

Teplotní analýza při montáži ložisek

Martin Svoboda

Bakalářská práce
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří panu Ing. Miloši Ondrový za poskytnutí informací, nezbytné pro mou bakalářskou práci prováděnou ve firmě TES Vsetín, s.r.o.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé bakalářské práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 31.05.2006

.....

jméno diplomanta

ABSTRAKT

Abstrakt česky

Moje bakalářská práce byla zadána firmou TES VSETÍN, s.r.o. a zadání bylo následující: Pro daná ložiska 10 různých průměrů zjistit, při jaké teplotě se budou ložiska nasazovat na hřídel a zpracovat graf závislosti teploty na čase nasazení ložiska na hřídel. Pro zahřívání ložisek byla zvolena technologie indukčního zahřívání. Nejdůležitější požadavek zadavatele je zaručení přesnosti správného nasazení ložiska, spolehlivý chod, životnost a samozřejmě nízká cena výrobku. Výrobek bude používán u všech rotačních součástí v průmyslovém odvětví. Požadovaný výrobek byl dodán včetně grafů teplotní analýzy ložisek. Konečné řešení grafů bude odsouhlaseno firmou TES VSETÍN, s.r.o. Počet kusů výrobku: 10.

Klíčová slova: ložisko, teplota, hřídel

Abstrakt ve světovém jazyce

My bachelor task has been set by the company TES VSETÍN Ltd..The task has been set as follows: For set bearings of 10 various diametres to find out at what temperature the bearings will be put on shafts and to work out a graph of temperature and time dependence of putting – on the bearing on the shaft. The technology of induction warming has been chosen to warm up the bearings. There has been the most important demand of the customer to guarantee the right and precise putting the bearing on, reliable operating, durability and low price of the product, as well. The product will be used at all rotating parts in a industrial branch. The needed product has been supplied including the temperature analysis graphs of the bearings. The final solution of the graphs will be approved by the company TES VSETÍN Ltd..The number of pieces of the product: 10.

Keywords: bearing, temperature, shaft

OBSAH

ÚVOD.....	7
I TEORETICKÁ ČÁST	8
1 MONTÁŽ A DEMONTÁŽ LOŽISEK	9
1.1 ZÁSADY PRO MONTÁŽ LOŽISEK.....	9
1.1.1 Montáž ložisek s válcovou dírou	10
1.1.2 Montáž ložisek s kuželovou dírou	10
1.2 ZÁSADY PRO DEMONTÁŽ LOŽISEK	11
1.2.1 Demontáž ložisek tlakovým olejem	11
1.2.2 Demontáž ložisek indukčním ohřevem.....	12
1.3 MAZÁNÍ VALIVÝCH LOŽISEK	12
1.3.1 Zásady pro mazání ložisek	12
1.3.2 Mazání plastickým mazivem	13
1.3.3 Plastická maziva pro valivá ložiska	13
1.3.4 Mazání olejem.....	14
1.3.5 Způsoby mazání olejem	15
1.3.6 Mazání pevným mazivem	16
1.4 UPEVNĚNÍ KROUŽKŮ LOŽISEK	16
1.4.1 Zásady upevnění kroužků pro ložiska	16
1.4.2 Radiální upevnění kroužků pro ložiska	16
1.4.3 Axiální upevnění kroužků pro ložiska	18
1.5 TĚSNĚNÍ	19
1.5.1 Těsnění bezdotykové	19
1.5.2 Těsnění třecí.....	20
1.5.3 Těsnění kombinované	20
2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE A VÝPOČTY LOŽISEK	21
2.1 ROZDĚLENÍ DRUHŮ LOŽISEK	21
2.1.1 Radiální kuličková ložiska.....	21
2.1.2 Radiální, válečková, jehlová a soudečková	22
2.1.3 Axiální kuličková ložiska	22
2.2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O LOŽISKÁCH... ..	23
2.2.1 Přípustná naklopitelnost ložisek.	23
2.2.2 Označování ložisek	23
2.2.3 Přesnost ložisek	25
2.2.4 Klece ložisek.....	25
2.2.5 Základní výpočty pro volbu valivých ložisek.....	26
2.2.6 Vliv teploty na únosnost ložiska	28
2.2.7 Pravidla a doporučená uložení	29
2.2.8 Mezní otáčky pro ložiska.....	29
2.2.9 Životnost ložisek.....	30
II PRAKTICKÁ ČÁST	31
3 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	32
3.2 O firmě TES Vsetín, s.r.o	32
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	34
4.1 TECHNOLOGICKÁ PREVENCE PŘI MONTÁŽI LOŽISEK	34
4.1.1 Příprava před montáží ložiska	34
4.1.2 Volba vhodného prostředí.....	34
4.1.3 Vyčištění všech součástí	34

4.1.4	Montáž nových ložisek	35
4.1.5	Čištění ložisek	36
4.1.6	Princip indukčního ohřevu	36
4.1.7	Ohřev ložiska	37
4.1.8	Volba uložení a druhu ložisek	39
4.1.9	Stanovení teplotní analýzy	43
4.1.10	Početní kontrola	45
4.1.11	Zkušební běh	47
5	ZÁVĚR.....	49
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	50
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	51
	SEZNAM OBRÁZKŮ	53
	SEZNAM TABULEK.....	54
	SEZNAM GRAFŮ	55
	SEZNAM PŘÍLOH.....	56

ÚVOD

V současné době se u nás rozvíjí hlavně plastikářský průmysl, ale na nejvyšším stupni pořád stojí strojírenství. Obě odvětví si na dále budou držet vedoucí pozice a to hlavně díky automobilovému průmyslu, který zde získal vhodné podmínky pro výrobu různých komponentů. S tímto rozvojem jde zároveň rozvoj technologií a postupů v automobilovém průmyslu běžných jako například pájení, svařování, lisování, ohýbání atd. Což se v dalším období zjevně projeví. Naproti tomu konstrukce a technologie přípravků ve výrobě má u nás velkou důležitost a historii.

S tímto průmyslovým rozvojem jde současně i rozvoj nových výrobních postupů a technologií, což se v dalším období kladně projeví. Dnes po vstupu naší republiky do Evropské unie a začleněním se do evropské ekonomiky má rozvoj nových pracovních postupů a nových technologií velký význam, aby naše výrobky byly konkurenčně schopné, zejména na západních trzích. Proto strojírenské firmy, vynaložily nemalé finanční prostředky do těchto nových postupů a technologií, aby výrobky byly efektivní, konkurence schopné a posílily si svoji pozici u zákazníků.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MONTÁŽ A DEMONTÁŽ LOŽISEK

1.1 Zásady pro montáž ložisek

Vhodné montážní pracoviště, udržování valivých ložisek v naprosté čistotě a šetrné zacházení s nimi jsou základní podmínky správné montáže. Nečistota a nesprávné zacházení s valivými ložisky při montáži mají nejškodlivější vliv na jejich přesnost, jíž se dosáhlo velmi složitým technologickým postupem.

Ložiska určená k montáži se mají vyjmout z původního ochranného obalu až těsně před montáží. Ve výjimečných případech se ložiska perou v benzínu s přídavkem 5 až 10 % lehkého minerálního oleje, v benzolu, naftě, popř. v bezvodém petroleji. Po vymytí a odkapání mycího prostředku je třeba ložisko promazat olejem a zabezpečit jej proti znečištění.

Před montáží ložiska je často zapotřebí překontrolovat rozměry přípojovacích součástí, aby se zabránilo chybám, které by se mohly projevit zkrácením životnosti ložiska.

Před montáží se styčné plochy, tj. díra a povrch vnějšího kroužku ložiska, čep a díra v tělese, pečlivě očistí a nepatrně potřou olejem. Stejným způsobem se připraví i upínací pouzdra, popř. stahovací pouzdra.



Obr.1. Ložisko před použitím

1.1.1 Montáž ložisek s válcovou dírou

Většina ložisek s válcovou dírou se nalisuje na čep, jehož průměr je o určitý přesah větší než díra vnitřního kroužku ložiska. Při tomto způsobu upevnění se vnitřní kroužek ložiska roztáhne a čep stlačí. Síla potřebná k nalisování ložiska je závislá na skutečném přesahu a rozměrech vnitřního kroužku. Valivá ložiska lze montovat na čep buď za studena za použití vhodného montážního nářadí a lisu. Síla k nalisování se nesmí přenášet přes valivá tělesa, montážní přípravek má být opřen o ten kroužek, který se právě naráží, popř. o oba kroužky současně.

Montáž velkých ložisek za studena je velmi obtížná, a proto se tato ložiska ohřívají v minerálním oleji nebo ve vodě s přísadou asi 5 % vrtacího oleje na 70 – 90°C. Většinou tato teplota stačí pro pohodlné nasunutí ložiska na čep. Podle potřeby se ložiska mohou ohřát až na 100°C, aniž se sníží jejich únosnost.

Ložiska se ohřívají ve vhodné kovové nádobě, aby nedošlo k lokálnímu přehřátí ložiskového materiálu, kroužky se v nádobě zavěsí nebo položí na kovové síto nebo mříž umístěnou nade dnem nádoby. Při ohřevu kroužků je třeba teplotu lázně průběžně kontrolovat a dbát bezpečnostních opatření.

Montáž velkých ložisek lze provést také tlakovým olejem. Tento způsob spočívá v tom, že se olej vysokým tlakem vtlačuje mezi styčné plochy vnitřního kroužku a čepu, respektive kuželového pouzdra. Vytvořený olejový film snižuje tření a tím se usnadňuje montáž. Tohoto způsobu se častěji využívá při demontáži ložisek.

1.1.2 Montáž ložisek s kuželovou dírou

Ložiska s kuželovou se upevňují na hřídeli upínacími nebo stahovacími pouzdry, popř. se usazují přímo na kuželovém čepu, a to zpravidla poněkud pevněji než ložiska s dírou válcovou. Zmíněného upevnění se dosáhne buď nalisováním vnitřního kroužku pomocí matice, nebo naražením pouzdra. V obou případech se vnitřní kroužek roztáhne a způsobí zmenšení radiální vůle v ložisku.

U dvouřadých naklápěcích kuličkových ložisek se proto smí matice upínacího pouzdra přitáhnout jen do té míry, aby se vnější ložiskový kroužek dal nejen otáčet, ale i lehce vyklápat.

Dvouřadá soudečková ložiska, kterých se používá převážně pro velká zatížení, se upevňují s větším přesahem. Radiální vůle je tomu přizpůsobena a její zmenšování se dá při montáži měřit šterbinovými měrkami. Správné upevnění vnitřního kroužku se kontroluje jak zmenšením radiální vůle, tak i měřením délky axiálního naražení vnitřního kroužku na kuželový čep nebo upínací pouzdro. Rovněž délka naražení stahovacího pouzdra je měřítkem zmenšení radiální vůle v ložisku. U větších soudečkových ložisek se měří vůle šterbinovou měrkou. Axiální vůle se obvykle měří nad horním valivým tělesem při nadzvednutém vnějším kroužku.

1.2 Zásady pro demontáž ložisek

Výměna nebo demontáž valivých ložisek bývá někdy obtížnější, neboť kroužky jsou na čepu a někdy i v tělese uloženy se značným přesahem. Uložení s valivými ložisky se proto musí řešit tak, aby náležitou úpravou těles, správným upevněním a vhodně volenou kombinací ložisek byla usnadněna jejich montáž i demontáž.

Demontáž ložisek má být jednoduchá a nesmějí se při ní poškodit ložiska, jestliže jich bude dále použito, ani součásti s nimi spojené.

Ložiska s lisovaným uložením obou kroužků nelze často stáhnout bez přímého zatížení valivých těles. V takových případech je třeba demontáž provádět klidným a rovnoměrně působícím tlakem, který je méně nebezpečný pro vytvoření otlaků na oběžných drahách kroužků. Demontáž ložisek s upínacím nebo stahovacím pouzdrem je stejně jednoduchá jako jejich montáž. Ložiska se stahovacím pouzdrem se uvolňují maticí, která se našroubuje na závit pouzdra. Při demontáži ložisek, uložených přímo na kuželovém čepu se nejdříve sejme matice s pojistnou podložkou a potom se ložisko vhodným způsobem s čepu stáhne.

1.2.1 Demontáž ložisek tlakovým olejem

K demontáži velkých ložisek, uložených na kuželovém čepu nebo upevněných stahovacím pouzdrem, se mimo jiné používá též tlakového oleje, který se přivádí vhodně upravenými drážkami mezi dosedací plochy, např. mezi kuželovou díru vnitřního ložiskového kroužku a kuželový čep. Ložisko s kuželovou dírou se pod tlakem oleje samo uvolní. Olej k tomu účelu používaný má viskozitu asi 40 mm²/s (asi 5 °E/50°C). Stahovací

pouzdra s průměrem díry přes 200 mm se mohou pro ulehčení demontáže opatřit rozváděcími drážkami a přívody pro tlakový olej. Toto stahovací pouzdro má dva přívody pro vtlačení oleje. Jedním se tlakový olej rozvádí drážkou po vnější ploše stahovacího pouzdra, druhým přívodem se olej rozvádí drážkou po vnitřní ploše pouzdra. Vtlačuje-li se mezi tyto plochy olej, stahovací pouzdro se samo z ložiska vysune. Při demontáži velkých ložisek s upínacím nebo stahovacím pouzdem se dobře osvědčila hydraulická matice. Tvoří ji ocelový kroužek s vnitřním závitem, v němž se axiálně posouvá píst tvaru mezikruží.

1.2.2 Demontáž ložisek indukčním ohřevem

Pro demontáž velkého počtu rozebíratelných ložisek stejné velikosti a velkých ložisek, která se musí často rozebírat, je hospodárné vnitřní kroužky ohřívat indukčně. Rychlým ohřevem se demontovaný kroužek uvolní a snadno sejme z úložné plochy.

1.3 Mazání valivých ložisek

1.3.1 Zásady pro mazání ložisek

Úlohou mazání valivých ložisek je vytvoření stabilního nosného mazacího filmu ve styku valivých těles na funkčních plochách klece. Mazivo chrání též ložisko před korozí a zlepšuje jeho utěsnění. Všechny druhy valivých ložisek mohou být mazány plastickým mazivem nebo olejem, kromě axiálních soudečkových ložisek, která musí být mazána pouze olejem. Vyhovuje-li provozním poměrům a druhu ložiska plastické mazivo i olej, dává se přednost zpravidla mazání plastickým mazivem, protože umožňuje jednodušší uspořádání uložení. Každé mazivo má příznivé vlastnosti jen v určitém rozsahu teplot, a proto je pro volbu maziva rozhodující především provozní teplota ložiska. V ložisku má být jen poměrně malé, nezbytně nutné množství maziva. Přemazané ložisko má vyšší tření, a tím i vyšší teplotu.

Způsob mazání závisí vždy na provozních poměrech, přičemž je třeba vzít v úvahu:

- a) teplotu
- b) otáčky
- c) velikost ložiska
- d) zatížení
- e) požadavky na těsnění
- f) hospodárnost

1.3.2 Mazání plastickým mazivem

Mazání plastickými mazivy je výhodné z hlediska utěsnění ložisek proti nečistotě a vlhkosti a pro snadnou obsluhu. Většinou pro tento způsob mazání vyhovuje štěrbinové těsnění nebo plstěné těsnění. V provozu nevyžadují plastická maziva žádnou zvláštní kontrolu, a proto se jich běžně užívá při normálních provozních podmínkách.

Při první montáži se ložisko naplní plastickým mazivem. Prostory po obou stranách tělesa se mohou naplnit mazivem jen do poloviny, protože velké množství maziva by způsobilo zvýšení teploty, a tím i jeho předčasné znehodnocení.



Obr. 2. Plastické mazivo



Obr. 3. Plastické mazivo

1.3.3 Plastická maziva pro valivá ložiska

Plastická maziva jsou konzistentní nebo polotekuté produkty disperze zahušťovadla v kapalném mazivu, popř. s dalšími přísadami. Kapalnou složkou jsou převážně minerální oleje, zahušťovadlem zpravidla kovová mýdla mastných kyselin.

Plastická maziva používaná pro mazání valivých ložisek musí mít především dobrou mazací schopnost a vysokou chemickou, tepelnou a mechanickou stabilitu. Mohou být odolná proti vodě nebo mohou mít schopnost ji vázat vytvořením emulze.

Z hlediska základních funkčních vlastností rozlišujeme tyto hlavní typy mazacích tuků:

Tuky vápenaté – mají poměrně nízký bod skápnutí (75 až 95°C) a při jeho překročení se rozloží. Použitelnost je omezena nejvýše do 70°C. Jsou velmi odolné proti vodě a mechanickému hnětení. Nejsou příliš stálé, a proto nejsou vhodné pro dlouhodobé použití.

Tuky sodné – mají bod skápnutí v oblasti 140 až 200°C. Při překročení bodu skápnutí se roztaví a po zchladnutí opět ztuhnou na původní konzistenci. Mohou vázat určité množství vody, s níž emulgují, aniž se podstatně ovlivní jejich mazací schopnost. Jsou značně chemicky stálé, a proto vhodné pro dlouhodobé použití. Větší množství vody je však škodlivé, protože se tuk vyplavuje.

Tuky litné – mají bod skápnutí kolem 170°C. Vynikají malou změnou konzistence s teplotou a jsou značně chemicky stálé. Jsou odolné vůči vodě, a proto musí obsahovat ochranné látky proti korozi.

Komplexní tuky vápenaté – spojují do značné míry přednosti tuků vápenatých i sodných. Mají bod skápnutí nad 200°C a jsou odolné vůči vodě i mechanickému hnětení. Mají širokou oblast uplatnění.

1.3.4 Mazání olejem

Mazání olejem se stává nezbytným:

- a) jsou-li otáčky tak velké, že lhůty pro mazání tukem se příliš zkracují,
- b) je-li provozní teplota ložiska tak vysoká, že nepřipouští mazání tukem,
- c) je-li třeba odvádět z ložiska teplo způsobené třením nebo vnějšími zdroji,
- d) jsou-li sousední součásti již mazány olejem (např. ozubená kola).

Při olejovém mazání musí být zajištěn plynulý přívod oleje do ložiska při rozběhu, v provozu a po zastavení stroje. Množství obíhajícího oleje musí být dostatečné, aby mazání bylo plně zajištěno.

Nadměrné množství oleje zvyšuje zbytečně jeho teplotu i teplotu ložiska. Při olejovém mazání jsou mezní otáčky valivých ložisek vyšší než při mazání plastickými mazivy.

1.3.5 Způsoby mazání olejem

Mazání olejovou lázní se používá pouze při nižších rychlostech ložisek u vodorovných i svislých hřídelí. Hladina olejové lázně se má udržovat ve výši středu spodního valivého tělesa. Ložiskové těleso má mít spolehlivý olejznak.

Mazání oběhem oleje je nutné při vysokých otáčkách nebo u svislých hřídelí. Při mazání oběhem oleje uvnitř ložiskového tělesa se olej, rozstříknutý rotujícím kotoučem, shromažďuje a přivádí zpět do ložiska. K mazání valivých ložisek lze též použít oleje rozstříknutého ozubenými koly. Intenzivnějšího oběhu oleje a tím i chlazení ložiska se dosáhne oběhovým mazáním pomocí čerpadla. U svislých hřídelí se dosáhne oběhu oleje rotujícím kotoučem na spodním konci hřídele.

Mazání vstříkáváním oleje do ložisek zabezpečuje nejen dostatečné množství mazacího oleje v ložisku, ale současně i odvod tepla vzniklého třením. Olej se vstříkuje velkou rychlostí do ložisek jednou tryskou nebo více tryskami a odpadovými kanály odvádí zpět.

Mazání olejovou mlhou spočívá v tom, že se k valivým ložiskům přivádí stlačeným vzduchem velmi jemně rozprášený olej. Olejová mlha se vytváří v rozprašovači oleje a vede potrubím k jednotlivým ložiskům. Stlačený vzduch musí být bezpodmínečně prost nečistot a vlhkosti. Proudící vzduch ochlazuje ložiska a přetlak v ložiskovém tělese chrání ložiska proti vnikání nečistot. Tento způsob mazání se hodí dobře pro rychloběžná uložení nebo pro mazání těžko přístupných ložisek. Používá se oleje o viskozitě 30 až 50 mm²/s (4 až 7^oE) při 50°C. U větších ložisek lze s výhodou kombinovat mazání plastickým mazivem s mazáním olejovou.

1.3.6 Mazání pevným mazivem

Pevná maziva jsou doplňkem maziv kapalných a plastických zejména tam, kde tato maziva nemohou splnit mimořádné požadavky oproti ořetrové vlastnosti v podmínkách mezního tření nebo na odolnost vůči velmi vysokým teplotám, chemickým vlivům apod. Aplikace pevných maziv je možná také ve formě suspenzí v mazacích olejích nebo směsi s některými mazacími tuky. Pro valivá ložiska, která se jen nepatrně otáčejí, lze použít výjimečně, např. při velmi vysokých teplotách, roztoku koloidního grafitu v petroleji.

1.4 Upevnění kroužků ložisek

1.4.1 Zásady upevnění kroužků pro ložiska

Radiální a axiální upevnění kroužků valivých ložisek je přímo závislé na celkovém konstrukčním uspořádání uložení. Při volbě upevnění kroužků je nutno přihlídnout zejména k druhu a velikosti působících sil, k provozní teplotě uložení a k materiálu připojovacích součástí. Kroužky radiálních valivých ložisek se v radiálním směru upevňují na válcových plochách čepů a děr, v některých případech upínacími a stahovacími pouzdry, popř. přímo na kuželovitém čepu.

Upevnění kroužků valivých ložisek v axiálním směru se provádí nejrůznějšími způsoby. Používá se upínacích kruhových matic, koncových desek, pojistných kroužků, popř. se čelo ložiskového kroužku opírá o následnou součást, o osazení na čepu, o víko atp. Při stanovení rozměrů připojovacích součástí musí mít konstruktér na zřeteli velikost a druh ložiska. Je třeba také přihlídnout i ke způsobu montáže a demontáže ložiska.

1.4.2 Radiální upevnění kroužků pro ložiska

Správné radiální upevnění ložiskových kroužků na čepu a v tělese má značný vliv na využití únosnosti a trvanlivosti ložiska a na jeho funkci. Přitom jsou důležitá tato hlediska:

- a) bezpečné upevnění a rovnoměrné podepření kroužků
- b) jednoduchá montáž a demontáž
- c) posuvnost volného ložiska.

Podle provozních podmínek mohou mít ložiskové kroužky buď pevné, nebo suvné uložení. Pouze lisovaným uložením kroužků na čepu nebo v tělesech se dosáhne jejich spolehlivého podepření na celém obvodu a radiálního upevnění proti otáčení. Suvné uložení kroužků je přípustné, s přihlédnutím k provozním podmínkám, pouze s ohledem na snadnou montáž, popř. k zajištění posuvnosti kroužků volného ložiska.

Dále musíme mít na zřeteli: způsob a velikost zatížení, typ a velikost ložiska, materiál a konstrukci připojovacích součástí, způsob montáže a demontáže ložisek, provozní teplotní poměry, přesnost a tuhost uložení a konečně nutnost axiální posuvnosti jednoho ložiskového kroužku v důsledku dilatace.

Působí-li zatížení v jednom smyslu a příslušný ložiskový kroužek se otáčí, nebo neotáčí-li se kroužek a zatížení obíhá, mluvíme o obvodovém zatížení. Jestliže se ložiskový kroužek neotáčí a vnější síla směřuje stále do téhož bodu oběžné dráhy, nebo jestliže se kroužek a zatížení otáčejí stejnými otáčkami, vzniká bodové zatížení kroužku. Neurčité zatížení ložiskového kroužku nastává, působí-li na kroužek proměnné vnější síly, u kterých nelze blíže určit směr a změny zatížení, např. síly vzniklé nevyvážeností, rázy apod.

Při volbě lícování ložiskových kroužků je třeba v každém případě splnit hlavní podmínku, tj., že kroužek s obvodovým zatížením musí být uložen vždy pevně. Při nedodržení této podmínky se ložiskový kroužek začne protáčet, vzniká styková koroze, nastává tření za sucha mezi stykovými plochami a konečně i zadření obou ploch. Bočním sevřením ložiskových kroužků nelze při suvném uložení a obvodovém zatížení zabránit pootáčení kroužků, protože síla svírající kroužek by musela být mnohonásobně větší než zatížení ložiska.

Kroužek s bodovým zatížením může být uložen suvně, jestliže to podmínky vyžadují. Neurčitý způsob zatížení vyžaduje, aby oba ložiskové kroužky byly uloženy pevně na hřídeli i v tělese. Aby tato podmínka mohla být splněna, je třeba volit ložiska, která umožní axiální dilataci, současně je třeba použít ložisek se zvětšenou radiální vůlí. Vlivem zatížení se vnitřní ložiskový kroužek pružně deformuje a tím se pevnost uložení zmenší. Pevnost uložení musí proto odpovídat velikosti zatížení. Velká rázová zatížení mají nepříznivý vliv na uložení ložiskových kroužků. Čím větší jsou rázy a zatížení ložiska, tím pevnější musí být uložení.

Tvarové nepřesnosti dosedacích ploch se přenášejí na oběžné dráhy ložiskových kroužků a porušují přesnost uložení. Tolerance tvaru, tj. přípustné úchytky kruhovitosti a válcovitosti hřídele a díry v tělese, nesmí proto všeobecně překročit polovinu rozměrové tolerance. Pro ložiska se zvýšenou přesností, pro včetně obráběcích strojů a přístrojů jsou přísnější předpisy pro volbu lícování.

1.4.3 Axiální upevnění kroužků pro ložiska

Axiální upevnění pro vnitřní kroužky - spočívá v tom, že ložiska s válcovou dírou, uložená pevně na čepu, jsou zpravidla opřena čelní plochou vnitřního kroužku o osazení na hřídeli a zajištěna maticí s pojistnou vložkou. Často se používá pojistného kroužku, u namáhaných uložení větších rozměrů je lépe použít koncové desky.

Aby čelní opěr pro ložisko plnil správně svoji funkci, musí být kolmý k ose čepu a pečlivě obroben, aby na něj čelo kroužku těsně dosedlo. Přejechod mezi čepem a nákrůžkem tvoří zaoblení, jehož poloměr musí být menší než zaoblení ložiskového kroužku. Výhodnější provedení tohoto přechodu je zápich, jehož použití je zpravidla podmíněno výrobními hledisky u broušených čepů. V některých případech se ložiska opírají jen o nákrůžek, aniž se zajišťují v opačném smyslu.

V případech, kdy je nutno provést větší zaoblení nebo příznivější přechod k osazení s ohledem na zvýšení pevnosti hřídele, vkládá se mezi osazení hřídele a vnitřní kroužek ložiska opěrný kroužek, často vytvořený jako součást labyrintového těsnění. Opěrného kroužku se rovněž používá v těch případech, kdy je osazení na hřídeli příliš nízké a tvoří-li nedostatečnou opěru pro vnitřní kroužek.

Axiální upevnění pro vnější kroužky - spočívá v tom, že podélný posuv vnějších kroužků ložisek je v tělese omezen čelními opěrami nebo dosedacími plochami vík. Opěrná výška těchto ploch je uvedena v rozměrových tabulkách. Přejechod mezi dírou a opěrnými plochami v tělese tvoří zpravidla malé zaoblení, je-li díra soustružena nebo frézována. Jsou-li díry pro uložení vnějších kroužků broušeny, mají zápich, který je výhodnějším přechodem mezi dírou v tělese a čelní plochou. Ve dvojdílných tělesech bývá vždy vnější ložiskový kroužek uložen suvně, aby se zabránilo případnému oválnému sevření kroužků. U větších ložiskových těles mají být hrany v dělicí rovině sraženy. Pro pevné uložení vnějších ložiskových kroužků se používá nedělených ložiskových těles.

Plochy čelních opěr musí být kolmé k ose díry v tělese, a proto se obrábějí na jedno upnutí při broušení nebo soustružení díry.

Hřídel uložený ve dvou nebo i v několika nerozebíratelných ložiskách musí být v podélném směru zajištěn jen v jednom vodícím ložisku, které zachycuje axiální složky sil působící v obou směrech. Ostatní volná ložiska musí být v tělesech uložena suvně s dostatečnou axiální vůlí, která umožní potřebnou dilataci hřídele.

1.5 Těsnění

Předpokladem pro správný chod ložiska a dosažení jeho předpokládané životnosti je dobré utěsnění celého uložení. Utěsnění má chránit ložiska proti prachu, vlhkosti, má však také za úkol zabránit unikání maziva z uložení. Podle různých způsobů uložení jsou kladeny na těsnění rozdílné požadavky, Na volbu účelného utěsnění má vliv mnoho činitelů:

- a) způsob mazání
- b) prostorové možnosti
- c) výrobní náklady
- d) mechanické ztráty v uložení
- e) trvanlivost utěsnění
- f) chemické a mechanické vlivy prostředí.

1.5.1 Těsnění bezdotykové

U bezdotykového těsnění nemůže dojít k opotřebení vlivem tření a lze ho použít při vysokých otáčkách a při vysokých i nízkých teplotách bez zvláštních úprav. Těsnění štěrbinové je nejjednodušším a výrobně nejméně nákladným způsobem bezdotykového těsnění. Účinnost štěrbinového těsnění se zvětšuje prodloužením štěrbin a radiálními drážkami, které se vyplní při montáži plastickým mazivem, aby se zvýšil těsnicí účinek štěrbin. Použije-li se štěrbinového těsnění při olejovém mazání, je třeba zajistit odstřík oleje, který putuje po hřídeli. Odstřík se provede vhodnou drážkou na hřídeli nebo nataženým kroužkem na čepu. Štěrbinového těsnění lze použít i pro vertikální hřídel.

Velmi účinný způsob bezdotykového těsnění, zvláště vhodného pro vyšší otáčky a pro poměrně prašné prostředí je labyrintové těsnění. Zvýšením počtu labyrintů, nebo prodloužením těsnicích mezer se zvýší účinnost těsnění. Pro zvýšení těsnicí schopnosti se doporučuje vyplnit při montáži labyrinty plastickým mazivem. V obzvláště prašném a vlhkém prostředí je účelné časté domazávání labyrintu novým čistým tukem. Radiální labyrinty jsou vhodné pro utěsnění dvoudílných těles.

1.5.2 Těsnění třecí

Třecí těsnění je vytvořeno kroužkem z pružného měkkého, avšak dostatečně pevného materiálu, vloženého mezi pevné a rotující části uložení. Na těsnicí materiál jsou kladeny tyto požadavky:

- a) pružnost
- b) stálost rozměrů za vyšších teplot
- c) účelný tvar
- d) odolnost proti opotřebení.

Třecí těsnění účinně zabraňuje vnikání nečistot do ložiska i unikání maziva z ložiskového prostoru. Je méně náročné než těsnění bezdotykové, vyžaduje však velmi dobré opracování rotujících částí, které přicházejí do styku s těsnicím kroužkem.

Nevýhodou třecího těsnění je kluzné tření, které způsobuje zvýšení teploty a tím i brzké opotřebení těsnicího kroužku. Proto se třecí těsnění nehodí pro vysoké obvodové rychlosti.

1.5.3 Těsnění kombinované

Zvýšeného těsnicího účinku lze dosáhnout vhodnou kombinací těsnění bezdotykového a třecího. Hrubé nečistoty, voda apod., jsou zachyceny nebo odstříknuty jednoduchým labyrintem. Jemný prach a vlhkost jsou zachyceny plstěným kroužkem.

2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE A VÝPOČTY LOŽISEK

2.1 Rozdělení druhů ložisek

Valivá ložiska dělíme podle směru síly, pro jejíž přenášení jsou převážně určena, do dvou základních skupin:

- a) Ložiska radiální
- b) Ložiska axiální

Podle tvaru valivých těles rozeznáváme v každé skupině ložiska kuličková, válečková, jehlová, soudečková a kuželková.

Velká většina radiálních ložisek je schopna přenášet i síly v axiálním směru a některé druhy axiálních ložisek mohou zachytit i radiální zatížení. Z hlediska působících sil neexistuje přesná hranice mezi oběma uvedenými základními skupinami ložisek.

V rozměrových tabulkách je však u radiálních ložisek udána základní únosnost pro radiální zatížení a obdobně u axiálních ložisek základní únosnost pro axiální zatížení. U radiálních ložisek se ve zkráceném označení slova radiální nepoužívá. U axiálních ložisek musí být slovo axiální při pojmenování vždy uvedeno.

Aby byla volba valivého uložení optimální jak z hlediska technického, tak i ekonomického, je třeba, aby byl konstruktér dobře obeznámen s charakteristickými vlastnostmi ložisek, které jsou dány jejich různou vnitřní konstrukcí. Teprve pak může volit pro dané provozní parametry nejvhodnější ložisko.

2.1.1 Radiální kuličková ložiska

- a) Jednořadá
- b) Jednořadá rozebíratelná
- c) Jednořadá s kosoúhlým stykem
- d) Dvouřadá naklápěcí
- e) Dvouřadá s kosoúhlým stykem

2.1.2 Radiální válečková, jehlová a soudečková

- a) Válečková jednořadá
- b) Válečková dvouřadá
- c) Válečková víceřadá
- d) Jehlová jednořadá
- e) Soudečková ložiska

2.1.3 Axiální kuličková ložiska

- a) Axiální jednosměrná
- b) Axiální obousměrná



Obr. 4. Válečkové ložisko



Obr. 5. Kuličkové ložisko



Obr. 6. Soudečkové ložisko



Obr. 7. Jehlové ložisko

2.2 Základní údaje o ložiskách

2.2.1 Přípustná naklopitelnost ložisek

Pro vyrovnání nepřesností, jež se při montáži vyskytují u nesouosých děr v ložiskových tělesech, se dobře hodí naklápěcí ložiska kuličková, soudečková nebo

axiální soudečková, u kterých kulová oběžná dráha vnějšího kroužku umožňuje určité vyklopení vnitřního kroužku kolem středu ložiska. Přípustný úhel vyklopení závisí na vnitřní konstrukci ložiska (Tab. 1).

Uložení s ostatními druhy ložisek vyžadují co nejlepší souosost montážních ploch vnějšího kroužku. Nepatrné vyosení je však rovněž v určitých mezích přípustné.

U jednořadých kuličkových ložisek je vyosení kroužků závislé na provozní vůli, velikosti ložiska a vnitřní konstrukci ložiska a na působících silách a momentech. Stanovení hodnot přípustného vyosení je s ohledem na mnoho činitelů obtížné a lze je stanovit jen přibližně pro normální provozní podmínky.

Tab.1 Přípustný úhel naklopitelnosti

Druh ložiska	úhel vyklopení
Jednořadá kuličková	max. 6'
Dvouřadá kuličková naklápěcí	3°
Jednořadá válečková	6'
Ostatní válečková	2'
Soudečková dvouřadá	1,5° ÷ 2,5° dle typu
Kuželíková jednořadá	2'
Axiální soudečková	2° ÷ 3° dle typu

2.2.2 Označování ložisek

Valivá ložiska základního provedení normalizovaných rozměrů se značí **základním označováním**, které se skládá z označení typu a velikosti ložiska.

Označení typu ložiska tvoří zpravidla znak vyjadřující konstrukci ložiska a znak pro rozměrovou skupinu nebo průměrovou řadu, např. typ 222, 323, NU22, 511, 62, 72 atp.

Označení velikosti ložiska vytvářejí znaky pro jmenovitý průměr d díry ložisek.

U ložisek s průměrem díry $d \leq 10$ mm:

Poslední číslice udává přímo průměr díry, např. 619/2, 623, E7.

U ložisek s průměrem díry $d = 10$ až 17 mm:

- a) Dvojcísle 00 značí díru $d = 10$ mm, např. 6200

- b) Dvojcísli 01 značí díru $d = 12$ mm, např. 51101
- c) Dvojcísli 02 značí díru $d = 15$ mm, např. 30302
- d) Dvojcísli 03 značí díru $d = 17$ mm, např. NU203

U ložisek s průměrem díry $d = 20$ až 480 mm:

Průměr díry v mm je pětinasobkem posledního dvojcíslí, např. ložisko 6210 má průměr díry $d = 50$ mm.

Výjimku tvoří normalizované průměry díry $d = 22, 28$ a 32 mm. Průměr díry se označuje přiřazením čísla 22, 28 resp. 32, například NU22/32B.

U ložisek s průměrem díry $d \text{ } \varnothing 500$ mm:

Poslední trojčíslí, respektive čtyřčíslí udává přímo průměr díry v mm, např. 230/560.

Před základním označením

Jiný materiál než ocel na valivá ložiska

- a) H – ocel pro vysoké teploty, např. H 6313
- b) X – ocel vzdorující korozi, např. X 608
- c) M – slitina na bázi mědi, např. M 6009

Za základním označením

- a) A, B, C, D, E – odlišnost vnitřní konstrukce, např. 30205E
- b) K – radiální ložisko s kuželovou dírou, např. 1206K
- c) N – radiální ložisko s drážkou pro pojistný kroužek, např. 6210N
- d) P – radiální ložisko dvouřadé s děleným vnějším kroužkem, např. 3201P

Materiál a vedení klece

- a) J – lisovaná z ocelového plechu, např. 22214J
- b) Y – lisovaná z mosazného plechu, např. 6001Y
- c) H – jednostranná z ocelového plechu, např. 629H
- d) F – masivní z oceli, např. 6410F

- e) L – masivní z lehkého kovu, např. 6218L
- f) M – masivní z bronzu nebo mosazi, např. 6218M
- g) T – masivní z textilu, např. 6208T
- h) TN - masivní z polyamidu, např. 6208TN
- i) A - klec vedená na vnějším kroužku, např. 6218MA
- j) B – klec vedená na vnitřním kroužku, např. 7210TB
- k) V – ložisko bez klece, např. NA4910V

2.2.3 Přesnost ložisek

Přesností valivých ložisek se rozumí přesnost jejich hlavních rozměrů, přesnost tvaru a přesnost chodu. Ložiska jsou rozdělena do stupňů přesnosti P0, P6, P5, P4. Přesnost P0 je základní; P6, P5, P4 jsou vyšší stupně přesnosti, přičemž s klesajícím číslem stoupá přesnost.

2.2.4 Klece ložisek

Klece valivých ložisek rozdělují valivá tělesa rovnoměrně po obvodu a zabraňují jejich vzájemnému styku a klouzání proti sobě. Tím se sníží tření a opotřebením, které by mělo, zejména při vyšších otáčkách, nepříznivé následky. Dalším úkolem klece je zabránit vypadávání valivých těles při montáži a demontáži u rozebíratelných ložisek (válečková, jehlová, kuželíková, axiální kuličková a soudečková ložisek) nebo u naklápěcích ložisek kuličkových a soudečkových.

Klece jsou zpravidla vedeny radiálně na valivých tělesech, v některých případech jsou též středěny na některém ložiskovém kroužku.

Klece valivých ložisek nejsou přímo namáhány zatížením ložiska. Působí na ně však různé dynamické síly, hlavně odstředivá síla a síly vznikající účinkem větších zrychlení (ložiska klikových mechanismů) a síly při velkém axiálním zatížení radiálního ložiska. V případech, kdy toto namáhání klece dosahuje větších hodnot, doporučuje se, nebo dokonce se musí použít v ložiskách klecí zvláštní konstrukce.

Masivní klece volíme u jednořadých kuličkových a válečkových ložisek místo lisovaných klecí zpravidla v těch případech, kdy jsou překročeny mezní otáčky uvedené v rozměrových tabulkách nebo když na ložisko působí velká zrychlení nebo vibrace.

Klec vedená např. na přírubách vnějšího kroužku vyžaduje zpravidla mazání olejem. Masivní ocelové klece jsou vhodné též u ložisek pracujících za vysokých teplot. Klece z textilu nebo ze syntetických hmot se uplatňují hlavně u malých rychloběžných ložisek.

2.2.5 Základní výpočty pro volbu valivých ložisek

Pro volbu vhodných rozměrů ložiska je rozhodující velikost, směr a druh zatížení působící na ložisko a frekvence jeho otáčení. V závislosti na způsobu namáhání, kterému je ložisko při provozu vystaveno, můžeme při výpočtu rozdělit valivá ložiska do dvou skupin:

a) *dynamicky zatížená ložiska*

Při dynamickém zatížení se silově zatížené ložisko otáčí a pro výběr vhodného ložiska bude směrodatná jeho trvanlivost v důsledku kontaktní únavy materiálu.

b) *staticky zatížená ložiska*

Při statickém zatížení je ložisko silově zatíženo v klidu, při velmi pomalém otáčení nebo při pomalém kývavém pohybu. Pro výběr vhodného ložiska bude směrodatná jeho statická únosnost.

Trvanlivostí valivého ložiska rozumíme počet otáček, které ložisko vykoná (nebo dobu chodu při dané frekvenci otáčení), než se objeví první známky únavy materiálu na valivých tělesech nebo oběžných drahách. Praktické zkoušky ukazují, že trvanlivost zcela stejných ložisek při stejných provozních podmínkách značně kolísá. Aby bylo možné za těchto okolností používat jednotný způsob výpočtu valivých ložisek, byla pro účely posuzování trvanlivosti ložisek zavedena takzvaná základní trvanlivost.

Základní trvanlivost valivých ložisek je trvanlivost, kterou dosáhne nebo překročí 90% stejných ložisek při stejných provozních podmínkách, jestliže je použito běžně užívaného materiálu, dosaženo běžné výrobní kvality a ložisko pracuje za normálních podmínek provozu. Základní trvanlivost je definována rovnicemi:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p [\text{min}^{-1}] \quad (1)$$

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \cdot \frac{10^6}{60n} [h] \quad (2)$$

kde:

C ... základní dynamická únosnost ložiska [N]

P ... ekvivalentní dynamické zatížení ložiska [N]

n ... frekvence otáčení ložiska [$\text{ot}/\text{min}^{-1}$]

p ... exponent (pro kuličková ložiska $p=3$, pro ostatní ložiska $p=10/3$)

- a) *Základní dynamická únosnost* ložiska je definována jako stálé neproměnné zatížení, při kterém ložisko dosáhne základní trvanlivost jednoho milionu otáček. Hodnoty dynamických únosností jsou pro každé ložisko uváděny v příslušném katalogu.
- b) *Ekvivalentní dynamické zatížení* ložiska je definováno jako výhradně radiální zatížení (u radiálních ložisek) resp. výhradně axiální zatížení (u axiálních ložisek), při jehož působení bude mít ložisko stejnou trvanlivost, jakou dosáhne v podmínkách skutečného zatížení. Velikost ekvivalentního zatížení je popsána vztahem:

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a [N] \quad (3)$$

kde:

F_r ... radiální složka skutečného zatížení [N]

F_a ... axiální složka skutečného zatížení [N]

X ... koeficient radiálního dynamického zatížení

Y ... koeficient axiálního dynamického zatížení

Hodnoty koeficientů X,Y jsou závislé na typu, provedení a velikosti ložiska, u některých ložisek také na směru a velikosti skutečného zatížení. Pro každé ložisko jsou uváděny v příslušném katalogu.

- a) *Základní statická únosnost* ložiska je definována jako vnější zatížení, které způsobí ve stykovém místě nejvíce zatíženého valivého tělesa trvalou deformaci o velikosti 0.0001 průměru valivého tělesa. Tato trvalá deformace nemá na funkci ložiska obvykle žádný škodlivý vliv. Hodnoty statických únosností jsou pro každé ložisko uváděny v příslušném katalogu.

- b) *Ekvivalentní statické zatížení* ložiska je definováno jako výhradně radiální zatížení (u radiálních ložisek) resp. výhradně axiální zatížení (u axiálních ložisek), které u ložiska způsobí trvalou deformaci téže velikosti, jako při skutečných podmínkách zatížení. Velikost ekvivalentního zatížení je popsána vztahem:

$$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a [N] \quad (4)$$

kde:

F_r ... radiální složka skutečného zatížení [N]

F_a ... axiální složka skutečného zatížení [N]

X_0 ... koeficient radiálního statického zatížení

Y_0 ... koeficient axiálního statického zatížení

Hodnoty koeficientů X_0, Y_0 jsou závislé na typu, provedení a velikosti ložiska. Pro každé ložisko jsou uváděny v příslušném katalogu.

2.2.6 Vliv teploty na únosnost ložiska.

Běžně vyráběná a dodávaná valivá ložiska jsou určena pro provozní teploty do 120 °C (ložiska s těsněním do 100 °C). Má-li být ložisko použito pro trvale vyšší teploty, je nutné ho při výrobě zvlášť upravit, aby se zajistila jeho rozměrová stabilita za provozu. Ložiska pro vysoké teploty jsou tepelně zpracována, obvykle mají větší vůli a jiné provedení klece, případně používají speciálních materiálů. Tepelná stabilizace ložisek má za následek snížení tvrdosti oběžných drah a tím i snížení únosnosti ložiska.

Požadavek na použití, výrobu a dodání stabilizovaných ložisek je obvykle nutné konzultovat přímo u výrobce, kde také zjistíte podrobné technické parametry ložiska. Pro účely předběžného návrhu ložiska je možné použít následující orientační tabulku.

Přibližná únosnost stabilizovaných ložisek ve srovnání s běžnými ložisky shodných rozměrů

Tab. 2. Vliv teploty na únosnost ložiska

Mezní teplota [°C]	150	200	250	300	350
Doplň. označení	S0	S1	S2	S3	S4
Únosnost [%]	90 - 100	75 - 90	60 - 75	50 - 60	45 - 50

2.2.7 Pravidla a doporučená uložení:

Kroužek otáčející se vůči směru působícího zatížení (obvodové zatížení) musí být uložen pevně (aby se neodvaloval) (J7, K7)/ j6, k6

Kroužek neotáčející se vůči směru zatížení může být uložen volně (bodové zatížení) H7, H8/(h6, g6)(G7)

Důležité pro trvanlivost valivého ložiska jsou faktory ovlivňující volbu uložení:

- a) Velikost a způsob zatížení
- b) Materiál a tuhost uložených částí
- c) Tepelné poměry v ložisku
- d) Dilatace uložených částí
- e) Požadavky na přesnost
- f) Požadavky na montáž a demontáž

2.2.8 Mezní otáčky pro ložiska

Mezní otáčky určitého ložiska jsou funkcí více činitelů, z nichž jako určující je třeba uvést druh ložiska, jeho přesnost, konstrukci a provedení klece, vnitřní vůli; dále pak jsou mezní otáčky ovlivněny provozními poměry v uložení samém, tj. velikostí a směrem vnějších sil, způsobem mazání a druhem maziva, způsobem chlazení, atd. Tento souhrn činitelů určuje vývin tepla v ložisku a tím i mezní otáčky ložiska, které jsou především omezeny přípustnou provozní teplotou maziva. Z uvedeného je zřejmé, že nelze stanovit jednoznačně a obecně platnou hranici mezních otáček.

Běžně lisované klece z ocelového plechu jsou vhodné pro obvyklé rychlosti. Pro rychlou orientaci jsou v rozměrových tabulkách uvedeny hodnoty mezních otáček pro jednotlivá ložiska v normálním stupni přesnosti jak pro mazání tukem, tak i pro mazání olejem. Uvedené otáčky platí za předpokladu přiměřeného zatížení ložisek ($L_h = 100\,000$ h), normálních provozních poměrů a chlazení.

Překročení hodnot mezních otáček uvedených v tabulkové části pravidla vyžaduje:

- a) Úpravu mazání, popř. chlazení

- b) Konstrukční, popř. materiálovou změnu klece
- c) Zvýšenou přesnost ložiska a součástí s ložiskem související
- d) Větší radiální vůli než normální

2.2.9 Životnost ložisek

Pod pojmem životnost ložiska zahrnujeme dobu chodu ložiska až do jeho vyřazení i z jiných příčin, než je únava materiálu. Ložisko může být vyřazeno např. pro ztrátu požadovaných vlastností, opotřebení nebo i předčasnou únavu, vyvolanou nepříznivými provozními vlivy, jako nedostatečným mazáním, korozí, montážními chybami apod. Životnost ložiska je zpravidla menší než základní trvanlivost stanovená výpočtem. Opotřebení ložiska a tím i zvětšení provozní vůle je způsobeno především nečistotami, které vniknou do ložiska, korozí a chybným nebo nedostatečným mazáním. Při různých provozních podmínkách a rozmanitém použití ložisek není možno předem určit vliv provozních podmínek, zejména opotřebení, na skutečnou životnost ložiska.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Moje bakalářská práce byla zadána firmou TES VSETÍN, s.r.o. a zadání bylo následující: Pro daná ložiska 10 různých průměrů zjistit, při jaké teplotě se budou ložiska nasazovat na hřídel a zpracovat graf závislosti teploty na čase nasazení ložiska na hřídel. Pro zahřívání ložisek byla zvolena technologie indukčního zahřívání. Nejdůležitější požadavek zadavatele je zaručení přesnosti správného nasazení ložiska, spolehlivý chod, životnost a samozřejmě nízká cena výrobku. Výrobek bude používán u všech rotačních součástí v průmyslovém odvětví. Požadovaný výrobek byl dodán včetně grafů teplotní analýzy ložisek. Konečné řešení grafů bude odsouhlaseno firmou TES VSETÍN, s.r.o. Počet kusů výrobku: 10.

3.1 O Firmě TES Vsetín, s.r.o.

V roce 1919 založil Josef Sousedík Elektrotechnickou továrnu Josef Sousedík Vsetín, jež se stala předchůdcem firmy MEZ Vsetín a dnešní společnosti TES VSETÍN, s.r.o. Tehdy výrobní program tvořily především asynchronní a stejnosměrné motory. Po roce 1945 dochází k rychlému rozvoji firmy pod značkou MEZ Vsetín. Výrobní program byl rozšířen o komutátorové motory a zkušební stanoviště pro měření výkonu a otáček, později i o kompletní pohony se stejnosměrnými motory. Podnik byl v té době v souladu s tehdejší hospodářskou politikou orientován na trhy RVHP a patřil k nejvýznamnějším exportérům v rámci koncernu ZSE Praha.

Po roce 1989 dochází postupně k organizačním změnám i ke změně výrobního programu. Tradiční sortiment stejnosměrných motorů byl ve spolupráci se zahraničními partnery doplněn o výrobu synchronních generátorů a tvářecích strojů. V roce 1996 dochází k privatizaci strojírenské a elektrotechnické výroby bývalého MEZ Vsetín, s.p. společností TES VSETÍN, s.r.o. Díky technickému a výrobnímu potenciálu podloženému dlouhou tradicí si společnost udržuje významné odběratele na trzích v Německu, Nizozemí, Švýcarsku, Francii, Rakousku, Turecku, Slovensku, Polsku, Rusku a Thajsku, přičemž export společnosti činí každoročně 70 - 80 % z výroby zboží.



Obr. 8. TES Vsetín, s.r.o.

Adresa a kontakt na firmu:

TES VSETÍN, s.r.o.

755 01 Vsetín, Jiráskova 691, Česká rep.

tel.: 571 812 111, IČO: 607 76 421

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Při vypracování této části diplomové práce vycházím ze zkušeností pracovníků TES VSETÍN, s.r.o., dále z poznatků získaných ze studijní a teoretické části této práce, kde jsem popsal podrobný postup montáže ložiska za pomoci indukčního ohřevu.

4.1 Technologická prevence při montáži ložisek

4.1.1 Příprava před montáží ložiska

Nejprve prohlédneme související díly a odstraníme otřepy. Očistíme hřídel a opěrný kroužek a zkontrolujeme související díly s ohledem na tolerance průměrů a geometrickou přesnost. Dále prohlédneme těsnění a v případě poškození je vyměníme.

Nové ložisko smí být vybaleno z původního obalu až těsně před montáží, nejlépe pracovníky, kteří budou provádět montáž. Ta by se měla provádět blízko pracoviště, protože ložisko musí být co nejlépe chráněno proti nečistotám. Protikorozi ochranný prostředek z ložisek neodstraňujeme.

4.1.2 Volba vhodného prostředí

Čistá pracovní plocha, správné montážní metody a nářadí pomohou zajistit dobré výsledky. Montážní prostředí by nemělo obsahovat kovové částice, piliny, písek, cement, koroziivní látky,...

Pokud je to možné, nejlepší by bylo přestěhovat stroj nebo tu část stroje, která obsahuje ložiska, do dílny. V opačném případě stroj přikryjeme a ložiska chráníme před nečistotami z prostředí.

4.1.3 Vyčištění všech součástí

Zajistíme, že hřídele, tělesa a další součásti uložení jsou čisté a suché. Stroj by měl být dokonale čistý, zvláště v místech, kam budou namontována nová ložiska. Části stroje, kam by mohly vniknout nečistoty nebo vlhkost, přikryjeme voskovým papírem, igelitem nebo podobným materiálem.

4.1.4 Montáž nových ložisek

Nová ložiska jsou dobře chráněna v obalech, které musí zůstat neporušeny, a z kterých můžeme ložiska vyjmout až těsně před montáží. Povrch díry a vnější povrch ložiska se očistí vhodnou textilií. Nikdy nepoužíváme čisticí bavlnu. Ložiska, která budou mazána plastickým mazivem pro extrémně vysoké nebo nízké teploty, zejména syntetickým mazivem, vyčistíme úplně, aby se zabránilo škodlivému účinku konzervačního prostředku na mazací vlastnosti.

S novými ložisky, které mají poškozený obal, zacházíme jako s ložisky použitými. Z tohoto důvodu taková ložiska před použitím vyčistíme a prohlédneme

(Obr. 9)



Obr. 9. Ložisko těsně před montáží

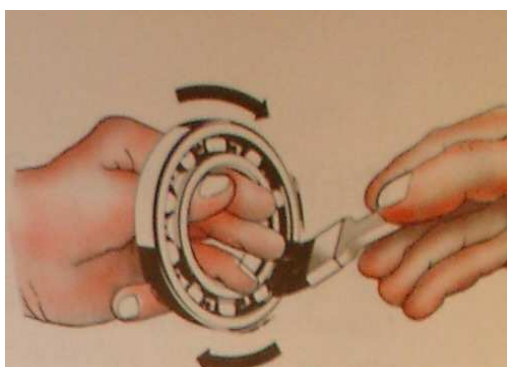
4.1.5 Čištění ložisek

Existují dva způsoby čištění ložisek:

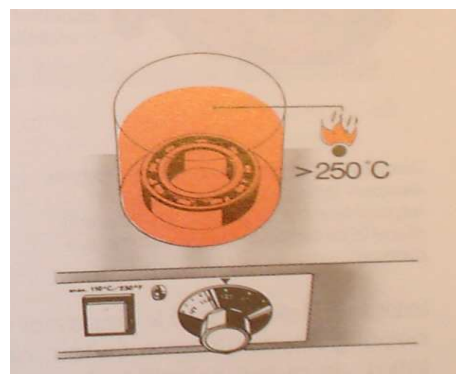
- a) za tepla (Obr. 10)
- b) za studena (Obr. 11)

Čištění za studena zahrnuje vymytí ložiska rozpouštědlem na bázi technického benzínu nebo podobnou látkou. Vždy použijeme čistou kapalinu a nářadí a také jednu nádobu pro první vymytí a druhou pro konečné propláchnutí. Ložisko osušíme a ihned jej namažeme plastickým mazivem nebo olejem. Chráníme jej proti znečištění až do doby montáže.

Při čištění za tepla použijeme čistý, řídký olej s bodem vzplanutí nejméně 250°C. Olej ohřejeme na teplotu asi 120°C. Čištění za tepla je zpravidla velmi účinné. Zbytky oleje vytvoří na přechodnou dobu ochranu proti korozi.



Obr. 11. Čištění ložisek za studena



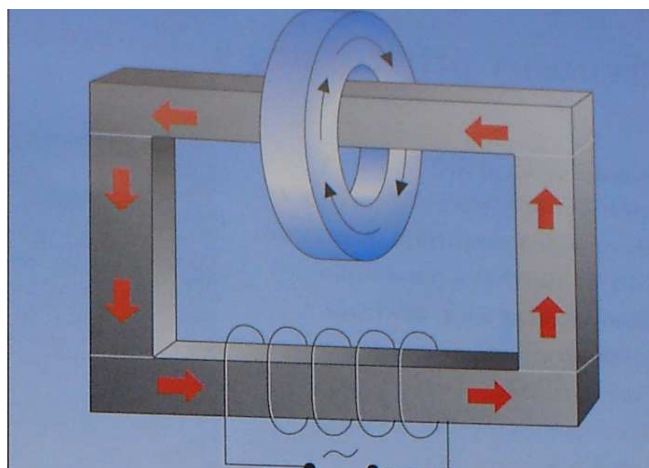
Obr. 10. Čištění ložisek za tepla

4.1.6 Princip indukčního ohřevu

Indukční ohřívací přístroj lze přirovnat k transformátoru s primárním vinutím, které má velký počet závitů, zatímco sekundární vinutí je tvořeno několika závity (Obr. 12). Obě vinutí mají společné železné jádro. Poměr vstupního a výstupního napětí se rovná poměru závitů.

Energie je však stále stejná. Z tohoto důvodu se v sekundárním vinutí indukuje nízké napětí a proud vysoké intenzity. U indukčních ohřívacích přístrojů představuje ložisko sekundární vinutí s jediným zkratovaným závitem, jímž protéká střídavý proud (při nízkém napětí), vysoké intenzitě, který vytvoří velké množství tepla. Indukční ohřívací

přístroj i jádro mají okolní teplotu. Protože se při tomto způsobu ohřevu indukuje proud, ložisko se zmagnetizuje. Je tedy nutné ložisko demagnetizovat, aby za provozu nepřitahovalo kovové částice. Všechna indukční ohřívací zařízení provádějí automatickou demagnetizaci.



Obr. 12. Schéma indukčního ohřevu

4.1.7 Ohřev ložiska

Ohřev ložisek se ve firmě TES Vsetín, s.r.o. provádí na indukčních ohřívacích přístrojích. Tato technologie je zde zavedena již několik let. Pro své vhodné vlastnosti jsem po konzultaci s panem Karlem Zámečnickem pro tento účel použil střední indukční ohřívací přístroj TIH 060 (Obr. 13), jelikož pro moji diplomovou práci jsem zvolil jednořadá kuličková ložiska řady 60 vnitřních průměrů: $\Phi 100$, $\Phi 110$, $\Phi 120$, $\Phi 130$, $\Phi 140$, $\Phi 150$, $\Phi 160$, $\Phi 170$, $\Phi 180$, $\Phi 190$ [mm].



Obr. 13. Střední indukční ohřívací přístroj TIH 060

Střední indukční ohřívací přístroj TIH 060 je v současné době nejodolnější a nejuniverzálnější ohřívací přístroj. Přístroj má maximální výkon 8kVA a tlačítko pro nastavení polovičního výkonu při ohřevu malých dílů nebo dílů citlivých na teplotu řadí TIH 060 k nejvšestrannějším zařízením v tomto odvětví. Ohřívací přístroj je vhodný pro ohřev ložisek do hmotnosti až 60kg. Zařízení je vybaveno speciální funkcí pro ohřev ložisek (125°C) a dále funkcí pro udržování ložisek na předem nastavené teplotě. Součástí dodávky zařízení ve standardním provedení jsou tři jádra o průřezích 20x20 mm, 40x40 mm a 65x65 mm a dále otočné rameno TIH 060-20. Zařízení může být upraveno podle požadavků zákazníka na jiné napětí a kmitočet.

Teplotní rozdíl mezi ložiskem a čepem závisí na velikosti přesahu a velikosti ložiska. Ložisko však nikdy nesmíme ohřívát na teplotu vyšší než 125°C, protože může dojít k metalurgickým změnám tvrdosti materiálu ložiska. Při použití ohřívacího zařízení kontrolujeme teplotu ložiska na displeji, který nám přednastavenou teplotu zobrazí. Při montáži ohřátého ložiska použijeme tepelně – izolační rukavice TMBA G11 (Obr. 14). Rukavice jsou vhodné pro manipulaci s ohřátými díly při montáži, skládají se z trvanlivé vnější polyesterové vrstvy a měkké vnitřní vrstvy jsou ze surové bavlny. Rukavice jsou bez vlasu, aby nedošlo ke znečištění dílu.

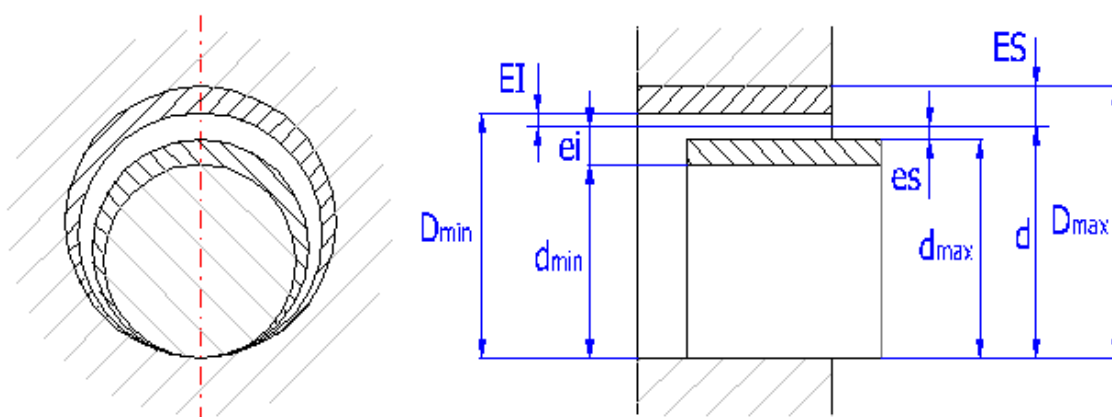


Obr. 14. Tepelně – izolační rukavice

4.1.8 Volba uložení a druhu ložisek

Je v podstatě nemožné vyrábět strojní součásti s absolutní přesností rozměrů. Ve skutečnosti to však není ani nutné ani účelné. Aby byla zajištěna správná funkce strojírenských výrobků, je postačující, aby skutečný rozměr součásti ležel mezi dvěma mezními rozměry a při výrobě byla dodržena přípustná odchylka. Požadovaná úroveň přesnosti výroby dané součásti je pak dána tolerancí rozměru, předepsanou na výkrese. Výrobní přesnost se přitom předepisuje jak s ohledem na funkčnost výrobku, tak i s přihlédnutím k hospodárnosti výroby (Obr. 15).

Při spojení dvou součástí se tvoří uložení, jehož funkční charakter je určen růzností jejich rozměrů před spojením.



Obr. 15. Soustava tolerancí a uložení

kde:

$d = D$... jmenovitý rozměr uložení

D_{\max} , D_{\min} ... mezní rozměry díry

d_{\max} , d_{\min} ... mezní rozměry hřídele

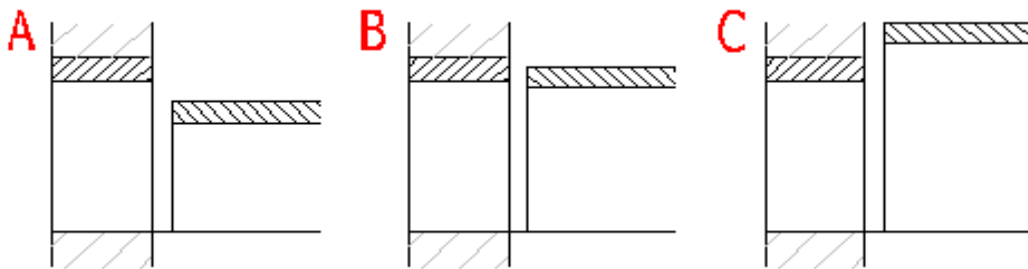
ES ... horní úchylka díry

EI ... dolní úchylka díry

es ... horní úchylka hřídele

ei ... dolní úchylka hřídele

V závislosti na vzájemné poloze tolerančních polí spojovaných součástí, rozlišujeme 3 typy uložení (Obr. 16):



Obr. 16. Druh uložení tolerančních polí

kde:

A ... Uložení s vůlí

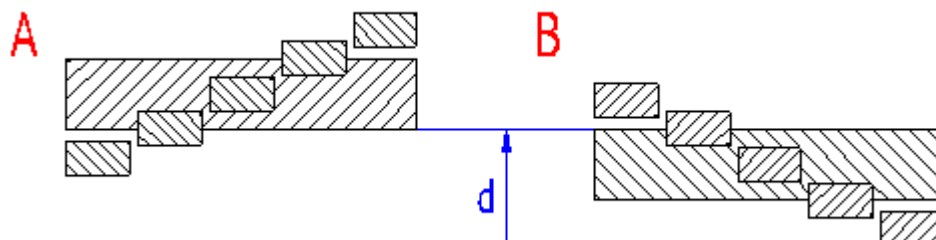
B ... Uložení přechodné

C ... Uložení s přesahem

Ačkoliv lze obecně spojovat součásti s libovolnými tolerančními poli, doporučují se z konstrukčních, technologických a ekonomických důvodů pouze dva způsoby, sdružování děr a hřídelí (Obr. 17), kde na obrázku A je znázorněna soustava jednotné díry a na obrázku B soustava jednotné hřídele. Pro zadání mé diplomové práce bylo nejvhodnější volbou soustava jednotné díry.

Uložení v soustavě jednotné díry

Požadovaných vůlí a přesahů v uložení se dosahuje kombinací různých tolerančních polí hřídele s tolerančním polem díry "H". V této soustavě tolerancí a uložení je vždy dolní úchylka díry rovna nule.



Obr. 17. Soustava jednotné díry a soustava jednotné hřídele

kde:

$d = D$... jmenovitý rozměr

//// ... toleranční pole díry

\\\\\\ ... toleranční pole hřídele

Volba druhu ložiska

Pro následující měření mé diplomové práce volím kuličková ložiska jednořadá řady 60 od firmy SKF a to $\Phi 100$, $\Phi 110$, $\Phi 120$, $\Phi 130$, $\Phi 140$, $\Phi 150$, $\Phi 160$, $\Phi 170$, $\Phi 180$, $\Phi 190$. Zde (Tab. 3) uvádím podrobné údaje spojené s volbou ložisek.

Tab. 3. Kuličková ložiska jednořadá řady 60

Kuličková ložiska jednořadá řady 60											
d	D	d1	D1	B	C	Co	Pu	n tuku	n oleje	m	Označení
100	150	115	135	24	60 500	54 000	2 040	4 300	5 000	1,25	6020
110	170	129	152	28	81 900	73 500	2 400	3 800	4 500	1,95	6022
120	180	139	162	28	85 200	80 000	2 750	3 400	4 000	2,05	6024
130	200	152	179	33	106 000	100 000	3 350	3 200	3 800	3,15	6026
140	210	162	189	33	111 000	108 000	3 350	3 000	3 600	3,35	6028
150	225	174	202	35	125 000	125 000	3 900	2 600	3 200	4,8	6030
160	240	185	216	38	143 000	143 000	4 300	2 400	3 000	5,9	6032
170	260	198	233	42	168 000	173 000	5 000	2 200	2 800	7,9	6034
180	280	211	250	46	190 000	200 000	5 600	2 000	2 600	10,5	6036
190	290	221	260	46	195 000	216 000	5 850	2 000	2 600	11	6038

kde:

d ...vnitřní průměr ložiska [mm]

D ...vnější průměr ložiska [mm]

d_1 ...vnější průměr vnitřního kroužku [mm]

D_1 ...vnitřní průměr vnějšího kroužku [mm]

B ...šířka ložiska [mm]

C ...dynamická únosnost [N]

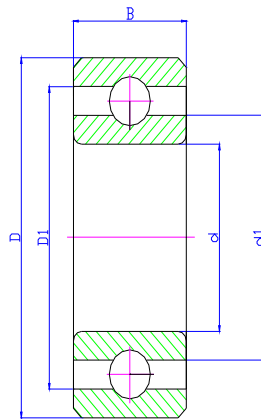
C_0 ...statická únosnost [N]

P_u ...mezní únavové zatížení [N]

m ...hmotnost [kg]

n_{tuku} ...mezní otáčky při mazání tukem [$\text{ot}/\text{min}^{-1}$]

n_{oleje} ...mezní otáčky při mazání olejem [$\text{ot}/\text{min}^{-1}$]



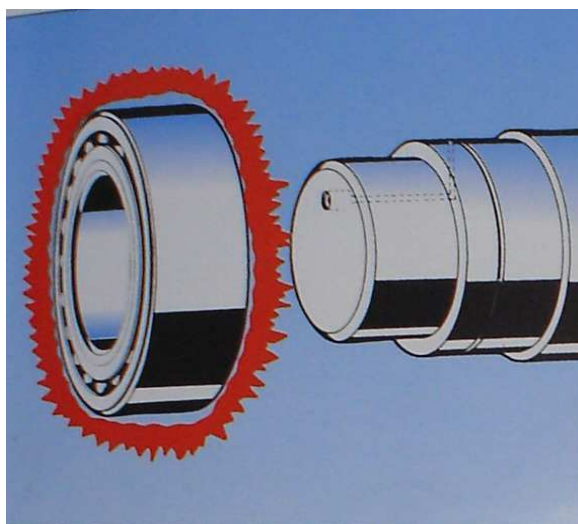
Volba tolerance pro daná ložiska:

Dle doporučených uložení volím jako vhodnou volbu pro daná ložiska pro toleranční pole díry označení **H7** a to proto, že vnější kroužek ložiska neotáčející se vůči svému směru zatížení může být uložen volně (bodové zatížení).

Pro toleranční pole hřídele jsem zvolil označení **k6**, protože vnitřní kroužek ložiska otáčející se vůči směru působícího zatížení (obvodové zatížení) musí být uložen pevně, aby se neodvaloval. Jedná se o přechodné uložení s malou vůlí nebo malým přesahem, součásti lze spojit nebo rozebrat bez použití velké síly.

4.1.9 Stanovení teplotní analýzy

Při dodržení správného postupu jsem daná ložiska: $\Phi 100$, $\Phi 110$, $\Phi 120$, $\Phi 130$, $\Phi 140$, $\Phi 150$, $\Phi 160$, $\Phi 170$, $\Phi 180$, $\Phi 190$ [mm] nasadil na hřídel (Obr. 18)



Obr. 18. Nasazení ohřátého ložiska na hřídel

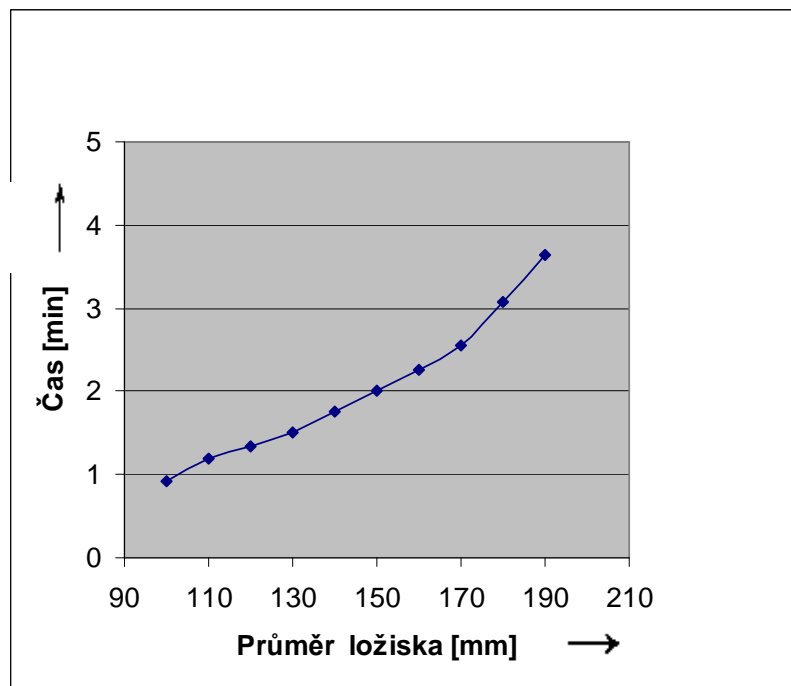
Každé ložisko jsem nejprve nahřál na středním indukčním ohřívacím přístroji TIH 060, na kterém jsem si přednastavil konst. teplotu 125°C a každé nahřáté ložisko jsem pomocí tepelně – izolačních rukavic uchopil a nasadil na již předem připravenou hřídel. Aby došlo ke správnému dosednutí ložiska na hřídel, ložisko se muselo nahřátím dostatečně roztáhnout a připravená hřídel již byla zbavena nečistot.

Po nasazení je dobré ložisko lehce doklepnout a jakmile si hřídel odebere od ložiska potřebné teplo, dojde ke správnému dosednutí ložiska na hřídel. Z rozboru vyplývá, že jednotlivé časy se liší (Tab. 4). Čím má ložisko menší průměr, tím je kratší doba nahřátí.

Tab. 4. Závislost času ohřevu na průměru ložiska při konst. $T = 125^{\circ}\text{C}$

Závislost času ohřevu na průměru ložiska při konst. $T = 125^{\circ}\text{C}$										
Průměr [mm]	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
Čas [min]	0,93	1,21	1,33	1,5	1,75	2,01	2,25	2,55	3,07	3,64

Z výsledných hodnot, zjištěných na středním indukčním ohřívacím přístroji TIH 060, jsem sestavil následující graf (Graf. 1). Je to graf, který nám znázorňuje závislost času ohřevu na průměru ložiska, přičemž nastavená teplota $T = 125^{\circ}\text{C}$ je konst.

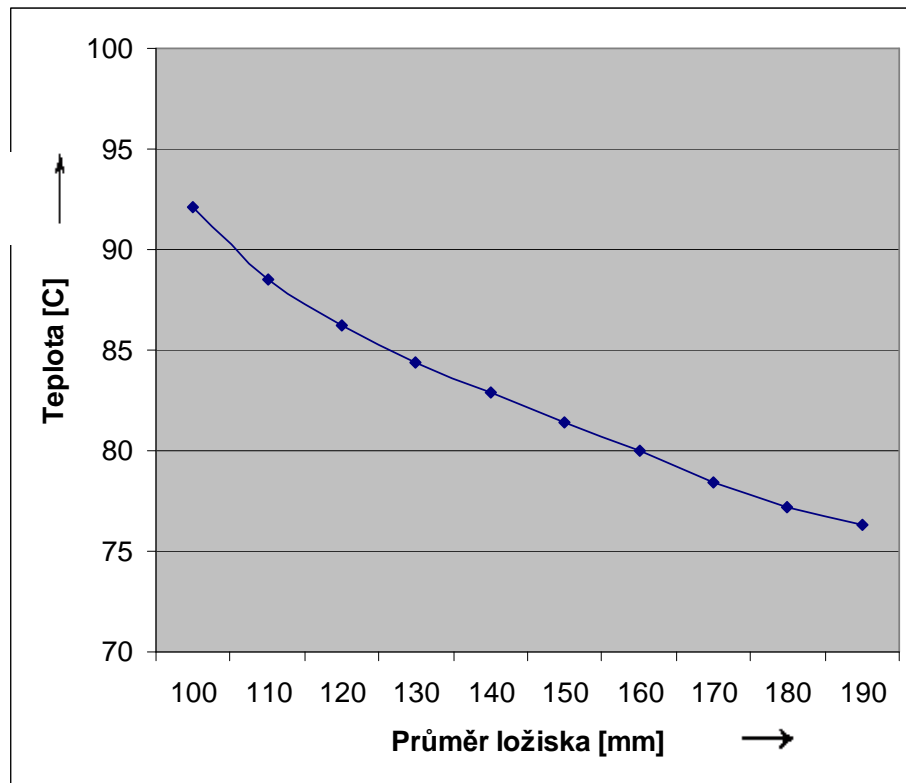


Graf. 1. Závislost času ohřevu na průměru ložiska

Dále jsem provedl měření (Tab. 5), kde bylo mým úkolem zjistit jaké teploty budou mít následující průměry ložisek při konst. čase $t = 3$ min. a vyhodnotit výsledný graf (Graf. 2).

Tab. 5. Závislost dosažené teploty na průměru ložiska pro konst. čas ohřevu $t = 3$ min

Závislost dosažené teploty na průměru ložiska pro konst. čas ohřevu $t = 3$ min.										
Průměr [mm]	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
Teplota [$^{\circ}\text{C}$]	92,1	88,5	86,2	84,4	82,9	81,4	80,0	78,4	77,2	76,3



Graf. 2. Závislost dosažené teploty na průměru ložiska pro naměřené hodnoty

4.1.10 Početní kontrola

Pro porovnání výsledku zde uvádím početní kontrolu. Potřebná teplota k snadnému nasazení zděře se vypočítá podle vzorce pro kruhovou zděř:

$$t = t_0 + \frac{\Delta d + v}{d \cdot \alpha} \quad (5)$$

kde:

t...teplota potřebná k ohřátí [$^{\circ}\text{C}$]

t_0 ...teplota okolí... 20°C [$^{\circ}\text{C}$]

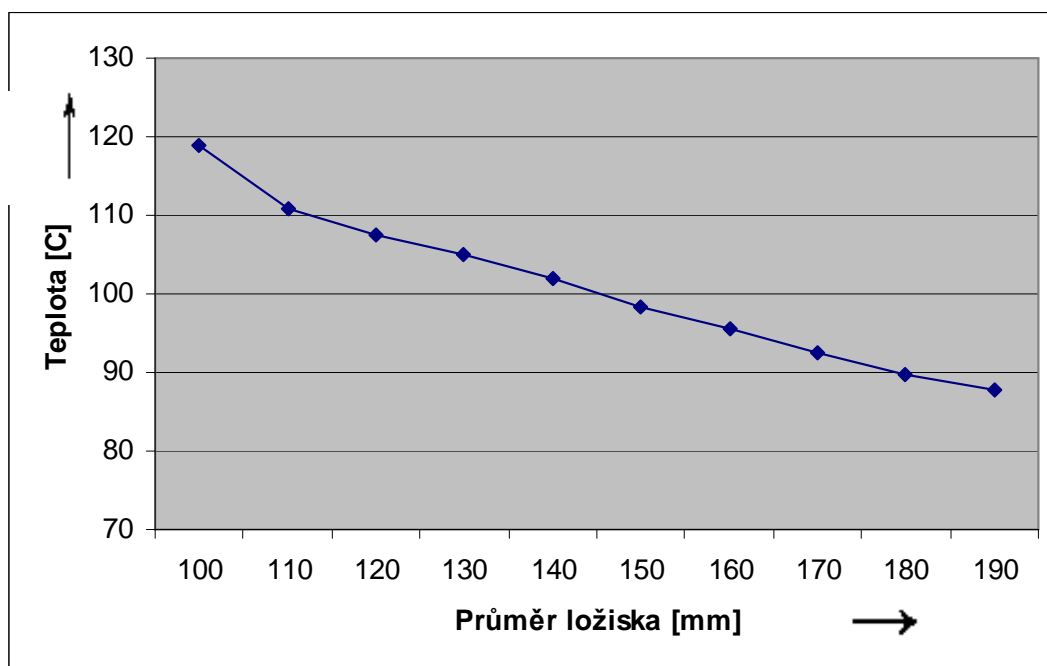
d...průměr zděře (střední průměr) [mm]

v...nutná montážní vůle... $0,01 \cdot \sqrt{d}$ [mm]

α ...součinitel tepelné roztažnosti (pro ocel $\alpha = 11 \cdot 10^{-6}$) [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]

Tab. 6. Závislost vypočtené teploty na průměru ložiska

Závislost vypočtené teploty na průměru ložiska										
Průměr [mm]	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
Teplota [°C]	118,8	110,9	107,6	104,9	101,9	98,3	95,6	92,5	89,7	87,8

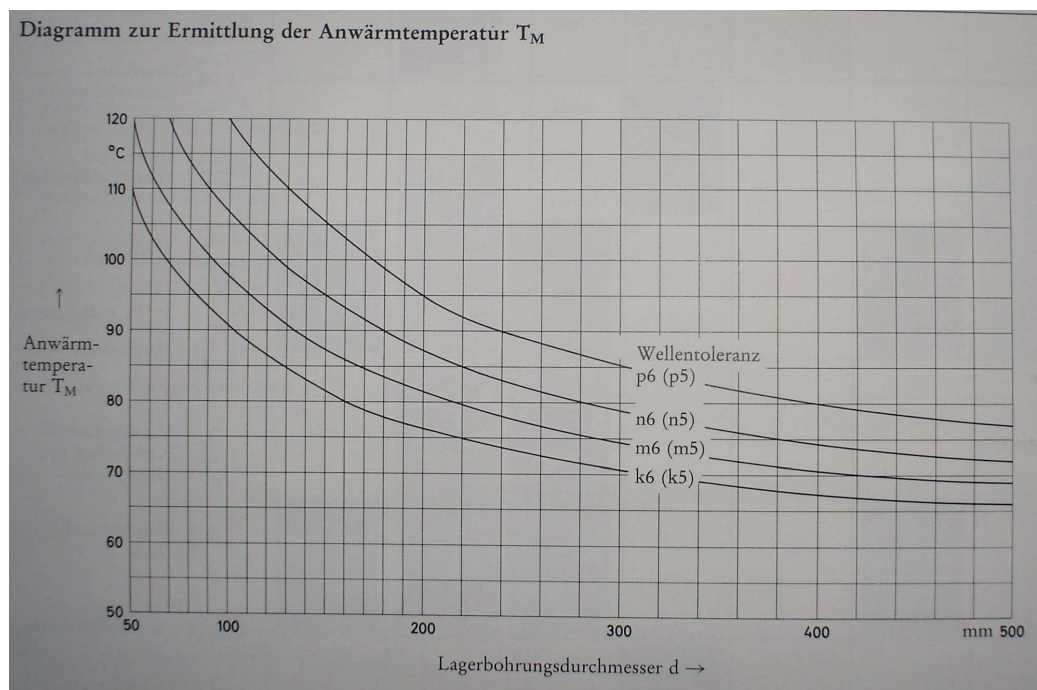


Graf. 3. Závislost vypočtené teploty na průměru ložiska

Jak z rozboru vyplývá, naměřené hodnoty s vypočtenými hodnotami se liší, ale je to dáno tím, že montážní vůle pro nasazení ložiska volíme podle velikosti ložiska v rozmezí 0,1 – 0,2mm. V početním případě je již předem dána vzorcem $v = 0,01 \cdot \sqrt{d}$ [mm]. U naměřených hodnot na středním indukčním ohřívacím přístroji TIH 060 byla montážní vůle pravděpodobně menší, a to v rozmezí od 0,06 – 0,07mm.

Vypočtené teploty pro nasazování ložiska na sedlo jsou pro hřídel toleranci k6 (k5). Pro jiné druhy tolerancí jsem přiložil jako přílohu graf určující závislost nahřívací teploty na průměrech ložisek v tolerancích p6 (p5); n6 (n5); m6 (m5). Na tomto grafu se křivky posouvají nahoru přímo úměrně se zvětšujícím se přesahem mezi ložiskem a hřídelí

(od **k** do **p**) na hřídeli. Křivky jsou klesající se zvětšujícím se průměrem ložiska, protože montážní vůle (mezera) = konst. a se zvětšujícím se průměrem ložiska stačí menší teplotní rozdíl pro odstranění přesahu.



Graf. 4. Závislost teploty nahřívání pro ložiska (vnitřního Φ), kde parametrem jsou tolerance hřídel (od k – p)

V případě nasazování nahřátého ložiska se nesmí vyvozovat síla na ložisko, aby se síla nepřenášela na valivá tělesa, ale nasazovací sílu lze vyvozovat na vnější část ložiska.

4.1.11 Zkušební běh

Po montáži a namazání předepsaným mazivem jsem provedl za odborného dohledu zkušební běh, při němž se kontroluje hlučnost a vzrůst teploty. Při zkušebním běhu by ložisko mělo pracovat jen s částečným zatížením a při nízkých nebo středních otáčkách. Za žádných okolností se nesmí ložisko uvést do chodu v nezátíženém stavu a nesmí se značně zvyšovat otáčky, jelikož valivá tělesa by mohla prokluzovat na oběžných drahách a způsobit jejich poškození nebo by klec byla nepřipustně namáhána.

Hlučnost ložiska kontrolujeme pomocí elektronického stetoskopu, v případě, že jej nemáme, můžeme kontrolovat pomocí dřevěné tyčky, či šroubováku opřeným o ložiskové těleso v místě, které se nachází co nejbližší ložisku. Elektronický stetoskop nám zjistí neobvyklé zvuky a zkušený pracovník dokáže určit příslušnou část stroje. Za normálních okolností ložisko vydává rovnoměrný bzučivý zvuk. Hvízdavé zvuky nebo

skřípání upozorňují na nedostatečné mazání. Nepravidelné rázy jsou většinou způsobeny částicemi nečistot v ložisku nebo poškozením, ke kterému došlo při montáži.

Vzrůst teploty ložiska bezprostředně po uvedení do chodu je zcela normální. V případě ložiskových uzlů mazaného tukem teplota neklesne, dokud se tuk rovnoměrně v uložení nerozdělí. Teprve poté se dosáhne rovnovážné teploty. Neobvykle vysoké teploty jsou vyvolány příliš velkým množstvím tuku v uložení, radiální nebo axiální deformací ložiska, nesprávným geometrickým tvarem souvisejících dílů nebo příliš velkým třením těsnění, nedostatečnou vůlí mezi valivými tělesy a valivými plochami.

V průběhu zkušebního běhu nebo po bezprostředně po něm je třeba zkontrolovat těsnění, mazací zařízení a taky množství olejové náplně nebo tuku. Může být zapotřebí odebrat vzorek maziva, aby bylo možné určit, zda do uložení pronikly nečistoty nebo zda části uložení nejsou silně opotřebené.

Tato opatření jsou nutná, aby se předešlo haváriím nebo předčasným poruchám stroje.

ZÁVĚR

Vypracoval jsem literární rešerši, ze které jsem čerpal poznatky a obeznámil se s různým řešením montáže ložisek za tepla. Na základě získaných vědomostí, ale také vlastních poznatků z experimentální části jsem provedl 10 měření, na jehož základě jsem vytvořil příslušné grafy. Při zahřátí zkušebního kusu nenastaly žádné komplikace a proběhlo to hladce, jak bylo podrobně popsáno na začátku experimentální části.

Ložisko nevydává neobvyklé zvuky (např. skřípání) nebo nevykazuje vibrace a nepravidelné rázy a ani při větším zatížení nevykazovalo žádné neobvyklé situace a jeho teplota byla po uvedení stroje do chodu zcela normální. Těžko se dá hodnotit zda-li výsledky mé práce šly provést lépe, jednodušeji, ekonomičtěji, ale aby přitom splňovaly veškeré požadavky na něj kladené.

Výsledky mé práce plně zapadají mezi ostatní práce nahřívání ložisek zpracovávaných firmou TES Vsetín, s.r.o.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KESSLER, W., H.: *Přístroje pro montáž valivých ložisek*. Praha : SNTL, 1990.
- [2] SKUPINA TY SKF.: *Příručka pro údržbu ložisek*. Praha : SNTL, 1999.
- [3] SKUPINA TY SKF.: *Náradí pro bezporuchový provoz*. Praha: SNTL, 1996.
- [4] LUKOVICS, I.: *Konstrukční materiály a technologie*. Brno : VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0399-3
- [5] HLUCHÝ, M., KOLOUCH, J., PAŇÁK, R.: *Strojírenská technologie 1 – 1.díl. Nauka o materiálu*. Praha : Scientia, 1997. ISBN 80-7183-027-8
- [6] LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky*. Praha : Scientia, 1996. ISBN 80-7183-008-9

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

L_{10}	Základní trvanlivost ložiska	$[\text{min}^{-1}]$
L_{10h}	Základní trvanlivost ložiska	[h]
P	Ekvivalentní dynamické zatížení ložiska	[N]
n	Frekvence otáčení ložiska	$[\text{ot}/\text{min}^{-1}]$
F_r	Radiální složka skutečného zatížení	[N]
F_a	Axiální složka skutečného zatížení	[N]
X	Koeficient radiálního dynamického zatížení	[3]
Y	Koeficient axiálního dynamického zatížení	[3]
X_0	Koeficient radiálního statického zatížení	[4]
Y_0	Koeficient axiálního statického zatížení	[4]
d	Vnitřní průměr ložiska	[mm]
d_1	Vnější průměr vnitřního kroužku	[mm]
D_1	Vnitřní průměr vnějšího kroužku	[mm]
B	Šířka ložiska	[mm]
C	Základní dynamická únosnost ložiska	[N]
C_0	Základní statická únosnost ložiska	[N]
P_u	Mezní únavové zatížení	[N]
m	Hmotnost ložiska	[kg]
n_{nuku}	Mezní otáčky při mazání tukem	$[\text{ot}/\text{min}^{-1}]$
n_{oleje}	Mezní otáčky při mazání olejem	$[\text{ot}/\text{min}^{-1}]$
t	Teplota potřebná k ohřátí	$[\text{°C}]$
t_0	Teplota okolí	$[\text{°C}]$
d	Střední průměr zděře	[mm]
v	Nutná montážní vůle	[mm]

α Součinitel tepelné roztažnosti [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]

Obr. 1 Ložisko před použitím	9
Obr. 2 Plastické mazivo	13
Obr. 3 Plastické mazivo	13
Obr. 4 Válečkové ložisko	22
Obr. 5 Kuličkové ložisko	22
Obr. 6 Soudečkové ložisko	22
Obr. 7 Jehlové ložisko.	22
Obr. 8 TES Vsetín, s.r.o.....	33
Obr. 9 Ložisko těsně před montáží	35
Obr. 10 Čištění ložisek za tepla	36
Obr. 11 Čištění ložisek za studena.....	36
Obr. 12 Schéma indukčního ohřevu	37
Obr. 13 Středně indukční ohřívací přístroj TIH 060.....	38
Obr. 14 Tepelně - izolační rukavice	39
Obr. 15 Soustava tolerancí a uložení	39
Obr. 16 Druh uložení tolerančních polí	40
Obr. 17 Soustava jednotné díry a soustava jednotné hřídele	41
Obr. 18 Nasazení ohřátého ložiska na hřídel	43

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Přípustný úhel naklopitelnosti	23
Tab. 2 Vliv teploty na únosnost ložiska.....	29
Tab. 3 Kuličková ložiska jednořadá řady 60	41
Tab. 4 Závislost času ohřevu na průměru ložiska při konst. $T = 125^{\circ}\text{C}$	43
Tab. 5 Závislost dosažené teploty na průměru ložiska při konst. času ohřevu $t = 3\text{min.}$	44
Tab. 6 Závislost vypočtené teploty na průměru ložiska	46

SEZNAM GRAFŮ

Graf. 1 Závislost času ohřevu na průměru ložiska	44
Graf. 2 Závislost dosažené teploty na průměru ložiska pro naměřené hodnoty	45
Graf. 3 Závislost vypočtené teploty na průměru ložiska	46
Graf. 4 Závislost teploty nahřívání pro ložiska (vnitřního Φ), kde parametrem jsou tolerance hřídelí (od k - p)	47

SEZNAM PŘÍLOH

- PI Veškerá dokumentace se nachází v elektronické verzi, obrázky a grafy teplotní analýzy jsou na přiloženém CD