



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Ústav letecké dopravy

Příčiny vzniku vnitřní koroze pístových motorů
Causes of Internal Corrosion of Piston Engines

Bakalářská práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Technologie údržby letadel

Vedoucí práce: Ing. Pavol Hajla

Yegor Khorokhorin

Praha 2023

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta dopravní
děkan
Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621 **Ústav letecké dopravy**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Yegor Khorokhorin

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – TUL – Technologie údržby letadel

Název tématu (česky): **Příčiny vzniku vnitřní koroze pístových motorů**

Název tématu (anglicky): Causes of Internal Corrosion of Piston Engines

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem bakalářské je popsat příčiny vzniku vnitřní koroze pístových motorů a navrhnout zlepšení metod předcházení korozí.
- Dle Příručky pro instalaci a ovládání motoru M-337 popište nejčastější místa vzniku vnitřní koroze v pracovním prostoru motoru.
- Uveďte možné příčiny vzniku koroze.
- Popište vhodné diagnostické metody s ohledem na detekci koroze.
- Navhňte vhodné postupy k předcházení vzniku kroze za pomoci použití nových detekčních postupů.
- Návrh zhodnoťte a určete limity.



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Letecké pohonné jednotky - Ing. Radsolav Havelka
Návod na obsluhu a údržbu motorů řady Motorlet

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavol Hajla**
doc. Ing. Jakub Hospodka Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **7. srpna 2023**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
- b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Yegor Khorokhorin
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 1. prosince 2022

Abstrakt

Výskyt koroze na částech pístových motorů letadel a její další šíření představují pro inženýry a techniky v leteckém průmyslu velký problém, který může ovlivnit výkon a spolehlivost motoru. Tato bakalářská práce se zaměří na hlavní typy koroze, místa jejího výskytu na motorech, preventivní práce a metody kontroly i odstraňování koroze. V praktické části bude představen motor M-337. Práce bude sloužit jako dobrý zdroj informací pro všechny zájemce o prevenci a odstraňování koroze na pístových motorech.

Klíčová slova: koroze, typy koroze, preventivní práce, kontrola, odstraňování koroze, motor M-337.

Abstract

The occurrence of corrosion on aircraft piston engine parts and its further spread represents a significant problem for engineers and technicians in the aviation industry, as it can impact engine performance and reliability. The thesis focuses on the main types of corrosion, locations of its occurrence on engines, preventive measures, and methods for corrosion control and removal. In its practical part, the M-337 engine will be introduced. The thesis will serve as a valuable source of information for anyone interested in corrosion prevention and removal on piston engines.

Keywords: corrosion, types of corrosion, preventive measures, inspection, corrosion removal, M-337 engine

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Příčiny vzniku vnitřní koroze pístových motorů vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Praze dne 7. srpna 2023



.....
Podpis

Poděkování

Rád bych vyjádřil poděkování všem, kdo přispěli k vytvoření mé bakalářské práce. V první řadě děkuji vedoucímu své práce Ing. Pavolu Hajlovi za rady, konzultace a čas, který mi věnoval při zpracování této práce. Děkuji firmě LOM Praha za pomoc při zpracování praktické části mé práce. Děkuji také svým rodičům a kamarádům za to, že mě podporovali v průběhu celého studia.

Obsah

1	Úvod	10
2	Základní teoretická východiska	11
3	Koroze	12
3.1	Vznik a průběh koroze	12
3.2	Rozdělení koroze podle vnitřního mechanismu.....	12
3.3	Rozdělení koroze podle druhu korozního napadení	13
4	Místa vzniku koroze na pístových motorech	20
4.1	Válce a hlavy válců	20
4.1.1	Koroze na válcích a hlavách válců.....	21
4.2	Písty a pístní kroužky.....	23
4.2.1	Koroze na pístech a pístních kroužcích	23
4.3	Chladicí soustava	24
4.3.1	Koroze v chladicí soustavě	24
4.4	Palivová soustava.....	25
4.4.1	Koroze v palivové soustavě	26
5	Profylaktické práce	27
6	Metody kontroly na koroze	28
6.1	Vizuální kontrola	28
6.2	Boroskopie	29
6.3	Ultrazvuková inspekce.....	30
6.4	Magnetická kontrola.....	31
7	Praktická část.....	34
7.1	Motor M-337	34

7.2	Popis hlavních částí motoru.....	34
7.3	Koroze na motoru M-337	36
7.3.1	Koroze na válci motoru M-337	38
7.4	Nové metody detekce koroze	50
7.5	Nové metody odstranění koroze	53
7.5.1	Princip fungování laserového systému	53
7.5.2	Odvětví použití.....	54
7.5.3	Typy laserových systémů.....	54
7.5.4	Výhody a nevýhody technologie	55
8	Závěr.....	57
9	Seznam literatury.....	58
10	Seznam obrázků.....	65

1 Úvod

Historie pístových motorů je o několik desetiletí delší než historie samotného letectví. Tyto motory rozpohybovaly první auto, zvedly k nebi první letadlo a první vrtulník, prošly dvěma světovými válkami a dodnes se používají v současných automobilových konstrukcích. V dnešním letectví však byly pístové motory téměř zcela nahrazeny motory s plynovou turbínou a používají se výhradně v malých osobních nebo sportovních letadlech. Při tak rychlém tempu vývoje v letectví se lidé stále více snaží motory vylepšovat a přicházet s novými, ale neméně důležitou součástí letectví tvoří oprava a údržba stávajících letadel, leteckých motorů a jejich součástí. Lidé by si měli umět poradit s odhalením konkrétního problému v případě poruchy motoru a včas se s ním vypořádat.

Jedním z hlavních problémů, které mohou negativně ovlivnit životnost motoru, je koroze. Tento jev, neodlučitelně spojený s vlivy prostředí na kovové povrchy, představuje pro pístové motory letadel závažný problém. Letadla, která zajišťují kritické dopravní a letové operace, jsou závislá na bezchybném výkonu svých motorů, a účinky koroze mohou vážně ohrozit spolehlivost i bezpečnost letecké dopravy. Aby bylo možné udržet letadla v bezvadném stavu a zajistit jejich bezpečný provoz, je nezbytné vyvíjet úsilí k identifikaci, odhalování a řešení problémů s korozi na pístových motorech. Vývoj moderních metod kontroly a detekce koroze i účinné postupy pro její odstraňování a prevenci jsou klíčové pro udržení bezpečnosti a spolehlivosti leteckého průmyslu. Tímto způsobem lze zajistit dlouhou životnost motorů a bezpečné lety pro všechny uživatele letecké dopravy.

Cílem mé bakalářské práce je popsat příčiny vzniku vnitřní koroze pístových motorů a navrhnout optimální strategie i metody zaměřené na předcházení korozi a její odstranění.

2 Základní teoretická východiska

Teoretická část bakalářské práce předkládá základní poznatky týkající se jak obecného popisu koroze, různých typů napadení, jejího vzniku a průběhu, tak i míst vzniku koroze na pístových motorech, profylaktických prací, které se na motorech provádí, a metod kontroly se zaměřením na koroze.

3 Koroze

Koroze neboli degradace materiálu je proces rozkladu kovu, začínající na jeho povrchu, mimovolnou chemickou nebo elektrochemickou reakcí s okolním prostředím. Často ke korozi dochází v důsledku různých faktorů, jako jsou vlhkost, oxidace, elektrochemické reakce a jiné chemické procesy. Koroze může mít významný dopad na výkon a životnost kovových materiálů a jejich součástí, což může mít další negativní dopady na výkon a bezpečnost strojů, které je obsahují [1].

3.1 Vznik a průběh koroze

Všechny kovové materiály a součástky jsou náchylné ke korozi, avšak intenzita a rychlost korozních procesů mohou mezi jednotlivými kovy značně variabilní. Důkladné znalosti o specifických vlastnostech každého kovu vůči korozi jsou podstatné pro správné a úspěšné použití daného materiálu ve stavbě nebo konstrukci [1].

3.2 Rozdělení koroze podle vnitřního mechanismu

Rozdělení koroze:

- chemická,
- elektrochemická.

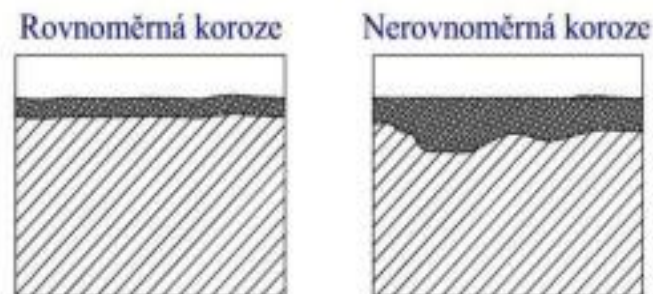
Chemická koroze je koroze kovu v plynném a kapalném prostředí, které nevede proud. Koroze tohoto typu spočívá v oxidaci kovu v důsledku jeho přímé chemické interakce s prostředím. V prostředí, jako jsou vzduch, zplodiny spalování uhlí a jiných paliv (ropa, benzin, petrolej, mazací oleje), obvykle dochází k chemické korozi. Avšak přítomnost i malého množství vlhkosti v těchto látkách může ve větší či menší míře dávat korozi elektrochemický charakter [4] [5].

Elektrochemická koroze zahrnuje případy koroze kovů v elektrolytech, tedy ve vodivém prostředí [4] [5].

Znalost těchto dvou procesů bude mít vliv na mnohé aspekty ochrany proti korozi a kontroly stavu kovových součástí konstrukce, jako i pro navrhování nových metod prevence, nejčastěji zaměřené proti místním formám koroze.

3.3 Rozdělení koroze podle druhu korozního napadení

Podle druhu napadení se koroze rozlišuje na *rovnoměrnou* a *nerovnoměrnou*.



Obr. 1: Dělení koroze podle druhu napadení [6]

Rovnoměrná koroze je charakterizována stejnoměrným rozpouštěním kovu po celém povrchu napadeného materiálu. Tento typ koroze se vyskytuje v systémech s homogenním povrchem kovu a homogenním prostředím, kde teploty a koncentrace všech složek prostředí i kovu jsou na jejich vzájemném rozhraní vyrovnané [7].

Nerovnoměrná koroze představuje vysoce nebezpečný jev, jelikož postihuje materiál pouze v určitých místech. Do této kategorie koroze patří [8]:

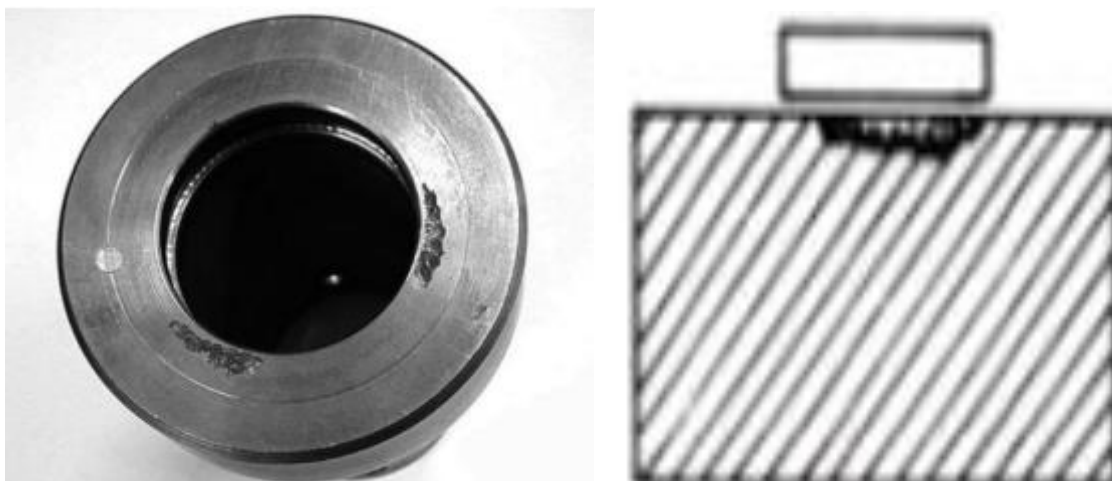
- galvanická,
- štěrbinová,
- bodová,
- korozní praskání,
- mezikrystalická,
- selektivní,
- erozní,
- styková.

Galvanická koroze je elektrochemická reakce mezi dvěma rozdílnými kovy v prostředí elektrolytu, která vytváří elektricky vodivé cesty. Různé kovy a slitiny mají odlišné elektrochemické potenciály, a když se dva nebo více různých kovů spojí v přítomnosti elektrolytu, jeden z kovů se stane anodou a druhý katodou. Elektrolyt umožňuje přenos iontů mezi těmito kovy. Díky rozdílu v elektrických potenciálech různých kovů se kov, který funguje jako anoda, rozpouští v elektrolytu, zatímco na kovu, který slouží jako katoda, vzniká galvanický povlak [1] [7] [9].



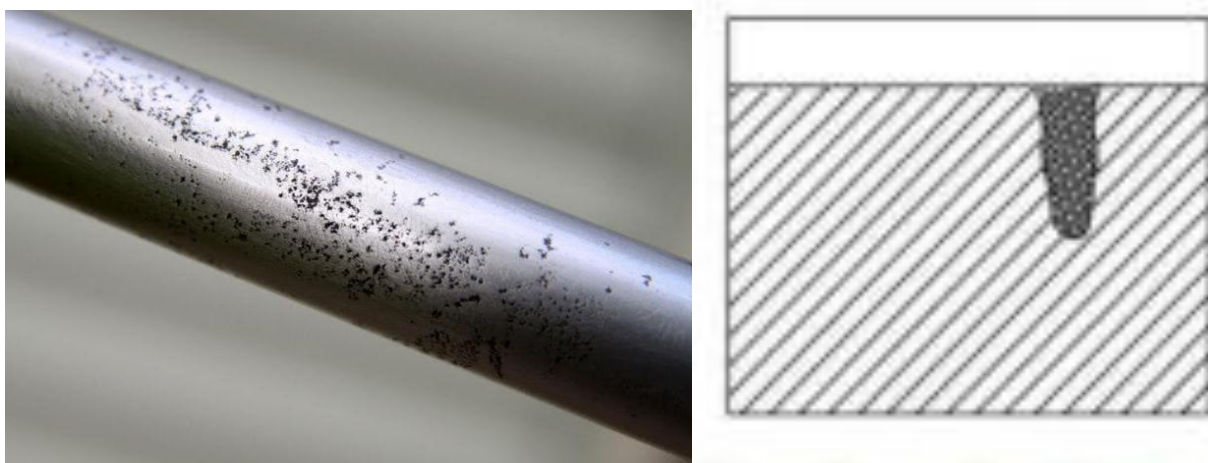
Obr. 2: Galvanická koroze [10]

Štěrbínová koroze je běžný typ, který patří do elektrochemické kategorie. Zvláštnost je zřejmá již z názvu – koroze se začíná vyvíjet v četných štěrbinách a prasklinách na kovových materiálech. Specifikem takového procesu je univerzálnost. K poškození dochází ve volném vzduchu při kontaktu s atmosférou, stejně jako v plynném prostředí nebo za vlhka. Některé vnější faktory, jako jsou neustálý kontakt s mořskou vodou, půdní aplikace nebo vysoká relativní vlhkost vzduchu, situaci jen zhoršují [7] [11].



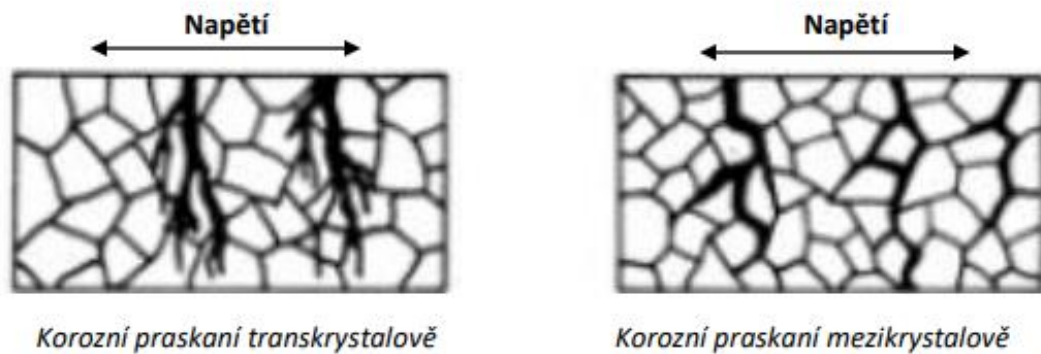
Obr. 3: Štěrbínová koroze [7] [12]

Bodová koroze představuje součást lokální koroze, která dokáže ve velmi krátké době zničit kov, na jehož povrchu vznikají hluboké důlky. Tento typ koroze je považován za jeden z nejnebezpečnějších. To je způsobeno tím, že na rozdíl od obecné koroze se šíří uvnitř materiálu. K tvorbě bodové koroze dochází pouze na určitých typech kovových materiálů vystavených určitým korozním podmínkám. Tyto kovy se nazývají aktivní-pasivní a zahrnují železo, nikl, hliník, hořčík, zirkonium, zinek, měď, cín, slitiny mosazi a nerezové oceli. Korozní proces se aktivuje, když je materiál přítomen v roztocích, které obsahují určité ionty (halogenidy, chloristany atd.) [1] [7] [13].



Obr. 4: Bodová koroze [7] [13]

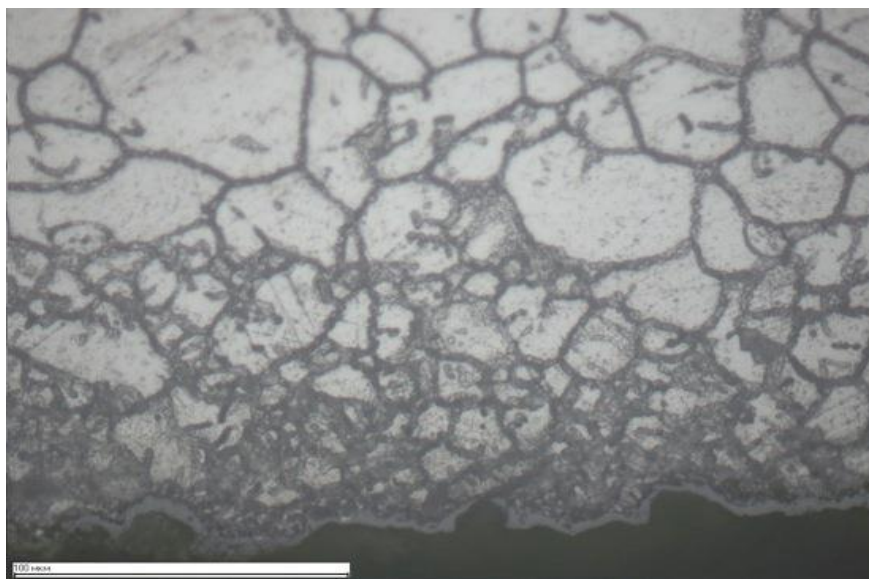
Korozní praskání je typ koroze, při kterém je iniciováno a vyvinuto mnoho trhlin v kovu, které vedou k prasknutí. Trhliny se šíří ve struktuře kovu buď po hranici zrn (mezikrystalově), nebo přes zrna (transkrystalově). Mechanismus korozního praskání závisí především na součinnosti tří faktorů – napětí, korozního prostředí a citlivého materiálu. Citlivost ovlivňuje chemické složení kovu, velikost vnitřního pnutí, stupeň deformace, heterogenita a dále hodnota elektrochemického potenciálu a schopnost kovu na pasivaci [1] [7] [14].



Obr. 5: Korozní praskání [7]

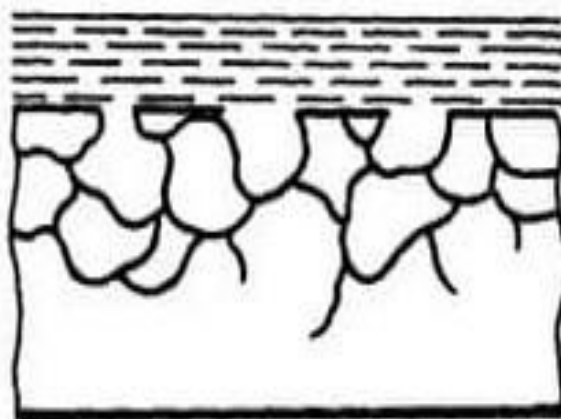
Mezikrystalická koroze je jedním z typů lokální koroze kovů, jež vede k selektivní destrukci hranic zrn. Vzniká, když koroze hranic zrn postupuje výrazně rychleji než koroze samotných zrn materiálu. Taková koroze je velmi nebezpečným typem rozlišení, protože vizuálně nebývá vždy možné ji určit. Kov ztrácí svou tažnost a pevnost. Mezikrystalické korozi jsou nejčastěji vystaveny kovy a slitiny, které se snadno stávají pasivními. Patří mezi ně chromnikl a slitiny chromu (nerezové oceli), slitiny hliníku, nikl a některé další. Faktory, které vedou k mezikrystalické korozi, jsou [1] [7] [15]:

- složení slitiny,
- teplota a doba expozice při zvýšených teplotách,
- vnější prostředí.



Obr. 6: Mezikrystalická koroze nerezové oceli [16]

Selektivní koroze (selektivní leptání) je druh korozního poškození, kterému jsou vystaveny slitiny obsahující komponenty, jež se výrazně liší elektrochemickým chováním. Struktury vystavené selektivnímu leptání se stávají křehčími, jedna z fázových složek systému (nebo nějaká jiná část) se rozpustí. V materiálu se tvoří dutiny různých konfigurací a hloubek. Součásti, které jsou ve svém prostředí nestabilní, se postupně ničí, zatímco stabilnější složky slitiny zůstávají. V některých případech lze vidět výsledek strukturální selektivní koroze. Povrch slitiny se stává porézní. Slitiny na bázi mědi jsou vystaveny poměrně silné strukturálně selektivní korozi. Typickým příkladem tohoto typu koroze je odzinkování mosazi, kdy se část výchozího materiálu slitiny mědi a zinku přemění na houbovitou měď. K tomu dochází buď v celé vrstvě na povrchu, nebo lokálně [1] [7] [17].

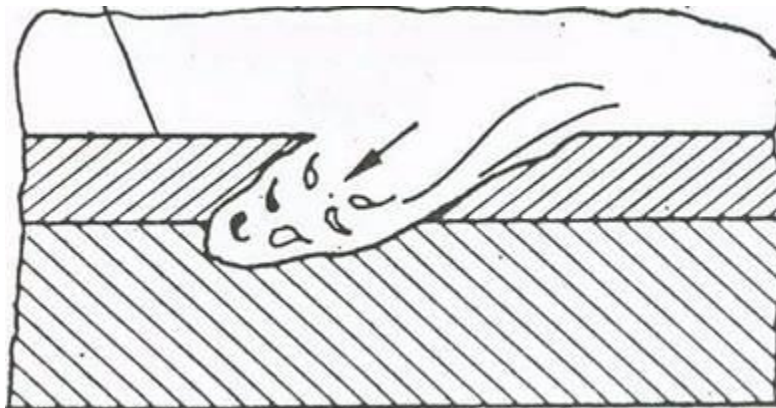


Obr. 7: Selektivní koroze [18]



Obr. 8: Selektivní koroze – odzinkování mosazi [7]

Erozní koroze je rychle se vyskytující chemický útok na povrch kovu v korozním prostředí. Vlivem abrazivního opotřebení při působení pohybující se kapaliny se tvorba ochranné vrstvy korozních produktů buď zpomaluje, nebo vůbec nevzniká a korozní prostředí přímo působí na nechráněný kovový povrch. Erozní koroze je obvykle charakterizována tvorbou rýh nebo prohlubní na povrchu v důsledku působení proudění korozního média, střídavě s vyvýšeninami. Většina slitin je k takové korozi náchylná a vyskytuje se v různých korozivních prostředích, jako jsou pohybující se plyny, kapaliny a pevné látky [1] [7] [14] [19].



Obr. 9: Erozní koroze [20]

Styková koroze kovů (kontaktní koroze) je jedním z nejčastějších jevů, které mohou vést k jejich poškození, ztrátě výkonu a úplné destrukci. Jev je pozorován, když se dostanou do kontaktu dva kovy lišící se elektromechanickými vlastnostmi. Tento typ koroze se nejčastěji vyskytuje u ložisek. Mezi jeho vnějším povrchem a tělesem nebo mezi otvorem ložiska a hřídelí se začne tvořit koroze.

V závislosti na typu kovu se při kontaktu chovají odlišně. Například styková koroze je běžná, když se uhlíková ocel a hliník, měď a železo, zinek a hliník dostanou do kontaktu. A to je jen část možných kombinací. Někdy je také pozorována styková koroze, pokud se stejné kovy dostanou do kontaktu.

Proces kontaktní koroze se vyvíjí v různých prostředích. Jsou jimi vzduch, voda, půda [21] [22].



Obr. 10: Styková koroze [22] [23]

4 Místa vzniku koroze na pístových motorech

Koroze v pístových motorech vzniká na různých místech, jako jsou třeba válce a hlavy válců, písty a pístní kroužky, v prostoru chladicího systému a v prostoru palivového systému.

4.1 Válce a hlavy válců

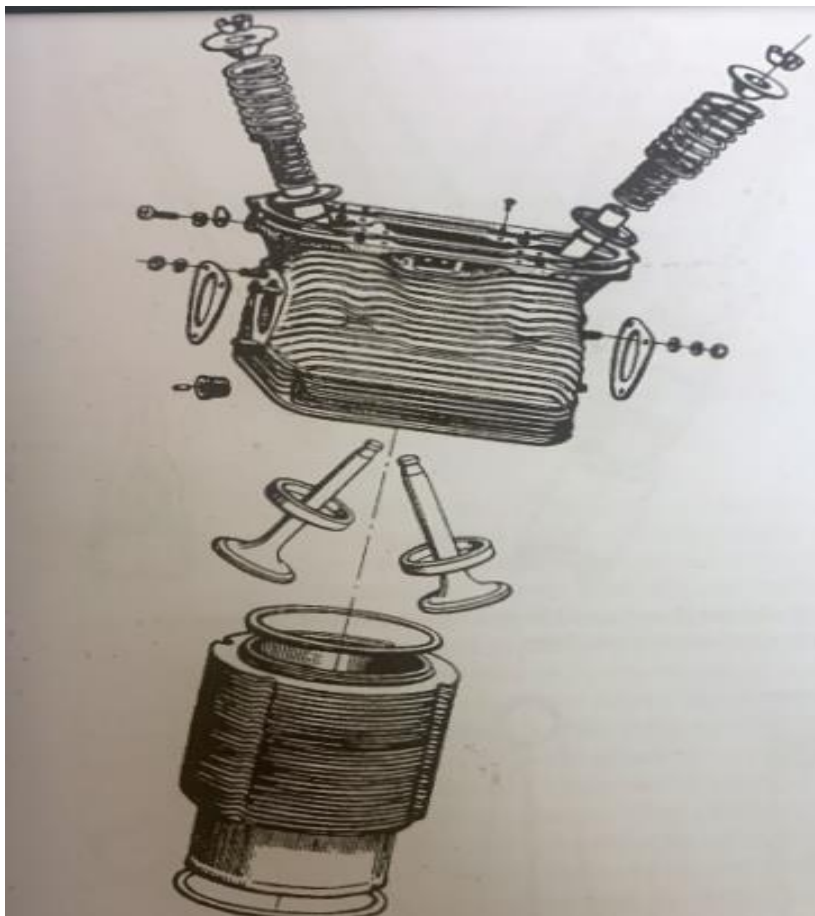
Válce mohou být konstruovány dvěma různými způsoby:

- a) Každý z válců je nezávisle připevněn na klikové skříni. Používají se u motorů chlazených vzduchem.
- b) U motorů chlazených kapalinou jsou válce spojeny do jednoho bloku, sdílí společný plášť a hlavu.

Úkolem válců a hlav válců je:

- a) zajišťovat těsný spalovací prostor,
- b) vytvářet drážky pro pohyb pístu,
- c) rychle odvádět vyprodukované teplo při provozu.

Válec je uzavřen na horním konci hlavou, která určuje tvar spalovacího prostoru. Konfigurace spalovacího prostoru ovlivňuje plnění válce, přenos tepla do stěn a náchylnost k detonacím. V hlavě jsou umístěny ventily s odpovídajícími částmi rozvodů. Umístění a počet ventilů jsou pečlivě vybrány tak, aby dosáhly co nejlepšího plnění a vyprázdnění válce [2].



Obr. 11: Válec a hlava válce vzduchem chlazeného motoru [2]

4.1.1 Koroze na válcích a hlavách válců

Nejčastější místa vzniku koroze na válcích jsou vnitřní povrch válců, vnější povrch válců a samy hlavy válců.

Typ koroze, který vzniká na vnitřním povrchu válců leteckých pístových motorů, se nazývá **koroze otěrem** nebo **koroze abrazivního opotřebení**. K tomuto typu koroze dochází vlivem tření mezi písty a vnitřním povrchem válců, což má za následek mechanické opotřebení povrchu a jeho následnou korozi. Další příčinou, proč dochází k takovému typu koroze, je přítomnost nečistot vzduchu a plynu, a také přítomnost produktů spalování paliva. Optimální mazání a pravidelná údržba motoru mohou pomoci zabránit vzniku abrazivní koroze.

Koroze vnějších povrchů válců pístových motorů letadel může být způsobena řadou faktorů, včetně vlivu prostředí a provozních podmínek. Mezi hlavní příčiny koroze patří:

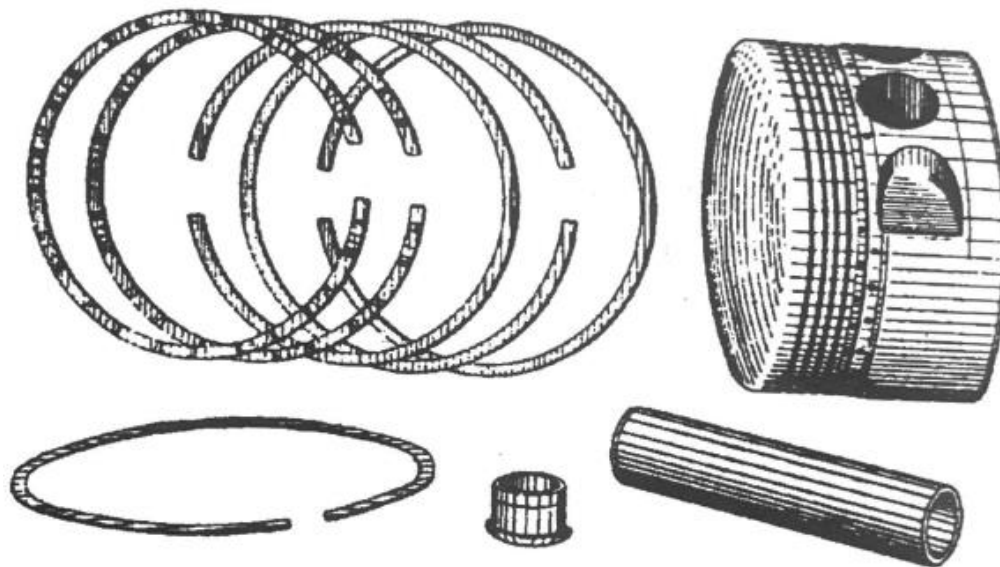
1. **Působení vlhkosti.** Vlhkost může reagovat s kovovými povrchy válců, což může vést k tvorbě oxidu kovu a následné korozi.
2. **Přítomnost solí.** Pokud vzduch, který přichází do styku s povrchem válců, obsahuje soli (např. mořskou sůl nebo chloridy), může to rovněž vést ke korozi.
3. **Kyselé prostředí.** Některé částice nebo plyny ve vzduchu mohou být kyselé, což může rovněž způsobit korozi kovových povrchů válců.
4. **Změny teplot.** Vyšší a nižší teploty mohou ovlivnit rychlost koroze, zejména pokud je přítomna vlhkost.
5. **Nekontrolovaný provoz.** Špatná údržba, nesprávné skladování nebo nesprávná instalace válců na motoru mohou přispět ke korozi.

Pro kontrolu koroze vnějších povrchů válců leteckých motorů lze použít řadu opatření, včetně pravidelného čištění a údržby povrchů, použití korozivzdorných nátěrů, kontroly a udržování optimální vlhkosti a teploty v prostorách pro skladování a provoz motorů, jakož i přísného dodržování doporučení a pokynů výrobců pro údržbu a provoz motorů.

Ke korozi hlav válců může dojít v důsledku kontaktu s chladicími kapalinami, jako je nemrznoucí kapalina [24] [25] [26].

4.2 Písty a pístní kroužky

Píst přenáší sílu vyvolanou tlakem pracovní látky na další části klikového mechanismu. Zároveň píst zabrání úniku plynů z válce do klikové skříně a zamezí pronikání oleje z klikové skříně do spalovacího prostoru. Celý píst se skládá z vlastního pístu, pístních kroužků, pístního čepu a jeho pojistek [2].



Obr. 12: Úplný píst letadlového motoru [2]

Písty používané v leteckých motorech jsou vyráběny z výkovků lehkých slitin. Pístní čep je vyroben z oceli vhodných k cementování a nitridování. Pístní kroužky jsou vyrobeny z perlitické šedé litiny [2].

4.2.1 Koroze na pístech a pístních kroužcích

Na pístu pístového motoru letadla se může vyskytnout povrchová koroze, stejně jako na pístech jiných pístových motorů. Důvodem je skutečnost, že písty jsou obvykle vyrobeny z hliníkové slitiny, která je náchylná ke korozi za podmínek spojených s prostředím a provozem motoru [27].

Mezi hlavní příčiny koroze pístů pístových leteckých motorů patří:

1. **Vlhkost.** Letadla jsou provozována v různých atmosférických podmínkách a na povrchu pístů se může usazovat vzdušná vlhkost. Když se vlhkost spojí s kyslíkem přítomným ve vzduchu, může způsobit korozi hliníkových povrchů.

2. **Kyslík.** Kyslík je rovněž korozivní látka, která může způsobit oxidaci hliníku na povrchu pístů.
3. **Palivo.** V případě závady na mazacím systému nebo těsnění pístu se může palivo dostat do oleje a způsobit vznik kyselých sloučenin, které podporují korozi.
4. **Vysoká teplota.** Pístové motory pracují při vysokých teplotách, které mohou rovněž podporovat korozi.

Koroze pístů a pístních kroužků může vést ke ztrátě komprese, špatnému výkonu motoru, zvýšené spotřebě paliva, únikům oleje a dalším problémům. Výrobci leteckých motorů používají speciální nátěry, antikoroziční přísady a odolnější materiály, aby zabránili korozi pístů nebo ji omezili. Důležitou roli při udržování spolehlivosti a bezpečnosti leteckých motorů hrají také pravidelná údržba, prohlídky pístů a výměna poškozených nebo starých součástí.

4.3 Chladicí soustava

Během pracovního cyklu se součástky motoru ohřívají v souvislosti s přenosem tepla ze spalín a tření. Chladicí systém odvádí potřebné množství tepla z motoru, aby udržel teploty součástí v přijatelných mezích. Příliš vysoká teplota může snižovat pevnost materiálu, způsobovat tepelné deformace, opotřebení pístních kroužků, popálení ventilů, praskání válcových hlav a vznik samozápalů. Na druhé straně je nadměrné chlazení nežádoucí, protože snižuje výkon odebráním tepla, které by se mohlo přeměnit na užitečnou práci. Nízké teploty způsobují zvýšení viskozity oleje a zhoršení mazání [2] [28].

4.3.1 Koroze v chladicí soustavě

Koroze chladicího systému pístových motorů letadel se obvykle projevuje povrchovou korozi kovových součástí systému. Tento typ koroze může postihnout různé součásti chladicího systému, včetně chladičů, potrubí, čerpadel, termostátů a dalších kovových částí.

Mezi hlavní příčiny koroze chladicího systému pístových motorů letadel patří:

1. **Agresivní prvky v chladicí kapalině.** Chladicí kapalina používaná v systému může obsahovat chemické přísady, které mohou způsobit korozi kovových povrchů.
2. **Elektrolytická koroze.** Použití různých kovů v chladicím systému může vést k elektrolytické korozi, zejména pokud jsou ve vzájemném kontaktu nebo s elektrolytem (chladicí kapalinou).

3. **Přítomnost kyslíku a vlhkosti.** Letadlo se nachází v prostředí s vysokou vlhkostí, zejména ve velkých výškách. Pokud jsou v chladicím systému přítomny kyslík a vlhkost, mohou podporovat korozi kovových součástí.
4. **Nedostatečná údržba.** Špatná údržba a předčasná výměna chladicí kapaliny mohou zhoršit problémy s korozí systému.

Mezi místa, kde se v chladicím systému nejčastěji vyskytuje koroze, patří spoje a místa, kde je chladicí kapalina v přímém kontaktu s kovovými částmi, jako jsou chladiče a potrubí. Koroze může vznikat také v místech, kde dochází ke změnám teploty a tlaku, například v okolí termostatu.

Aby se zabránilo korozi v chladicím systému pístového motoru letadla, je nezbytné dodržovat doporučení výrobce týkající se používání správné chladicí kapaliny s antikorozními přísadami a provádět pravidelnou údržbu systému, včetně výměny chladicí kapaliny podle pokynů výrobce. To pomůže udržet spolehlivý výkon chladicího systému a prodloužit životnost pístových motorů letadel.

4.4 Palivová soustava

Palivová soustava má za úkol dodávat motoru palivo, které odpovídá pracovním podmínkám. Klíčové požadavky na tuto soustavu jsou:

1. Dodávané množství paliva do válců musí správně odpovídat dodávanému vzduchu a měnit se v souladu se změnami pracovních podmínek motoru.
2. Palivo musí být do válce přiváděno rozptýlené, aby bylo na konci kompresního zdvihu plně odpařeno a aby ve spalovacím prostoru byla homogenní směs. Složení směsi musí být stejné ve všech válcích motoru během jednoho pracovního cyklu.
3. Správné dávkování paliva v souladu s pracovními podmínkami motoru musí být zachováno za všech podmínek letu.
4. Palivová soustava musí umožňovat snadné spouštění motoru a zajistit dostatečnou akceleraci.
5. Součástí požadavků je také to, že palivová soustava musí být lehká, jednoduše vyráběná, spolehlivá a snadno ovladatelná [2].

4.4.1 Koroze v palivové soustavě

Ve spalovacím systému pístových motorů letadel se mohou vyskytovat dva hlavní typy koroze:

1. **Koroze sacích a výfukových ventilů.** Sací a výfukové ventily se nacházejí ve vysoce korozivním prostředí, protože jimi při každém cyklu motoru procházejí horké plyny. Tyto horké plyny mohou zároveň obsahovat korozivní chemické sloučeniny, které podporují korozi na povrchu ventilů.
2. **Koroze ve spalovacích komorách.** Ke korozi může docházet také ve spalovacích komorách, zejména na kovových površích stěn komor. Důvodem jsou vysoké teploty a agresivní produkty spalování, které mohou způsobit oxidaci a poškození kovových povrchů.

Aby se zabránilo korozi ve spalovacím systému pístových leteckých motorů, používají výrobci speciální materiály a nátěry na povrchy ventilů a stěny spalovací komory. Pravidelná údržba a výměna poškozených nebo starých součástí rovněž pomáhají snížit pravděpodobnost vzniku koroze a prodloužit životnost motoru.

5 Profylaktické práce

Profylaktické práce zaměřené na předcházení korozi v pístových motorech letadel zahrnují několik klíčových kroků, které musí být dodržovány, a které pomáhají minimalizovat vliv korozivních faktorů a udržet motor v dobrém stavu [29].

Takové kroky a důležitá opatření jsou následující:

1. **Pravidelná údržba.** Provádění pravidelné údržby v souladu s pokyny výrobce. To zahrnuje pravidelné kontroly, výměnu oleje, čištění a vizuální inspekce klíčových komponent.
2. **Správná ošetření povrchů.** Povrchy pístů, vnější povrchy válců a dalších komponent mohou být ošetřeny speciálními ochrannými povlaky nebo antikorozními nátěry.
3. **Použití správných materiálů.** Při opravách a výměnách součástí motoru je třeba používat správné materiály a díly, které jsou odolné vůči korozivním účinkům.
4. **Ochrana proti vlhkosti.** Udržovat motor v suchém prostředí a minimalizovat vystavení vlhkosti. Při odstavení letadla zajistit, aby byl motor chráněn před vlhkostí a deštěm.
5. **Odstranění soli a nečistot.** Po provozu v náročných podmínkách, jako je let nad mořskou vodou, nebo na zasněženém povrchu je potřeba důkladně očistit motor od soli a nečistot, aby se zabránilo hromadění korozivních látek.
6. **Monitorování paliva a maziva.** Ujistit se, že palivo a maziva používaná v motoru jsou čisté a neobsahují příměsi, které by mohly způsobovat korozní problémy.
7. **Preventivní opatření při parkování.** Při dlouhodobém parkování letadla minimalizovat korozní účinky tím, že budou použity ochranné nátěry nebo zakrývky na zakrytí motoru a klíčových částí.
8. **Monitorování stárnutí motoru a jeho komponentů.** Sledovat stárnutí motoru a jeho součástí, pravidelně provádět vhodné testy a zkoušky, aby bylo možné včas odhalit příznaky korozního poškození, případně jim rovnou včas předejít.

Každý z těchto kroků je nezbytnou částí profylaktických prací, které by měly být prováděny na pístových motorech letadel, a to za účelem snížení rizika vzniku koroze a zajištění jejich spolehlivého a bezpečného provozu.

6 Metody kontroly na koroze

Zjištění koroze pístových motorů letadel je důležitým krokem k zabránění dalšímu poškození a zničení součástí motoru. V leteckém průmyslu se používá několik metod detekce koroze. Některé z nich jsou uvedeny níže.

6.1 Vizualní kontrola

Vizuální kontrola je nejčastější a základní metodou detekce koroze, která by měla být provedena před každou další metodou kontroly korozního napadení na pístových motorech letadel. Tato metoda se soustředí na identifikaci a hodnocení stavu povrchů výrobků nebo součástí, které jsou postiženy korozi, buď prostým pozorováním očima, nebo pomocí speciálních zařízení a přístrojů (jako jsou lupy, boroskopy atd.).

Během vizuální kontroly se povrch, který byl postižen korozi, hodnotí vizuálně, jak s korozními produkty, tak i po jejich odstranění. V některých speciálních případech může být nerovnoměrné poškození (např. trhliny při korozi pod napětím nebo bodová koroze) zvýrazněno pomocí barevných nebo fluorescenčních látek, magnetických prášků nebo otisků. Tento postup může být použit pro určení rozsahu a četnosti korozního poškození. Dále při vizuální kontrole po zjištění korozního poškození lze pomocí měrek určit úbytek materiálu v důsledku koroze nebo vypočítat zbývající materiál na základě známé původní tloušťky.

Pravidelné vizuální kontroly pístových motorů pomáhají odhalit známky koroze na povrchu součástí. Inženýři a technici pečlivě kontrolují různé části motoru a hledají možné známky koroze, oxidace nebo úbytku materiálu [30] [31].

Provádí-li technik údržby vizuální kontrolu letecké techniky, musí splňovat následující základní požadavky:

1. Aby technik mohl správně posoudit nález korozního poškození na motoru letadla a také podmínky, které vedly ke vzniku této koroze, je nezbytné, aby dobře rozuměl konstrukci samotného motoru.
2. Musí mít vysokou úroveň pozornosti a dobrý zrak. Pro lepší rozpoznání projevů koroze může použít i hmatu. Využití více smyslů zvyšuje účinnost vizuální kontroly.
3. Kontrolované místo motoru vyžaduje nezbytně dobré osvětlení.

Kvalita přípravy povrchu má významný vliv na kvalitu provedení vizuální kontroly. Vizualizace korozního poškození při vizuální kontrole se nejčastěji provádí prostým okem. Mezi nářadí a pomůcky, které se nejčastěji používají při vizuální kontrole, patří:

- zvětšovací lupy,
- měrky, měřidla,
- může být použit také boroskop, pokud je to vhodné [30] [31].

6.2 Boroskopie

Boroskopie je důležitou diagnostickou metodou pro zjišťování a hodnocení korozního poškození motoru. Tento proces zahrnuje použití boroskopu, speciálního pružného optického přístroje, který umožňuje kontrolu těžko přístupných míst a vnitřních dutin motoru. Pomocí boroskopie je možné kontrolovat povrchy, jako jsou vnitřní stěny válců, písty, ventily a další kritické součásti, které mohou být náchylné ke korozi. Pomocí této metody mohou technici a inženýři odhalit známky poškození koroze, určit jejich povahu i rozložení a posoudit dopad na výkon a spolehlivost motoru [31] [32].



Obr. 13: Boroskop [33]

Přestože je boroskopie užitečným nástrojem, nenahrazuje další metody kontroly korozního poškození, jako jsou ultrazvuková inspekce nebo elektromagnetická kontrola.

6.3 Ultrazvuková inspekce

Ultrazvuková detekce koroze je neinvazivní diagnostický přístup, který využívá vysokofrekvenční zvukové vlny k detekci a měření korozního poškození materiálů. Taková metoda je univerzální a vhodná pro všechny typy konstrukčních materiálů, bez ohledu na jejich chemické složení, rozměry a elektromagnetické vlastnosti. Navíc umožňuje kontrolu jak povrchových forem koroze a poškození materiálu, tak i detekci defektů ve velké hloubce pod povrchem.

Tato metoda je založena na principu odrazu ultrazvukových vln od vnitřních defektů a změn v materiálu. Jakmile ultrazvukové vlny pronikají materiálem pístového motoru, mohou zjistit změny v tloušťce stěny, přítomnost koroze nebo jiné vady. Ultrazvuková detekce vad umožňuje technikům a inženýrům posoudit hloubku korozního poškození a určit jeho rozšíření.

Mezi výhody ultrazvukové metody patří vysoká citlivost na malé závady, možnost prověřit těžko přístupná místa a minimální nebo žádná nutnost demontáže motoru.

Přístroj, jehož pomocí se provádí kontrola ultrazvukem, se nazývá ultrazvukový defektoskop [31] [34] [35].



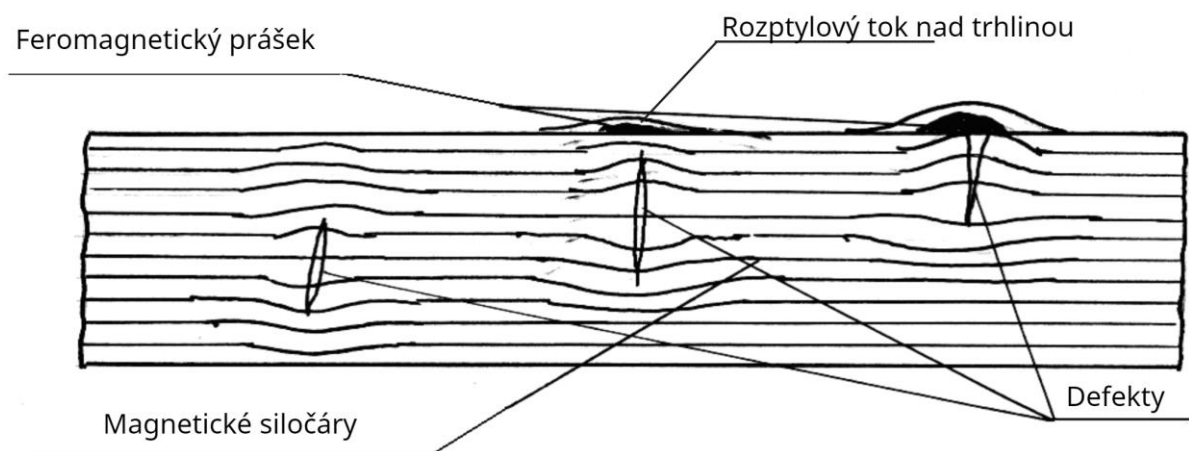
Obr. 14: Ultrazvukový defektoskop [36]

6.4 Magnetická kontrola

Magnetická metoda používaná k detekci koroze pístových motorů letadel je založena na změnách magnetických vlastností materiálů způsobených korozními procesy. Při kontrole motoru se především používá metoda magnetického prášku [31] [37].

Magnetická prášková metoda je metoda primární indikace informací, která je založena na registraci magnetických polí rozptylu defektů pomocí feromagnetického prášku nebo magnetické suspenze jako indikátoru. Magnetická prášková metoda se v civilním letectví široce používá k vyhledávání povrchových a podpovrchových (do 2 mm) vad (trhlin, koroze atd.) na magnetických materiálech a dílech.

Fyzikální podstata metody spočívá v tom, že ve zmagnetizované části v místech nedokonalosti materiálu dochází k přerozdělení magnetického toku a jeho siločáry vystupují nad povrch dílu. To je způsobeno rozdílnými magnetickými charakteristikami místa s korozí [31] [38].



Obr. 15: Princip magnetické metody [38]

Pro magnetickou kontrolu se používají následující přístroje a nástroje:

- magnetizační zařízení (defektoskopy), včetně stacionárních defektoskopů,
- měřiče intenzity magnetického pole a zařízení pro měření zbytkového magnetického pole,
- zrcadla, endoskopy [31] [38].



Obr. 16: Stacionární defektoskop [autor]

Magnetická prášková metoda zahrnuje následující technologické operace:

- přípravu výrobku ke kontrole,
- magnetizaci výrobku,
- nanášení magnetického prášku nebo suspenze na výrobek,
- kontrolu,
- analýzu výsledků kontroly a rozhodnutí o vhodnosti dílu,
- odmagnetování předmětu [38].

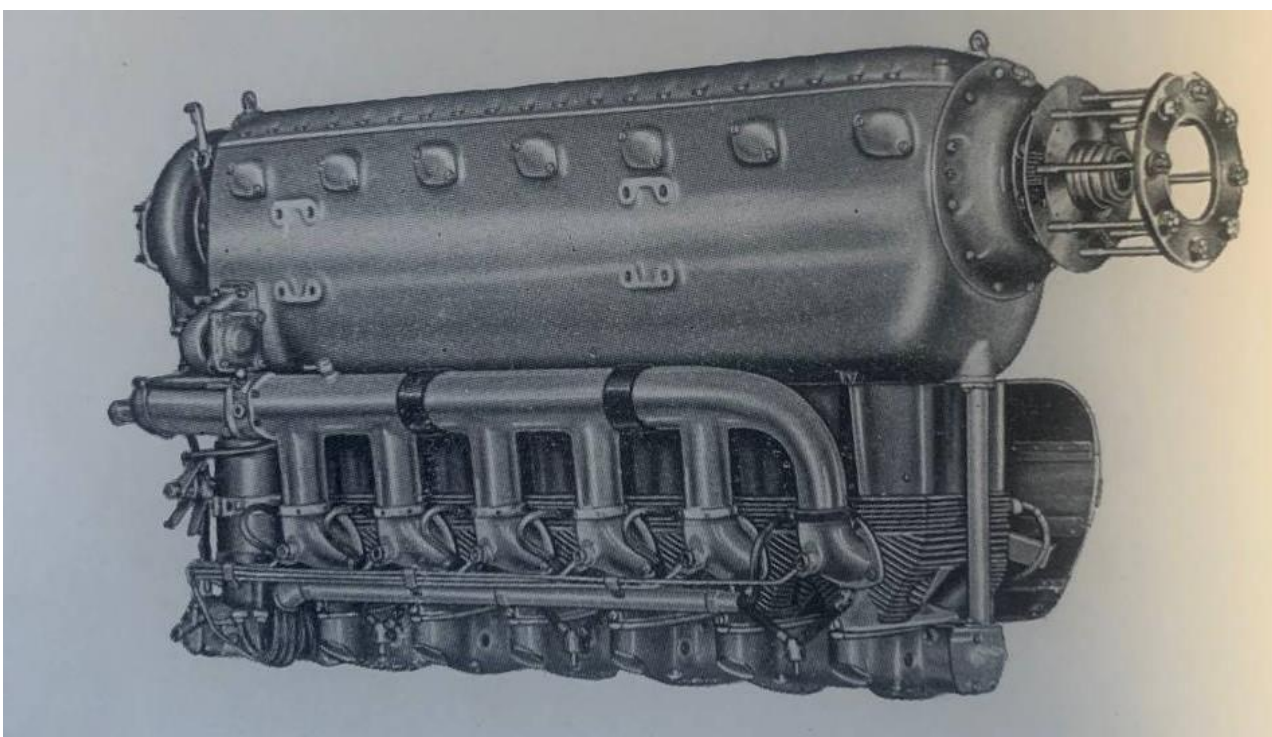
Při provádění magnetické kontroly se kontrolovaný díl prověří vizuální nebo vizuálně-optickou metodou s některými zvláštnostmi:

- Při kontrole je třeba uplatnit opatření proti vymazání indikačních stop, protipožární opatření, opatření proti činnostem, které vytvářejí falešné závady (dotýkání se a přejíždění magnetických předmětů po kontrolovaných plochách apod.).
- Analýza výsledků kontroly a rozhodování o vhodnosti dílu se provádí v souladu s požadavky technologických tabulek.
- Po kontrole se výrobek odmagnetuje, aby se odstranil vliv zbytkové magnetizace na přístroje letadla. To se provádí pomocí prostředků obsažených v sadě použitých defektoskopů [38].

7 Praktická část

7.1 Motor M-337

Motor M-337 je vzduchem chlazený invertní šestiválec, kde válce jsou uspořádány v jedné řadě a vrtule je připevněna přímo na klikový hřídel. Spalovací prostor má půlkulový tvar a hlavy válců jsou bohatě žebrované, což umožňuje dosažení vysokého specifického výkonu. Rozvod motoru, který zahrnuje šikmo skloněné ventily a vačkový hřídel, je umístěn na hlavách válců. Chladicí vzduch je vedem jímkou proti výfukové straně válců [3] [39].



Obr. 17: Motor M-337. Pohled šikmo zepředu, zprava [3]

7.2 Popis hlavních částí motoru

A) Kliková skříň

Kliková skříň se skládá ze tří částí – vlastní klikové skříně, horního víka a předního víka s víčkem tlakového ložiska. Všechny tyto komponenty jsou vyrobeny z kvalitního odlitku zlepšeného elektronu. Víka jsou připevněna ke skříni pomocí závrtů a matic, které jsou

utěsněny. Samotná kliková skříň má dvojité příčné stěny, ve kterých jsou umístěna ložiska klikového hřídele. Na spodní straně jsou připevněny příruby se zavrtanými šrouby, které slouží k připojení válců ke skříni. V zadní části skříně se nachází prostor pro pohony přístrojů a svislého hřídele. Zadní strana skříně je vybavena přírubou pro kompresor nebo spouštěč, přírubou pro čerpadlo a pro regulátor vrtule. Na spodní straně vzadu jsou připevněny příruby pro magnety a sběrač oleje. Na horním víku klikové skříně se nacházejí tři závěsná oka a vzadu je umístěn větrač pro vnitřní prostor skříně [3] [39].

B) Klikový hřídel

Šestkrát zalomený klikový hřídel je odkovek ze speciální nitridační oceli a je na svém povrchu zcela opracován. Hlavní a ojnicní čepy jsou vyrobeny s nitridovaným povrchem. Oba čepy mají dutou strukturu a slouží společně s kanálky v ramenech klikového mechanismu k rozvádění mazacího oleje do hlavních ložisek i do ložisek ojnic. Přední konec klikového hřídele má kuželovitý tvar, je vybaven drážkou pro uchycení klínu a má závit pro upevnění matice vrtulové hlavy. Na zadním konci hřídele jsou umístěny hnací ozubené kolo pohonu rozvodu a unášec kompresoru [3] [39].

C) Ojnice

Ojnice s průřezem H je vykována z hliníkové slitiny a je pečlivě leštěna na celém povrchu. Dvojitá hlava ojnice je připevněna dvěma šrouby a uložena na ojnicním čepu klikového hřídele pomocí dvoudílné ocelové pánve, vyrobené z olovnatého bronzu. Pístní čep je přímo umístěn v nevypouzdřeném oku ojnice [3] [39].

D) Píсты

Píсты jsou vyrobeny z výkovků hliníkové slitiny. Každý píst je vybaven třemi drážkami a obsahuje dva těsnicí kroužky v oddělených drážkách a dva nožové stírací kroužky v jedné společné drážce. Pístní čep je zajištěn v pístu pomocí pružných pojistek, které zabrání jeho vysunutí. Vodicí plášť pístu je povrchově upraven grafitem [3] [39].

E) Válce a hlavy válců

Vlastní válce jsou vyrobeny z nitridační oceli a vytvořeny jako jednodílná součást s hustými chladicími žebry a opěrnou přírubou. Vnitřní plochy válců jsou podrobeny nitridaci pro zvýšení odolnosti. Hlavy jsou odlity z hliníkové slitiny a mají hustě žebrovaný povrch. Do hlav jsou zalisována sedla ventilů vyrobená ze speciální oceli, bronzová vedení ventilů a zašroubována bronzová pouzdra pro svíčky. Pro připevnění sacích kolen a výfukových trubek jsou na hlavách

umístěny příruby se závrtovými šrouby. K uchycení vačkových skříní jsou příruby vybaveny ocelovými závitovými pouzdry.

Hlava je nasazena na válec a utěsněna pomocí měděného těsnění. Obě součásti jsou navzájem spojeny a přitahovány k motorové skříní pomocí čtyř dlouhých šroubů [3] [39].

7.3 Koroze na motoru M-337

Jak již bylo zmíněno v teoretické části práce, na různých částech pístového motoru vznikají různé typy koroze. Ve většině případů se to stává za podmínek spojených s prostředím, ve kterém se motor provozuje a uskládá, a přímo s používáním motoru. Obecně koroze je nepřijatelná hlavně u více dynamicky namáhaných dílů. To má za následek nebezpečí poruchy motoru.

Odstranění koroze je povoleno pouze u určitých dílů, do stanovené úrovně napadení a povoleným způsobem. Proto jednou z nejdůležitějších věcí je prevence, aby koroze vůbec nevznikla. Konstrukce motoru (včetně jeho povrchových ochranných vrstev) už počítá s tím, že bude udržován a provozován v rámci instrukcí uvedených v příručce motoru. Zabránit vzniku koroze je přitom nutné v celém provozním životě motoru (dílu), tj. už od výroby, konzervace při výrobě dílů, konzervace a skladovací podmínky dílů do montáže motoru za daných podmínek, zkoušení motoru, konzervace a skladování motoru před prodejem, transport a následně skladování u zákazníka, vybalení a navěšení motoru do letadla a pak jeho dlouholetý provoz.

Během provozu i odstavení je nutné dodržovat pokyny a podmínky uvedené v technickém popisu a návodu k obsluze, mezi které patří pravidelný provoz rozložený na celý rok, pravidelná výměna oleje, použití předepsaného oleje, konzervace při přerušení provozu na určitou dobu, preventivní kontroly (vizuální, endoskop) v předepsaných intervalech atd.

Podle bulletinu LOM-MB-02 a/2009 (Poznámka a doporučení „c“), vydaného firmou LOM, ve které se uvádí, že při dodržování všech podmínek je možné prodloužit celou živnost motoru o několik měsíců nebo let.

Motory s nízkým počtem hodin provozu ročně často nesou známky nedostatečně prováděných konzervací při přerušení provozu. Prodlužování doby mezi generálními opravami společně s nedostatečnou konzervací při odstávkách pak vedou k tvorbě koroze s následným snižováním provozní spolehlivosti. Nejnižší riziko vzniku koroze je u motorů provozovatelných rovnoměrně během celého roku. Proto se doporučuje provozovat motor podle podmínek a potřeb uživatele

alespoň 100 hodin v roce a tento provoz rozložit pokud možno rovnoměrně během roku – ve všech ročních obdobích [40].

Koroze vzniká většinou při delším přerušení provozu, při nevhodných provozních podmínkách (blízkost moře, v chladných klimatických podmínkách) a nevhodné obsluze či údržbě motoru. Nejčastěji pak vzniká při ukončení provozu motoru – v období mezi ukončením provozu a odesláním motoru do generální opravy, zvláště pokud nejsou provedena opatření pro zabránění jejímu vzniku (konzervace, případně i výměna oleje před posledním letem, zabalení motoru a jeho umístění ve vhodných skladovacích podmínkách).

Zabránit vzniku koroze je ve vlastním zájmu provozovatele/majitele motoru (letounu). Jednak z bezpečnostního hlediska (jako potenciálního zdroje poruch, kdy poruchy vedoucí k nouzovému přistání jsou svými následky někdy ve výsledku velmi drahé, a podléhají navíc šetření příslušných úřadů), jednak z ekonomického hlediska (a to nejen kvůli ceně vlastních dílů, které je pak nutné vyměnit při opravě a které jsou hrazeny zákazníkem, ale i vzhledem k dalším nákladům, jako je cena vlastní práce při opravě, ale i další škody vzniklé např. nutným přerušením provozu motoru do odstranění poruchy, časem vyvstává nutnost výměny motoru za jiný atd.).

Za účelem zabránění korozi se používají povrchové ochrany a pro každý druh slitiny jsou odlišné.

Ocelové díly (od nejúčinnější k nejméně účinné ochraně):

- kadmium,
- zinek,
- fosfát,
- oxidace (černění, brinýrování) – používá se pouze na vnitřní díly motoru.

Díly z Al-slitin:

- eloxování (případně i lakování vnějších ploch).

Díly z hořčíkových slitin:

- pasivace (plochy uvnitř motoru),
- lak (vnější plochy na pasivaci – základní a vrchní barva).

7.3.1 Koroze na válci motoru M-337

Za účelem získání podrobného přehledu koroze, která se vyskytuje na určité části motoru, rozebereme válec motoru M-337. Podíváme se na příčiny vzniku koroze, způsoby její kontroly a odstranění, a také na preventivní opatření proti jejímu vzniku. Tato část práce pomůže posoudit metody, které se používají v současnosti, a navrhnout zlepšené řešení předcházení korozi a vedoucí k jejímu odstranění na konkrétní rozebrané části motoru.

Válce

- **Počet a uspořádání válců:** 6 v jedné řadě, visící
- **Materiál:** Poldi L-AL14.6 (nitridační ocel)
- **Part number:** Sc26006
- **Vrtání:** 105 mm
- **Zdvih:** 115 mm
- **Zdvihový obsah jednoho válce:** 0,995 l
- **Celkový zdvihový obsah:** 5,97 l
- **Kompresní poměr:** 6,3:1

U válců se rozlišuje vnitřní koroze, která se vyskytuje na pracovních plochách válců, a vnější koroze na chladicích žebrech, případně i na válcové části [3].

Vnitřní koroze válců

Vnitřní plocha válce není z důvodu funkčnosti nijak protikorozně chráněna (i když určitou odolnost jí poskytuje její nitridovaný povrch – pro zvýšení tvrdosti –, a tím zvýšení odolnosti vůči opotřebení). Podle statistiky a zkušeností inženýrů i techniků údržby je ke korozi nejnáchylnější nový válec. To znamená, že největší riziko výskytu koroze je v prvních hodinách provozu motoru (nového či po generální opravě, nebo jiné opravě, kdy byl měněn válec za nový). Koroze je zde způsobena za chodu produktů spalování, a hlavně vzdušnou vlhkostí obsaženou v nasátém vzduchu po zastavení motoru, dále také nevhodným olejem (jak značkou, tak jeho stářím/opotřebením).

Vnější koroze válců

Vnější plocha válce má dvě části – žebrovanou (vyčnívá z klikové skříně), která je určena k zajištění účinného chlazení motoru, a válcovou/hladkou (zasunutou do klikové skříně).

Vnější plocha je chráněna fosfátovou vrstvou. Důležitá věc je, že jakákoli ochranná vrstva (včetně fosfátování) omezuje přenos tepla z povrchu válce, což může snížit účinnost chlazení motoru. Konstrukce a údržba motoru musí proto tento faktor zohlednit.

Žebrovaná část

Koroze na žebrované části vzniká vlivem průchodu chladicího vzduchu skrze žebra, kdy tento vzduch je během provozu motoru přímo odebírán z atmosféry. I po zastavení motoru je tato žebrovaná část nadále vystavena atmosférickým podmínkám. Pokud není kapota motoru, včetně otvorů pro vstup a výstup chladicího vzduchu, zakryta vhodnou plachtou nebo krytkami během dlouhodobého odstavení, může být koroze na této části motoru podpořena.

Kondenzace vlhkosti pod nevhodnou plachtou nebo v nevhodných podmínkách může přispět k výskytu koroze na žebrované části. Je důležité zajistit, aby plachta nezadržovala vlhkost nebo kondenzovanou vodu, která by mohla zůstat na povrchu žebor. Správné zakrytí motoru během odstavení a použití vhodných materiálů na plachtě mohou pomoci minimalizovat riziko vzniku koroze a udržet žebrovanou část motoru v dobrém stavu pro dlouhodobé používání.

Válcová část

Koroze na vnější válcové části motoru je způsobena přítomností vlhkosti v karteru. Nasávaný vzduch obsahuje vlhkost, přičemž část této vlhkosti proniká při kompresi pístními kroužky do klikové skříně, což je známé jako „blow-by“. Za provozu motoru je pak zejména při vhodných atmosférických podmínkách dobře viditelný kouř nebo pára vycházející z konce hadice odvodu karteru nebo motoru.

Dalším faktorem, který přispívá ke korozi na vnější válcové části, je vlhkost v oleji. Za nevhodných tepelných podmínek motoru a oleje, například při krátkých bězích motoru, může dojít k nedostatečnému nebo krátkodobému prohřátí motoru a oleje. Tím může vznikat kondenzace vlhkosti v oleji, což následně může způsobit korozi na povrchu válcové části.

Aby se minimalizovala koroze na vnější válcové části motoru, je důležité správně odvětrávat karter a udržovat optimální tepelné podmínky motoru a oleje. Důkladné prohřátí motoru při delším provozu a používání správných maziv může také pomoci snížit riziko kondenzace vlhkosti v oleji, a tím minimalizovat vznik koroze.

Odstranění koroze na válci

Výroba nového válce vyžaduje vysoké finanční náklady. Proces zahrnuje několik kroků, které přispívají k celkovému nákladu. Za prvé je potřeba získat vhodný výkovek, což zahrnuje náklady

na materiál a ohřev pro kování. Dále je nezbytné vytvořit zápustku pro kování, což může být u nízkosériové výroby poměrně nákladné z důvodů nákladů na její rozpuštění, skladování a údržbu.

Po kování následuje řada výrobních procesů, které dále zvyšují náklady. Patří sem například velký úběr materiálu při následném výrobě ohrubku, složitost obrábění jemných žeber, proces nitridace, broušení a honování vnitřního průměru válce. Každý z těchto kroků představuje další náklady na materiál, práci a technologie.

Kromě toho jsou zapotřebí také kontroly kvality a předepsané zkoušky, což zahrnuje dodatečné náklady na vybavení, laboratorní testy a odbornou kontrolu, aby byly zajištěny bezpečnost a kvalita nového válce.

Celkově lze říci, že výroba nového válce je nákladný proces, který zahrnuje širokou škálu výrobních a kontrolních kroků.

U válce je proto povoleno odstranění lehké povrchové koroze jak na vnější, tak na vnitřní ploše. Při hlubší či rozsáhlejší korozi se válec vyřazuje. Zda je válec opravitelný, určuje tzv. nález na základě vizuální prohlídky a proměření.

Měří se vnitřní průměr v několika místech, což umožňuje stanovit geometrický tvar válce, konkrétně jeho válcovitost. Na základě měření a rozsahu poškození vnitřního povrchu válce se rozhodne, zda je válec opravitelný, či ne, a pokud ano, zda bude opravitelný do základního rozměru, nebo musí být provedena abnormalita (výbrus) a bude použit píst s odpovídajícími rozměry. Jde tady o záležitost v řádu setin milimetrů. Oprava válců v tak malém měřítku je důležitá, neboť na nich závisí správné fungování pístového motoru.

Stručný postup opravy válce (při generální opravě):

- **Demontáž válce z motoru a očištění.** Válec se vyjme z motoru a pečlivě umyje benzinem, aby se odstranily nečistoty a uhlíkové usazeniny. Také probíhá dekarbonizace, která odstraní karbonové usazeniny z válce.
- **Kontrola a příprava.** Válec se zkontroluje na případné poškození a proměří, aby se ověřila jeho geometrie. Pokud je to nezbytné, provede se dočištění povrchu válce.
- **Tryskání a odstranění fosfátové vrstvy.** Na vnější ploše válce se použije tryskání korundem, což odstraní starý fosfát a připraví povrch pro další úpravu.
- **Elektrolytická odrezovací reverzní lázeň.** Pro odstranění zbytků fosfátové vrstvy se používá elektrolytická odrezovací reverzní lázeň po dobu cca 15 minut.

- **Chemická aktivace povrchu.** Povrch válce se chemicky aktivuje dekapováním po dobu cca 5 sekund.
- **Fosfátování vnějšího povrchu.** Válec se fosfátuje na vnějším povrchu, vyjma centrální části do klikové skříně a hlavy válce, po dobu cca 20 až 30 minut. Fosfátování pomáhá chránit povrch a zlepšuje přilnavost nátěru.
- **Honování vnitřního povrchu.** Vnitřní povrch válce se honuje, čímž se obnoví přesný průměr, geometrie a drsnost povrchu.
- **Kontrola rozměrů a drsnosti.** Po honování se válec proměří, aby se ověřila přesnost rozměrů a drsnost povrchu.
- **Konzervace a skladování.** Vnitřní povrch válce se konzervuje, aby se zabránilo další korozi. Válec se zabalí a skladuje pro další použití.

Podle postupů opravy válce se na odstranění a prevenci koroze používají dva konkrétní procesy: honování pro vnitřní plochu a fosfátování pro vnější plochu válce.

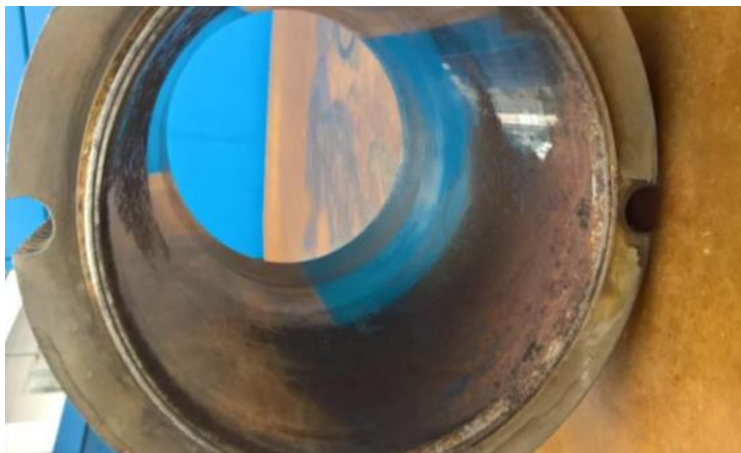
Honování

Honování má za úkol obnovit ideální tvar a povrchovou kvalitu válce, aby byl zajištěn optimální záběh pístních kroužků a pístového pláště při provozu motoru. Proces honování většinou odebrává určitou vrstvu materiálu z vnitřního povrchu válce. Velikost této vrstvy závisí na stupni poškození válce a jeho křivosti. Před samotným honováním je nutné pečlivě vyhodnotit stav válce, protože v případech, kdy jsou poškození příliš výrazná, nemusí být možné dosáhnout stanoveného předepsaného rozměru po renovaci. V takových případech musí být válec vyřazen a není vhodný pro další použití.

Podrobný postup (plošinového) honování válců:

1. Příprava honovacích hlav (kamenů) pro konkrétní válec. Každý válec může vyžadovat specifické honovací kameny, které jsou vybrány na základě potřebného opracování a rozměrů válce.
2. Nastavení stroje (SUNNEN CV-616) pro honování válců. Speciální přípravek se použije k uchycení válců do stroje.
3. Připevnění válců do přípravku na stroji. Válce jsou pevně uchyceny, aby bylo možné provádět přesné honování.
4. Zkontrolování stroje a nastavení jeho parametrů podle postupu. Nastavení zahrnuje otáčky a zdvih křížení, přeběh kamenů a přítlačnou sílu, aby bylo dosaženo optimálního honování.

5. Pokud byly válce fosfátovány uvnitř, použijí se staré honovací kameny a několika cykly honování se fosfát odstraní, aby nedošlo k poškození nových kamenů.
6. Začne hrubování válců pomocí hrubých honovacích kamenů. Každý válec se postupně hrubuje, přičemž se zkontroluje sesouhlasení honovací hlavy s příslušným válcem a dosáhne se nastavené přítláčné síly.
7. Poté se nasadí jemné honovací brousky (jemné kameny) a provede se několik zdvihů válců pro jemné vyhlazení povrchu.
8. Po dokončení honování se válce umyjí benzinem a poté se nechají 24 hodin máčet v petroleji (kerosinu), aby se odstranily zbytky oleje a chladicí kapaliny.
9. Po vyjmutí z petroleje se válce znovu opláchnou benzinem a poté se předají na kontrolu. Ta zahrnuje měření vnitřního průměru v několika místech, aby se vyhodnotily rozměr a válcovitost.
10. Provádí se také kontrola úhlu křížení drážek po honování a měření drsnosti povrchu válců přístrojem (HOMMEL TESTER T1000). Výsledky kontroly jsou zaznamenány v protokolu.
11. Po úspěšné kontrole se na válce aplikuje konzervační prostředek, zabalí se a uskladní pro další použití nebo montáž na motor.



Obr. 18: Neodstranitelná vnitřní koroze [autor]



Obr. 19: Odstranitelná vnitřní koroze lehká [autor]



Obr. 20: Těžko odstranitelná vnitřní koroze [autor]

Samotné honování probíhá pomocí honovacího nástroje, který je osazen brusnými kamínky nebo diamantovými nástavci. Honovací nástroj se vkládá do válce a pohybuje se zpět a vpřed. Během tohoto pohybu brusné kamínky nebo diamanty obrábějí povrch válce a odstraňují nepravidelnosti.



Obr. 21: Honovací nástroj SUNNEN CV-616 [autor]

Fosfátování

Fosfátování slouží jako jedna z metod odstranění koroze na vnějším povrchu válce. Je to také povrchová úprava, která se často používá jako ochranný a přípravný krok před dalšími procesy, jako jsou malování, nátěr nebo aplikace mazacích látek. Tato technika se také používá ke zvýšení odolnosti a adheze povrchu materiálu.

Rozlišujeme dva případy:

1. neodstranitelnou korozi, při které se válec vymění za nový,
2. odstranitelnou korozi, kde se dá použít fosfátování.



Obr. 22: Neodstranitelná koroze na hladké části válce [autor]



Obr. 23: Neodstranitelná koroze na žebrované části válce [autor]



Obr. 24: Odstranitelná vnější koroze [autor]

Postup fosfátování (obecný):

1. **Ochrana nepotřebných ploch.** Před zahájením fosfátování je nutné zakrýt povrchy, které nemají být fosfátovány. Například u válce to může být vnitřní povrch, který slouží k válcování pístu, a proto se na něj nemá aplikovat fosfát. Pro tento účel se používají krytky nebo PVC-páska.
2. **Odrezování.** Válec se umístí do odrezovací vany nebo lázně, kde probíhá odstranění případných zbytků starého fosfátu. Tento proces trvá zhruba 15 minut.
3. **Oplach.** Po odrezování se válec důkladně opláchne studenou vodou.
4. **Moření.** Válec se poté na chvíli ponoří do kyseliny solné, kde probíhá moření. Tento krok trvá pouze několik vteřin, obvykle kolem 5 sekund.
5. **Důkladný oplach.** Po moření následuje důkladný oplach opět studenou vodou.
6. **Předeheřev.** Válec se předeheřeje ve horké vodě.
7. **Fosfátování.** Samotné fosfátování probíhá ve fosfátovací lázni při teplotě 85–95 °C po dobu přibližně 20 minut, přičemž doba může být upravena v závislosti na požadované tloušťce fosfátové vrstvy. Fosfáty v roztoku reagují s kovovým povrchem a vytvářejí tenkou vrstvu fosfátových krystalů. Tyto krystaly poskytují ochranný povlak, který chrání materiál před korozí a zabraňuje adhezi nečistot nebo povlaků na povrchu.
8. **Oplach.** Po fosfátování následuje opět důkladný oplach, nejprve studenou a poté teplou vodou.
9. **Osušení.** Válec se osuší pomocí stlačeného vzduchu.
10. **Odstranění krytek/pásek.** Po osušení se odstraní krytky nebo PVC-páska, které sloužily k ochraně nepotřebných ploch.
11. **Kontrola.** Provede se kontrola celého fosfátovaného povrchu, aby bylo zajištěno, že fosfátová vrstva je rovnoměrně rozložena po celé ploše, která měla být fosfátována.
12. **Vyhřátí.** Válec se vloží do pece vyhřáté na teplotu 120–140 °C, kde je ponechán po dobu 30–40 minut.
13. **Konzervace.** Po vyjmutí z pece a zchlazení na teplotu kolem 40 °C se válec ponoří do konzervačního oleje, který chrání fosfátovaný povrch před korozí a dalšími nepříznivými vlivy.

Potřebné technologické lázně:

- reverzní odrezovací lázeň,
- mořicí lázeň s kyselinou solnou,
- fosfatizační lázeň – Pragofos 1221,
- konzervační lázeň – olej KONKOR 101 (nebo ekvivalentní).



Obr. 25: Fosfatizační lázeň [autor]

Fosfátování má několik výhod. Za prvé zlepšuje odolnost povrchu materiálu proti korozi a působení vnějších vlivů. Za druhé zvyšuje adhezi povrchu pro další povrchové úpravy, jako

jsou nátěr nebo lakování. Fosfátování také pomáhá snižovat opotřebení povrchu, což může prodloužit životnost součástí.

Po skončení dvou představených procesů se vždy provádí kontrola pomocí přístroje na měření drsnosti povrchu a kontroluje se přesnost rozměrů válce.



Obr. 26: Přístroj na měření drsnosti HOMMEL TESTER T1000 [autor]

7.4 Nové metody detekce koroze

Jednou z nových metod detekce koroze, kterou bych chtěl navrhnout, jsou senzory pro monitorování koroze. Jedním z nejslibnějších směrů kontinuálního monitorování koroze

a korozní agresivity mikroklimatu je vývoj optovláknových senzorů. Mezi četnými výhodami použití takových senzorů ve srovnání s tradičními elektrickými senzory je třeba zmínit jejich necitlivost na vnější elektromagnetické pole, malou hmotnost a rozměry, malé ztráty signálu v komunikačním vedení mezi senzorem a přijímačem.

Optovláknové senzory

Snímacím prvkem a přenosovým vedením pro optovláknové senzory je optické vlákno. Senzory založené na použití optických vláken umožňují registrovat změny různých veličin: teploty, poloměru zakřivení a malých deformací, relativní vlhkosti, střídavého a stejnosměrného napětí, detekce chemických a biologických složek. Systémy s optickými vlákny lze také použít ke sledování korozních procesů a parametrů prostředí, které mohou ovlivnit provozní bezpečnost složitých technických systémů.

Optovláknové senzory koroze se dělí do dvou kategorií:

1. ty, které jsou založeny na přímém měření intenzity korozních procesů, např. tloušťky kovového povlaku,
2. ty, které jsou založeny na nepřímých známkách koroze, jako jsou změny pH a koncentrace kovových iontů.

Podstatnou nevýhodou druhého typu senzorů je nemožnost stanovit přímý vztah mezi měřenými parametry a intenzitou korozního poškození.

Základem korozních senzorů, které využívají přímé měření korozního procesu, je zkoumaná vrstva kovu, v níž se zaznamenávají změny. Nejčastěji se používají dva přístupy:

1. kvalitativní, kdy se senzor spustí při překročení nastavené úrovně korozní agresivity prostředí,
2. kvantitativní, která využívá vztahu mezi optickými ukazateli, jako je intenzita odrazu od pokoveného povrchu, a rychlostí korozních procesů.

První typ senzorů je nejjednodušší na realizaci a nejlevnější na výrobu, ale neumožňuje odhadnout rychlost koroze. Přitom informace o korozní agresivitě prostředí dosahující určité úrovně může být dostatečná pro rozhodování o údržbě součásti motoru letadla.

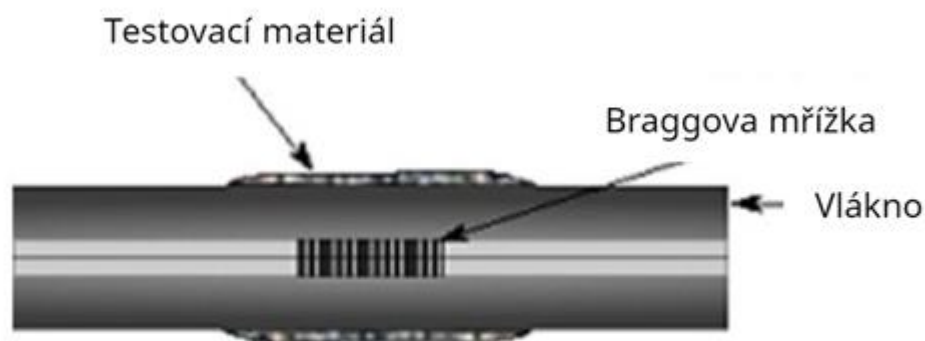
Monitorování koroze ocelových povlaků

Na univerzitě Čching-chua (Čína) byl vyvinut senzor koroze s povlakem Fe-C pro monitorování koroze oceli. Byla zkoumána závislost výkonu signálu na koncentraci kyseliny sírové, do které byl senzor ponořen, a na délce expozice. Optická měření byla doplněna elektrochemickou

impedanční spektroskopii, ale nebyla zjištěna kvantitativní shoda mezi změnou signálu a stupněm korozního poškození.

Na univerzitě Wu-chan (Čína) byl konstrukčně zdokonalen senzor koroze na bázi Fe-C: bylo provedeno rozprašování na vlákno s Braggovou mřížkou, díky němuž byla zjištěna závislost posunu spektra vlivem korozních procesů v povlaku na délce expozice v roztoku NaCl. Tloušťka povlaku Fe-C byla 12–15 μm ; autoři uvádějí, že dosažení požadované tloušťky povlaku je technologicky náročné. Ukazuje se nízká reprodukovatelnost výsledků: rozdíly v odečtech senzorů umístěných v jednom korozivně agresivním prostředí mohou dosahovat 80 %.

Jedním ze slibných způsobů monitorování korozních procesů Fe-C povlaků je použití Braggových mřížek k vyhodnocení mikrodeformací vznikajících během vývoje korozních poruch. Při použití předpjatých vzorků nebo povlaků je možné vytvořit jak jednorázové senzory ukazující dobu do selhání, tak senzory pro kontinuální sledování korozních procesů.



Obr. 27: Senzor koroze založený na Braggově vláknové mřížce [41]

Optovláknové senzory lze použít nejen pro přímé sledování koroze kovů a slitin, ale také pro měření parametrů korozní agresivity prostředí, jako jsou relativní vlhkost, koncentrace chloridů, plynů a přítomnost mikroorganismů.

Většina studií citlivosti optovláknových senzorů na korozi byla prováděna po krátkou dobu v extrémně korozně agresivních podmínkách: v roztocích kyselin, louhů a NaCl. Navzdory velkému počtu studií věnovaných vývoji nebylo dosud plně prozkoumáno hodnocení

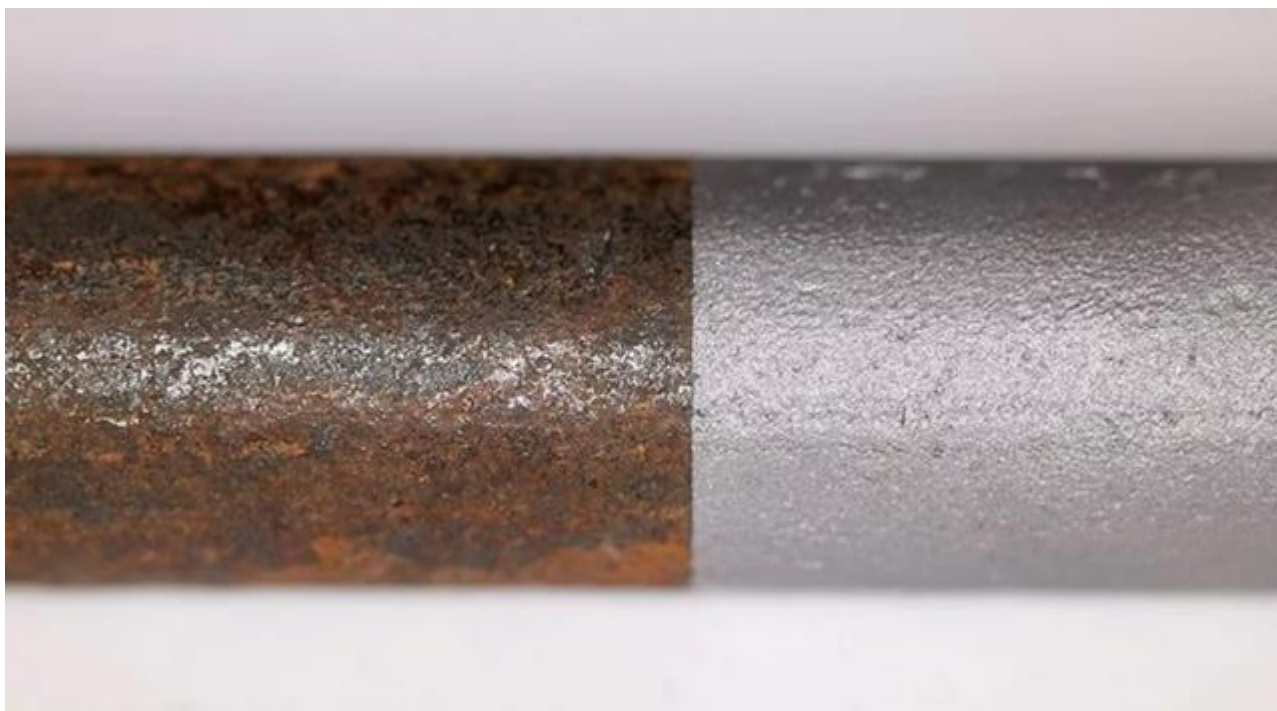
použitelnosti senzorů pro monitorování atmosférické koroze. V mnoha studiích byly učiněny pokusy o kvantitativní stanovení shody mezi změnou odezvy senzorů a vývojem korozních poškození. Po otestování experimentálních korozních senzorů při expozici v plném měřítku a urychlenými metodami je nutné optimalizovat konstrukci senzorů [41].

7.5 Nové metody odstranění koroze

Jednou z nových metod odstranění koroze je laserové ošetření. Je to inovativní metoda odstraňování koroze kovových součástí. Tato technologie je v průmyslu hojně využívána díky nízké spotřebě energie a vysoké rychlosti čištění [42] [43].

7.5.1 Princip fungování laserového systému

Korodující povrch je ošetřen směrovaným laserovým paprskem. Krátké, silné pulzy nebo fotonové paprsky způsobují rozklad zkorodovaných kovových částic a organických látek. Proces může být jednorázový a opakovaný, dokud není dosaženo požadované hloubky čištění.



Obr. 28: Laserové čištění rzi. Předtím a poté [43]

V závislosti na zvoleném typu záření může být účinek světelného toku radikální nebo mírnější. Tyto varianty se nazývají ablace a desorpce.

- **Ablace** je pulzní záření, které způsobí rozpad a odpaření vrstvy rzi. Nejprve se povrch kovu vyhodnotí pomocí snímacího zařízení. Podle tloušťky znečištění se zvolí výkon. Odstraní se vrstva koroze nebo barvy. Kovový povrch zůstává čistý.
- Princip **desorpce** při laserovém čištění kovů spočívá v šetrném ošetření fotonovým paprskem. Odstraňování neprobíhá jako celá vrstva, ale po jednotlivých vločkách. Výrobky jsou podrobeny pouze jednomu cyklu zahřívání. Tato metoda je vhodná pro čištění výrobků s drážkovaným a složitým strukturálním povrchem [41] [42].

7.5.2 Odvětví použití

Metoda laserového čištění se používá ve výrobě, stavebnictví a restaurování budov, archeologii, automobilovém průmyslu a zavádí se i v letectví.

Laserové ošetření zahrnuje v sobě:

- odstranění následků oxidace kovů,
- odstranění starých nátěrů a laků,
- odmaštění a vyčištění povrchu před svařováním,
- čištění sazí a nečistot.

Laserové systémy lze použít k čištění prvků libovolné velikosti a tvaru bez poškození struktury [42] [43].

7.5.3 Typy laserových systémů

Podle způsobu použití se laserová zařízení dělí na následující typy:

1. **Ručně přepravitelné systémy.** Tento systém se skládá z baterie, skenovacího zařízení a laserové hlavy. Jedná se o variantu zařízení pro malé podniky a dílny.
2. **Stacionární pevnolátkové a vláknové lasery.** Jsou navrženy speciálně pro průmyslovou práci.
3. **Vysoce přesné robotické systémy.** Pokud výrobní úkoly vyžadují dokonalé provedení a vysokou přesnost, používají se nadrozměrné systémy, které jsou plně řízeny počítačem. Systém je přizpůsoben výrobnímu procesu na základě vypracovaného projektu. Vývojáři zpravidla následně poskytují servisní služby [42] [43].



Obr. 29: Ručně přepravitelné zařízení TORWATT M100 [43]



Obr. 30: Stacionární pevnolátkové a vláknové lasery TORWATT 1000 ULTRA [43]

7.5.4 Výhody a nevýhody technologie

Hlavní výhody laserového ošetření spočívají ve vysoké rychlosti očištění kovů a poptávce po metodě ze strany velkých podniků i soukromých společností.

Výhody:

- jednoduchý princip fungování,
- žádný spotřební materiál,
- tichý provoz jednotky,
- vysoká přesnost, rovnoměrnost odstranění korozní vrstvy,
- kvalitní čištění po několika minutách práce,
- bezkontaktní technologie, možnost ošetření materiálů různých typů, včetně práce s křehkými výrobky,
- vysoká životnost – od 50 000 do 90 000 hodin.

Ve srovnání s jinými metodami rychlého čištění povrchu, jako jsou pískování nebo čištění suchým ledem, se při čištění laserem nepoužívají chemické látky, které jsou potenciálně nebezpečné pro lidské zdraví. Během provozu se do ovzduší neuvolňují žádné výpary, prach ani jiné odpadní produkty. Podle bezpečnostních předpisů potřebuje obsluha k ochraně pouze respirátor a ochranné brýle.

V závislosti na modelu lze zařízení snadno přemísťovat nebo přenášet ručně. Díky vysoké účinnosti zařízení nespotřebuje více než 5 kW elektrické energie za hodinu.

Nevýhodou laserového ošetření může být nákladný proces a to, že jeho použití vyžaduje specializované vybavení i kvalifikovaný personál.

Je však třeba poznamenat, že při správném nastavení a provedení může laserové opracování výrazně zlepšit stav kovových součástí a prodloužit jejich životnost [42] [43].

8 Závěr

Cílem práce bylo popsat příčiny vzniku vnitřní koroze pístových motorů a navrhnout optimální strategie a metody k předcházení korozi i k jejímu odstranění.

Na začátku této bakalářské práce bylo důležité prohloubit si znalosti v oboru koroze a ohledně příčin jejího vzniku, profylaktických metod a metod detekčních. Pro provedení praktické části bylo také nutné rozšířit dovednosti v oblasti konstrukce motoru M-337 a jeho součástí.

V praktické části bakalářské práce byla do hloubky probrána koroze, která vzniká na konkrétně předloženém motoru M-337. Představeny byly stávající postupy zaměřené na předcházení korozi a její odstranění, taktéž byly navrženy nové metody detekce a eliminace, které se již v letectví zavádí. Je důležité si uvědomit, že každá metoda má svá specifika a používá se v závislosti na konkrétní situaci a povaze poškození. Kombinace různých metod umožňuje úplnější a přesnější sledování stavu pístových motorů a přijetí vhodných opatření k udržení jejich optimálního výkonu.

Co se týká limitace této praktické části, stojí za zmínku, že pro lepší zkoumání dané problematiky je nutné prohloubit znalosti v oblasti nových detekčních metod a metod odstranění. Je důležité nahlédnout na výsledky použití těchto metod v praxi a rozšířit jejich aplikaci.

Doporučením pro navazující výzkum je provádění různých experimentů nových detekčních a eliminačních metod s cílem rozšíření znalostí a rychlejšího zavedení do procesu údržby letadel.

9 Seznam literatury

1. BEŇO, L. et al. *Materiály a základní strojní součásti*. Brno: CERM, 2004, 274 s. ISBN 80-7204-352-8.
2. KOCÁB, J. a J. ADAMEC. *Letadlové Motory*. Praha: Corona, 2020, 176 s. ISBN 978-80-86116-94-5.
3. ZÁVODY JANA ŠVERMY. *Letadlový motor M 337 – popis, obsluha, udržování*. Praha: Jinonice – Motorlet – Walter, 1959 129 s.
4. *Korroziya metallov. Vidy korrozii metallov* [online]. [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: <http://zadachi-po-khimii.ru/obshaya-himiya/korroziya-metallov.html?ysclid=II04328m7a487601153>
5. BALEZIN, S. A.. *Khimicheskaya i elektrokhimicheskaya korroziya metallov*. In: rusmetaltechnika [online]. [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: <http://rus-met.ru/steel-info/korroziya-metallov-himiya/>
6. ŠULC, R. *Koroze Ocelový hřebík vystavený vzduchu a vlhkosti* [online]. Praha: ČVÚT, 2008 [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: https://docplayer.cz/9080515-Viii-koroze-ocelovy-hrebik-vystaveny-vzduchu-a-vlhkosti.html#google_vignette
7. AV EQUEN. *Druhy koroze kovů* [online]. Jihlava: AV EQUEN, 2020 [cit. 2023-02-03]. Dostupné z: <https://www.av-equen.cz/wp-content/uploads/2020/09/Druhy-koroze.pdf>
8. STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA, OSTRAVA - VÍTKOVICE, PŘÍSPĚVKOVÁ ORGANIZACE. *Povrchové úpravy* [online]. Ostrava: Střední průmyslová škola, Ostrava – Vítkovice, příspěvková organizace, 2020 [cit. 2023-02-03]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/ZAV1-Povrchove_upravy.pdf

9. *Gal'vanicheskaya korroziya (Bimetallicheskaya korroziya)*. [online]. CMP Products Ltd. [cit. 2023-02-03] Dostupné z: [https://www.cmp-products.com/ru/cable-cleats/technical/galvanic-corrosion/#:~:text=%D0%93%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F%20\(%D0%B1%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F\)%20%D0%BA%D0%BE%D1%80%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%8F%20%E2%80%94%D1%8D%D1%82%D0%BE,%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%BE%D0%B2%20%D0%B2%20%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D1%81%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5](https://www.cmp-products.com/ru/cable-cleats/technical/galvanic-corrosion/#:~:text=%D0%93%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F%20(%D0%B1%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F)%20%D0%BA%D0%BE%D1%80%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%8F%20%E2%80%94%D1%8D%D1%82%D0%BE,%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%BE%D0%B2%20%D0%B2%20%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D1%81%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5)
10. *Gal'vanicheskaya korroziya* [online]. Mechbud [cit. 2023-02-03]. Dostupné z: <https://blog.mehbud.com.ua/ru/other/galvanicheskaya-korroziya/>
11. *Shchelevaya korroziya metalla* [online]. Tochinvest tsink [cit. 2023-02-03]. Dostupné z: <https://t-zinc.ru/o-kompanii/stati/shhelevaya-korroziya-metalla.html>
12. NOVÁK, P. Druhy koroze kovů. *Koroze a ochrana materiálu* [online]. 2005, 49(4), 75–82 [cit. 2023-20-03]. ISSN 1804-1213. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KPU/koroze%20druhy%20vscht.PDF
13. *Chto pod soboy podrazumevayet ponyatiye tochechnaya (pittingovaya) korroziya* [online]. Metall Kliner [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://metallcleaner.com/pittingovaya-korrosiya.html>
14. MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ. *Druhy korozního napadení* [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2023 [cit. 2023-02-03]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3717&typ=html
15. *Mezhkristallitnaya korroziya(MKK)* [online]. Vse o korrozii [cit. 2023-02-03]. Dostupné z: <https://www.okorrozii.com/megkrilkorroz.html>
16. *Mezikrystalická koroze nerezové oceli*. In: Korroziya nerzhavayushchey stali – kak zashchitit'sya ot neye? [online]. [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: <https://tutmet.ru/mezhkristallitnaja-korrozija-nerzhavayushhih-stalej-zashhita.html>

17. *Selektivnoye vytravlivaniye (strukturno-izbiratel'naya korroziya)* [online]. Vse o korrozii [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: [https://www.okorrozii.com/selektivnoe-vitravlivanie.html#:~:text=%D0%A1%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%BE%2D%D0%B8%D0%B7%D0%B1%D0%B8%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D0%BA%D0%BE%D1%80%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%8F%20\(%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B5%20%D0%B2%D1%8B%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5,%D1%81%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%20%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B0%D1%8E%D1%89%D0%B8%D0%B5%D1%81%D1%8F%20%D0%BF%D0%BE%20%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%85%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D1%83%20%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8E](https://www.okorrozii.com/selektivnoe-vitravlivanie.html#:~:text=%D0%A1%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%BE%2D%D0%B8%D0%B7%D0%B1%D0%B8%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D0%BA%D0%BE%D1%80%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%8F%20(%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B5%20%D0%B2%D1%8B%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5,%D1%81%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%20%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B0%D1%8E%D1%89%D0%B8%D0%B5%D1%81%D1%8F%20%D0%BF%D0%BE%20%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%85%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D1%83%20%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8E)
18. Selektivní koroze. In: *Zashchita truboprovodov neftyanoy i gazovoy promyshlennosti ot korrozii*. [online]. [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: <https://xn--80aaigboe2bzaiqsf7i.xn--p1ai/attika-2020-2/>
19. *Eroziionnaya korroziya* [online]. Bol'shaya entsiklopediya nefiti i gaza [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.ngpedia.ru/id112982p1.html>
20. Erozní koroze. In: *Eroziionnaya korroziya* [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://helpiks.org/1-87067.html>

21. *Kontaktnaya korroziya* [online]. Tochinvest tsink [cit. 2023-08-04] Dostupné z: <https://t-zinc.ru/o-kompanii/stati/kontaktnaya-korroziya.html#:~:text=%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D0%BA%D0%BE%D1%80%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%8F%20%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%BE%D0%B2%20E2%80%93%20%D1%8D%D1%82%D0%BE%20%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE,%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B0%2C%20%D0%BE%D1%82%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B0%D1%8E%D1%89%D0%B8%D0%B5%D1%81%D1%8F%20%D0%BF%D0%BE%20%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%BC%20%D1%81%D0%B2%D0%BE%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B0%D0%BC>
22. *Kontaktnaya korroziya* [online]. MKANAT [cit. 2023-08-04]. Dostupné z: <https://www.mkanat.ru/kontaktnaya-korroziya/>
23. Styková koroze. In: *Podrobnoye rukovodstvo po vidam korrozii* [online]. [cit. 2023-08-04]. Dostupné z: <https://gidpokraske.ru/spetsialnye-materialy/rzhavlenie/vidy-korrozii.html>
24. RSZ. Hlavy válců: nejčastější příčiny poškození. In: *Motofokus.cz* [online]. 20. 11. 2011 [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://motofocus.cz/technika/3069,hlavy-valcu-nejcastejsi-priciny-poskozeni>
25. *Golovka bloka tsilindrov* [online]. Studfiles [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://studfile.net/preview/9744915/page:21/>
26. *Iznos tsilindrovyykh vtulok* [online]. Maritime Forum [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://maritimeforum.net/data/spravochnik/iznos-cilindrovyyh-vtulok.html>
27. *Korrozionno-mekhanicheskoye iznashivaniye tsilindro-porshnevoy gruppy dvigateley vnutrennego sgoraniya* [online]. Pandia [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://pandia.ru/text/80/484/1122.php>

28. *Sistema okhlazhdeniya dvigatelya vnutrennego sgoraniya* [online]. Wikiwand [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: https://www.wikiwand.com/ru/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%BE%D1%85%D0%BB%D0%B0%D0%B6%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8F_%D0%B2%D0%BD%D1%83%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B5%D0%B3%D0%BE_%D1%81%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F
29. *Osnovy teorii ekspluatatsii letatel'nykh apparatov* [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <http://ilmiy.bmti.uz/blib/files/72/%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B%20%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B8%20%D1%8D%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%BB%D1%83%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8%20%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D0%B0%D0%BF%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%B2.pdf>
30. *Luchshiyе metody kontrolya korrozii pod izolyatsiyey*. [online]. Nova78 [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://nova78.ru/luchshie-metody-kontrolya-korrozii-pod-izolyatsiyey/>
31. FOKT, Radim. *Metody vyhledávání koroze na draku letounů všech typů při provádění údržby*. Ostrava, 2009 [online]. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/8974764.pdf>
32. N.A. Artykov, O.S. Abidov. *Osnovy teorii ekspluatatsii letatel'nykh apparatov*. Tashkent-2006 [online]. [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <http://ilmiy.bmti.uz/blib/files/72/%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B%20%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B8%20%D1%8D%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%BB%D1%83%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8%20%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D0%B0%D0%BF%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%B2.pdf>
33. SPY SHOP. Boroskop. *Spysshop* [online]. © 2023 [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://www.spysshop24.cz/boroskop-goscam-gl8898-s-led-reflektorem-a-elasticnym-inspekcnim-kabelem-1470.html>

34. *Skannery dlya sovremennogo ultrazvukovogo kontrolya i korroziionnogo monitoringa*. [online]. TWN Technolodzhi [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://twntechology.ru/blog/ultrazvukovoy-kontrol/skannery-dlya-sovremennogo-ultrazvukovogo-kontrolya-i-korroziionnogo-monitoringa/>
35. *Ultrazvukovaya tolshchinometriya – Korroziya* [online]. Evident [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://www.olympus-ims.com/ru/ndt-tutorials/thickness-gauge/applications-precision-corrosion/>
36. Ultrazvukový defektoskop. In: *NDT Solution* [online]. [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://ndt-solutions.by/articles/Application/sonyxs-opyt-primeneniya/>
37. S.S. Savitsky. *Metody i sredstva nerazrushayushchego kontrolya*. Minsk 2012. [online]. [cit. 2023-15-07]. Dostupné z: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/3751/?sequence=1>
38. IVANOV, D. A. *Metody i sredstva diagnostirovaniya aviatsionnoy tekhniki*. [online]. Petrohrad 2016 [cit. 2023-07-15]. Dostupné z: https://spbguga.ru/wp-content/uploads/2016/12/Metodi_i_sredstva_diagnostirovaniya.doc
39. LOM. *Technický popis a návod k obsluze motorů M 337A,AK, M 332A,AK, M 137A,AZ, M 132A,AK* [online]. Praha: LOM, 2017 [cit. 2023-07-15]. Dostupné z: <https://pistovemotory.s8.cdn-upgates.com/e/e58c7b3eaba365-technicky-popis-a-navod-k-obsluze-motoru-rev01-2017-03.pdf>
40. LOM PRAHA. *Závazný bulletin č.: LOM-MB-02a/2009* [online]. Praha: LOM Praha, 2009 [cit. 2023-07-15]. Dostupné z: http://www.pistovemotory.cz/shop-data/bulletines/BULLETINY_A_DOPISY_ROOT_CZ/M132-M332-M137-M337-v%C5%A1ech-verz%C3%AD-od-1_1_2009/LOM-MB-02a-09-cz.pdf
41. KABLOV, E. N. et al. *Volokonno-opticheskiye datchiki dlya monitoringa korroziionnykh protsessov v uzlakh aviatsionnoy tekhniki* [online] 2017 [cit. 2023-07-30]. Dostupné z: <https://cyberleninka.ru/article/n/volokonno-opticheskie-datchiki-dlya-monitoringa-korroziionnykh-protsessov-v-uzlah-aviatsionnoy-tehniki-obzor/viewer>

42. *Lazernaya ochistka metalla: plyusy i minusy tekhnologii* [online]. NPP "TekhSistema, 2023 [cit. 2023-07-30] Dostupné z: <https://mtools.ru/stati/lazernaja-ochistka-metalla-pljusy-i-minusy-tehnologii/#:~:text=%D0%97%D0%B0%D0%B3%D1%80%D1%8F%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%83%D1%8E%20%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C%20%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%B0%D1%82%D1%8B%D0%B2%D0%B0%D1%8E%D1%82%20%D0%BB%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%BC%20%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%BE%D0%BC,%D0%B1%D1%83%D0%B4%D0%B5%D1%82%20%D0%B4%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D1%83%D1%82%D0%B0%20%D0%BD%D1%83%D0%B6%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D0%B3%D0%BB%D1%83%D0%B1%D0%B8%D0%BD%D0%B0%20%D0%BE%D1%87%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BA%D0%B8>
43. *Lazernaya ochistka metalla: preimushchestva, printsip raboty, vidy* [online]. Laser Store, 2023 [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://laserstore.ru/blog/chto-takoe-lazernaja-ochistka-metalla/>

10 Seznam obrázků

Obr. 1: Dělení koroze podle druhu napadení [6].....	13
Obr. 2: Galvanická koroze [10].....	14
Obr. 3: Štěrbínová koroze [7] [12]	14
Obr. 4: Bodová koroze [7] [13]	15
Obr. 5: Korozní praskání [7].....	16
Obr. 6: Mezikystalická koroze nerezové oceli [16]	16
Obr. 7: Selektivní koroze [18].....	17
Obr. 8: Selektivní koroze – odzinkování mosazi [7].....	17
Obr. 9: Erozní koroze [20].....	18
Obr. 10: Styková koroze [22] [23].....	19
Obr. 11: Válec a hlava válce vzduchem chlazeného motoru [2]	21
Obr. 12: Úplný píst letadlového motoru [2].....	23
Obr. 13: Boroskop [33].....	29
Obr. 14: Ultrazvukový defektoskop [36]	30
Obr. 15: Princip magnetické metody [38]	31
Obr. 16: Stacionární defektoskop [autor].....	32
Obr. 17: Motor M-337. Pohled šikmo zepředu, zprava [3]	34
Obr. 18: Neodstranitelná vnitřní koroze [autor].....	43
Obr. 19: Odstranitelná vnitřní koroze lehká [autor]	43
Obr. 20: Těžko odstranitelná vnitřní koroze [autor].....	44
Obr. 21: Honovací nástroj SUNNEN CV-616 [autor]	45
Obr. 22: Neodstranitelná koroze na hladké části válce [autor].....	46
Obr. 23: Neodstranitelná koroze na žebrované části válce [autor]	47
Obr. 24: Odstranitelná vnější koroze [autor].....	47
Obr. 25: Fosfatizační lázeň [autor]	49
Obr. 26: Přístroj na měření drsnosti HOMMEL TESTER T1000 [autor]	50
Obr. 27: Senzor koroze založený na Braggově vláknové mřížce [41].....	52
Obr. 28: Laserové čištění rzi. Předtím a poté [43]	53

Obr. 29: Ručně přepravitelné zařízení TORWATT M100 [43]	55
Obr. 30: Stacionární pevnolátkové a vláknové lasery TORWATT 1000 ULTRA [43]	55