

DIMENSIONAMENTO DE JUNTAS APARAFUSADAS E APLICAÇÃO DE TORQUE EM PEÇAS AUTOMOTIVAS

Theylor Moreira Barbosa¹

theylor-86@bol.com.br

Marcos Aurélio Carvalho³

marcos_carvalho.car@hotmail.com

João Paulo G. de Souza²

joapaulogsouza@gmail.com

Nilo A. de S. Sampaio⁴

nilo.samp@terra.com.br

Associação Educacional Dom Bosco (AEDB), Faculdade de Engenharia de Resende - Resende, RJ, Brasil.

RESUMO

Em todas as montadoras de veículos as operações de rosqueamento são as mais frequentes. Montagens, fixações e vedações utilizam algum tipo de junta como recurso insubstituível de projeto. Todos os tipos de juntas existentes em um veículo requerem extrema criticidade e atenção em seu projeto, pois falhas podem causar interrupções na sequência das linhas de montagem, devido à quebra de parafusos e falhas de equipamentos de aperto (devido ao mau dimensionamento da junta em relação ao equipamento). As consequências de um mau dimensionamento podem ser ainda piores se o desvio for passado para o produto e só descoberto pelo usuário final, podendo resultar em um acidente fatal. As juntas aparafusadas servem para fazer a montagem/união de dois ou mais componentes. Para fixar esses elementos, comumente diversos métodos de aperto são aplicados em diferentes ocasiões, levando-se em consideração algumas variáveis como custo/benefício, precisão desejada e o grau de controle e rastreabilidade necessários em cada caso em específico. Todas essas variáveis devem atingir o nível mínimo requerido de força de união entre esses elementos de fixação, assim garantido e atendendo as suas especificações e normas aplicadas.

Palavras-chave: Torque. Juntas aparafusadas. Elementos de fixação. Dimensionamento.

¹ Theylor Moreira Barbosa – Aluno da Faculdade de Engenharia de Resende – AEDB

² João Paulo G. de Souza - Aluno da Faculdade de Engenharia de Resende – AEDB

³ Marcos Aurélio Carvalho - Aluno da Faculdade de Engenharia de Resende – AEDB

⁴ Nilo A. de S. Sampaio (Professor da Faculdade de Engenharia de Resende – AEDB)

SIZING OF BOLTED JOINTS AND APPLICATION OF TORQUE IN AUTOMOTIVE PARTS

Theylor Moreira Barbosa

theylor-86@bol.com.br

Marcos Aurélio Carvalho

marcos_carvalho.car@hotmail.com

João Paulo G. de Souza

joaopaulogsouza@gmail.com

Nilo A. de S. Sampaio

nilo.samp@terra.com.br

Associação Educacional Dom Bosco (AEDB), Faculdade de Engenharia de Resende -
Resende, RJ, Brasil.

ABSTRACT

In all automakers tapping operations are the most frequent. Mounts, fixings and seals use some kind of joint project as an irreplaceable resource. All types of existing together in a vehicle require extreme criticality and attention to your project, since failures can cause interruptions in the sequence of assembly due to breakage of screws and clamping equipment failures (due to bad scaling of the joint relative equipment). The consequences of a bad design can be even worse if the deviation is passed to the product and only discovered by the end user and may result in a fatal accident. The bolted joints serve to mount/joining of two or more components. To establish these elements, commonly various tightening methods are applied in different occasions, taking into account variables such as cost/benefit desired precision and degree of control and traceability necessary in each specific case. All these variables must achieve the minimum required level of bond strength between these fasteners, so guaranteed and meeting their specifications and standards applied.

Key words : Torque. Bolted joints. Fasteners. Sizing.

1 INTRODUÇÃO

Juntas aparafusadas são muito aplicadas em junções mecânicas com o objetivo de unir e/ou fixar peças, é uma solução de projeto responsável por quase todos os sistemas que requerem uma posterior desmontagem. Uma junta é constituída de três elementos: o parafuso com rosca externa; a contra peça que é quem sofrerá toda resultante da força aplicada no momento do aperto e que não pode sofrer nenhuma deformação plástica; e por fim a porca

com rosca interna. A figura abaixo exemplifica os tipos de solicitações a que estão sujeitas as juntas aparafusadas.

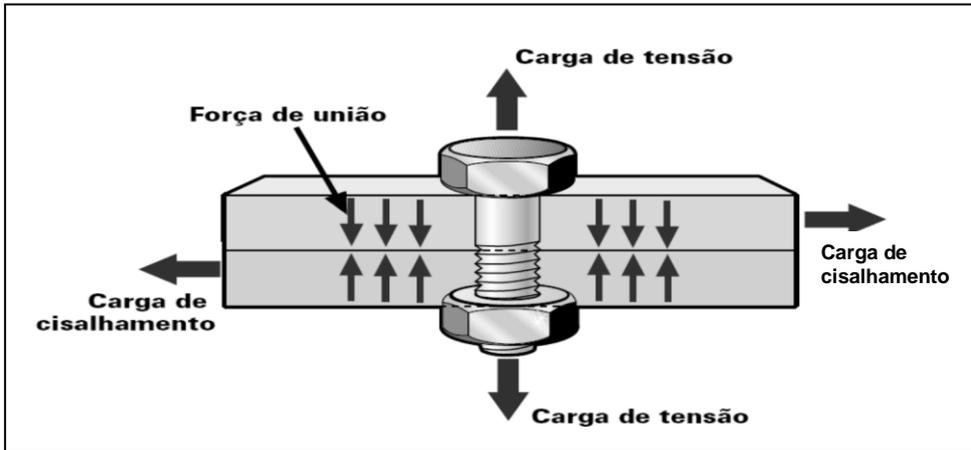


Figura 1: Representação das forças que atuam sobre uma junta aparafusada
Fonte: (GUIA..., 2003, p. 05)

A tensão no parafuso, quando apertado à extensão projetada, é conhecida como pré-tensão.

A força que une a junta corresponde à carga de tensão. Qualquer carga externa inferior à força de união não mudará a carga de tensão no parafuso. Porém, se as cargas externas aplicadas a junta forem mais altas do que a pré-tensão no parafuso, a junta irá separar-se, e a carga de tensão no parafuso irá aumentar naturalmente até que o parafuso quebre.

O parafuso também sofre uma torção que resulta do atrito entre as partes roscadas do parafuso e da porca.

As cargas de cisalhamento ocorrem quando uma força externa faz com que as partes da junta tendam a sofrer um deslizamento entre si e em ângulos exatos em relação à força de união. Uma junta bem projetada deve ser capaz de resistir a esse cisalhamento, causando resistência através do atrito entre os componentes. Caso não seja capaz, o parafuso também será exposto ao cisalhamento, podendo então ser deformado até que se quebre. Frequentemente, as juntas são projetadas para sofrer uma combinação de carga de tensão e cisalhamento.

Em 99% dos tipos de aperto a porca é o elemento que possui maior resistência mecânica, então pode dizer que quase não temos problemas com esse elemento. Já o parafuso, em geral, deve ser a parte mais fraca de uma junta, pois em uma junta é o elemento mais barato e mais fácil reposição.

Para todos os elementos existem critérios e normas para dimensionamento que devem

ser utilizadas ainda em fase de projetos e testes, para cada tipo de junta há uma particularidade, como classe de material e aplicação.

Quanto à criticidade em nível de segurança para o veículo e seus passageiros, não só a empresa é responsável pela garantia e rastreabilidade do aperto, mas sim a sua gerência, engenharia e os operadores envolvidos no processo, todos esses respondem as leis civil e penal caso haja algum tipo de acidente com o cliente final.

Além do dimensionamento dos componentes da junta a ser montada, cabe ao departamento de engenharia de produto a especificação do processo de aperto e parâmetros de controle e monitoração a serem utilizados, além de outras variáveis que possam influenciar na força de união, como velocidade de aperto, coeficiente de atrito (lubrificação se for o caso) e, inclusive, a temperatura ambiente e dos componentes da junta.

A manufatura deve definir seu processo com base nos parâmetros e valores definidos pela engenharia. É também de responsabilidade da manufatura fornecer e monitorar os equipamentos necessários, qualificar a mão de obra e definir planos de ação para possíveis falhas que possam interromper o processo, garantindo assim a produtividade e capacidade do processo.

Inspeções rotineiras e auditorias são de responsabilidade da qualidade, sempre tendo como foco a garantia do produto final, a segurança e satisfação do cliente.

Normalmente o critério adotado para especificar a tensão no parafuso é o torque de aperto que o mesmo sofrerá.

O torque, ou momento de alavanca pode ser medido dinamicamente, ou seja, quando o parafuso é apertado, ou estaticamente, verificando o torque com um torquímetro após o aperto.

As especificações de torque variam consideravelmente dependendo das demandas de qualidade. Em um carro existem certo elementos que necessitam de certo controle, essas são consideradas juntas de segurança e exigem requisitos de tolerância mais rígidos. Para que o nível de controle de qualidade seja alcançado é necessário acrescentar aos parâmetros de medição o ângulo de aperto, que pode ajudar na verificação de falta ou excesso de componentes de uma junta “arruelas”. Dessa mesma forma, pode-se verificar a qualidade do parafuso medindo-se o ângulo de aperto, antes do nível de encosto, bem como o aumento do torque final.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CONCEITOS DE TORQUE

O torque ou momento de alavanca é uma grandeza vetorial, segundo Halliday (2002), que, em *Fundamentos de Física 1 - Mecânica*, é definido a partir da componente perpendicular ao eixo de rotação da força aplicada sobre um objeto que é efetivamente utilizada para fazê-lo girar em torno de um eixo ou ponto central conhecido como ponto pivô ou ponto de rotação. A distância do ponto pivô ao ponto onde atua uma força 'F' é chamada de braço do momento e é denotada por 'r'. Note que esta distância 'r' é também um vetor.

Como θ é o ângulo entre o braço do momento e a força aplicada, pode dizer-se que o torque é a medida de quanto uma força age em um objeto fazendo com que o mesmo gire.

Então, uma força aplicada na extremidade do cabo de uma chave e perpendicular ao mesmo, faz com que um parafuso gire ao redor de um ponto de fixação. Sabido que torque é dado pelo vetorial entre r e F, sendo θ igual a 90° (então $\text{sen}(\theta)$ é igual a 1) e considerando que o braço da alavanca seja de comprimento r, temos:

$$|\tau| = |d| \cdot |F| \cdot \text{sen}(\theta) \quad (1) \quad \longrightarrow \quad |\tau| = |d| \cdot |F| \quad [\text{N.m}] \quad (2)$$

2.2 ESPECIFICAÇÕES DE PARAFUSOS E PORCAS

O objetivo de calcular uma junta aparafusada é dimensionar o parafuso e a porca utilizada na união de dois ou mais componentes, definindo o torque de fechamento aplicado ao mesmo, levando-se em consideração os tipos de aplicações e solicitações que a junta sofrerá e o tipo de material que compõe essa junta. Para que uma junta seja bem dimensionada os seguintes parâmetros devem ser conhecidos:

- O grau de cada parafuso e porca (o grau mostra se o elemento recebe ou não algum tipo de tratamento térmico);
- Definir o valor máximo das cargas externas ao qual a junta deverá resistir. Geralmente é utilizada a carga radial em relação ao eixo do parafuso;
- A classificação de dureza adotada é a Dureza Vickers (é um método de classificação da dureza dos materiais baseada num ensaio laboratorial).
- Determinar a força tensora ao qual o parafuso será exposto, sendo capaz de

suportar as cargas externas sem que ocorra qualquer deslizamento relativo entre as partes que compõe a junta (Conforme já temos alguns parafusos no mercado, método de identificação).

Além dos requisitos e parâmetros citados, outras propriedades também devem ser consideradas, pois têm valores (limites) bem definidos conforme a especificação ISO 898/1 (1999), tais como: Limite de Resistência à Tração (LRT); Limite de Escoamento (LE); Dureza Rockwell “HRB” (para parafusos não tratados termicamente e parafusos temperados e revenidos).

Conhecendo a classe de resistência do Parafuso e os seus fatores geométricos, é possível calcular a capacidade de geração de Força que se pode obter do mesmo.

$$LRT = \frac{\text{Força}}{\text{Área}} \quad (3)$$

Quando um parafuso é submetido ao aperto à força de união começa aumentar, o material do parafuso é tensionado. Após um curto tempo, sob a tensão da rosca, o material irá esticar na proporção da força. Em princípio, o alongamento continuará até que a tensão no parafuso seja igual à força de tensão à qual o parafuso irá quebrar. Entretanto, sabendo que o alongamento é proporcional à tensão, o parafuso recuperará seu comprimento original quando a carga for removida. Isso é conhecido como a área elástica.

Sob uma determinada tensão, ocorrerá à deformação do material do parafuso, mas o mesmo não quebrará imediatamente. O torque continuará a aumentar, porém a uma razão menor durante a deformação na área denominada área plástica.

Ao entrar na área plástica, o comprimento do parafuso será maior que o original, mas ainda não há estricção considerável.

Ao final da zona plástica, chegamos à máxima deformação permanente, pois o parafuso estará nas proximidades do seu Limite de Ruptura, condição inaceitável em qualquer processo de aperto. Para uma força de união muito precisa, por vezes esta é a área deliberadamente especificada para o processo de aperto. Se a região de deformação plástica for ultrapassada, ocorrerá a quebra.

Num processo de aperto, temos um esforço combinado, pois simultaneamente ocorrem esforço axial e torsional.

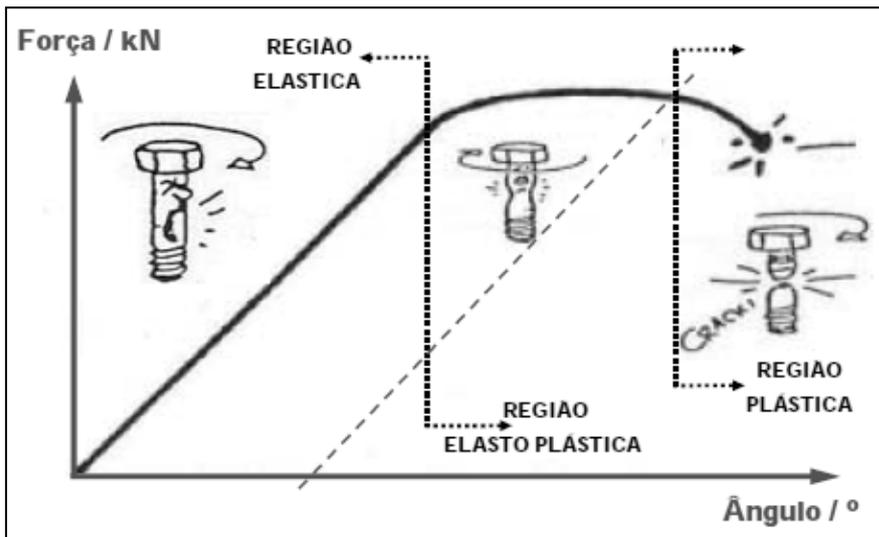


Figura 2: Gráfico Força (de união) em relação ao aperto (em ângulo) do parafuso
 Fonte: GARCIA (2011, p. 14)

2.3 APLICAÇÃO DO TORQUE

Aplicando o conceito de torque a juntas aparafusadas, temos que incluir um fator “K” devido aos diferentes tipos de materiais utilizados na fabricação dos elementos de fixação, aplicando agora esse fator a fórmula:

$$|\tau| = Ma = |d| \cdot |F| \cdot K \text{ [N.m]} \quad (4)$$

O Elemento de Fixação deverá gerar uma Força Tensora suficiente para atender às necessidades do projeto, isto é, atender aos parâmetros definidos por engenharia.

O controle do torque aplicado é de responsabilidade e controle da Manufatura, que deve equivaler à Força requerida em projeto.

O fator “K” é uma constante normalmente tabelada, mas que pode variar de acordo com o tipo material e tratamento, revestimento dos elementos, empeno do parafuso, rêsca deformada e/ou suja, atrito entre as peças, irregularidades dimensionais e etc.

EXPRESSÃO GERAL

$$M_A = F_V \cdot \left(\underbrace{0.159 \cdot p}_{M_{A_1}} + \underbrace{0.578 \cdot d_2 \cdot \mu_G}_{M_{A_2}} + \underbrace{\frac{D_{Km}}{2} \cdot \mu_K}_{M_{A_3}} \right)$$

PARTIÇÃO DA ENERGIA

$$M_{A_{Total}} = M_{A_1} + M_{A_2} + M_{A_3}$$

Trabalho Total = Trabalho Útil + Trabalho dissipado na Rosca + Trabalho dissipado na Cabeça

Figura 3: Aplicação do fator “K”
 Fonte: GARCIA (2011, p. 10)

MA = Momento de Aperto [N.m]

Fv = Força Tensora [kN]

d2 = Diâmetro Interno [mm]

P = Passo de Rosca

DKm = Diâmetro Médio da Superfície de Contato

μ_G = Coeficiente de Atrito da Rosca

μ_K = Coeficiente de Atrito da Cabeça do Parafuso

2.4 PROCESSO DE APERTO

Segundo Cioto (2001), o método de aperto influencia o dimensionamento necessário do parafuso porque, adicionalmente à força axial, o parafuso absorve torque (momento torçor). A maior influência, no entanto é aquela que provém da variação da pré-tensão (pré-carga), no caso de diferentes métodos de aparafusamentos.

A forma de aperto também exerce grande influência na qualidade da junta. Um aperto feito de forma manual tem comportamento totalmente diferente do aperto de uma ferramenta.

Assim, da mesma forma, diferentes tipos de ferramentas também exercem influência decisiva no resultado. Ferramentas como parafusadeiras e apertadeiras (com acionamento direto), cuja capacidade máxima é decidida pela potência do motor e relação das engrenagens. O momento em que a ferramenta não tem mais a capacidade de superar a resistência de giro do elemento (porca ou parafuso) definido como torque final. Algumas ferramentas já estão equipadas com um dispositivo que interrompe o aperto em torque pré-determinado.

Existem também outros tipos de ferramentas como chaves de impacto e apertadeiras

de impulso, onde a potência do motor é convertida em torque. Essas ferramentas podem gerar altos valores de torque, pensando no monitoramento esse tipo de equipamento não serve, pois não há como fazer a medição dinâmica. Então geralmente são utilizados em apertos onde não se requer grande precisão, ou seja, a faixa de tolerância é maior. Esse tipo de ferramenta também é muito utilizado em retrabalhos fora da linha montagem.

Tomando como parâmetros os equipamentos de aperto disponíveis no mercado hoje, tem-se que a capacidade para equipamentos pneumáticos está em $\pm 15\%$, para eletroeletrônicos ao redor de $\pm 5\%$ e equipamentos por impacto em torno de $\pm 35\%$, sendo esse último o de menor precisão e menor aplicação nos dias atuais.

2.5 FERRAMENTAS DE APERTO

O principal objetivo de se usar uma ferramenta para aperto de uma junta aparafusada é otimizar o processo, reduzindo o tempo de aperto. Para isso é necessário que a ferramenta utilizada apresente uma alta velocidade rotacional.

A maioria das ferramentas existentes é acionada por um motor, que fornece alta velocidade, que durante o processo de aperto do parafuso fornece alta velocidade (isso quando a resistência é baixa), conforme o torque aumenta a rotação do equipamento diminui.

2.5.1 Ferramentas de impacto

Como o próprio nome diz essa ferramenta atua por impacto, baseada no princípio de um martelo sendo usado para golpear uma chave de boca durante o aperto de uma porca/parafuso. Mas nesse caso trata-se de uma ferramenta pneumática, onde o martelo é a massa combinada do rotor com o mecanismo de impacto que envia sua energia cinética, uma ou duas vezes por rotação, para o conjunto bigorna-eixo-soquete, que representa a chave na comparação. Esse tipo de ferramenta consegue atingir altos valores de torque, porém a medição e o controle de torque são difíceis e imprecisos. Esses equipamentos são utilizados em desapertos, aplicações onde o grau de precisão é baixo e em retrabalhos.

2.5.2 Ferramentas de impulso

Equipamento de impulso hidráulico com características semelhantes à ferramenta de

impacto, alta velocidade e potência, com pouca força de reação. Dificuldades de monitoramento dinâmico do torque aplicado.

O torque é desenvolvido através de um colchão hidráulico, proporcionando um baixo nível de ruído, mínima vibração, e principalmente, boa precisão no aperto. Alcançado através do controle da pressão hidráulica no mecanismo de impulso que limita o torque aplicado, assim que o valor pré-estabelecido é alcançado.

2.5.3 Parafusadeiras

É utilizada em menores parafusos onde o torque de aperto requerido é baixo o suficiente para que a força de reação desenvolvida possa ser suportada pelo operador apenas segurando a ferramenta. Limitando assim a faixa de torque de aperto entre 4Nm e 12Nm, isso ainda dependendo do tipo de ferramenta, tipo de junta e posição de operação.

As parafusadeiras geralmente são equipadas com embreagens mecânicas (sistemas *shut-off*), com sistema deslizante, onde um engate armado a mola solta-se quando o torque pré-determinado é alcançado e re-engata assim que o gatilho é ativado.

Essa é uma solução relativamente barata que permite alguma possibilidade de acrescentar torque, compensar um relaxamento da junta e tem boa precisão.

2.5.4 Apertadeiras

Utilizada para uma faixa de torque acima da parafusadeira, a reação ao torque é alta, assim se faz necessário o uso de algum tipo de barra de reação. Trabalha com torques entre 10Nm a 150Nm.

Apertadeiras de acionamento direto são equipadas com sistema *shut-off*, com transdutores de torque incorporados e codificadores de ângulo, o processo de aperto pode ser controlado e os dados armazenados eletronicamente.

Assim se adequando para monitoramento contínuo de torque e ângulo de aperto, apresentando um alto nível de precisão.

2.5.5 Parafusadeiras e apertadeiras elétricas

Em linhas de montagem onde não há ar comprimido ou onde impurezas do ar de

exautão devem ser evitadas, utiliza-se as apertadeiras elétricas. Esse tipo de ferramenta também é preferido onde a exigência do nível de segurança, controle de junta e registros de qualidade são mais rigorosos. Os sistemas dessas ferramentas são altamente sofisticados e possibilitam o controle contínuo do processo de aperto pelo controle da corrente elétrica. O valor de investimento é alto.

2.5.6 Apertadeiras múltiplas

Quando em uma junta existe mais de um parafuso, eles podem ser apertados em conjunto com uma apertadeira múltipla. a mesma também é aplicada em casos onde a junta precisa que os parafusos sejam apertado simultaneamente ou em sequência, em geral, para minimizar as chances de erro do operador ao efetuar os apertos.

Geralmente os motores de apertadeiras múltiplas podem ser pneumáticos ou elétricos. O torque de reação é absorvido pelos outros parafusos da junta.

2.5.7 Ferramentas à bateria

Esse tipo de ferramenta é utilizado onde se exige uma flexibilidade maior, tendo como vantagem a liberdade de movimento ao longo da linha de montagem e operação dentro de compartimentos fechados sem interferência de mangueiras de ar ou o risco de cabos elétricos.

Estão disponíveis como parafusadeiras tipo pistola angular e parafusadeiras de impulso.

2.6 TIPOS DE TORQUE

2.6.1 Torque dinâmico

É o valor pico de Torque medido em tempo real em apertadeira (elétrica-eletrônica) com controle de torque durante a operação de aperto. Os valores de torque obtidos são registrados eletronicamente na apertadeira. Desta forma, o Torque Dinâmico não poderá ser checado após sua aplicação (apenas monitorado). Quando empregado em apertadeira sem controle de Torque, é conhecido como o ‘Torque de “Set-Up” da apertadeira.

2.6.2 Torque estático

É o valor de Torque medido em apertadeira sem controle de Torque. O “set-up” da apertadeira corresponde ao valor do Torque Dinâmico, e na sua ausência, geralmente, ao valor médio do Torque Estático. O Torque Estático também é aplicado como ‘Torque de Verificação’ quando da auditoria de torques. Neste caso, corresponde ao Torque de Aperto requerido para iniciar a quebra de uma fixação já efetuada. Outra denominação para o Torque Estático é “Torque Residual”.

2.6.3 Torque falso

É quando o equipamento aplica um torque especificado, sem gerar a respectiva força tensora. Isto normalmente acontece quando há um fator agravante, como por exemplo, rosca extremamente deformada, na qual pode ocorrer um pico de Torque (nominal).

2.7 ERROS EM APERTOS

O principal objetivo em si monitorar o torque de aperto é assegurar que a força de união tenha sido alcançada. Somente o torque de aperto aplicado à junta não é capaz de garantir em 100% que a força de união aplicada é a mesma que foi projetada para que a junta seja capaz de suportar as cargas externas. Existem diversas variáveis não controladas e erros capazes de resultar em uma pré-tensão inadequada no parafuso, apesar do torque de aperto estar correto.

2.7.1 Roscas danificadas

Um parafuso/porca com rosca danificada, rosca com corte insuficiente, falta de filetes ou até filetes com alturas diferentes das especificadas podem ocasionar uma resistência de giro maior ou menor, e que por consequência, o torque pré-determinado será alcançado antes da força de união correta ser alcançada ou nem mesmo será alcançado.

Um método de detectar esse tipo ocorrência é pelo monitoramento do ângulo de aperto.

2.7.2 Falta de componentes na junta

Esse é um problema comum e muito normal de se acontecer em linhas de montagem, pois se trata de uma operação humana, onde o operador pode esquecer uma arruela/guarnição ou até colocar um item a mais na montagem do elemento. Pensando no projeto todos os componentes de uma junta tem sua determinada função, então, a falta de um elemento ou o acréscimo de outro irá alterar o torque da junta e, conseqüentemente, também a força de união.

2.7.3 Relaxamento

Todos os tipos de juntas certo tempo após o aperto (menos de 30 milissegundos), isso quer dizer que no momento em que o aperto foi acabado à força de união na junta é maior do que após um curto espaço de tempo. Em juntas com arruelas (componente elástico), esse relaxamento pode ser considerável, normalmente para superar esse efeito o aperto é feito em dois estágios. O uso de ferramentas de impulso ou impacto pode ser uma solução prática, já que entre os pulsos ou impactos provenientes do próprio equipamento, permite o relaxamento da junta.

2.8 MÉTODOS DE MEDIÇÃO

2.8.1 Medição estática

A medição é feita logo após o processo de aperto ter sido concluído. É realizado manualmente com um torquímetro de escala que mede a carga sobre a mola ou até mesmo um instrumento ativado por um transdutor eletrônico.

O torquímetro de estalo deve ser pré-ajustado a um torque específico. Se o torque for maior que o valor de torque pré-estabelecido, o mesmo sofrerá um estalo. Se o torque for menor, é possível se chegar ao torque especificado em projeto com o próprio torquímetro de estalo. Já o aperto excessivo não pode ser detectado com esse equipamento.

O momento de leitura do torque estático se dá quando o próprio parafuso começar a girar, nesse instante deve ser feito a leitura da escala do torquímetro.

2.8.2 Medição dinâmica

As medições são feitas durante o próprio aperto, ou seja, o torque continuamente medido durante todo o ciclo de aperto.

Hoje esse é método preferido entre as montadoras automotivas, pois esse tipo de medição consegue mostrar o real desempenho da ferramenta sem a influência do relaxamento na junta e as possíveis variações de atrito. A medição dinâmica dispensa a verificação subsequente.

Um transdutor externo de torque é montado entre o eixo impulsor da ferramenta e o soquete da parafusadeira. Em alguns modelos de transdutor encontram-se um codificador de ângulo incorporado para o monitoramento de ângulo de aperto. O uso desse transdutor só é possível em ferramentas de transmissão de torque direto, ou seja, ferramentas de impacto ou pulsação não atendem a esse requisito.

Em linhas de produção, onde o monitoramento deve ser 100%, a apertadeira deve ter o transdutor interno, ou seja, já incorporado à ferramenta. O transdutor deve ser instalado o mais próximo possível do motor, por razões dimensionais.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base em todos os requisitos mostrados aqui podemos dizer que a maioria das falhas/defeitos em componentes relacionadas a juntas aparafusadas e interrupções de processo se deve ao fato de algum erro no momento de dimensionar essa junta, ou seja, ainda no momento de projeto. Sabendo então que um projeto não pode haver falhas, pois as consequências podem ser fatais, deve-se tomar total atenção em todas as etapas de projeto.

O principal objetivo aqui era definir todas as etapas para projeto de uma junta aparafusada e de forma simples explicar o processo de torque de aperto em linha de montagem de uma montadora automotiva.

Como esse trabalho ainda terá continuidade, o próximo passo será rastrear e mapear as possíveis interrupções de processo e quebras de qualidade em uma linha de montagem de caminhões e ônibus da empresa MAN (somente falhas e interrupções relacionadas a juntas). Sabendo que são inúmeras as paradas de linha por falhas de processo, que se devem as lacunas deixadas ainda em fase projeto.

Juntamente com a engenharia e o laboratório de análise de peças MAN tentaremos

comunizar algumas juntas, com o intuito de otimizar as operações e diminuir a variedade de equipamentos e ferramentas utilizados em linha de produção

O foco é melhorar o controle e monitoramento de torque e ângulo existente hoje em nossa planta, pensando sempre em garantir o aperto especificado em projeto e a rastreabilidade do mesmo. Para se conseguir esses resultados investimentos em novos equipamentos e ferramentas serão indispensáveis.

REFERÊNCIAS

CIOTO, R. **Comportamento das juntas rigidamente fixadas por parafusos, cálculo e dimensionamento**. Sorocaba: Metalac, 2001.

GARCIA, Roberto. Conceitos gerais sobre torque e processo de torque. **Revista do Parafuso**. (Disponível em: <<http://www.metaltork.com.br/>> Acessado em 11/05/2014).

GUIA de Bolso – **Tecnologia de Aperto**, 2003. (Disponível em: <<http://www.valona.com.br/Tecnologiadeperto.pdf>> Acessado em: 11/05/2014)

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. 6 ed. vol. 1, Rio de Janeiro: LTC, 2002.

ISO 898-1- **Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel - part 1: bolts, screws and studs**. (As propriedades mecânicas de parafusos de aço carbon e aço de liga- parte 1: rosca, parafusos e pregos – tradução própria).1999 (Disponível em: <<http://www.pretec.no/admin/common/getImg2.asp?Fileid=1747>> Acessado em 11/05/2014)

JUNIOR, Hermano Nascimento. **Estudo da relação torque x força tensora e do coeficiente de atrito em parafusos revestidos isentos de cromo hexavalente**. (Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia Mecânica). Belo Horizonte: PUC, 2003.

KÍTOR, Glauber Luciano. Torque ou momento de uma força. **Info Escola**. (Disponível em: <<http://www.infoescola.com/mecanica/torque-ou-momento-de-uma-forca/>> Acessado em 01/05/2014)

TORQUE. **Wikipédia**: a enciclopédia livre. (Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Torque>> Acessado em 01/05/2014).

VDI 2230 – **Systematic calculation of high duty bolted joints**. 2003.

VDI 2230, **Systematische berechnung Hochbeanspruchter Schraubenverbindungen Zylindrische Einscgraubenverbindungen**. 1983.