

Taubaté, 06/09/14 à 28/11/14

TTEM 013/14

APLICAÇÃO DO ENSAIO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS NA AVALIAÇÃO DE EIXOS E ENGRENAGENS DE MOTOR AERONÁUTICO - ROTAX 912/914 (SERIES)

APPLICATION OF MAGNETIC PARTICLE TESTING IN THE EVALUATION OF AXLES AND GEARS OF THE AIRCRAFT ENGINE - ROTAX 912/914 (SERIES)

Signatários:

- **Gustavo Petinon¹**
- Prof. Dr. José Rubens de Camargo – Universidade de Taubaté
- Prof. Dr. Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia – Universidade de Taubaté
- Prof. Dr. Francisco José Grandinetti – Universidade de Taubaté/FEG-UNESP
- Prof. Dr. José Rui de Camargo – Universidade de Taubaté

Finalidade: Aplicar a técnica do Ensaio de Partículas Magnéticas para Avaliação de Eixos e Engrenagens dos Motores Rotax 912 (series) e 914 (series) – Linha Aeronáutica.

1 – Gerente de Manutenção Aeronáutica da CTM Aero, Engenheiro Mecânico pela Faculdade Anhanguera de Santa Bárbara d'Oeste e aluno do curso de Especialização a nível de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica da Universidade de Taubaté (UNITAU/SP) - gustavopetinon@gmail.com

Palavras chave: Indústria Aeronáutica, Engenharia Aeronáutica, Ensaio, Partículas Magnéticas, Eixos e Engrenagens, Motor Rotax 912 e 914 (series).

1. INTRODUÇÃO

Ensaaios não destrutíveis são muito utilizados em diversas áreas da Engenharia, seja ela voltada a indústria automobilística, aeronáutica, siderúrgica, caldeiraria, petróleo, petroquímica, nuclear, medicina e ortodôntica. No entanto falando especificamente da indústria aeronáutica no ramo da aviação experimental (experimental caracteriza-se por ser uma categoria de voo por conta e risco do proprietário) os ensaios não destrutíveis vêm sendo realizado e aprimorado quando se diz respeito à aplicação e determinação de quando e onde pode ser aplicado, seja em caso de acidente ou ciclo de manutenção periódica.

Estreitando ainda mais a abordagem referente ao assunto, este trabalho técnico apresentará um resumo geral referente ao Ensaio por Partículas Magnéticas e a aplicação do Ensaio por Partículas Magnéticas nos eixos e engrenagens do motor Rotax (série aeronáutica). Este que antes fora pouco aplicado na categoria experimental vem ganhando forças e sendo aplicado constantemente em partes críticas das aeronaves conforme manual de manutenção desenvolvido pelo fabricante seja do motor ou estrutura da aeronave.

No caso do motor Rotax é recomendado ensaio de partículas magnéticas a cada 600 horas no eixo principal e engrenagens da caixa de redução, e a cada 2.000 horas no eixo de comando de válvula e virabrequim ou em caso de acidente, no qual, há parada súbita do motor com quebra de hélice, aplica-se o mesmo procedimento conforme aplicado no ensaio referente há 600 horas e é inspecionado o eixo do virabrequim com relógio comparador de empeno e caso haja empeno do eixo realiza-se efetivamente o ensaio.

Com o intuito de analisar as condições dos eixos e engrenagens, a fim de prolongarmos a vida útil do motor com revisões cumpridas periodicamente, ou em caso de acidente transmitir ao operador da aeronave confiabilidade na entrega após restauração de sua aeronave. Muitos proprietários não abrem mão de realizar o ensaio.

Uma série de procedimentos e cuidados devem ser levados a sério para obter o máximo de aproveitamento e confiabilidade durante o ensaio até a entrega das peças, assuntos dos quais abordaremos neste trabalho técnico.

2. ENSAIO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

2.1 Introdução ao Ensaio

O ensaio por partículas magnéticas é utilizado para localização de descontinuidades superficiais ou subsuperficiais em materiais ferromagnéticos. O ensaio pode ser aplicado tanto em peças acabadas quanto semiacabadas ou durante as etapas de fabricação.

O processo consiste em submeter a peça ou parte desta, a um campo magnético. O local no qual a peça foi magnetizada, as descontinuidades existentes, também conhecidas como trinca, irão causar um campo de fuga do fluxo magnético.

Com a aplicação das partículas ferromagnéticas seja via úmida ou seca, com a peça ou parte magnetizada, ocorrerá o acúmulo das partículas nos campos de fuga (trinca), uma vez que serão atraídas devido ao surgimento de polos magnéticos. A aglomeração indicará o contorno do campo de fuga, fornecendo a visualização do formato e extensão da descontinuidade.

Caso aplicado via seca, é possível observar sem a utilização de equipamentos e se utilizado a técnica via úmida somente será possível observar com a utilização de luz ultra violeta (luz negra) em um ambiente escuro.

2.2 Dados da História

Em 1820 o físico Hans Christian Oersted descobriu que a passagem de corrente elétrica por um fio condutor também produzia um campo magnético com a forma circular ao redor do condutor, com intensidade proporcional ao valor da corrente elétrica aplicada.

Os ensaios por partículas magnéticas teve um grande desenvolvimento durante e após a segunda guerra mundial com a revolução e desenvolvimento industrial e tecnológico.

Em meio a tantos pesquisadores e cientistas da época, destaque para Willian E. Hoke, no qual foi o primeiro a realizar observações físicas efetivas do ensaio. A partir de 1928 e 1929 Alfred Victor de Forest iniciou os desenvolvimentos preliminares dos equipamentos com base nos estudos de magnetismo. Em 1942 foi desenvolvido as Partículas Fluorescentes, garantindo uma maior credibilidade ao método.

2.3 Métodos e Técnicas de Magnetização

2.3.1 Métodos de Magnetização

2.3.1.1 Método de Magnetização Longitudinal

O método de magnetização que produz um campo magnético longitudinal da peça, e fechando o circuito através do ar, é denominado “Magnetização Longitudinal”. Portanto, recomendamos para a detecção de descontinuidades transversais na peça, a magnetização longitudinal que pode ser obtida por indução de campo por bobinas ou eletroímãs. Na Figura 1 é possível observar no desenho esquemático o sentido do campo magnético indicados pelas flechas em azuis, gerados pelas bobinas, no qual, estão em amarelo.



Figura 1 – Sentido do campo magnético gerado pelas bobinas. Fonte: ABENDI 2014

2.3.1.2 Método de Magnetização Circular

Este método pode ser tanto por indução quanto por passagem de corrente elétrica através da peça e indicado pelas setas amarelas. As linhas de força que formam o campo magnético circulam através da peça em circuito fechado, indicados pelas setas vermelhas, não fazendo uma “ponte” através do ar, esse método é denominado “Magnetização Circular”. Este método é utilizado para a detecção de descontinuidades longitudinais. Na Figura 2 é possível observar que este método é exatamente o oposto ao método anterior em relação ao campo magnético e os resultados e serem encontrados no caso de alguma descontinuidade estarão longitudinalmente ao eixo da peça.

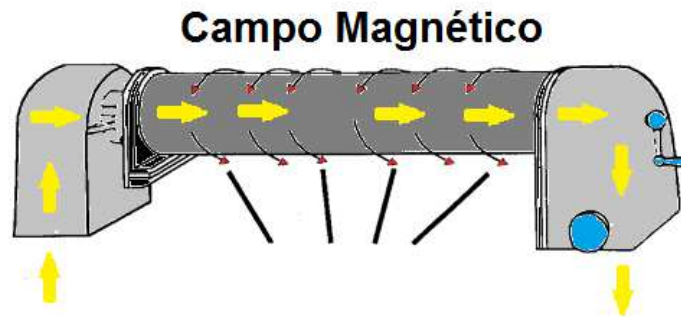


Figura 2 – Sentido do campo magnético gerado pela passagem de corrente elétrica através da peça.

Fonte: ABENDI 2014

2.3.1.3 Método de Magnetização Multidirecional

Essa aplicação é um método em que simultaneamente são fixados na peça dois ou mais campos magnéticos, sendo, um pelo método longitudinal e o outro pelo método circular ou ainda campos circulares em várias direções. Portanto, a combinação de duas técnicas que produzem um vetor rotativo, permite observar de uma só vez as discontinuidades com diversas orientações.

A magnetização simultânea possibilita menor tempo de execução trazendo como benefício maior produção. Contudo, é limitada pelo ajuste da intensidade dos campos magnéticos que é necessário para obtenção de uma resultante capaz de detectar adequadamente as discontinuidades nas duas direções da peça em ensaio sendo, discontinuidades longitudinais e transversais.

Com base em testes, a magnetização simultânea apresenta resultados mais confiáveis na detecção de discontinuidades de diferentes direções. A sua desvantagem é que aumenta mais uma etapa no ensaio. Na Figura 3 nota-se que há vários cabos elétricos fixados com intuito de gerar diversos campos magnéticos.

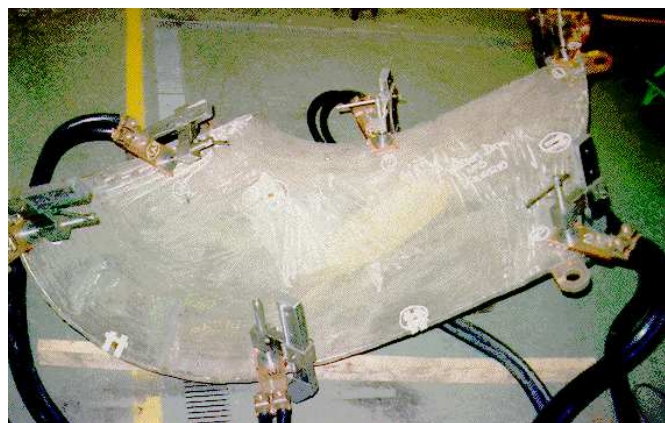


Figura 3 – Cabos elétricos fixados gerando diversos campos magnéticos. Fonte: ABENDI 2014

2.3.2 Técnicas de Magnetização

O processo de magnetização só pode ser obtido através de duas técnicas de indução, sendo: indução de campo magnético ou indução de corrente elétrica.

- Indução de campo magnético: acontece quando o campo magnético gerado na peça é induzido externamente.

- Indução de corrente elétrica: no processo de magnetização por passagem de corrente, a peça em inspeção faz parte do circuito elétrico do equipamento de magnetização, isto é, a corrente de magnetização circula pela própria peça. É por esta razão que se recomenda bastante cuidado na utilização da técnica de magnetização por passagem de corrente, pois poderá ocorrer abertura de um arco elétrico nos pontos de entrada e saída de corrente, queimando a peça nesta região e se tratando de uma peça acabada, pode ser inaceitável ou o mesmo processo poderá representar risco de explosão ou incêndio caso haja no ambiente gases ou vapores inflamáveis.

Tipos de Corrente Elétrica Utilizada:

As correntes elétricas utilizadas na magnetização para inspeção por partículas magnéticas poderão ser de várias fontes existentes. Segue abaixo a descrição de cada uma delas:

- Corrente elétrica contínua (CC): somente obtida através de baterias, no entanto, na prática não é aplicável em processos industriais;

- Corrente elétrica alternada (AC): usada para detecção de descontinuidades superficiais. A corrente alternada, devido ao ciclo alternado da corrente, promove maior mobilidade às partículas, tem pouca penetração, as linhas de força são mais concentradas na superfície, portanto é mais recomendada para a detecção de descontinuidades superficiais;

- Corrente elétrica alternada retificada de meia onda: esta corrente elétrica é utilizada para detecção de descontinuidades subsuperficiais, o que na prática representa poucos milímetros de profundidade. Com o uso de algumas técnicas pode-se encontrar irregularidades de 6 a 10 mm de profundidade.

- Corrente alternada retificada de onda completa: esta corrente elétrica é utilizada para detecção de descontinuidades subsuperficiais, o que na prática representa poucos milímetros de

profundidade. Com o uso de algumas técnicas pode-se encontrar irregularidades com até 12 mm de profundidade.

- Corrente elétrica trifásica: pode ser utilizada na forma retificada de meia onda ou onda completa. A corrente elétrica trifásica retificada de onda completa é a que mais se aproxima às características de uma corrente contínua.

2.3.2.1 Magnetização por Passagem de Corrente Elétrica pela Peça

É a técnica de magnetização, em que a corrente circula pela peça, no qual temos as técnicas de eletrodos e de contato direto.

2.3.2.1.1 Técnica dos Eletrodos

É a técnica de magnetização pela utilização de eletrodos, também conhecidas como pontas, que quando apoiadas na superfície da peça permitem a passagem de corrente elétrica. O campo magnético criado é circular.

Esta técnica é geralmente aplicada em peças brutas fundidas, em soldas, nas indústrias de siderurgia, caldeiraria e outros.

A técnica dos eletrodos induz um campo magnético que é dependente da distância entre os eletrodos e a corrente elétrica que circula por eles. Em geral estes valores são tabelados e disponíveis nas normas técnicas de inspeção, aplicáveis ao produto ensaiado. Figura 4 refere-se à Técnica dos Eletrodos.

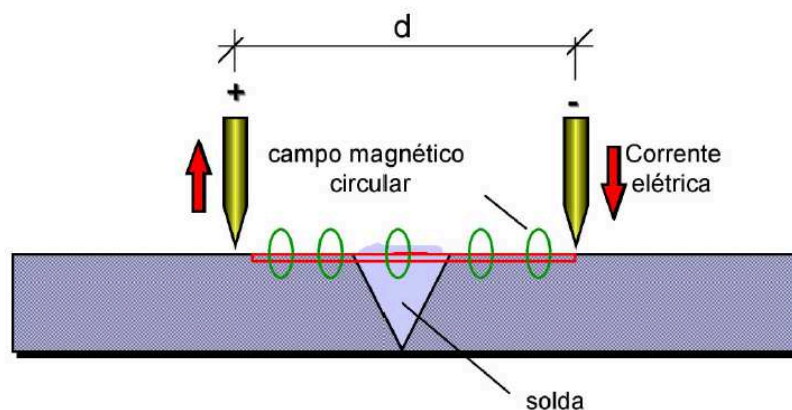


Figura 4 – Técnica dos eletrodos. Fonte: ABENDI 2014

2.3.2.1.2 Técnica de Contato Direto

Também conhecida como magnetização por placas ou cabeçotes de contato e devido sua maior aplicação ser através de máquinas estacionárias, é definida por ser a técnica de magnetização no qual há passagem de corrente elétrica de uma extremidade à outra.

O campo magnético formado é circular. Esta técnica se difere da técnica por eletrodos descrita anteriormente, pois é aplicável em sistemas de inspeção automáticos ou semi-automáticos, ideal para inspecionar barras, eixos, parafusos, muito utilizado nas indústrias automobilísticas, aeronáuticas ou em fábricas de produtos seriados de pequeno porte.

Nesta técnica pode ser utilizada corrente elétrica contínua ou alternada, sendo recomendado pelo Código ASME Sec.V Art.7, uma limitação de 300 até 800 Amperes / Polegadas de diâmetro externo quando a geometria for redonda. Outras limitações de corrente elétrica podem ser requeridas, dependendo da norma ou especificação aplicável na inspeção.

Para outras peças que não são redondas, a corrente elétrica poderá ser determinada pelo diâmetro maior da peça na seção perpendicular ao fluxo da corrente elétrica. Se o nível de corrente elétrica não pode ser obtida por limitações técnicas dos equipamentos utilizados, então deve ser empregado o padrão indicativo de campo magnético para certificação de que a máxima corrente elétrica aplicada é satisfatória. Figura 5 refere-se à Técnica do Contato Direto.

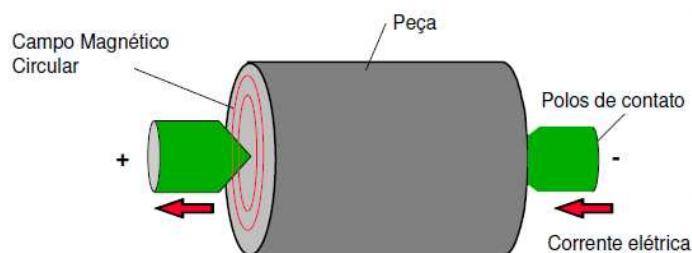


Figura 5 – Técnica do contato direto. Fonte: ABENDI 2014

2.3.2.2 Técnicas de Magnetização por Indução de Campo Magnético

2.3.2.2.1 Técnica da Bobina

Nessa técnica a peça é colocada no interior de uma bobina ou solenoide, ocorrendo assim um campo longitudinal na peça. A bobina ou solenoide são formados por um enrolamento de fios condutores, sendo corrente elétrica alternada ou contínua, que originam o campo magnético de

intensidade que dependerá da corrente elétrica que passa pela bobina e o número de voltas que o enrolamento da bobina foi formado (ampères-volta). Figura 6 refere-se à Técnica da Bobina.

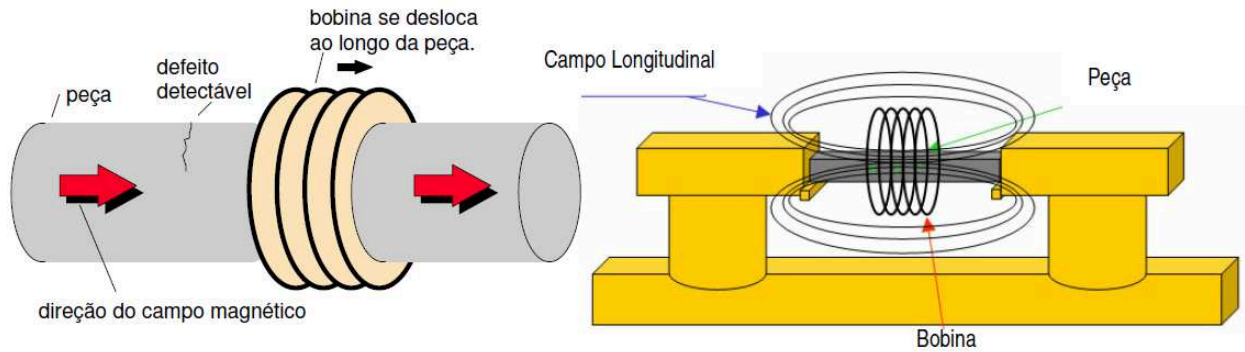


Figura 6 – Técnica da bobina. Fonte: ABENDI 2014

2.3.2.2.2 Técnica do Yoke

É a técnica de magnetização pela indução em campo magnético, gerado por um eletroímã, em forma de "U" invertido, que é apoiado na peça a ser examinada. Neste circula a corrente elétrica alternada ou contínua. Assim é gerado na peça um campo magnético paralelo à linha imaginária que une as duas pernas do Yoke.

Os Iloques ou Yokes produzem campos magnéticos longitudinais, podendo ser de pernas fixas ou de pernas articuláveis.

A grande vantagem de utilizar esta técnica está em não aquecer os pontos de contato, já que a técnica usa corrente elétrica magnetizante que flui pelo enrolamento da bobina do Yoke, e não pela peça. Esta técnica também constitui outra vantagem que permite o uso deste equipamento em atmosferas explosivas ou inflamáveis. Figura 7 refere-se à Técnica do Yoke.

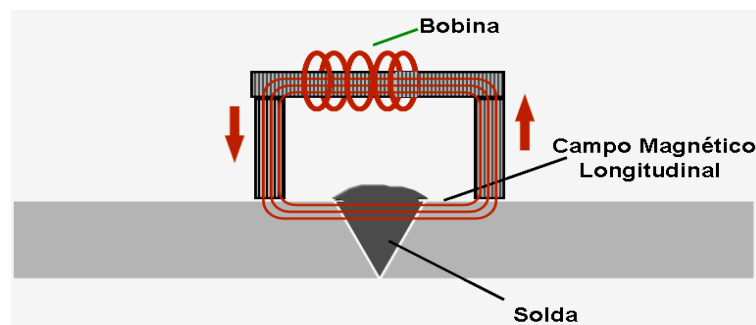


Figura 7 – Técnica do Yoke. Fonte: ABENDI 2014

2.3.2.2.3 Técnica do Condutor Central

A técnica do condutor central é caracterizada pela passagem de um fio condutor ou conjunto de cabos condutores pelo centro da peça a inspecionar. A passagem da corrente elétrica através do condutor permitirá induzir um campo magnético circular na superfície interna e/ou externa da peça assim, a peça a ser inspecionada por este processo, deve ter geometria circular, tais como: flanges, anéis, porcas, engrenagens, entre outras. Figura 8 apresenta esquematicamente a técnica do condutor central e respectivamente na Figura 9 é possível observar um ensaio sendo realizado em um anel, no qual há uma barra de cobre como condutor principal. O cobre é o material mais utilizado pelo fato de ser um excelente condutor elétrico.

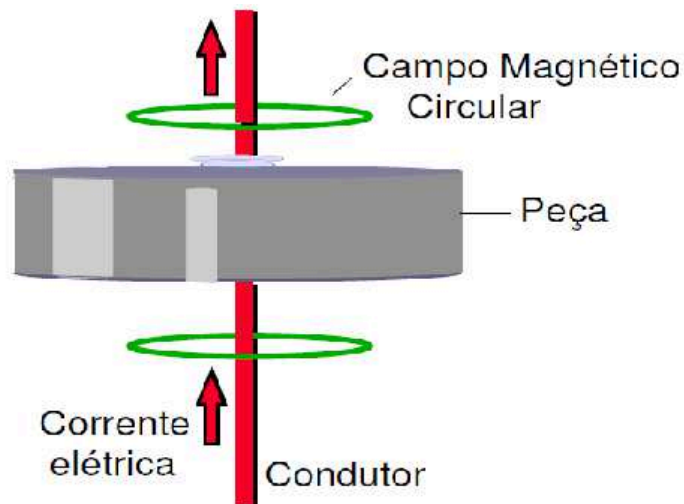


Figura 8 – Técnica do condutor central. Fonte: ABENDI 2014



Figura 9 – Ensaio utilizando a técnica do condutor central. Fonte: ABENDI 2014

Na Tabela 1 podemos resumir os “Métodos e Técnicas de Magnetização”

Método	Técnicas de Magnetização	
Longitudinal	Indução de Campo	Bobina (solenóide), Yoke e Imã Permanente.
Circular	Passagens de Corrente Elétrica	Eletrodos, Contato Direto
	Indução de Campo	Condutor central, Barra e Cabo Enrolado.
Multidirecional	Indução ou Passagem de Corrente elétrica	Combinação das Técnicas de Campo Longitudinal e Circular

Tabela 1 – Resumo dos Métodos e Técnicas de Magnetização. Fonte: ABENDI 2014

2.4 Desmagnetização

Alguns materiais, devido as suas propriedades magnéticas, são capazes de reter parte do magnetismo após a interrupção da força magnetizante. Conforme a aplicação das técnicas anteriores nestes materiais, o magnetismo residual ou remanescente poderá criar problemas, sendo necessária a desmagnetização da peça.

Para realizar a desmagnetização da peça há varias técnicas, sendo que a mais utilizada é passa-la pelo interior de bobinas percorridas por corrente alternada.

Podemos resumir as razões para desmagnetização de uma peça sendo:

- Interferência nos Processos de Usinagem: uma peça com magnetismo residual poderá interferir nos processos futuros de usinagem, pois o magnetismo da peça induzirá a magnetização das ferramentas de corte afetando o acabamento da peça.

- Interferência nos Processos de Soldagem: a interferência em operação de soldagem acontece com a deflexão do arco elétrico, desviando-o da região de soldagem, interferência conhecida como sopro magnético.

- Interferência com Instrumentos de Medição: o mecanismo residual interfere com instrumentos sensíveis de medição ou navegação, colocando em risco a operação dos equipamentos uma vez que, as leituras obtidas não correspondem à realidade. Há registros de acidentes aéreos por interferências de campos magnéticos de trens de pouso nos instrumentos de navegação da aeronave.

Nas Figuras 10 e 11 podemos observar a utilização do Gaussímetro, instrumento no qual é utilizado para verificar se há campo magnético residual na peça após a desmagnetização.



Figura 10 – Gaussímetro Analógico.

Fonte: ABENDI 2014



Figura 11 – Gaussímetro Digital.

Fonte: ABENDI 2014

2.5 Métodos de Ensaio e Tipos de Partículas

Métodos de Ensaio:

As partículas magnéticas podem ser fornecidas na forma de pó, em pasta ou dispersas em líquido. Em todos os casos, as partículas se constituem de um pó ferromagnético de dimensões, forma, densidades e cores adequadas ao exame. Denominamos de via ou veículo, o meio no qual a partícula está sendo aplicada:

Tipos de Partículas

• Via Seca:

Dizemos que as partículas são para via seca, como o próprio nome indica, quando aplicadas a seco. Neste caso é comum dizer que o veículo que sustenta a partícula até a sua acomodação é o ar. Na aplicação por via seca usamos aplicadores de pó manuais ou bombas aspersoras que pulverizam as partículas na região do ensaio, na forma de jato de pó. As partículas para via seca devem ser guardadas em lugares secos e ventilados para não se aglomerarem. É muito importante que sejam de granulometria adequada para serem aplicadas uniformemente sobre a região a ser inspecionada.

Comparando com o método por via úmida, as partículas por via seca são mais sensíveis na detecção de descontinuidades próximas a superfície, mas não são mais sensíveis para pequenas descontinuidades superficiais. Também, para uma mesma área ou região examinada, o consumo é

maior. Por outro lado, é possível a reutilização das partículas, caso o local de trabalho permitir e que seja isenta de contaminação.

As partículas para serem aplicadas pelo método por via seca não requerem preparação e são retiradas diretamente das embalagens para os aplicadores de pó.

• Via Úmida:

É o método de ensaio pela qual as partículas encontram-se em dispersão em um líquido, denominado de veículo. Este líquido pode ser a água, querosene ou óleo.

Devemos ressaltar que neste método de ensaio, as partículas que estão em dispersão tem maior mobilidade do que na via seca, e podem percorrer maiores distâncias enquanto se acomodam por um campo de fuga. Os aplicadores por via úmida são na forma de chuveiros de baixa pressão no caso de máquinas estacionárias ou manuais, tipo borrifadores, que produzem uma névoa sobre a região em exame. O método por via úmida exige uma constante agitação da suspensão para garantir a homogeneidade das partículas na região de exame.

As partículas para via úmida requerem a preparação da suspensão e estas partículas podem estar na forma de pó ou pasta. A verificação da concentração da mistura pode ser realizada de acordo com a norma ASTM-709, usando-se um tubo decantador graduado, que tem a forma de pera. Com o decantador são retirados da suspensão pronta 100 ml e após 30 minutos verifica-se na base do tubo, a quantidade de partículas decantadas. Os valores recomendados pela Norma ASTM 1444, são de 1,2 a 2,4 ml para a inspeção por via úmida de partículas observadas sob a luz branca ou natural, e de 0,1 a 0,4 ml para as partículas fluorescentes, que são observadas sob a luz ultravioleta (luz negra). Na Figura 12 é possível observar o decantador com partículas decantadas.

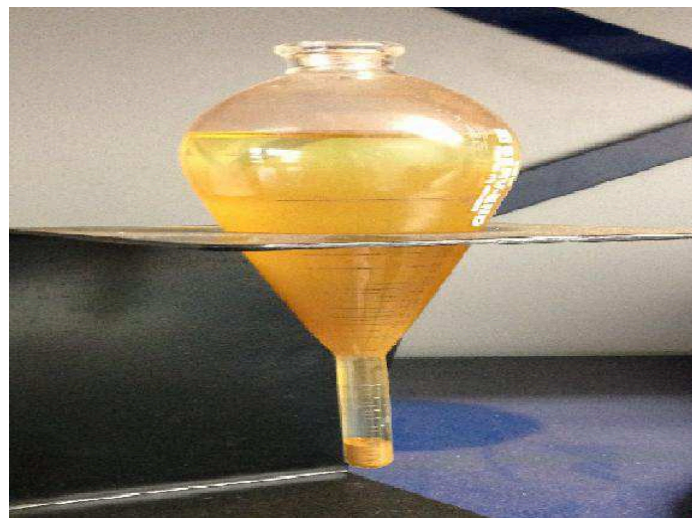


Figura 12 – Partículas decantadas

3. APLICAÇÃO DO ENSAIO

Conforme citado na introdução, em caso de acidente com parada súbita do motor é necessário realizar o procedimento de ensaio por partículas magnéticas conforme orientado pelo Manual de Manutenção Heavy referente ao modelo e série do motor Rotax em questão.

Conforme descrito em manual o ensaio deve ser realizado no eixo principal e engrenagens da caixa de redução em caso de acidente com parada súbita do motor e quebra de hélice e se houver empeno no eixo do virabrequim, recomenda-se após alinhamento realizar o procedimento do ensaio para verificação de trincas. Em uma vida útil normal do motor respeitando todas as manutenções periódicas, o ensaio deve ser realizado a cada 600 horas no eixo principal e engrenagens da caixa de redução e somente com 2.000 horas devem ser inspecionados os eixos do virabrequim e comando de válvula.

Para aplicação do ensaio foi utilizado um motor Rotax 912 ULS com 490 horas totais de uso, no qual sofreu um acidente e houve a parada súbita de motor com quebra de hélice. Não houve vítimas. Afim de melhor visualizarmos os componentes que foram inspecionados, nas Figuras 13 a 15 temos o Motor Rotax completo e seus componentes.



Figura 13 – Motor Rotax



Figura 14 – Aeronave com Motor e Hélice Danificados

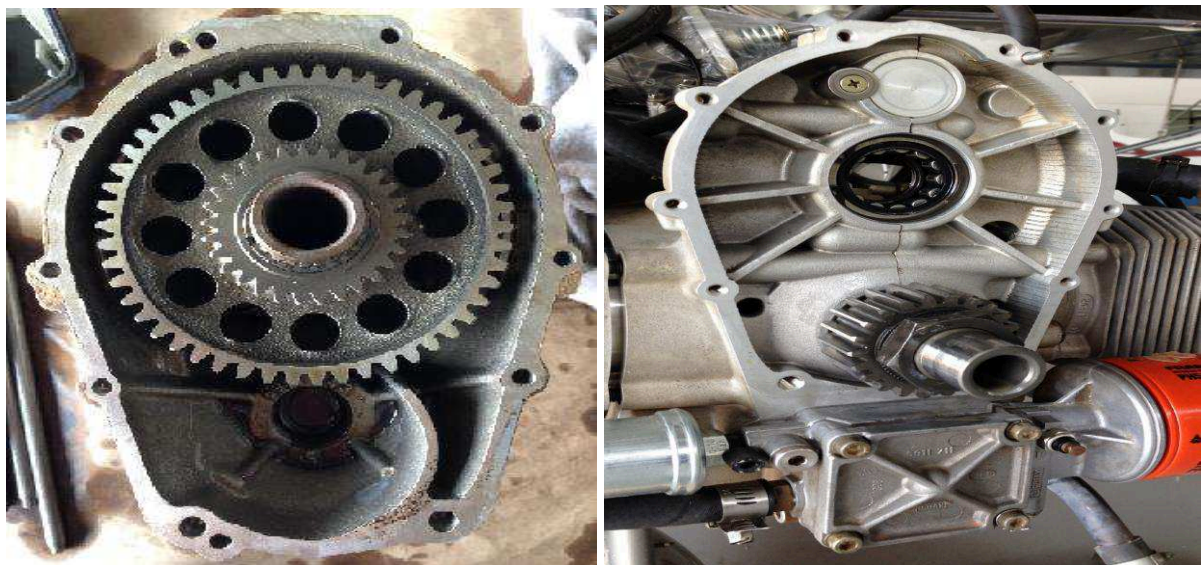


Figura 15 – Caixa de redução com componentes (esquerda) e motor com componentes (direita)

3.1 Procedimento anterior ao ensaio

Após recebimento da aeronave retiramos a hélice e iniciamos o processo de abertura da caixa de redução, como visto na Figura 15, nota-se que a caixa já está desmontada aguardando agora a inspeção para verificação de empeno ou não do eixo do virabrequim. Na Figura 16 nota-se o

procedimento no qual é fixado um relógio comparador de empeno no bloco do motor para verificação de empeno, esse procedimento pode ser tanto realizado na secção traseira quanto dianteira do motor.



Figura 16 – Verificação de empeno

Durante a verificação de empeno, foi constatado que não houve dano ao eixo do virabrequim. A partir dessa informação, paramos com a desmontagem do motor, pois o mesmo encontra-se apto para futuros funcionamentos. Seguimos com a desmontagem da caixa de redução para a retirada do eixo principal e engrenagens de transmissão. Na Figura 17 podemos observar os componentes já desmontados e limpos para efetivamente realizarmos o ensaio.



Figura 17 – Eixo principal e engrenagens de transmissão

3.2 Preparação das Peças, Equipamentos, Métodos e Ensaio

3.2.1 Limpeza da Superfície da Peça a ser Ensaída

Todas as superfícies devem estar limpas, secas e livres de camadas que possam alterar as descontinuidades durante o ensaio.

Devem ser removidas da superfície da peça em ensaio, tudo o que for motivo de contaminação ou interfira na eficiência e sensibilidade do ensaio, tais como: umidade, camadas de poeira, todo e qualquer tipo de lubrificação, crostas de óxido, resíduos de usinagem, tinta, entre outros. Em geral as peças são lavadas com solvente ou decapantes para a remoção de tintas, as peças também podem ser submetidas a jato de areia.

3.2.2 Determinação do Ensaio Conforme Manual

Conforme manual de manutenção heavy do Motor Rotax, recomenda-se a utilização de Ensaio por Partículas Magnéticas e a utilização de dois métodos sendo: Método de Magnetização Longitudinal por Indução de Campo, utilizando uma Bobina e o Método de Magnetização Circular por Indução de Campo, utilizando um Condutor Central e por Passagem de Corrente Elétrica, utilizando Contato Direto. O equipamento utilizado para a realização dos dois métodos durante todo o processo foi uma máquina estacionária. Para os testes de Magnetização em todas as peças, é recomendado, devido à geometria das peças em questão e baseado em cálculos a partir da norma em vigor, 1500 Amperes em corrente contínua e para a Desmagnetização são utilizados 2000 Amperes em corrente alternada na bobina.

3.2.3 Análise de Partículas

Para início do procedimento de ensaio deve-se ligar a bomba 5 minutos antes para que as partículas magnéticas se misturem o máximo possível com o veículo em questão utilizado. Após homogeneização, foram coletados 100 ml da suspensão e após 30 minutos (tempo requerido por norma para decantação das partículas magnéticas) obtivemos 0.25 ml de partículas decantadas, números ideais para as partículas fluorescentes, requeridas pela Norma ASTM 1444 para aplicação em aeronaves. Na Figura 18 pode-se observar a concentração de partículas ao fundo do decantador.



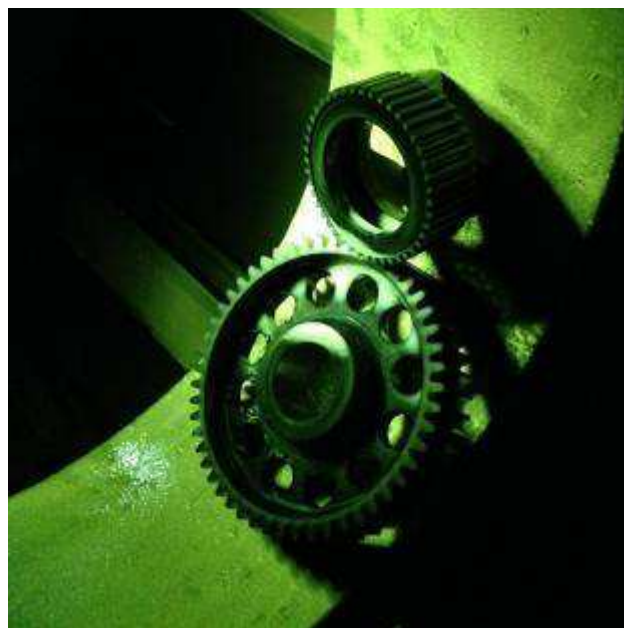
Figura 18 – Concentração de partículas

3.2.4 Desmagnetização Inicial

A peça deve ser desmagnetizada antes do início do ensaio, pois caso uma operação anterior tiver produzido um campo magnético residual que possa interferir com o ensaio.

3.2.5 Imagens do Ensaio de Acordo com o Método Aplicado e Equipamento

- Ensaio



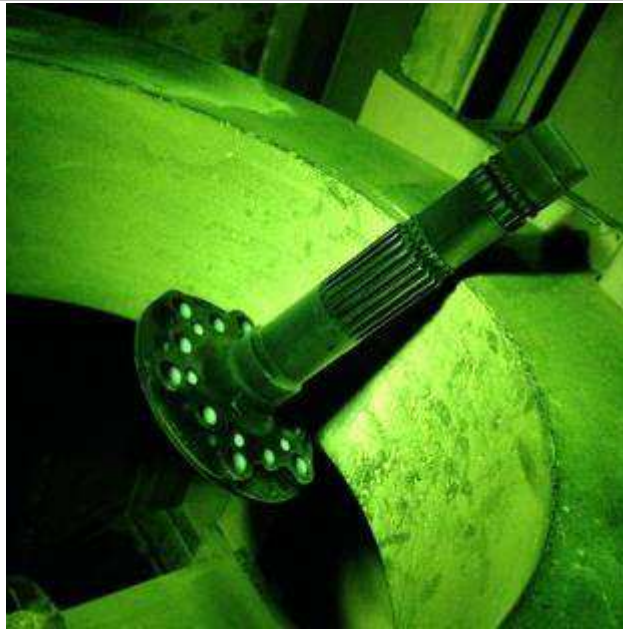


Figura 19 – Método longitudinal por indução de campo – Técnica: Bobina



Figura 20 – Método circular por passagem de corrente elétrica – Técnica: Contato direto



Figura 21 – Método circular por indução de campo – Técnica: Condutor central

- Equipamento



Figura 22 – Máquina estacionária



Figura 23 – Chaves seletoras



Figura 24 – Painel de comando elétrico

3.2.6 Avaliação e Registro do Ensaio

Durante o ensaio não foi observado e nem identificado pontos que apresentassem indícios de trinca ou fadiga, com isso, podemos afirmar que todas as peças ensaiadas estão em perfeito estado e podem ser montadas após limpeza e desmagnetização no motor da aeronave em questão. Os procedimentos do ensaio devem ser feitos por um técnico Nível I e inspecionado e emitido laudo por um técnico Nível II devidamente treinados e capacitados a realizar os testes, conforme rege a norma NAS 410. Todos os dados obtidos durante o ensaio devem ser anotados e armazenados, afim de criar um histórico.

3.2.7 Desmagnetização, Limpeza e Acondicionamento Pós Ensaio

Após ensaio as peças foram desmagnetizadas através da passagem das mesmas pela bobina, conforme pode ser observado na Figura 25 no qual o operador conduz a peça com a bobina sob corrente alternada para eliminar campos residuais.

A limpeza da peça é essencial após a desmagnetização, pois deve-se ser feita para eliminar os resíduos provenientes do ensaio.

Após a limpeza final, caso a peça for para o estoque ou se for passível de corrosão, deve ser aplicada uma camada de óleo protetor.



Figura 25 – Processo de desmagnetização

Para conferir se a peça foi efetivamente desmagnetizada, foi utilizado um Gaussímetro. Na Figura 26 é possível observar um antes e depois do processo de desmagnetização.



Figura 26 – Comparação utilizando Gaussímetro na mesma peça

4. CONCLUSÃO

Com base nos dados obtidos durante o ensaio, foi concluído que as peças ainda estão em perfeito estado, mesmo após forte impacto ocasionado pelo acidente e conforme descrito em manual em caso de acidente, após ensaio concluído, se houver qualquer trinca a peça deve ser substituídas, caso contrário, segue sua utilização zerando o cronograma de manutenção periódica. Referente ao ensaio por partículas magnéticas de uma maneira geral, o mesmo mostrou-se muito eficiente para aplicação em questão, atendendo a todos os requisitos solicitados pelo fabricante do motor.

Mesmo atendendo a todos os requisitos o ensaio possui algumas limitações, das quais as peças ensaiadas não se enquadram. Segue abaixo as limitações do ensaio:

- A técnica é aplicável somente em materiais ferromagnéticos;
- Baixa sensibilidade para descontinuidades esféricas;
- Só pode ser automatizado com sucesso nas etapas manuais;
- A interpretação dos resultados deve ser realizada por pessoal qualificado;
- Apesar da existência de especificações e padrões fotográficos, sempre existirá o elemento subjetivo na interpretação dos resultados;

- Normalmente o ensaio é limitado a áreas com fácil acesso.
- Este ensaio pode ser realizado em superfícies com temperaturas de até 60°C na técnica via úmida e até 300°C na técnica via seca.

Em contra partida o resultado do ensaio é imediato e de simples visualização o que se torna ágil o processo de entrega do material enviado ao ensaio.

Outro importante ponto em questão referente à aplicação do ensaio por partículas magnéticas nas peças em geral do motor Rotax, foi que a empresa Rotax conseguiu adiar com segurança seu plano de manutenção, pois antes o ensaio era aplicado em peças mais críticas com 1.000 horas enquanto hoje o Overhaul é realizado com 2.000 horas.

O conceito empregado quanto à aplicação de ensaios atualmente na aviação experimental é satisfatório e vem ganhando forças, uma vez que as aeronaves são de responsabilidade dos proprietários e muitos acabam não se importando em realizar as manutenções periodicamente, por conta de gastos e muitas vezes por não terem próximos a eles centros de serviço especializado.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Web Site - <http://www.qualidadeaeronautica.com.br/princ.pm.htm> - Acesso em 27/10/2014
2. Web Site - <http://www.qualidadeaeronautica.com.br/astm.e.1444.htm> - Acesso em 18/11/2014
3. Web Site - <http://www.qualidadeaeronautica.com.br/NAS410.htm> - Acesso em 03/10/2014
4. Andreucci, R. Ensaio por Partículas Magnéticas. Ed. Out/2014 – Acesso em 30/10/2014
5. Web Site - <http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/PM-2014.pdf> - Acesso em 19/11/2014
6. Web Site - <http://www.rotax-owner.com/support-topmenu/engine-manuals> – Acesso em 30/10/2014

6. COMUNICADO DE RESPONSABILIDADE

O autor é o único responsável pelo material pesquisado.