QUESTÃO DE DETALHE:
AS EMBREAGENS NO TRATOR E SEU CÁLCULO, UMA MARCHA DE QUALIDADE

Trator dividido para mudar o conjunto de embreagem.

Heliodoro Catalán Mogorrón
Dr. Eng. Agrónomo

Neste artigo o autor busca orientar ao leitor sobre as funções das embreagens nos tratores, seu processo de design e escolha. É interessante observar como o autor insiste no fato de que "o detalhe importa" e não são iguais uns e outros.

Para que serve e tipos

A embreagem é um mecanismo que intervém na linha de transmissão de energia de um eixo do motor para outro eixo acionado. A embreagem, como componente, é responsável pelo acoplamento (encaixe) e pelo desacoplamento (desencaixe) de dois eixos, dependendo das necessidades de cada momento. São, portanto, elementos de união temporária entre eixos.

Além disso, uma boa embreagem garante uma operação progressiva sem solavancos ao mesmo tempo em que consegue transmitir todo o torque recebido, ter uma longa vida útil, e dificilmente precisar de manutenção.

Em um trator é normal encontrar várias embreagens. A embreagem principal é a da transmissão. Aqui a embreagem recebe o torque que vem

do motor e o transmite para o eixo primário da caixa de câmbio. Outras embreagens que normalmente incorporam esse trator estão na linha de transmissão do movimento até a tomada de força, ou a tração dupla, ou em mudanças sob carga (powershift) do tipo Hi-Lo.

O design de uma embreagem é feito de forma condicionada, pois depende do serviço ao qual é dedicado. Por exemplo, na embreagem de transmissão, o seu design está condicionado à caixa de velocidades à qual presta serviço. Uma caixa convencional, com engrenagens sincronizadas, montará embreagens de fricção sejam secos ou úmidos, porém uma caixa powershift montará embreagens de fricção multi-lâminas úmidas e além disso, de forma habitual, o fará como dois conjuntos de embreagens, um que atua sobre velocidades 'pares' e outro nas 'impares'.

Engrenagem multiláminas TDF trator K1.

Tipos: Existem muitos tipos de embreagens, bem como múltiplas classificações possíveis, quer pelo seu método de operação (mecânico, hidráulico, elétrico...), pelo número de discos, disco único, bidisco ou multi-disco; se estão secas ou úmidas; ou por diferentes formas de transmissão de torque (atrito, força hidráulica ou eletromagnética).

Neste artigo, concentro-me apenas na análise de embreagens de atrito seco e úmido.

Embreagem de fricção

Devido à sua versatilidade, a embreagem de fricção é a mais utilizada. Nelas o torque é transmitido por fricção entre duas superfícies. A grande vantagem competitiva deste tipo de embreagem é que elas fazem o acoplamento ocorrer pro-

Outras embreagens: na verdade, o mundo não termina com a embreagem de 'fricção'. Outro tipo muito popular é chamado de arrasto. Nesse tipo de embreagens, o movimento de rotação entre os dois componentes é transmitido por elementos 'embutidos', de modo que não há atrito (por exemplo, a manga deslocável do bloqueio do diferencial) e eles são capazes de transmitir muito mais torque. Seria ideal combinar as vantagens de embreagens de atrito e embreagens de arrasto; se pode? De fato, você pode. Um exemplo está nos próprios sincronizadores da caixa de câmbio: o de atrito leva aos dois eixos à mesma velocidade de forma progressiva e depois o de arrastar os engancha.
Outro tipo comum no trator é o chamado centrífugo e que é o que normalmente é usado para conectar o compressor de equipamentos de ar condicionado.

Sincronizador desde su diseño hasta su labor funcional.

Conjunto embreagem monodisco seco.

gressivamente, pois entre os dois eixos, entrada e saída, ocorre um atrito por um tempo que termina quando as velocidades de rotação de ambos os eixos são equalizadas.

Mas nessa vantagem reside a sua própria desvantagem, uma vez que o atrito origina calor que, no final, significa perda de energia e desgaste. Outra desvantagem é o seu potencial de transmissão de torque 'limitado'.

Cálculos

Quero esclarecer que nem este artigo, e nem **AGRI**WORLD é o tipo de revista onde o leitor encontrará a repartição dos cálculos tediosos que são feitos para o design de uma embreagem. Minha contribuição nestas linhas é reduzida para explicar os cálculos simplificados e o procedimento de projeto que são realizados em uma engenharia de trator para a escolha de diferentes embreagens.

O fabricante do trator: O projetista do trator realiza um pré-dimensionamento da embreagem para escolhê-la a partir de um catálogo de um fornecedor líder de embreagens. Nesse estágio, o fornecedor é contatado para finalizar os detalhes e concluir o projeto da melhor embreagem possível.

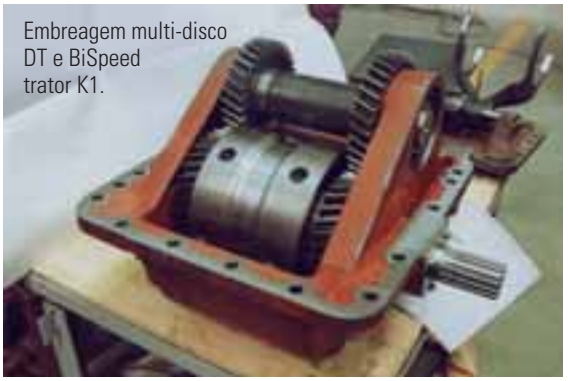
O pré-dimensionamento de uma embreagem é feito considerando critérios como transmissão de torque, energia capaz de dissipar, ergonomia no pedal (força necessária) e duração mínima para um dado uso.

Uma vez definidas as especificações iniciais e, a partir da mais ampla gama de embreagens existentes, é escolhida a que melhor se adapta ao desenvolvimento do trator. A partir daí há muito trabalho a ser feito pois ainda continua a análise e são feitos os componentes da embreagem que melhor se adequem ao trator e ao formato conhecido como 'Transmissão': diafragma, correias, arruelas para histerese, mola de amortecimento...

Primeiramente, os dados: Um projeto correto requer ter todos os dados necessários do trator e que se referem tanto ao motor quanto à transmissão e ao próprio veículo. O motor precisa conhecer dados como potência máxima, torque máximo e a velocidade com que eles ocorrem. Da transmissão é necessário conhecer as relações das diferentes caixas (velocidades, grupos, redutores…) assim como as do grupo cônico e as reduções finais (epicíclicas ou não). Em relação ao veículo, é importante conhecer os conjuntos de pneus e, fundamentalmente, o peso máximo autorizado. Eu destaco aqui um ponto sobre a importância do peso máximo autorizado (MMA) pois todos os dados devem ser calculados com base nestes dados. É por isso que eu insisto que os fabricantes devem fornecer o MMA para o cliente saber como os engenheiros calcularam não só as embreagens, mas também os freios.

Embreagem multi-disco seco da Ferrari F1.

Iniciando: Não é o mesmo para se calcular uma embreagem a conexão da dupla tração, ou aquela para a tomada de força que por uma mudança sob carga tipo Hi-Lo ou embreagem principal tipo de transmissão. Concentrando-se neste último, na transmissão de embreagem principal, o mais habitual é iniciar os cálculos simplificados a partir das dimensões dos forros do disco, já que uma embreagem de fricção é calculada pelo torque máximo a ser transmitida. Importante esclarecer que o torque que deve desenvolver a embreagem deve ser maior do que o que você deseja transmitir; se não for assim a embreagem patina (não chegam a se igualar as velocidades do eixo condutor e conduzido) e não se transmitirá o torque exigido.


Embreagem multi-disco DT e BiSpeed trator K1.

Princípios de ergonomia: Para calcular o torque máximo a ser transmitido é preciso saber que a força de ligação dos discos depende da 'força máxima pedal'. A força máxima ideal ajustada no pedal é de cerca de 100-150 N (F_{ped}).

A pressão necessária sobre a superfície de contato é conseguida na base da força que une os discos (placa de carga no disco Fdiaf ou força aplicada ao diafragma). Essa relação é o que origina a taxa de redução que deve ser obtida para atender ao critério de ergonomia

$$(i=F_{diaf}/F_{ped})$$

Por exemplo, se a força que o diafragma deve exercer é de 3.000 N e 150 N é escolhido como a força máxima no pedal, a taxa de redução a ser obtida é i = 3.000 / 150 = 20.

Existe uma relação de alavanca entre o diafragma e a placa que está perto de 4; isto é, se a F_{diaf} = 3000 N a força normal (F_n) na placa for $F_n = 4 \cdot 3000 = 12000$ N.

Também é necessário considerar e prever o comportamento da embreagem à medida que as horas de operação passam (o usual é projetar a embreagem com a hipótese de desgaste uniforme, já que dessa forma a embreagem é maior)

Além disso, falta um fator de segurança devido ao fato de que, durante a operação, sempre serão produzidos pontos de choque realmente desconhecidos. Esse fator de segurança K é determinado pela experiência; valores usuais estão entre 2 e 4.

Torque de fricção (T_{roz}): Uma vez obtida a força normal, o torque de fricção pode ser calculado. O torque que a embreagem tem que transmitir é o produto da força tangencial pela distância que, por sua vez, é uma função da força normal (pressão exercida pela placa e superfície do revestimento que é a superfície de contato e que é definida pela força tangencial). Diâmetros externos e internos do revestimento, R_e e R_i).

Todos os cálculos são feitos por elementos diferenciais que são posteriormente adicionados juntos (o que é conhecido como 'integrar'), embora isso tenha sido 'no passado', agora com o enorme potencial computacional de softwares e computadores especializados, os cálculos são feitos quase em geral com programas de simulação por elementos finitos) e que conhecer o uso inoportuno de fórmulas matemáticas complicadas seria algo como:

$$T_{roz}=\int_0^{2\pi}\int_{(R_i)}^{(R_e)} p\mu r^2\, dr d\theta$$

e que resolvendo chegaríamos a:

$$T_{roz}=\frac{4}{3}\, p\mu\pi\, \frac{R_e^3-R_i^3}{R_e^2-R_i^2}$$

e que relacionando com a Força normal:

$$T_{roz}=\frac{4}{3}\, \mu\, \frac{R_e^3-R_i^3}{R_e^2-R_i^2}\, F_n$$

e o que expressa é que o torque de fricção é diretamente proporcional ao coeficiente de atrito μ, à força que une os discos F_n e à superfície de contato. Para os rádios, são utilizadas mesas do fabricante onde tem sua oferta de discos de embreagem em tamanhos padronizados.

Dissipação de calor: Este é o próximo ponto importante e determinante no design da embreagem.

O atrito é gerado durante o período em que não é deslizante e tempo de engrenagem da embreagem (T_{emb}). Como será correspondentes velocidades de rotação, o binário de atrito é aumentado, e o deslizamento é diminuído.

O atrito gerado causa uma grande quantidade de calor na superfície de contato. É um calor que é absorvido ou transmitido ao ar ou ao óleo, mas não deve exceder a capacidade de calor da embreagem. A energia produzida naturalmente depende muito do modo de condução, assim como do trabalho que está sendo feito. Por exemplo para o trabalho de pá são os que originam mais estresse nas embreagens. Portanto, um bom design será aquele que leva em conta este trabalho.

O tempo de embreagem é calculado propondo-se equilíbrios de momentos de torção tanto no eixo de entrada quanto no eixo de saída. Em suma, aparece um trabalho de fricção que é transformado em calor e que é novamente uma integral que depende do torque de atrito, das velocidades angulares e do tempo de embreagem.

Com os dados do calor gerado e sua dissipação (Kcal / cm^2), o engenheiro pode prever e recomendar a frequência máxima de manobras por unidade de tempo que a embreagem pode fazer.

Os fabricantes de embreagens recomendam que uma embreagem seja escolhida com um torque de fricção maior, é claro, com o torque máximo a ser transmitido, mas não muito maior, por quê? Bem, porque quanto maior o torque de atrito, menor o tempo de embreagem, em outras palavras, quanto mais torque de fricção uma embreagem desenvolve, maior a embreagem. Mas o calor gerado se desenvolve em menos tempo e talvez isso signifique que sua evacuação é crítica e maiores as chances de danificar uma embreagem.

Duração: Para terminar com o pré-projeto, é necessário calcular a duração presumível dessa embreagem. Com esses dados, a espessura do revestimento é definida. Para o cálculo, é necessário conhecer o coeficiente de abrasão do revestimento e sua superfície. Agora é necessário aplicar a própria experiência para definir o número de acionamentos de embreagem em um trator cujas características foram projetadas. Dependendo da vida útil que você deseja, você recebe uma espessura ou outra.

Outros cálculos: O processo de cálculo de um conjunto de embreagem não ter-

De Disco: o material de atrito deve ser capaz de suportar altas temperaturas, mantendo suas propriedades; ser capaz de dissipar o calor facilmente; têm alta resistência ao desgaste e bom comportamento diante de mudanças atmosféricas, como umidade e temperatura.
Um disco orgânico se compõe de um tecido de fibras de cobre ou latão e poliamida. Os carbocerâmicos são a simbiose de carbono e cerâmica (são muito utilizados em multi-disco, característicos por ter uma conexão abrupta, mas capaz de transmitir muito torque). O Kevlar é a 'fibra da moda'. Os discos sinterizados (fabricado por compressão com pó de metais) são muito bons e 'caros'.

Multi-discos de carbono e cerametálicos.

mina aqui; existem outros cálculos, como as arruelas e as molas de amortecimento. Cálculos vibracionais também são feitos porque, especialmente em tratores 'modernos', o torque do motor vem crescendo ao mesmo tempo em que o tamanho dos motores e das rodas de inércia vem diminuindo. Este fato faz com que os tratores sofram de embreagens de 'tamanho pequeno' e muitas introduções de multilamina que são propensas à vibração.

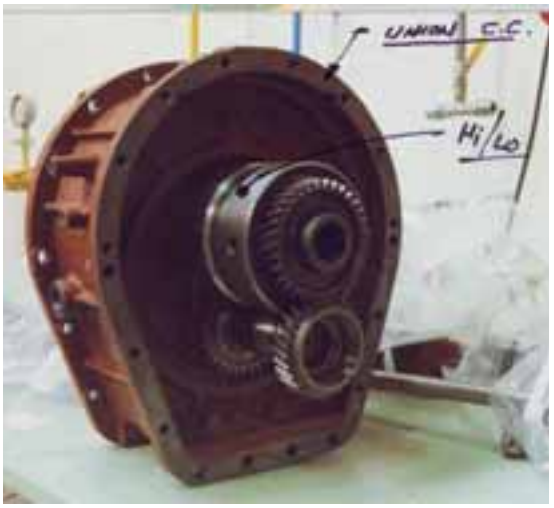
Multi-discos secos ou úmidos?

Quando uma embreagem de disco único não é capaz de transmitir todo o torque, ela usa várias embreagens de disco. A montagem usual é que os discos metálicos 'femininos' sejam colocados no mandril no eixo primário; intercalados ficam os discos 'masculinos' anexados ao volante. Um pistão move os discos para que os pares (placas) se juntem a eles. Quando você para de enviar óleo, as molas liberam o mecanismo.

Uma grande vantagem dos pacotes multi-disco é que eles são menores que o pacote dry convencional, já que podem ser colocados em vários pacotes de pares de discos. O torque de atrito de um disco múltiplo é a soma de todos os pares de discos e o processo de cálculo preliminar para sua escolha é semelhante ao já visto.

Pacotes de discos podem ir em 'seco' ou 'úmido' . Nos cabe fazer uma pergunta: por que seco ou úmido?

Discos de Kevlar em pacotes multi-discos.



Embreagens multi-discos de Hi-Lo Trator K1.

O coeficiente de atrito μ é bastante reduzido quando os materiais em contato são banhados em óleo, portanto deve haver algum motivo poderoso para escolher o 'úmido' em contraste com o 'seco'. Essa razão é que os pacotes úmidos dissipam o calor muito melhor. É verdade que eles têm a desvantagem do coeficiente de atrito, mas isso pode ser compensado pelo aumento da pressão.❑

Comparando: uma embreagem com grafite carbono em aço tem um coeficiente de atrito μ = 0,05, mas pode trabalhar a mais de 500 °C e com pressão máxima de até 2 100 kPa (21 kg / cm^2), enquanto em um material de fricção convencional em aço μ = 0,2, mas a sua temperatura máxima não excede 300 °C e a pressão não excede 700 kPa (7 kg / cm^2).

• BIBLIOGRAFÍA E WEBGRAFÍA

Ingeniería del automóvil. Comportamiento dinámico. Luque, Álvarez, Vera. Ed: Thomson

http://www.lukclutch.com

https://x-engineer.org/automotive-engineering/drivetrain/coupling-devices/calculate-torque-capacity-clutch/