

Cartilha orientativa sobre
**VÁLVULAS DE
ADMISSÃO E DE EXAUSTÃO
DE MOTORES A PISTÃO**



CARTILHA ORIENTATIVA SOBRE VÁLVULAS DE ADMISSÃO E DE EXAUSTÃO DE MOTORES A PISTÃO

SUPERINTENDÊNCIA DE PADRÕES OPERACIONAIS - SPO

Maio / 2021

SUPERINTENDENTE DE PADRÕES OPERACIONAIS - SPO

João Souza Dias Garcia

GERENTE DE CERTIFICAÇÃO DE AERONAVEGABILIDADE CONTINUADA

Lawrence Josué Fernandes Costa

GERENTE TÉCNICO DE VIGILÂNCIA DE AERONAVEGABILIDADE CONTINUADA

Bruce Marcus Leite de Souza

GRUPO DE TRABALHO

Flávio Silveira Fraga

Flávio Soares de Oliveira Júnior

Marco Antonio Passos Brandão

Stenio Campanhola Neves

APOIO TÉCNICO

Leandro Alves Rodrigues

APOIO DE COMUNICAÇÃO

Assessoria de Comunicação Social (ASCOM)

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| FUNCIONAMENTO DAS VÁLVULAS DE MOTORES A PISTÃO | 4 |
| PROBLEMAS MAIS COMUNS DO SISTEMA DE VÁLVULAS | 5 |
| Carbonização | 5 |
| Desgaste | 5 |
| Estresse térmico | 5 |
| Detonação | 6 |
| Contaminação do combustível | 6 |
| COMO OCORREM AS FALHAS EM VÁLVULAS? | 6 |
| É POSSÍVEL PREVENIR UM EVENTO DE TRAVAMENTO OU FALHA DE VÁLVULAS? | 8 |
| PONTOS DE ATENÇÃO PARA EVITAR O ACÚMULO DE DETRITOS NAS VÁLVULAS | 9 |
| Filtros de ar | 9 |
| Uso correto do óleo | 9 |
| Atenção aos procedimentos de limpeza | 10 |
| Cuidados na operação em solo e a baixa velocidade | 10 |
| Manutenção do sistema de válvulas | 11 |
| REFERÊNCIAS | 12 |

ATENÇÃO

Os procedimentos de manutenção podem variar de acordo com o manual da aeronave, motor e componentes. Portanto, os manuais e publicações técnicas emitidas pelos fabricantes e Diretrizes de Aeronavegabilidade emitidas pelas autoridades de aviação civil aplicáveis aos produtos aeronáuticos devem sempre ser as fontes primárias para a execução procedimentos de manutenção.

FUNCIONAMENTO DAS VÁLVULAS DE MOTORES A PISTÃO

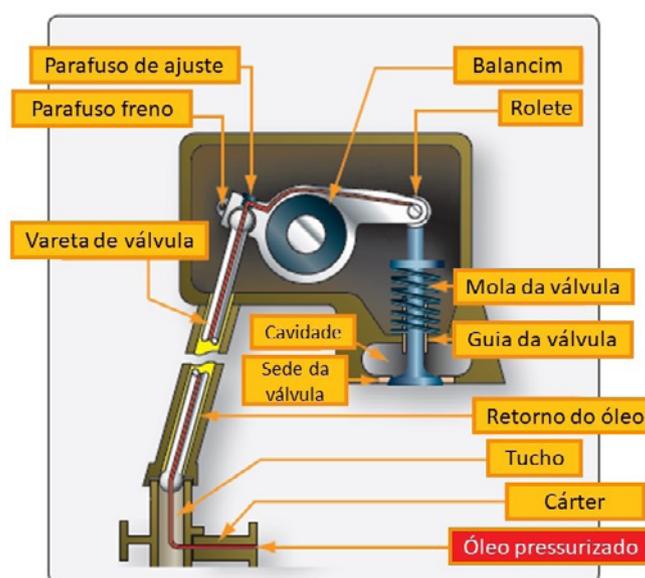


Figura 1: Diagrama esquemático de uma válvula de exaustão/admissão (motor radial). Adaptado do manual FAA-H-8083-32A.

As válvulas de admissão e de exaustão são responsáveis pela sincronia entre os ciclos de compressão e expansão dos motores a pistão, que fazem esses motores funcionarem de acordo com a eficiência especificada pelos fabricantes. Os comandos de abertura e fechamento dessas válvulas são coordenados pelo giro do eixo de manivelas, que dessa forma regula os tempos de admissão da mistura ar-combustível, compressão, ignição e expansão dos gases.

A atuação das válvulas dos motores a pistão ocorre de modo muito semelhante ao mecanismo que controla a entrada e a saída de sangue no coração humano. Quando as válvulas do coração estão "desreguladas", o coração opera de modo deficiente, levando à perda ou aumento da pressão sanguínea. Essa perda de eficiência pode comprometer o próprio coração e oxigenação do organismo como um todo. Um fenômeno parecido ocorre nos motores a pistão. Falhas do mecanismo de atuação das válvulas leva à perda de desempenho do motor, devido ao aumento ou redução das pressões de trabalho em cada etapa do ciclo motor, que por sua vez reduz a eficiência do processo de combustão. Essa perda de desempenho implica também a redução do torque que é transmitido pelo eixo do motor ao sistema de atuação e controle das hélices, comprometendo a tração mínima requerida para decolagem, voo de cruzeiro, manobras ou pouso.

PROBLEMAS MAIS COMUNS DO SISTEMA DE VÁLVULAS

As válvulas de admissão e de exaustão são fabricadas com ligas metálicas e tecnologias que as tornam resistentes à corrosão, altas temperaturas e tensões de trabalho. Além disso, válvulas de admissão e de exaustão são fabricadas com materiais distintos, que melhoram a dissipação de calor, em função da diferença de temperatura na qual cada válvula opera. Normalmente, as válvulas de admissão são maiores do que as de escape e, embora similares, não são intercambiáveis. A capacidade de atuação das válvulas não é ilimitada, ela se deteriora com o tempo devido ao desgaste naturalmente sofrido pelo motor, sobretudo das suas partes móveis. Dentre os vários problemas que demandam a inspeção regular, ajustes ou a substituição das válvulas e de seu sistema de atuação, os mais comuns são:

CARBONIZAÇÃO

Os resíduos formados pela combustão incompleta ou pela queima excessiva de lubrificante formam depósitos de carbono na câmara de combustão, cabeça do pistão, nas válvulas, guias e nas sedes das válvulas. Esses depósitos comprometem a vedação das válvulas em suas sedes ou limitam seu curso de atuação, permitindo o refluxo da mistura ar-combustível pela válvula de admissão, ou a sua fuga, pela válvula de escapamento. Além disso, os depósitos de carbono aumentam a retenção de calor, levando ao superaquecimento das válvulas. Isso compromete a resistência estrutural da válvula, podendo provocar a deformação ou falha súbita desse componente.

DESGASTE

Em função das horas de trabalho acumuladas pelo motor, o desgaste das válvulas e outras partes móveis é um fenômeno esperado. Os desgastes mais comuns ocorridos no sistema de válvulas são o aumento progressivo da folga de trabalho entre a haste da válvula e sua respectiva guia, queima dos pontos de contato (assentamento da válvula), alteração da folga entre válvula e balancim e a perda de pressão das molas que controlam o fechamento de cada válvula. Esses problemas, isoladamente ou associados, provocam alterações no fechamento das válvulas, vibração excessiva do sistema de controle de válvulas, combustão deficiente, escapamento da mistura ar-combustível, fuga dos gases de combustão e travamento ou falha súbita desse sistema que é vital para o bom funcionamento do motor, resultando em perda de potência e aumento do consumo de combustível.

ESTRESSE TÉRMICO

As câmaras de combustão podem atingir, em situações de pico, até 2000 °C. O sistema de refrigeração tem que ser muito bem dimensionado para que os componentes do motor, que trabalham em diferentes temperaturas, não ultrapassem o limite de temperatura do óleo lubrificante. Esse limite é de 150°C em média. Enquanto isso, os pistões trabalham a uma temperatura de 320°C, o máximo permitido pelas ligas de alumínio. As velas de ignição, por exemplo, trabalham em uma temperatura de 500 a 600°C, além das válvulas de escape, que em função da retirada dos gases de escape, trabalham sob grande estresse térmico, chegando a temperaturas de 750°C.

DETONAÇÃO

Também conhecida como autoignição do combustível ou “batida de pino”, devido ao som estridente provocado por esse fenômeno, a detonação provoca um aumento súbito e excessivo das tensões de trabalho sofridas pelas partes móveis do motor. Os depósitos de carvão, chumbo e outros resíduos da queima do combustível e do óleo lubrificante podem permanecer incandescentes durante todos os ciclos de funcionamento do motor e causarem a detonação da mistura antes do ponto de ignição planejado. Outra possibilidade é o surgimento de áreas muito quentes no interior da câmara, que podem ser as velas de padrão inadequado, refrigeração deficiente ou pelo combustível adulterado de baixa octanagem. As válvulas ou seu sistema de atuação podem falhar subitamente, caso o problema não seja corrigido em tempo hábil.

CONTAMINAÇÃO DO COMBUSTÍVEL

Combustível contaminado por água, salinidade ou combustível adulterado pode comprometer a integridade e a resistência estrutural das partes móveis do motor, devido à corrosão ou alteração das propriedades físico-químicas dos materiais que os compõem. As válvulas do motor também são suscetíveis a esses tipos de problema.

COMO OCORREM AS FALHAS EM VÁLVULAS?



Figura 2: Válvula de admissão fraturada. Imagem fornecida pela ERMAER.

As falhas do sistema de válvulas podem ocorrer basicamente por três principais motivos: erros de verificação dimensional e montagem do conjunto, manutenção precária e operação com mistura inadequada. Componentes montados com medidas que não correspondem às tolerâncias previstas nas instruções do fabricante vão fazer com que o sistema trabalhe acima ou abaixo das condições de projeto do motor, prejudicando seu desempenho, além de esforços laterais indesejados entre a válvula e sua sede, podendo ovalizá-la e prejudicar a sua vedação. Por sua vez, a manutenção precária leva ao aumento dos desgastes naturalmente sofrido pelo motor como um todo, por fim, a operação do motor com mistura muito pobre pode causar distorção da cabeça da válvula (*tuliped valve*). Os problemas mais

comuns da manutenção precária são o travamento e a ruptura das válvulas. Essas falhas são provocadas pelo acúmulo de detritos e desgaste excessivo, que afetam especialmente a válvula de exaustão, devido ao elevado estresse térmico a que é submetida, embora também possam ocorrer com a válvula de admissão.



Figura 3. Fotos do pistão submetido a uma falha catastrófica resultante da ruptura da válvula de exaustão.
Fonte: Relatório Final A-163/CENIPA/2013, emitido pelo CENIPA.

A folga entre haste da válvula e a respectiva guia deve ser medida antes da montagem do conjunto, conforme as instruções do fabricante. A verificação dessa folga é um fator crítico para o correto funcionamento do conjunto. Caso essa folga esteja abaixo da tolerância prevista pelo fabricante, o conjunto pode trabalhar “forçado” ou travar. Esse problema pode ser agravado, em caso de temperaturas extremas de trabalho do motor, limpeza ineficiente, deformações permanentes sofridas por esses componentes, ou por longos períodos de inatividade.

Ademais, a experiência prática tem mostrado que a contaminação por óleo queimado pelo motor pode aumentar as chances de ocorrência do travamento de válvulas. Isso ocorre porque os contaminantes oriundos do lubrificante podem ficar depositados sobre a guia da válvula, restringindo o seu deslocamento normal.



Figura 4. Válvula de admissão travada na posição aberta.
Fonte: RELATÓRIO FINAL SIMPLIFICADO A-531/CENIPA/2014.

Deve-se considerar ainda que a taxa de acumulação de contaminantes pode ser amplificada pela temperatura ambiente elevada, voos à baixa velocidade com resfriamento prejudicado, alta concentração de chumbo no combustível e alta concentração de carbono resultante de combustão incompleta.

O acúmulo de sedimentos não ocorre somente na guia e na haste das válvulas, depositando-se também na face da válvula (cabeça) ou em sua sede (cavidade da cabeça do cilindro que forma a área de vedação com o dorso da válvula). Esses sedimentos prejudicam a vedação da válvula e permitem o vazamento de gases em elevada temperatura para a cavidade interna gerando pontos de calor (conhecidos como *hot spots*), levando ao superaquecimento e fragilização desses componentes, além propiciar o acúmulo de mais sedimentos. Caso esse problema não seja detectado e corrigido a tempo, pode levar ao travamento da válvula na sua guia, ou ainda, a falha da válvula em um desses pontos de calor.



Figura 5: Válvula fraturada na face. Imagem fornecida pela ERMAER.

É POSSÍVEL PREVENIR UM EVENTO DE TRAVAMENTO OU FALHA DE VÁLVULAS?

Os manuais, boletins de serviços e as diretrizes de aeronavegabilidade trazem instruções sobre manutenção preventiva que devem ser seguidas à risca. Elas foram produzidas com base na experiência de fabricantes e operadores e são a garantia de que o motor de sua aeronave não desenvolverá um desses problemas.

Em alguns casos, antes do travamento total da válvula, o motor apresenta sinais de que algo pode estar errado. Os sinais mais comuns são a dificuldade para efetuar a partida no motor a frio e a operação deficiente durante os primeiros minutos, que depois se normaliza com o aquecimento inicial do motor. Esses sinais são conhecidos como *morning sickness*. Essa dificuldade é resultante da deposição de resíduos que reduzem a folga entre a haste da válvula e a sua guia. Com o motor frio essa folga torna-se menor ainda, aumentando a resistência ao movimento livre da válvula. Essa

resistência anormal pode provocar avarias na haste, na guia ou na sede da válvula, resultando no travamento das válvulas, vazamento de óleo, vazamento da mistura ar-combustível ou dos gases de exaustão, levando à perda de potência no cilindro afetado. Ao identificar esse quadro, o operador da aeronave deve procurar imediatamente uma oficina certificada para que ela realize as inspeções necessárias e avalie a condição técnica do motor.

Durante o teste de compressão dos cilindros são monitorados parâmetros técnicos que indicam de modo confiável se as válvulas estão ou não cumprindo corretamente a sua função. A realização do teste de compressão combinada com a inspeção boroscópica e check operacional do motor contribui para um diagnóstico mais preciso da condição técnica do motor.

O principal objetivo da inspeção boroscópica no interior do cilindro é observar a condição técnica das válvulas. Para que essa inspeção seja efetiva é necessária a capacitação do mecânico responsável por sua execução. Desse modo, o profissional poderá reconhecer os perfis de desgaste das válvulas e identificar o momento correto da sua substituição.

Outros detalhes sobre condições de desgaste ou falha do sistema de válvulas estão disponíveis na publicação "*ANATOMY OF A VALVE FAILURE*", disponibilizado gratuitamente pela AOPA (*Aircraft Owners and Pilots Association*) (Referência 5).

PONTOS DE ATENÇÃO PARA EVITAR O ACÚMULO DE DETRITOS NAS VÁLVULAS

FILTROS DE AR

A manutenção apropriada dos filtros de ar, respeitando seus períodos de inspeção, limpeza e troca, é essencial para manter resíduos e contaminantes fora do motor. Deve-se observar ainda que as condições de operação da aeronave podem requerer uma manutenção em períodos inferiores aos regulares. Portanto, o operador deve observar as notas e advertências contidas no manual de operação e manutenção da aeronave.

USO CORRETO DO ÓLEO

Devem sempre ser utilizados os óleos lubrificantes previstos nos manuais do fabricante da aeronave, seja pela indicação direta ou por meio do atendimento às normas técnicas. Óleos diferentes daqueles especificados têm propriedades distintas, como viscosidade, densidade, condutibilidade térmica e pontos críticos de temperatura. Logo, o uso do óleo inadequado pode resultar em perda precoce da sua eficiência lubrificante, superaquecimento do motor e ocasionar prejuízos materiais e a perda de vidas humanas.

Além do óleo correto, devem ser respeitados os períodos de troca de óleo e filtro de óleo, conforme instruções do fabricante. Inclusive observando as orientações específicas para longos períodos de inatividade ou para o emprego em operações críticas.

O óleo contaminado contém resíduos, como sais de chumbo, que podem se depositar nas guias de válvulas e prejudicar o seu livre movimento. Além disso, ao exceder o tempo de utilização previsto no manual, não é possível assegurar que o óleo conservará suas propriedades de lubrificação e transmissão de calor, devido à degradação sofrida em função do tempo e da exposição a temperaturas elevadas.



Figura 6. Fragmentos da válvula de exaustão e do pistão encontrados dentro do cárter após falha no cilindro em decorrência do travamento da válvula de exaustão devido à execução da troca de óleo em período superior ao recomendado.
Fonte: RELATÓRIO FINAL SIMPLIFICADO IG-619/CENIPA/2014, emitido pelo CENIPA.

ATENÇÃO AOS PROCEDIMENTOS DE LIMPEZA

Os procedimentos de limpeza apresentados pelos fabricantes em seus manuais e boletins são fundamentais para a remoção dos resíduos de contaminantes que se acumulam dentro do cilindro, válvulas, sedes e guias. Portanto, esses procedimentos devem ser realizados de acordo com a periodicidade recomendada.

CUIDADOS NA OPERAÇÃO EM SOLO E A BAIXA VELOCIDADE

É importante planejar adequadamente as operações em solo e operações à baixa velocidade, uma vez que, salvo exceções, motores e aeronaves não foram projetados para trabalhar por longos períodos em baixa rotação e velocidade. Deve-se ter em mente que, sob essas condições, o sistema de resfriamento a ar não é tão eficiente quanto em voos em grandes altitudes e velocidades superiores. Essa baixa eficiência no resfriamento pode fazer com que determinadas áreas do motor atinjam temperaturas extremamente altas, o que aumenta o acúmulo de depósitos sobre as válvulas, principalmente a de exaustão. Por esse motivo o monitoramento da temperatura da cabeça do cilindro durante o voo é um fator crítico para a segurança operacional.

LONGOS PERÍODOS DE INATIVIDADE

O funcionamento dos motores estará mais próximo do ideal se eles forem operados de forma regular e de acordo com as condições de projeto. Quando uma aeronave é operada frequentemente, o óleo do motor aquecido, além de lubrificar os componentes móveis, também promove o expurgo de resíduos da combustão, umidade e de chumbo. O óleo aquecido auxilia na remoção desses contaminantes, uma vez que eles poderão ser retidos nos filtros ou removidos durante a próxima troca do óleo. Já aeronaves que não voam com frequência observarão o acúmulo desses detritos, o que pode contribuir para a propagação da corrosão e para a obstrução dos movimentos das válvulas de admissão e de exaustão.

De acordo com orientações da Lycoming, a operação do motor no solo por curto período não substitui os procedimentos de preservação recomendado para o motor, pelo contrário, essa prática pode inclusive agravar o processo de corrosão:

“Ground running the engine for brief periods of time is not a substitute for the following procedure; in fact, the practice of ground running will tend to aggravate rather than minimize this corrosion condition”

Portanto, consulte sempre o manual ou boletins do fabricante do seu motor e procure pela seção de preservação em períodos de inatividade.

MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE VÁLVULAS

Além dos problemas de operação que podem afetar um motor que vinha funcionando de modo satisfatório, os momentos da execução das inspeções, testes e revisão geral dos motores exigem atenção especial às válvulas e seu sistema de atuação. Os mecânicos que executam essas inspeções, testes e eventual substituição das válvulas e outros componentes do sistema de atuação devem seguir rigorosamente as instruções dos fabricantes. As medidas dimensionais, folgas, interferências e ajustes aplicáveis a cada um desses componentes isolados ou montados devem estar de acordo com os valores e tolerâncias previstos nos manuais ou boletins de serviço aplicáveis.

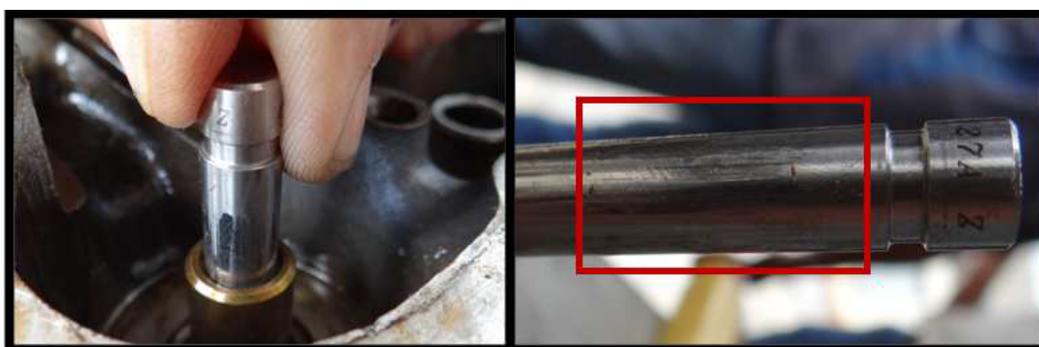


Figura 7. Ranhuras devido ao emperramento da válvula na sua guia resultante de falhas dimensionais entre os componentes.
Fonte: RELATÓRIO FINAL SIMPLIFICADO A-035/CENIPA/2014.

Tuchos, balancins, molas, guias, sedes de válvulas e elementos de fixação que compõem o sistema de atuação das válvulas devem ser substituídos durante as revisões gerais ou manutenções corretivas do motor, conforme as instruções dos fabricantes. O reaproveitamento dessas partes, quando não recomendado pelo fabricante, ainda que aparentemente estejam em “bom estado”, contraria as boas práticas de manutenção e coloca em risco a operação segura e eficiente do motor. Erros na execução das tarefas de desmontagem, medições, inspeções, montagem final e testes podem provocar falhas do motor, relacionadas ao mau funcionamento das válvulas ou seu sistema de atuação. Essas falhas podem provocar desde dificuldades em serviço a eventos catastróficos na aviação geral, a depender da monta das avarias ou perda de eficiência sofridas pelo motor.

Uma atenção especial dos operadores de motores Lycoming deve ser dada ao cumprimento do boletim de serviço Lycoming SB 388, que contém procedimentos específicos para a verificação da condição das válvulas e suas guias.

Por fim, cabe lembrar que, em casos específicos, a vida em serviço de uma válvula ou outros componentes do sistema de atuação pode ser limitada por uma Diretriz de Aeronavegabilidade (DA). Quando isso ocorre, a DA específica claramente quais são os fabricantes, modelos e números de séries dos motores e componentes aos quais essas restrições são aplicáveis. Sempre que o motor passar por serviços de manutenção, cabe ao mantenedor verificar se há DA dessa natureza, aplicáveis ao motor ou aos seus componentes críticos.

REFERÊNCIAS

- (1) Operational and maintenance procedures to avoid sticking valves – LYCOMING.COM, disponível em <https://www.lycoming.com/content/operational-and-maintenance-procedures-avoid-sticking-valves>. Acessado em 20/04/2021;
- (2) FAA. Aviation Maintenance Technician Handbook – Powerplant, Volume 1. FAA-H-8083-32A, 2018.
- (3) Lycoming. Lycoming Service Instruction No. 1425A: Suggested Maintenance Procedures to Reduce the Possibility of Valve Sticking, 1988.
- (4) FAA. Advisory Circular AC 20-105B. Reciprocating engine power-loss accident prevention and trend monitoring, 1998.
- (5) ANATOMY OF A VALVE FAILURE. AOPA (Aircraft Owners and Pilots Association). Acessado em 17/03/2021. Disponível em https://www.aopa.org/-/media/Files/AOPA/Home/Pilot-Resources/ASI/Valve-safety/14FN0000-ASI-Valve-Safety-Poster_Final.pdf.
- (6) Lycoming. Lycoming Service Bulletin No. 388C: Procedure to Determine Exhaust Valve and Guide Condition, 2004.
- (7) Lycoming. Lycoming Flyer Key Reprints.
- (8) Lycoming. Lycoming Operator’s Manual 60297-10.

