



Eaton Divisão de Transmissões
Serviço de Campo / Engenharia de Materiais

Guia para análise de falhas



Sincronizadores tipo pino

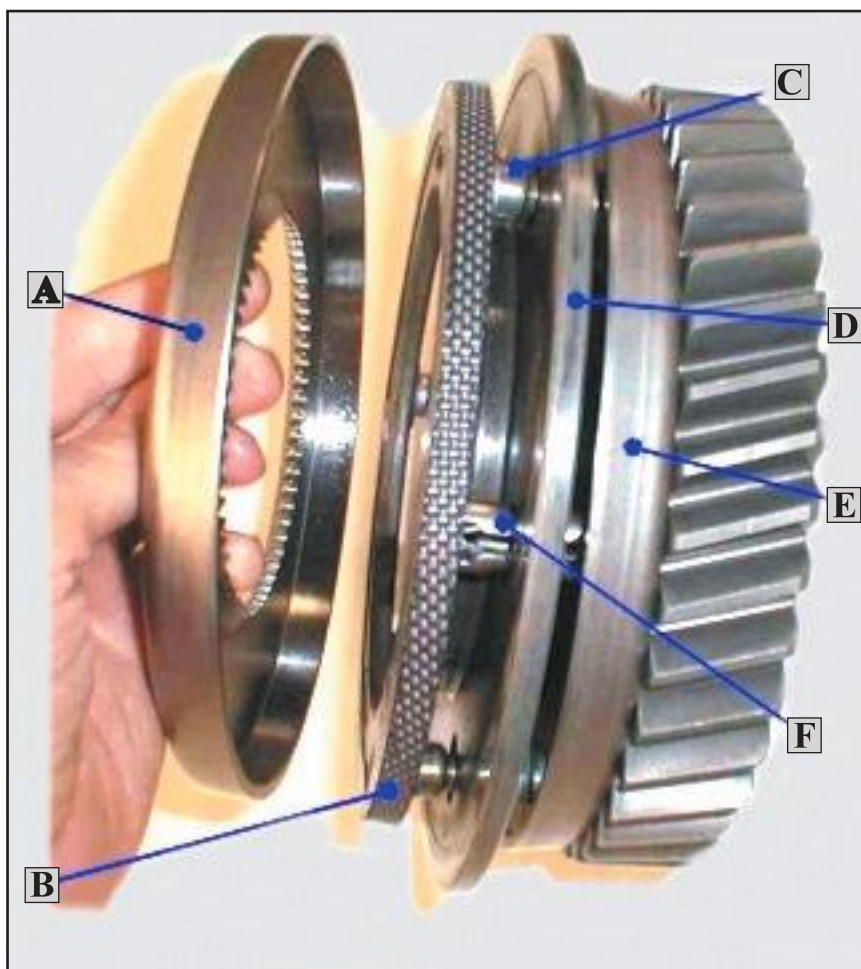


Figura 1 - Sincronizador tipo pino

Sincronizador tipo pino

Nomenclatura:

A - Capa estampada
B - Anel sincronizador
C - Pino bloqueador

D - Flange de engate
E - Capa estampada
F - Pino mola

Modelos de transmissão

FS 4205; FS 5106; FS 5205; FS 5306; FS 5406; FS 6306; FS 6406; FSB 5405; FSB 6406; FSB 9406; FSBO 9406; FSO 6406; FSO 8406.

Sincronizadores tipo pino

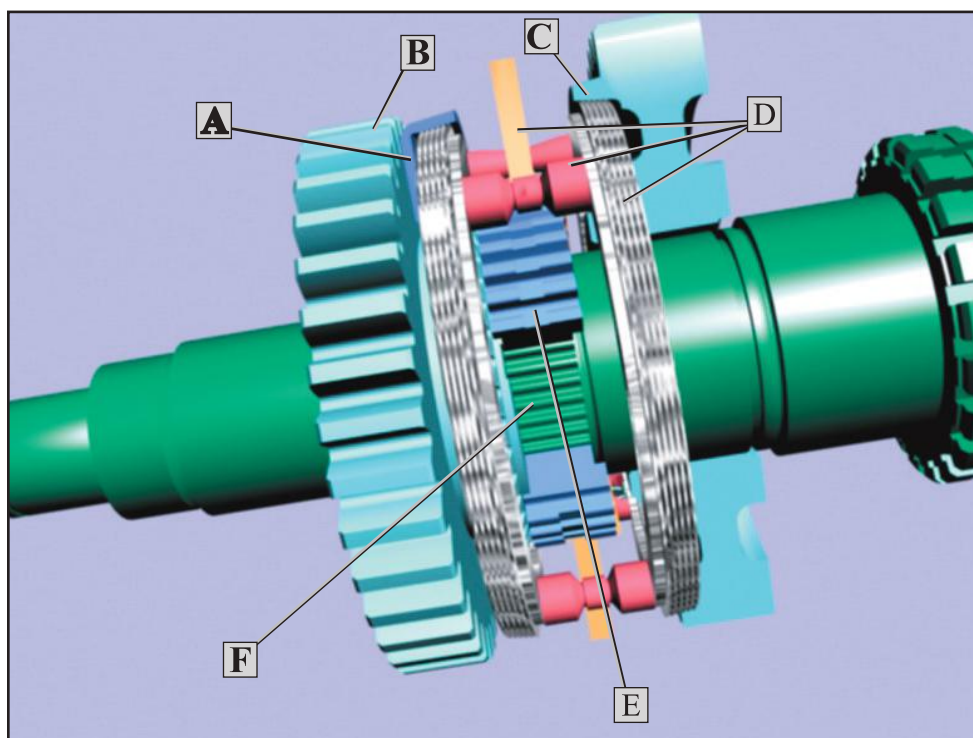


Figura 2 - Conjunto montado

Conjunto montado

A capa estampada (figura 2A) acopla-se à engrenagem (figura 2B) através de estrias, tornando-se solidárias. Opcionalmente à ter uma capa estampada agregada, podemos encontrar o cone interno usinado diretamente no corpo da engrenagem como mostrado na figura 2C.

O conjunto sincronizador (figura 2E) acopla-se ao cubo do sincronizador (figura 2D) através de estrias, possuindo movimento livre no sentido axial o que lhe permite selecionar a marcha. O cubo, por sua vez, torna-se solidário ao eixo principal (figura 2F) através de estrias, sem no entanto possuir movimento axial livre.

Sincronizadores tipo pino

Funcionamento

Considere o veículo em movimento, estando a marcha “A” engatada. Em um determinado momento, o motorista faz a redução da marcha “A” para a marcha “B”.

Podemos descrever a ação em 4 etapas básicas (*1):

1) A flange é levada para a posição de neutro. Nessa situação, embora desengatado, o sincronizador continua a girar na mesma rotação da engrenagem “A”. A engrenagem “B”, por ser mais reduzida, gira com rotação maior (*2).

2) O movimento da alavanca de câmbio faz com que o garfo force a flange “C” contra a engrenagem “B”, levando nesse movimento o anel sincronizador “D” a interagir com o cone “E” da engrenagem.

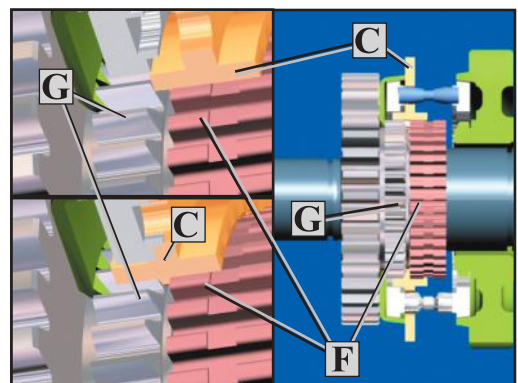
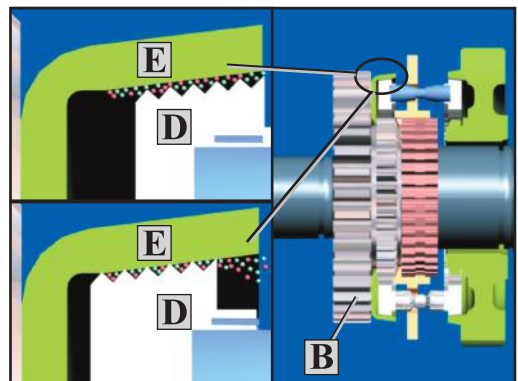
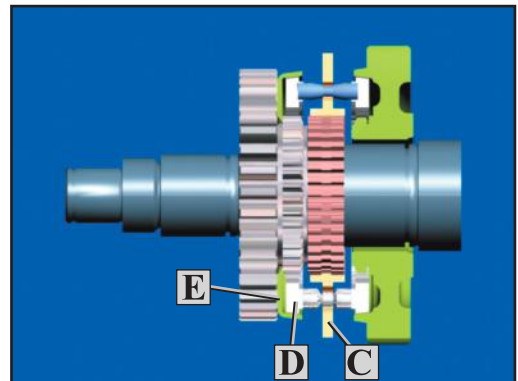
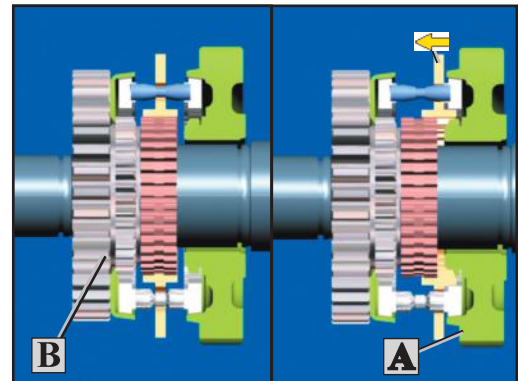
3) As superfícies cônicas do anel “D” é forçada contra o cone interno “E” da engrenagem, expulsando o lubrificante e iniciando a frenagem da engrenagem “B” em relação ao sincronizador.

4) Quando a engrenagem “B”, por efeito da frenagem, estiver girando na mesma rotação do sincronizador, a flange “C” continua a avançar ligando os dentes de engate do cubo “F” aos dentes de engate da engrenagem “G”, completando o engate.

Notas (*):

1) As etapas descritas nessa sequência são suficientes para o entendimento sobre as falhas mais comuns nos sincronizadores envolvendo diferença de velocidade e pressão das partes em contato. Existem outras etapas não mencionadas relativas à aplicação do esforço axial, as funções dos pinos mola e a separação entre o anel e o cone interno.

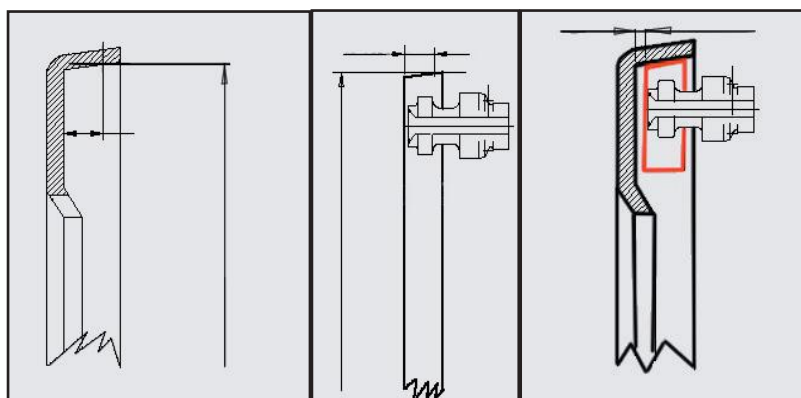
2) Para uma mesma velocidade, quanto menor a marcha engatada mais a rotação tem que ser fornecida para mantê-la.



Sincronizadores tipo pino

Final de vida

Os sincronizadores funcionam como se fossem embreagens cônicas. As dimensões mais importantes são relativas a altura e diâmetro de controle que definem o quanto de material de desgaste existe no par anel / cone interno, conforme figuras 7, 8 e 9.



Figuras 7, 8 e 9

A distância entre as faces do anel e do cone interno, associadas à um diâmetro de controle, define a quantidade de material que o sincronizador tem para desgastar.

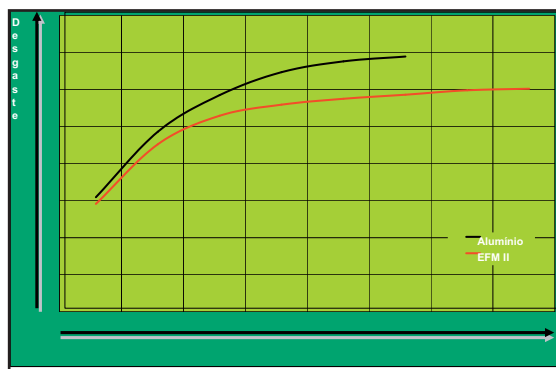


Gráfico 1 vida do sincronizador

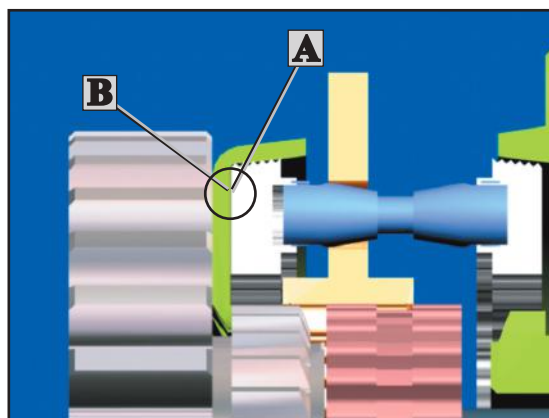


Figura 10

O sincronizador deixa de atuar porque com o desgaste total da superfície de atrito o mecanismo de frenagem fica inoperante.

Um sincronizador com utilização normal, sem sofrer uso abusivo, irá desgastar-se de maneira similar ao gráfico 1 mostrado e atingirá o final de vida quando a face “A” do anel tocar a face “B” do cone interno da engrenagem (figura 10).

Sintomas do mau funcionamento

Raspagem

Se o sincronizador deixar de atuar as velocidades relativas entre a engrenagem e a flange estarão diferentes porque o efeito de frenagem não irá atuar. Deste modo, ao se tentar completar a mudança de marcha, os dentes de engate da flange irão chocar-se com os dentes de engate da engrenagem, provocando ruído e danificando esses componentes.

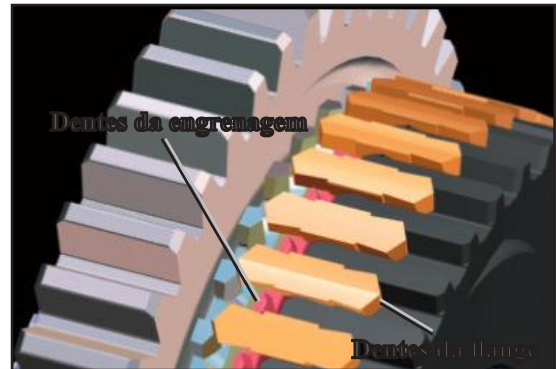


Figura 11

Os dentes de engate das peças se chocam, provocando ruído

Esse tipo de falha pode ser diagnosticado facilmente através do ruído característico produzido ao se tentar engatar a marcha, acompanhado de movimento alternado brusco

na alavanca da transmissão, em outras palavras, a alavanca treme violentamente. Muitas pessoas se referem à “levar um choque” quando descrevem esse problema.

Embora seja comum ocorrer este tipo de falha ao final da vida do sincronizador existem outras situações que podem provocar o mesmo fenômeno. Embreagens inoperantes, ou com problemas, em marchas não sincronizadas, como a primeira velocidade e a marcha a ré em alguns veículos, irão produzir o mesmo efeito. Técnicas de direção inapropriadas, normalmente denominadas de “esportivas” também podem levar a esse problema, assim como erros de direção, como soltar o pedal da embreagem antes do momento correto.

Escape de marcha

O escape de marcha ocorre quando a alavanca da transmissão, sem nenhum motivo aparente, sai da posição de “engatada” para a posição de “neutro”. A característica desse modo de falha é a falta de tração, percebida pelo motorista quando, apesar de elevar ou baixar a rotação do motor, não se observa alteração na velocidade do veículo.

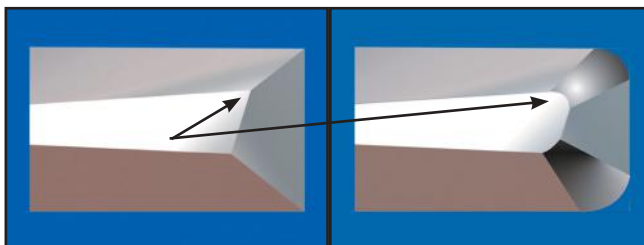


Figura 12

Com os choques, as extremidades dos dentes desgastam-se e ficam redondas, perdendo o poder de retenção.

Com relação à sincronização o escape pode ocorrer principalmente pelo desgaste das extremidades dos dentes de engate por raspagem. As extremidades desses dentes tornam-se arredondadas, perdendo o poder de retenção.

Sincronizadores tipo pino

Dificuldade de engate

Com a queda de desempenho do sincronizador, o motorista passa a necessitar de mais força e mais tempo para engatar a marcha. As causas para a dificuldade de engate variam desde a utilização de lubrificante inapropriado, seja por estar com o tempo de utilização vencido, contaminado ou por ser diferente do especificado, até a quebra de componentes envolvidos na sincronização, como anéis e pinos. A quebra desses componentes estão normalmente associadas à técnicas inadequadas de direção, embora poderão existir situações onde as quebras se deem por problemas de fabricação.

Análise de Falhas

A sequência de análises a seguir irá dar ao analista o subsídio necessário para identificar os problemas mais comuns no campo. Em caso de dúvida, contatar o departamento de Serviços da Eaton Ltda – Divisão de Transmissões, em Valinhos, através do telefone e site divulgados nessa publicação.

Sincronizadores no final da vida útil

Sincronizadores em final de vida útil exigem mais esforço e tempo para realizar os engates, às vezes ocorrendo raspagem.

Isso acontece sempre que o diâmetro do anel sincronizador, por desgaste, permitir que a sua face toque a face da capa estampada, cessando ou diminuindo o poder de frenagem.

A figura 11 mostra a superfície cônica de um anel de alumínio, completamente desgastada, evidenciada pela largura dos filetes da rosca.

A figura 12 é uma foto frontal do mesmo anel. Observa-se marcas de contato entre a sua face e a face da capa estampada montada na engrenagem. Esse tipo de ocorrência é definitivo para determinar o final da vida útil desse componente.

Na figura 13 temos um anel revestido com EFMII que provê mais durabilidade aos anéis sincronizadores. Nesse tipo de revestimento, o desgaste pode ser observado pelas marcas existentes nas tramas. Um anel totalmente desgastado irá apresentar área de contato acima de 70%.

A figura 14 mostra os dentes de engate da flange ligeiramente desgastado. Esse é um indício de que o sincronizador já não está operando em suas condições normais.

Ao atingir o final de vida, tanto o conjunto sincronizador como as capas estampadas, deverão ser substituídos. Se as engrenagens tiverem os dentes de engate danificados, também deverão ser substituídas.

Sincronizadores tipo pino

Figura 11

Superfície do anel de alumínio em final de vida. Notar que os filetes da rosca na superfície cônica ficam largos por ação do desgaste normal.

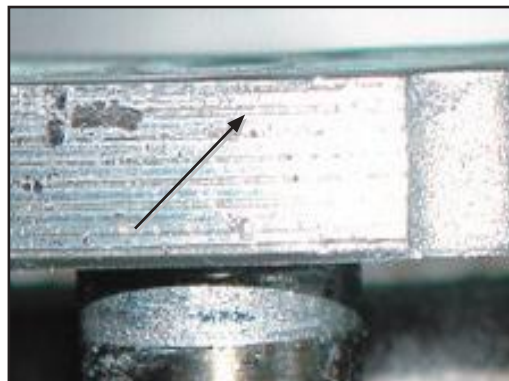


Figura 12

A face do anel mostra sinais de que a mesma tocou a face frontal da capa estampada engrenagem, evidenciados pela seta.

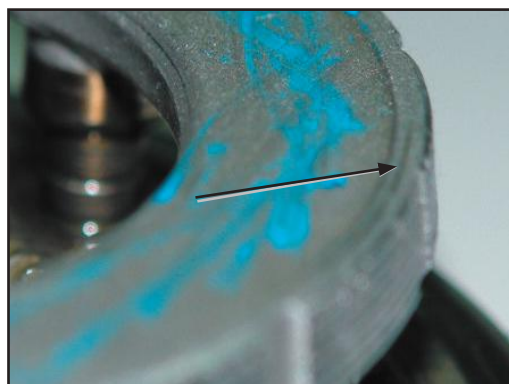


Figura 13

A superfície dos anéis revestidos com fita EFMII, ao final da vida, mostram sinais de desgaste por abrasão conforme o padrão mostrado na figura.

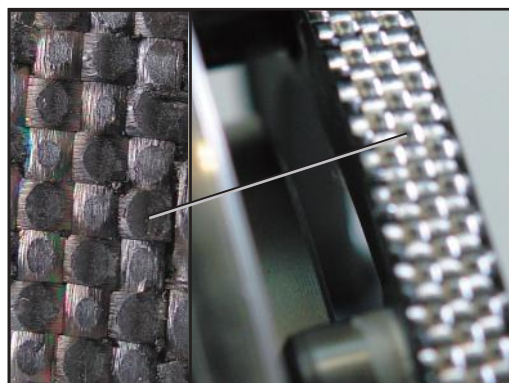
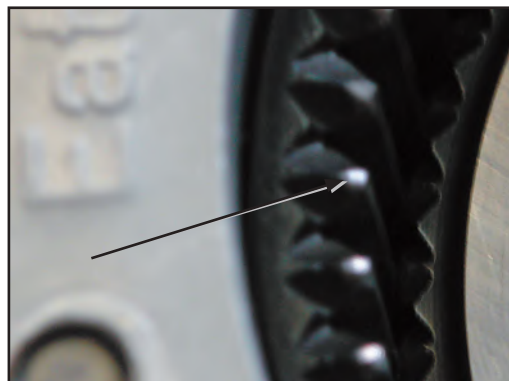


Figura 14

Se o sincronizador deixa de atuar irão se iniciar o que chamamos de 'raspagem'. Se isso ocorrer poderemos ver sinais nos dentes de engate da flange e da engrenagem.



Sincronizadores tipo pino

Dentes de engate cisalhados

Características:

O cisalhamento dos dentes de engate (figuras 15A e 16B) apresenta fratura dútil, com aspecto liso e brilhante, em todos os dentes de um lado da luva de acoplamento (figura 15A).

O sintoma deste tipo de falha, em seu estágio final, é ausência de torque na marcha onde ocorreu o problema. Por esse motivo o cisalhamento completo ocorre apenas em um dos lados: o que romper primeiro.

Deve-se observar que os dentes de engate, do lado da engrenagem, não apresentam desgaste ou sinais de raspagem significativos (figura 15B).

A figura 18 mostra o lado oposto da luva da figura 16 B. Observa-se deformação plástica nos dois lados dos dentes de engate. Processo semelhante ocorreu no lado cisalhado.

Procedimento e referências

Dentes de engate cisalhados

Causa:

Fraturas com o aspecto mostrado podem ser provocadas por problemas relacionados ao tratamento térmico, normalmente estão relacionadas a baixa dureza superficial.

Procedimento:

Concessionárias:

Substituir o conjunto sincronizador, proceder a garantia e enviar o conjunto para análise na montadora.

Substitua as engrenagens apenas se os dentes de engate apresentarem fraturas ou desgaste excessivo. Engrenagens em condições normais de utilização não terão a garantia coberta.

As capas estampadas não estão associadas a esse tipo de falha e somente devem ser substituídas caso os fragmentos dos dentes cisalhados tenham danificado as mesmas.

Analistas:

Enviar o conjunto para análise metalúrgica.

Referências:

Sincronizadores tipo pino

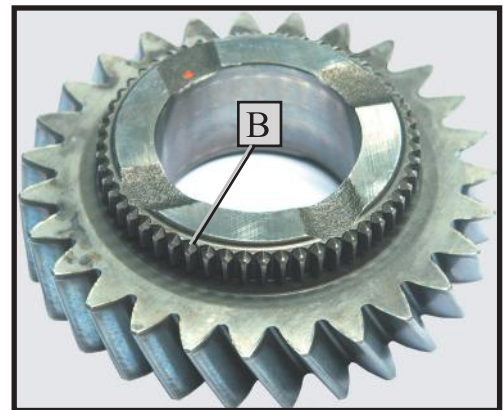
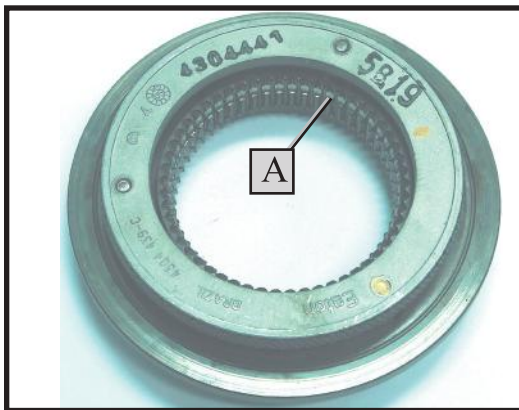


Figura 15A e 15B - Sincronizador e engrenagem correspondente.

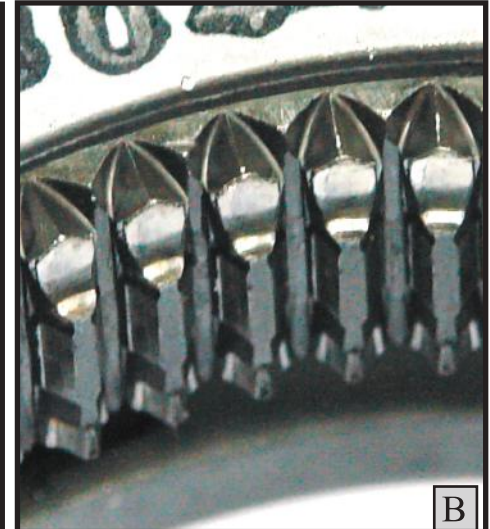
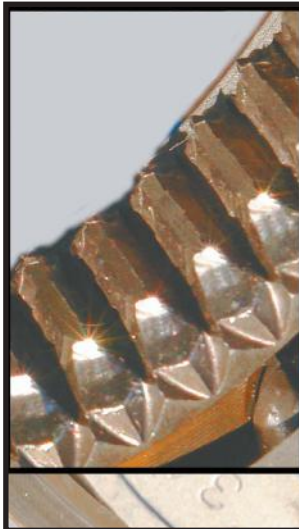


Figura 16 - Dentes de engate cisalhados



Figura 17 - Dentes de engate da engrenagem

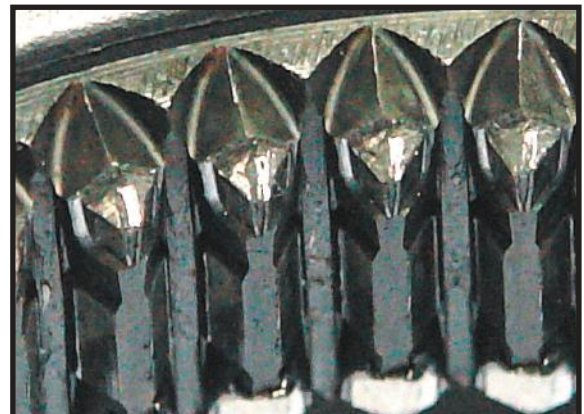


Figura 18 - Dentes de engate da flange - lado oposto ao da figura 16B

Sincronizadores tipo pino

Anel de alumínio quebrado

Características:

A quebra do anel de alumínio pode ter mais do que um modo de falha. Neste caso em particular, observar:

A) Os rebites, que mantêm os anéis de alumínio montados em conjunto com a flange, não sofreram fraturas e permanecem intatos (figura 19A).

B) O anel sincronizador foi totalmente pressionado contra a capa estampada e o cone da capa apresenta marcas de aquecimento acima do normal.

Esses dois pontos já definem que o anel foi utilizado até o final de vida, exigindo esforço de engate acima do normal para realizar a sincronização.

A marca no diâmetro externo do anel de alumínio foi provocada por material desprendido do conjunto, ao sofrer fratura (mostrado na figura 19C). Mesmo assim nota-se que os dentes de engate, da luva, não apresentam sinais de raspagem (figura 19D).

Na figura 20, temos outro conjunto, onde vemos vestígios de uso abusivo do sincronizador:

A) Sentido do escoamento do material.

B) Definição do sentido de rotação do lado fraturado.

C) Coloração escura indicando aquecimento elevado.

Essas características, sabendo-se o lado de montagem dos anéis, mostram que o motor (eixo piloto) estava com rotação menor que a do eixo principal, quando ocorreu a fratura, indicando redução brusca. Do mesmo modo mostra que o veículo era operado de maneira mais agressiva nas reduções.

Causa, procedimento e referencias

Anel de alumínio fraturado

Causa:

As fraturas analisadas nesta página foram causadas por uso indevido.

Procedimento:

Concessionária:

Negar a garantia. As peças devem ser devolvidas aos seus proprietários.

Referências:

Apresentação sobre uso de banguelas - Francisco P. Sanches

Sincronizadores tipo pino

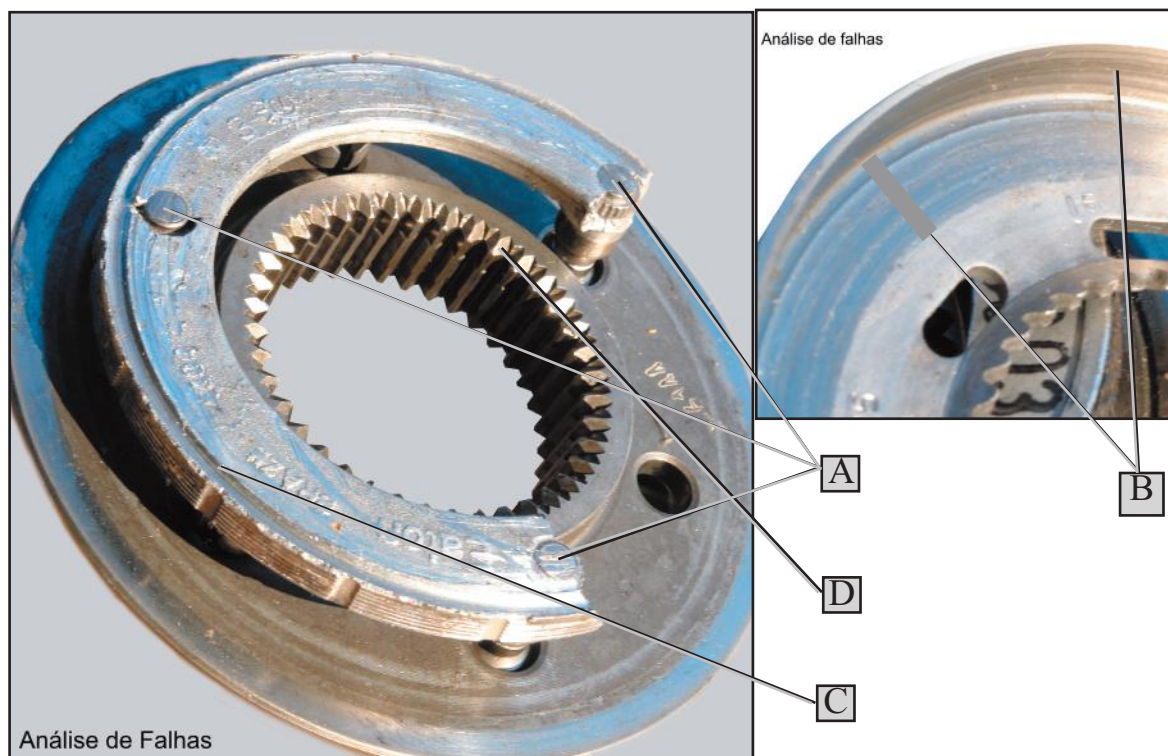


Figura 19

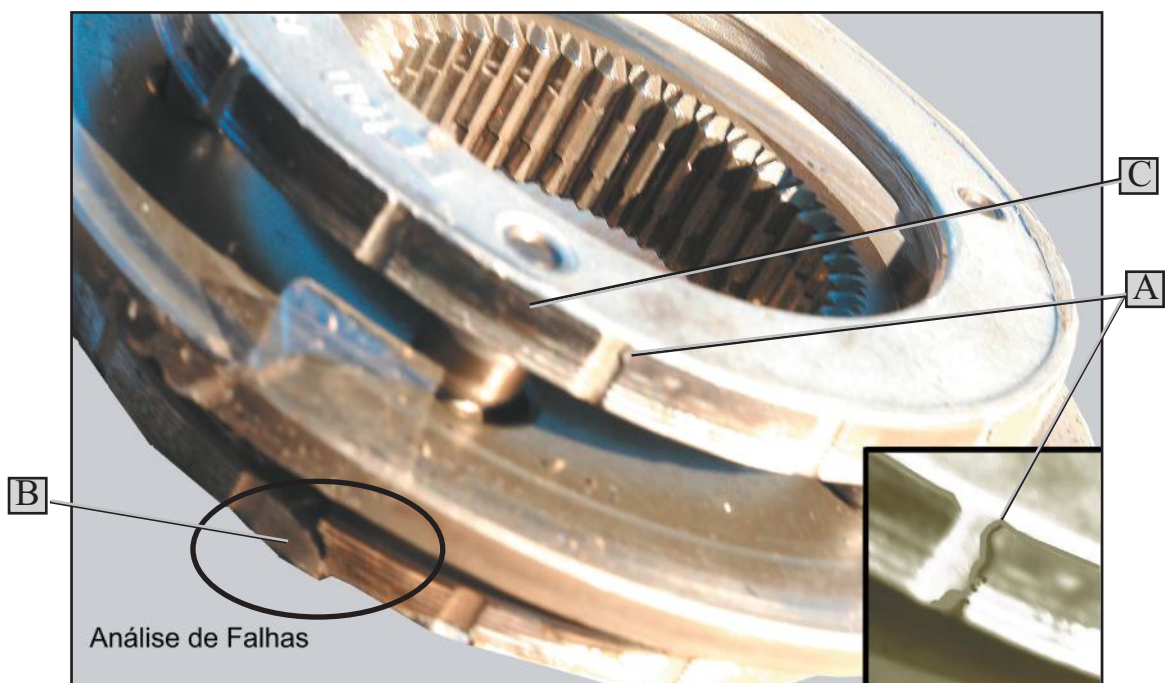


Figura 20

Sincronizadores tipo pino

Reprodução da falha por “banguela”

As figuras mostram o resultado de testes de aplicação de “banguela” em sincronizadores novos, sem uso.

Observa-se, na figura 21, a quebra de um dos anéis por ter sido submetido a esforços extremamente elevados presentes nesta prática. As setas indicam o sentido de rotação do anél em relação à capa estampada.

A figura 22 mostra marcas do anel de alumínio sobre a pista e exhibe partículas aderidas à sua superfície e marcas de aquecimento excessivo, suficiente para fundir o alumínio.

A figura 23 mostra o material de alumínio que se fundiu pela alta temperatura, fazendo com que a rosca do cone sincronizador desgastasse por completo, escoando e aderindo à parede oposta ao sentido de rotação do anel. Esse comportamento é característico. Note que a seta indica o sentido de escoamento, portanto, sentido contrário à rotação do anel com relação à capa estampada.

A figura 24 detalha o escoamento observado na figura 23.

Procedimento e referencias

Anel de alumínio fraturado

Causa:

As fraturas analisadas nesta página foram causadas por aplicação de pressão e velocidade relativa acima das suportadas pelo conjunto, em teste controlado, realizado pela área de Auditoria do Produto da Eaton, em Valinhos.

Os objetivos foram a comprovação de que os sincronizadores falham se operados de forma abusiva e a caracterização visual da falha.

Referências:

Condições do teste: vide Relatório A – 05 / 03, auditoria do produto.

Conclusões: vide anexo 1 ao relatório acima com considerações sobre as condições de lubrificação e comportamento da fita de carbono.



Figura 21 - Anel quebrado. A quebra do anel foi provocada por condições de esforços superiores às previstas no projeto do mesmo.



Figura 22
Marcas de aquecimento excessivo na capa

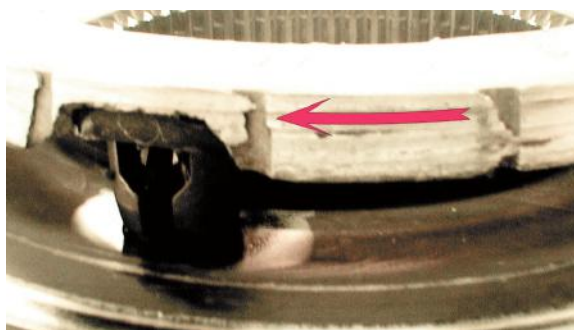


Figura 23
Alumínio fundido e escoado.

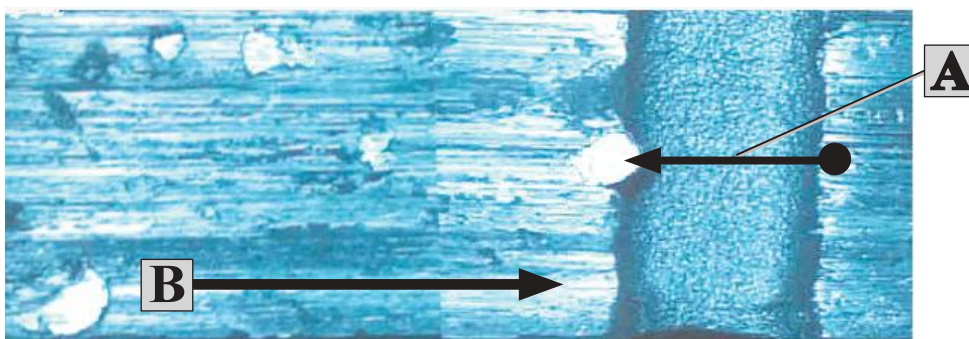


Figura 24
Sentido de rotação relativo com a capa.

O material depositado nos canais define o sentido de rotação do anel em relação à capa estampada, auxiliando na análise: Em 'A', deslocamento da partícula e em 'B', sentido de giro do anel.

Sincronizadores tipo pino

Durabilidade baixa

Características:

É essencial que existam marcas que evidenciem o final de vida do conjunto. Essas marcas estarão na face do anel de alumínio, em seus pontos em alto relevo (figura 25 - A e B) e denotadas por riscos circulares na capa estampada (figura 26 - A). A ausência dessas marcas podem indicar uma troca de componentes indevida. Observe que as marcas podem não estar tão evidentes como mostrado na foto, dependendo de existir ponto mais altos em maior ou menor grau, normalmente, a saliência na borda do anel de alumínio (Figura 25B) é a primeira, e as vezes, a única a tocar a capa estampada.

Uma vez certificado da existência desses vestígios, deve-se observar a trama da fita de EFMII (figura 27), preferencialmente com auxílio de lupa, e compara-la com os gabaritos da figura 28, onde temos:

- A - fita sem utilização
- B - fita com pouco uso
- C - fita com uso moderado
- D - fita completamente desgastada

Se a fita estiver como em D, o conjunto atingiu o final de vida. A maior ou menor quilometragem obtida pelo conjunto depende muito da maneira de dirigir, porém, podemos afirmar que a utilização foi normal em nada desabonando o motorista ou o comportamento do componente.

Se a fita estiver como em A, B ou C, então existe indício de que o anel ou a capa estampada estejam com problemas dimensionais.

Sincronizadores tipo pino

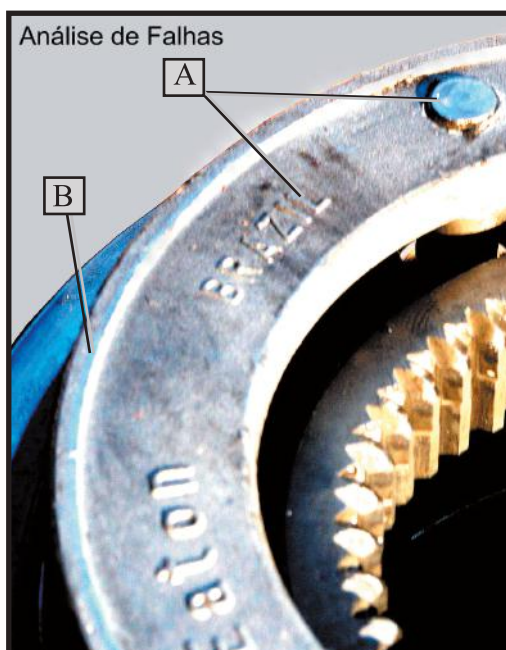


Figura 25 - marcas de contato no anel

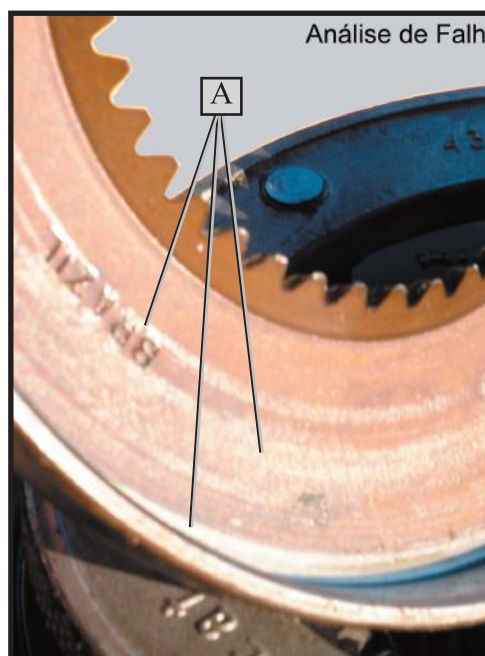


Figura 26 - marcas de contato na capa



Figura 27 - Fita em EFMII

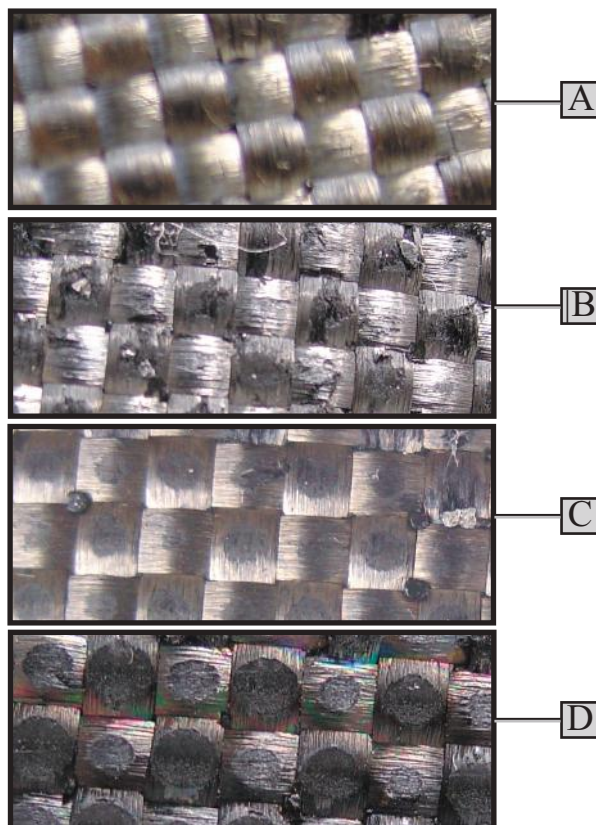


Figura 28 - Gabaritos de desgaste

Sincronizadores tipo pino

Baixa durabilidade

Nota: as fotos da página anterior foram repetidas nesta página para facilitar a análise.

Causa:

- A) Dimensional do ponto gage da capa / anel fora do especificado, ou
- B) Ressalto no fundo da capa, ou
- C) Capa com ovalização excessiva, ou
- D) Troca indevida do componente

Procedimento:

Concessionária e Analistas:

Verificar se existe evidências (marcas) de contato entre a face do anel e o fundo da capa estampada:

Não existe: improcede. Se tiverem sido substituídas considerar como troca indevida dos componentes.

Existe: verificar em qual padrão, da figura 4, melhor se aproxima o desgaste da fita:
Se como em A,B ou C: proceder a garantia, provavelmente a capa, o anel ou ambos, tem problemas dimensionais.

Se como em D: improceder por tempo de vida normal a utilização.

Observações:

Concessionária:

1) Além do conjunto sincronizador, a capa estampada deve ser apresentada. Se faltar um dos componentes, embora seja possível realizar a análise, o defeito poderá não ter sido sanado.

2) Caso os dentes de engate da engrenagem estejam danificados, substituí-los.

2) Se procedente, enviar peças para análise.

3) Se improcedente, devolver as peças ao proprietário.

Referências:

Sincronizadores tipo pino

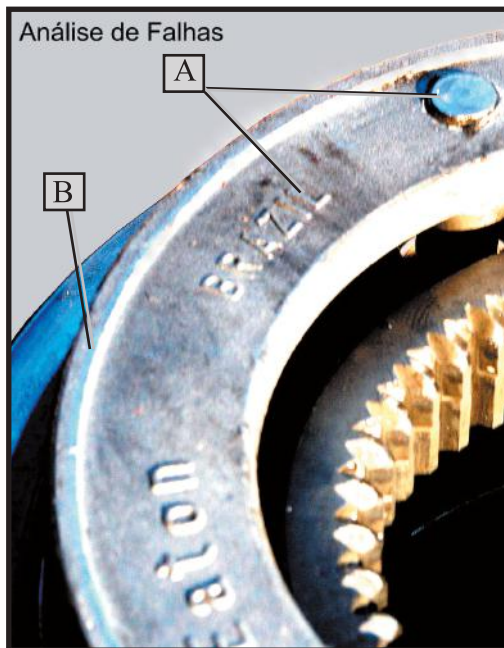


Figura 25 - marcas de contato no anel

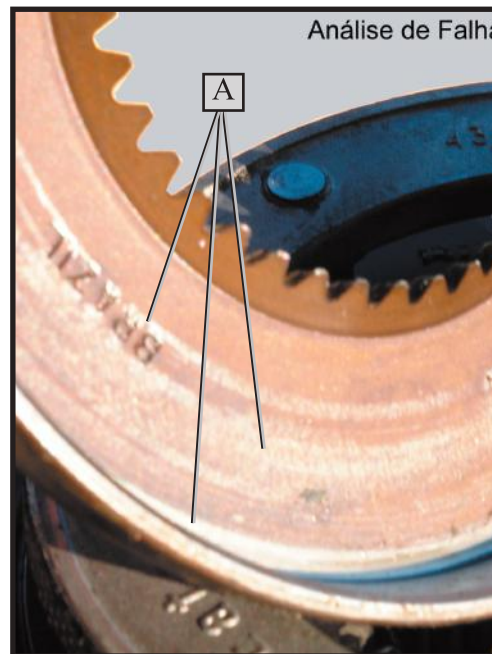


Figura 26 - marcas de contato na capa



Figura 27 - Fita em EFMII

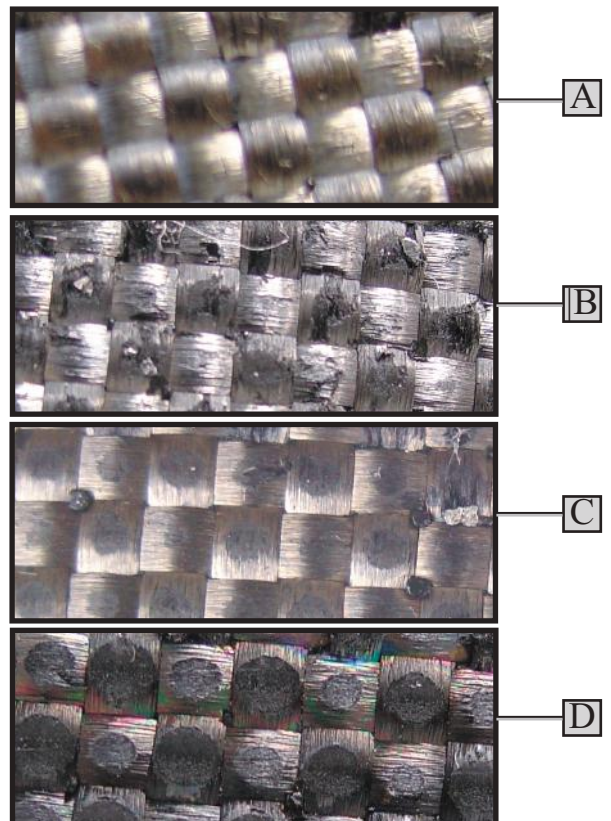


Figura 28 - Gabaritos de desgaste

Sincronizadores tipo pino

Separação dos anéis

Pode ocorrer a separação dos anéis sincronizadores. Esse tipo de falha normalmente leva a consequências de alto custo porque os pinos mola do conjunto caem no meio das engrenagens, causando a quebra dos dentes (figura 32).

Essa falha pode ocorrer por falta de manutenção, ignorando a necessidade de se substituir os sincronizadores quando os mesmos atingem o final da vida útil, no entanto, também é possível que essa falha ocorra por erro na fabricação do componente, ou por deficiência do material utilizado.

Neste tópico abordaremos duas possibilidades relativas à montagem dos componentes:

- A) Falha por deficiência na formação da cabeça do rebite (figura 33);
- B) Falha por deficiência na junção dos anéis sincronizadores (figura 34)



Figura 29, 30 e 31

Os anéis podem ou não partir-se durante esse tipo de falha. Os pinos mola e as molas correspondentes, normalmente, são encontrados no bujão magnético.

Sincronizadores tipo pino

Figura 32

Quebra dos dentes das engrenagens por corpos estranhos

Os pinos mola caem no meio das engrenagens, provocando a quebra dos dentes.

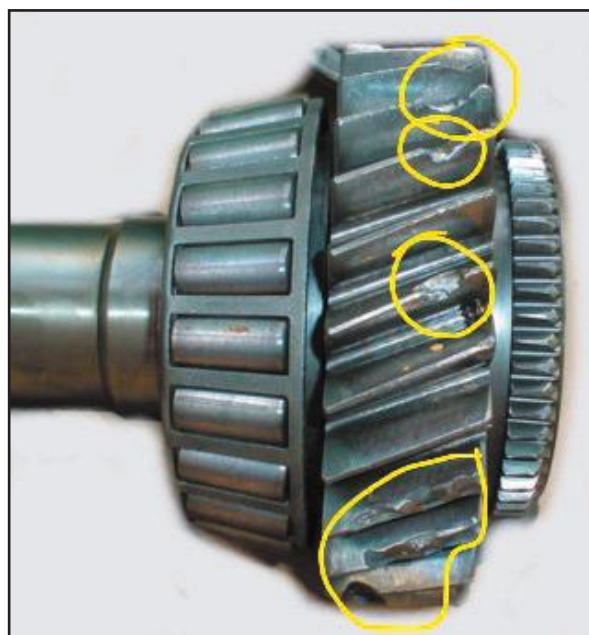


Figura 33 Má formação da cabeça do rebite

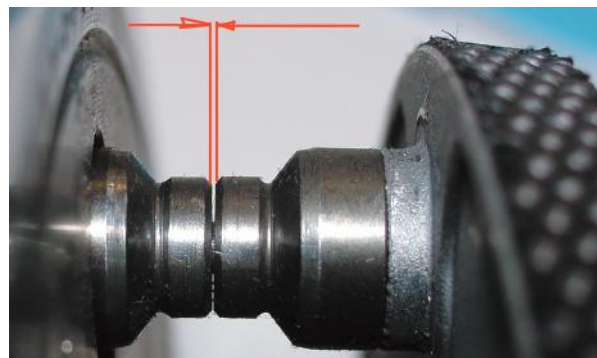
Se o rebite for menor do que o especificado ou se a operação de rebitagem não for feita de maneira adequada, a cabeça do mesmo não será formada, possibilitando a separação dos anéis durante a utilização da transmissão.



Figura 34

Má junção dos anéis sincronizadores

Folga entre os pinos de junção faz com que a inércia do anel oposto à marcha engatada provoque quebra por flexão alternada (fadiga).



Folga entre os pinos estruturais do conjunto permitem a ruptura dos rebites por fadiga, em função da inércia da peça do lado oposto ao engate.

Sincronizadores tipo pino

Rebitagem deficiente na formação da cabeça

Esse tipo de falha se caracteriza pela inexistência da protuberância em um dos lados do rebite, ou ao menos, uma protuberância insuficiente para manter o conjunto montado.

Ao se separar os anéis, os rebites não se partem ao meio, mas permanecem com o seu comprimento praticamente intacto (figura 35).

Os rebites que não se romperam podem fornecer a evidência que irá definir a causa da falha. Se a cabeça dos rebites não estiverem bem formadas, essa será, sem dúvida, a causa da falha (figura 36).

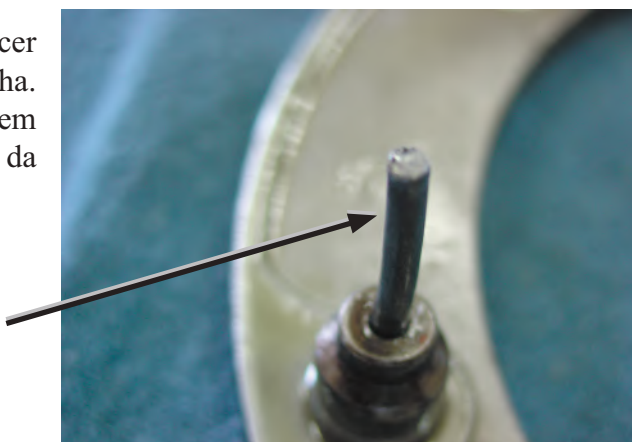


Figura 35

Quando a separação dos anéis ocorre por deficiência na formação da cabeça do rebite, o mesmo permanece praticamente do mesmo comprimento do original

Procedimento e referencias

Concessionária:

Proceder a garantia e encaminhar as peças para análise, juntamente com as peças que foram afetadas pela falha.

Analista:

Anotar o número de série do lote para rastreabilidade.

Referencias:

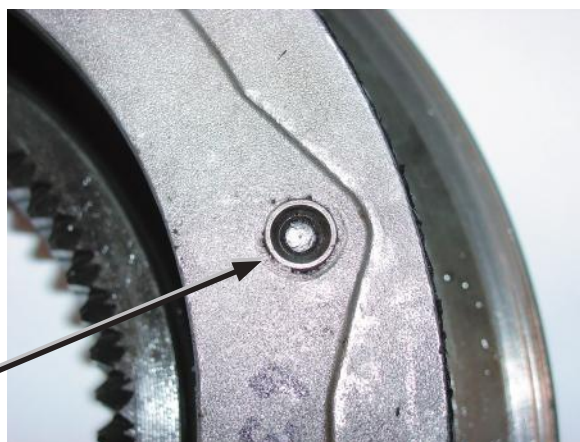


Figura 36

A formação da cabeça do rebite pode ser observada nos rebites remanescentes da falha

Rebitagem deficiente na junção dos anéis

Nesta falha as características principais são:

- A) Quebra do rebite no centro de seu comprimento;
- B) Quebra por fadiga em um componente;
- C) Quebra por tração nos demais componentes;

Existem ainda outras evidencias devidamente consideradas no relatório de referencia.

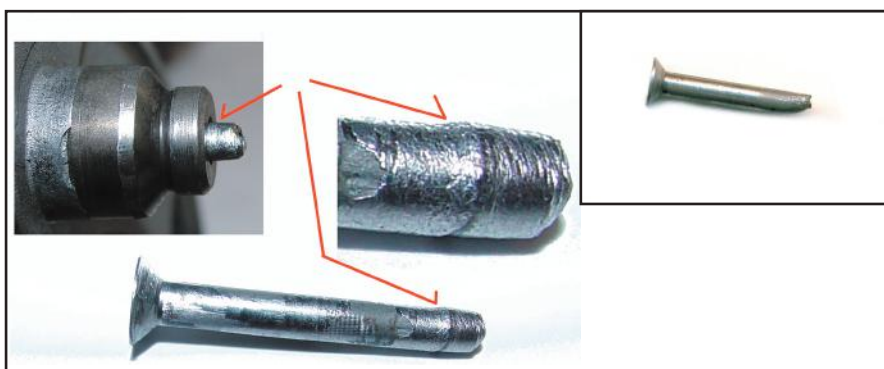


Figura 37

Características de falha de junção dos anéis:
Um rebite quebrado por fadiga (o primeiro a quebrar) e os demais por tração (alongamento).

Procedimento e referencias

Concessionária:

Proceder a garantia e encaminhar as peças para análise, juntamente com as peças que foram afetadas pela falha.

Analista:

Anotar o número de série do lote para rastreabilidade.

Referencias: