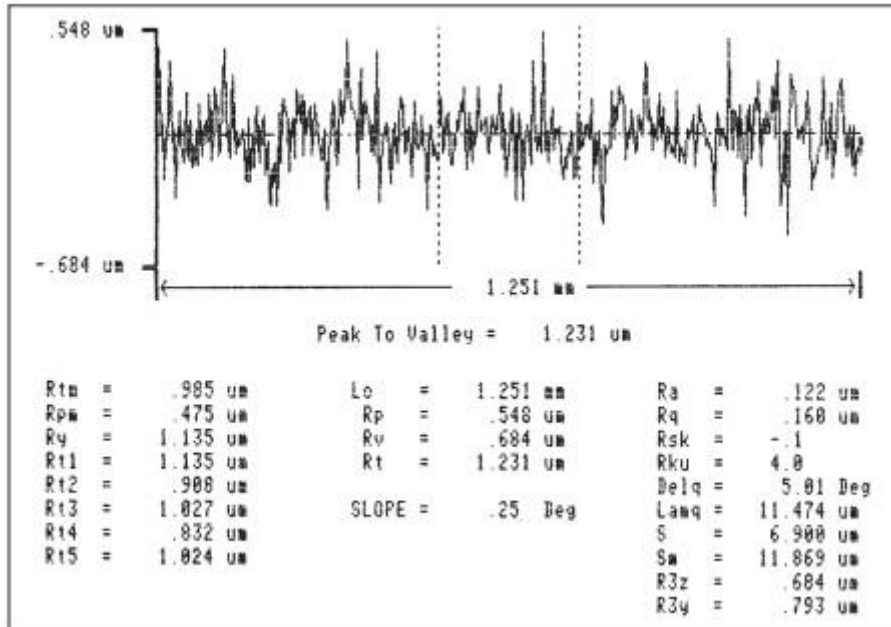


## Další způsoby kontroly u FAG

### Geometrické měření

- Měření drsnosti do jedné setiny mikrometru, obr. 104
- Kontrola tolerancí tvaru a polohy na formovacích měřicích systémech (FMS) a souřadnicových měřicích strojích, také u velmi nepravidelně tvarovaných konstrukčních dílů, jako jsou pouzdra z lité oceli, obr. 105
- Kontrola vůlí ložisek a radiálního házení jednotlivých dílů

104: Tabulka měření drsnosti s charakteristickými hodnotami



105: Souřadnicový měřicí stroj





## Další způsoby kontroly u FAG

### Geometrické měření

4.2 Analýzy maziv a kontroly maziv Společnost FAG má laboratoře a zkušebny pro kontrolu kvality a vhodnosti maziv pro valivá ložiska. Laboratorní analýzy maziv z poškozených ložisek často poskytují rozhodující informace nezbytné k objasnění příčiny poruchy. Hlavní kontrolní prostředky jsou:

- Množství a druh přítomné kontaminace
  - pevné, obr. 106a
  - kapalina (vlhkost)
- Použití antioxidantů
- Stárnutí, obr. 106b
- Změna viskozity
- Doplnkový obsah (redukce / degradace)
- Vztah oleje a mýdla v tucích
- Stanovení typu a třídy maziva, např. důkaz mazací směsi během domazávání, obr. 106b

Extrakce vhodného vzorku maziva je základním předpokladem pro spolehlivé informace založené na kontrole maziva (viz část 2.2). Původ kontaminujících látek lze téměř vždy určit z výsledků jejich analýz. Například lze získat přímou indikaci možných opatření k zastavení opotřebení, stejně jako závěry týkající se vhodných intervalů výměny oleje nebo přívodu čerstvého maziva lze odvodit z informací o obecném stavu oleje nebo maziva po určité době chodu.

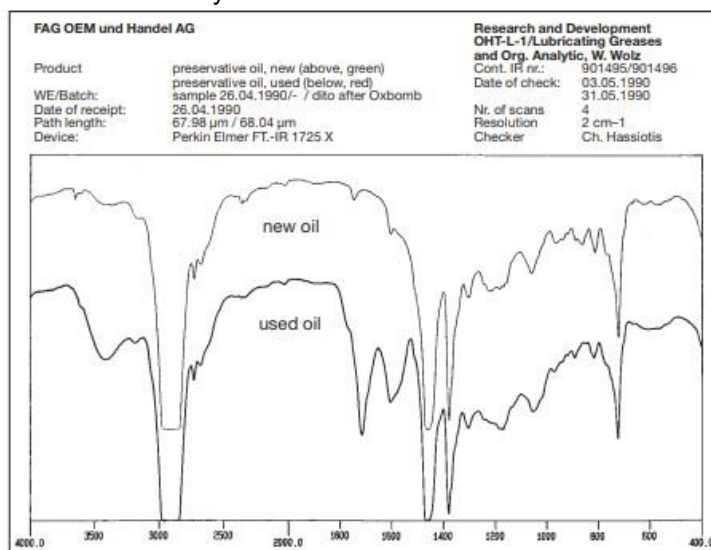
### 106 a: Kontrola kontaminantů, analýza ICP-AES

Element	Lambda	Factor	Offset	low min	low max	high min	high max
Cobalt	228,616	1,673	268	962	415	179515	107157
Manganese	257,610	1,318	-76	-121	-34	67816	51496
Chromium	267,716	1,476	381	669	195	76696	51688
Copper	324,754	0,834	-471	80	660	2297	3316
Molybdenum	281,615	1,073	-17	89	99	47781	44543
Nickel	231,604	1,778	4	114	62	38487	21640
Vanadium	311,071	0,937	-37	5	45	64228	68560
Tungsten	400,875	0,742	-16	4	26	14129	19053
Silicon	251,611	2,173	310	509	92	2385	955

sample: solids in contaminated lubricant    method: steel 1    M(3)

	Co	Mn	Cr	Cu	Mo	Ni	V	W	Si
x	.0107	0.636	1.412	0.185	0.797	0.271	.327	.002	0.359 %
s	.0004	.0002	.011	.0002	.0032	.0063	.0007	.0099	.0006
sr	4.11	0.67	0.03	1.18	0.40	2.31	0.22	57.44	0.06

### 106 b: FT-IR Analýza maziva



## Další způsoby kontroly u FAG

### Analýzy maziv a kontroly maziv

Ve zvláštních případech použití se také používají nová maziva, u nichž neexistují žádné poznatky o jejich vhodnosti pro mazání valivých ložisek. Ke kontrole vlastností těchto tuků a olejů byly vyvinuty zkušební soupravy FAG. Rovněž byly standardizovány a přijaty průmyslem maziv pro testování nových výrobků, obr. 107.

107: Zkušební zařízení pro stanovení kvality maziva



## Další způsoby kontroly u FAG

### Kontroly materiálu

#### 4.3 Kontrola materiálu

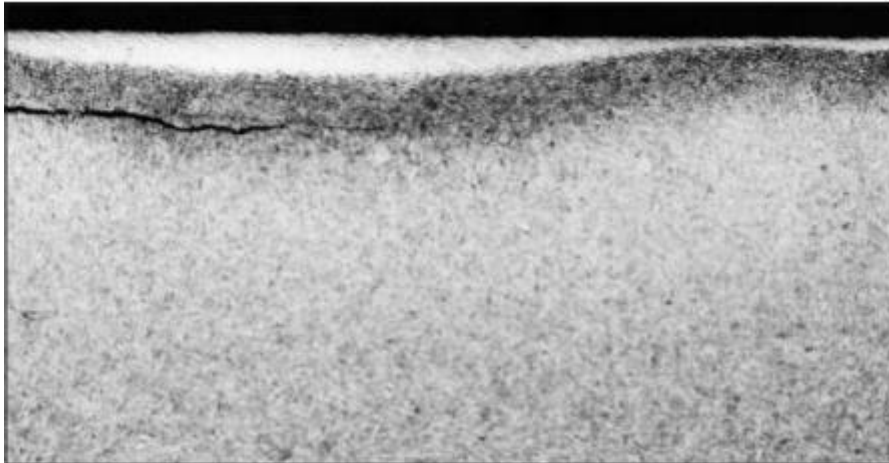
Pro plnou účinnost ložisek je rozhodující stav materiálu všech částí ložiska. Poškození ložiska je skutečně velmi zřídka způsobeno vadami materiálu nebo výroby, obr. 11, ale kontrola materiálu může v případě pochyb poskytnout důležité informace. V řadě případů jsou změny stavu materiálu způsobeny neočekávanými podmínkami aplikace ložiska.

Hlavní kontroly v této oblasti jsou:

- Kontrola tvrdosti a zřídka, pevnosti v tahu nebo vrubové pevnosti v ohybu
- Metalografické posouzení struktury
- Zleptáním kontaktních ploch zviditelnit zóny nepřijatelného zahřívání
- Kontrola trhlin pomocí ultrazvuku nebo vířivých proudů
- Radioskopické měření zadržného austenitu
- Kontrola čistoty materiálu
- Analýza materiálu

Kromě zjišťování poruch materiálu mohou tyto kontroly poskytnout informace například o nepřijatelném skluzu (klouzavé tepelné zóny, obr. 108) nebo neočekávaně vysokých provozních teplotách (výsledkem jsou změny v konstrukčních částech během provozu a rozměrové změny).

108: Sekce zóny vlivu tepla



## Další způsoby kontroly u FAG

### Rentgenová mikrostrukturální analýza

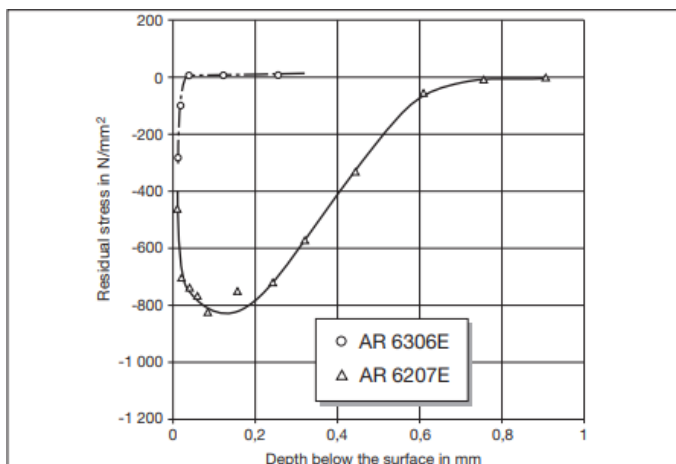
#### 4.4 Rentgenová mikrostrukturální analýza

Radioskopické zkoumání mřížové struktury (srov. Měření zadrženého austenitu v části 4.3) také umožňuje vyvodit velmi důležité závěry o zbytkovém napětí „zmrazeném“ v materiálu a napětí, na kterém je založen. Používá se k určení s dobrou aproximací skutečného zatížení ložisek po provozu. To může být obzvláště důležité v případech poškození, kdy nelze dosáhnout skutečné situace zatížení výpočtem. Specifické namáhání oběžné dráhy však muselo po delší dobu dosáhnout úrovně asi 2 500 N / mm<sup>2</sup>, protože až nad touto zátěží dochází k plastické deformaci mřížky materiálu a teprve poté ji lze testovat a kvantifikovat pomocí Rentgenová difrakce, obr. 109. Podrobnou zprávu o stanovení zbytkového napětí a výpočtu napětí naleznete v brožuře „Schadenskunde in Maschinenbau“, Expert Verlag 1990, například v části „Schadensuntersuchung durch Röntgenfeinstrukturanalyse“. Níže uvádíme stručné shrnutí. Zbytkové napětí přítomné na malých plochách (velikost povrchu několika čtverečních milimetrů, hloubka 1/100 milimetru) lze vypočítat zpět z mřížkové expanze měřené pomocí rentgenové difrakce. Měření se provádí vrstvou po vrstvě pro různé hloubky pod oběžnou dráhou ložiskového prstence elektrochemickým povrchovým výbojem. Vzor jako na obr. Potom se získá 110. Z celé hloubky deformace až hloubky, kde je největší napětí, lze na jedné straně odvodit maximální vnější zatížení a na druhé straně podíl možného klouzavého napětí v oběžné dráze. Jedná se o zásadní příspěvek k hledání příčin škod, zejména pokud se naměřené hodnoty výrazně liší od hodnot očekávaných na základě výpočtů.

109: Rentgenové mikrostrukturální analytické zařízení



110: Reziiduální napěťový vzor získaný z rentgenové mikrostrukturální analýzy; část vysoké tangenciální síly ve vnějším kroužku 6207E, žádné zvýšené napětí v referenčním ložisku 6303E



## Další způsoby kontroly u FAG

Vyšetřování elektronovým mikroskopem

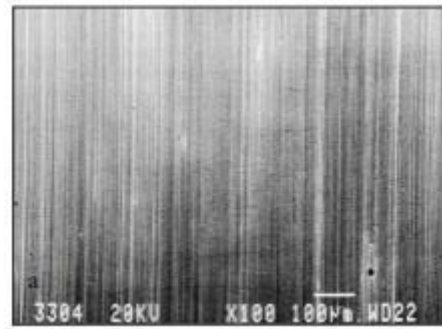
### 4.5 Skenování elektronovým mikroskopem (SEM)

Při vyšetřování poškození se k detekci jednotlivých příčin selhání obvykle kromě pouhého oka obvykle používá stereomikroskop. Poškozené detaily jsou však někdy drobné. Vzhledem k relativně velké vlnové délce viditelného světla je definice obrazu světelně optických projekcí omezená. Při obvyklých povrchových nerovnostech poškozených oběžných drah valivých ložisek lze fotografie pouze ostře zvětšit, a to až 50krát. Tuto překážku ve světelné optické kontrole povrchů lze obejít pomocí velmi krátkovlnného elektronového paprsku v rastrovacím elektronovém mikroskopu (SEM). Díky tomu je detekce detailů několik tisíckrát větší, obr. 111.

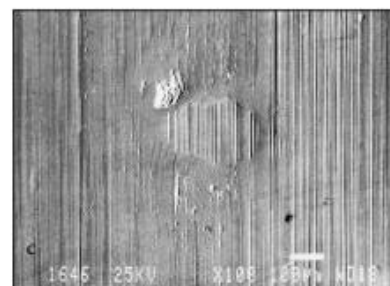
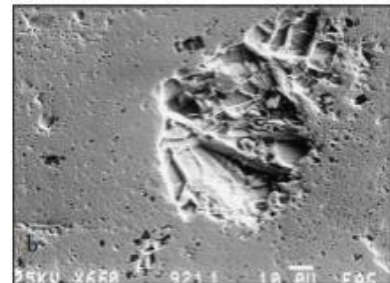
Skenovací elektronový mikroskop je proto zásadní pomůckou pro vizuální kontrolu oběžných drah poškozených opotřebením nebo průchodem proudem, zlomenými oblastmi, vtlačení cizích částic a inkluzí materiálu, obr. 112a, b a c.

112: SEM fotografie povrchové struktury v různé velikosti.

- a: oběžná dráha v pořádku
- b: odsazení tvrdých cizích částic
- c: začíná únavové poškození



111: Skenovací elektronový mikroskop



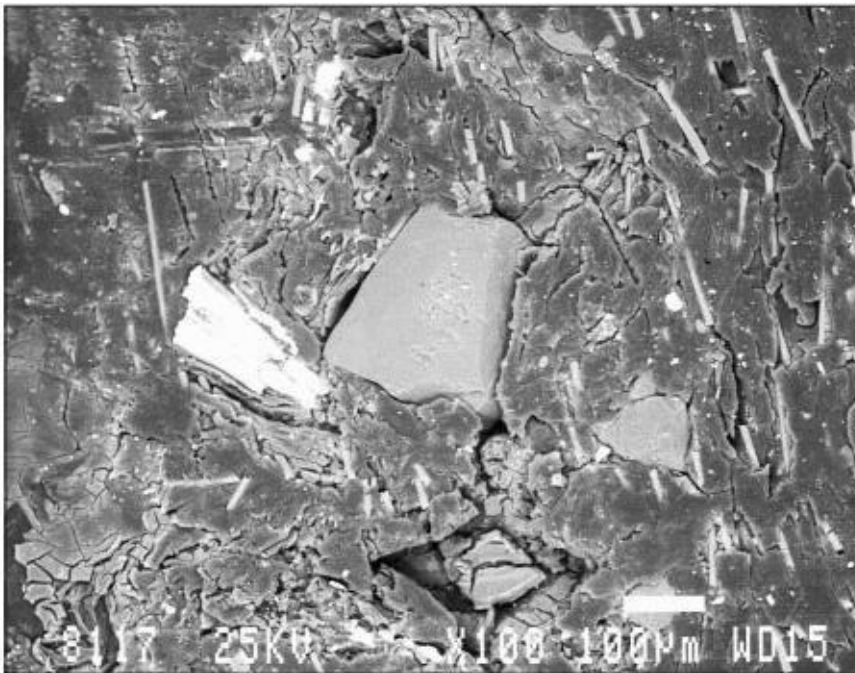
## Další způsoby kontroly u FAG

Skenovací elektronová mikroskopická kontrola

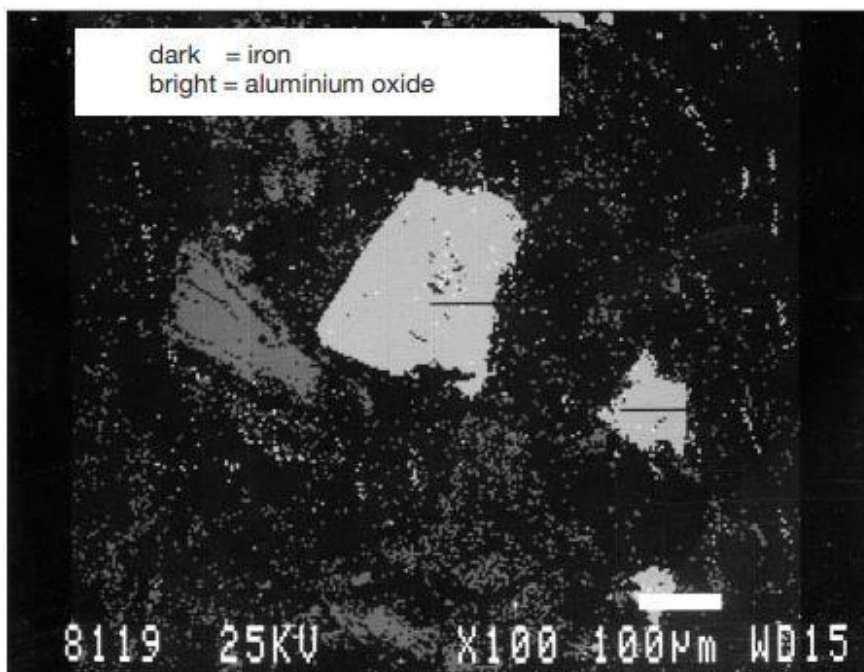
Při použití spektrometrů společně se SEM je také možné provést takzvanou mikroanalýzu elektronového paprsku. Kontroluje složení materiálu v objemovém rozsahu cca. 1 mikron<sup>3</sup>. To pomáhá určit původ cizích částic stále uvízlých v klecových kapsách ložiska, obr. 113a a b. Mezi další aplikace s ním patří kontrola povlaků nebo reakčních vrstev na kontaktních plochách nebo zkoumání materiálových složení v mikro oblasti.

113: Mikroanalýza cizích částic

a: Cizí částice v klecovém příčnicku



113 b: Materiálové složení cizích částic



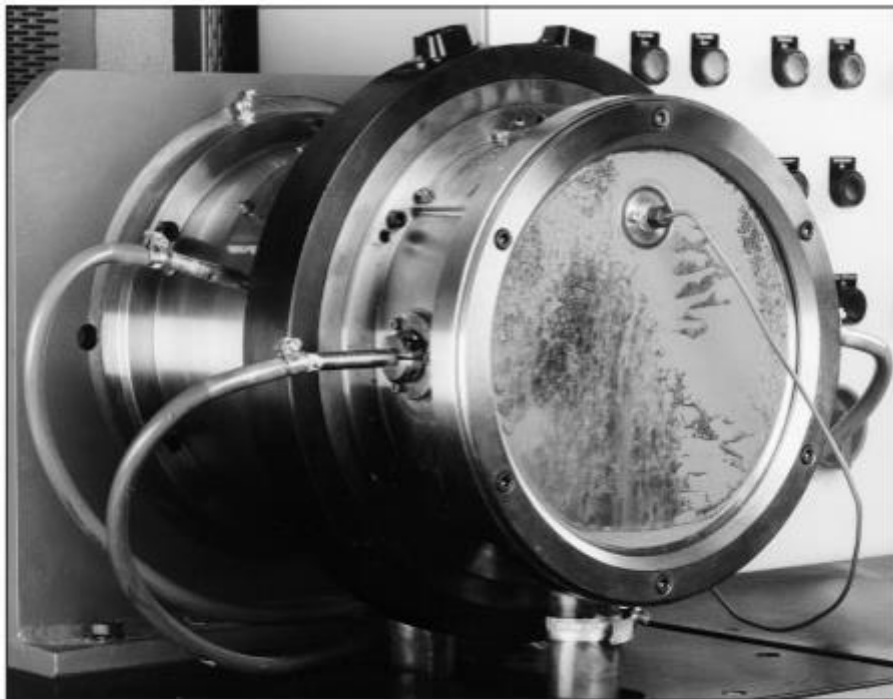
## Další způsoby kontroly u FAG

### Komponentní testy

#### 4.6 Komponentní testy

Ve vývojovém oddělení FAG existuje řada zkušebních zařízení pro testování účinnosti nově navržených produktů. V některých případech lze tyto zkoušky použít k objasnění příčiny poškození ložiska. Zahrnují na jedné straně přímé testy na zákaznických jednotkách, například měření deformací a vibrací na strojích, a na druhé straně kontroly těsnosti, měření třecího momentu a zkoušky životnosti na zkušebních zařízeních, obr. 114 a 115. Zkoušky se provádějí za jasně definovaných podmínek, kdy lze spolehlivě předvídat očekávané výsledky. Jakmile ložiska splní požadavky experimentu, musí se kontrola příslušného případu poškození zaměřit na kontrolu skutečných provozních podmínek (neočekávané nadměrné zatížení, také v důsledku chybné montáže atd.). Pokud by ložiska selhala po nečekaně krátké době chodu, umožňují technické monitorovací zařízení zkušebních zařízení detekovat poškození v jeho fázi vzniku. To je často problém v terénu, ale je také často rozhodující pro zjištění příčiny poškození.

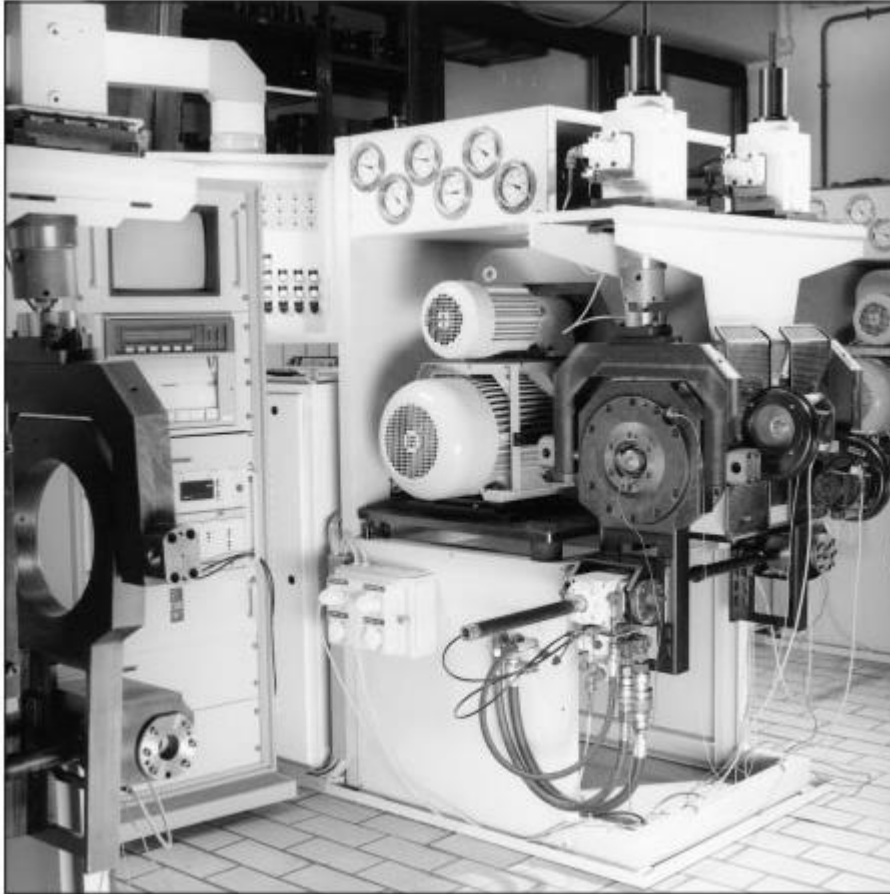
114: Zkušební zařízení pro kontrolu účinnosti těsnění valivých ložisek



## Další způsoby kontroly u FAG

Komponentní testy

115: Zkušební zařízení pro simulaci provozního napětí ložisek kol automobilu





## Další způsoby kontroly u FAG

### Výpočet podmínek zatížení

#### 4.7 Výpočet podmínek zatížení

V několika případech jsou ložiska, jejichž zatěžovací situace není známa úplně, vybírána pro nové konstrukce na základě zkušeností se staršími, podobnými jednotkami. Pokud v pozdější fázi dojde k poškození ložiska, pomůže při hledání jeho příčiny často přesný výpočet montážních podmínek. Srovnání výpočtu předpokládané životnosti a skutečně dosažené životnosti je obzvláště důležité, stejně jako výpočet mazacích podmínek. FAG má k dispozici rozsáhlou sbírku výpočtových programů. Ani ta nejsofistikovanější ložisková pouzdra nepředstavují žádný problém. Programy mohou vypočítat hodnoty pro vnější zatížení ložiska, náklon mezi namontovanými kroužky, vnitřní napětí, kinematické postupy v ložisku, deformaci spojovacích dílů, teplotní pochody a podobně. Složitost programů sahá od jednoduchého vyhodnocení analytických vzorců po provedení různých numerických iterací s nelineárními přibližnými řešeními a dokonce až po rozsáhlé trojrozměrné pevnostní výpočty spojovacích dílů pomocí konečných prvků, obr. 116.

116: Výpočet napětí na pouzdru válečkového ložiska pomocí metody konečných prvků (FEM)

