

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

DETERMINAÇÃO DA FALHA DE UM SISTEMA DE FIXAÇÃO DA RODA DIANTEIRA DO
CELTA

por

Cláudia Bagnara

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, novembro, 2010.



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

DETERMINAÇÃO DA FALHA DE UM SISTEMA DE FIXAÇÃO DA RODA DIANTEIRA DO
CELTA
por

Cláudia Bagnara

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Walter Jesus Paucar Casas
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Projeto e Fabricação**

Orientador: Prof. Juan Carlos Sandoval Ortiz

Comissão de Avaliação:

Prof. Cíntia Cristiane Petry Mazzaferro

Prof. Rodrigo Rossi

Porto Alegre, 26, novembro de 2010.

BAGNARA, C. Determinação da falha de um sistema de fixação da roda dianteira do Celta. 2010. 14f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

RESUMO

Devido ao crescimento do mercado automobilístico no país, evitar retrabalhos e reduzir custos torna-se extremamente importante para uma empresa ser cada vez mais competitiva no mercado. Este trabalho trata dois destes problemas: o alto índice de rejeições durante o aperto da porca autotravante no semi-eixo e o espanamento da rosca do parafuso da junta homocinética. O objetivo deste trabalho é reduzir os dois índices descritos.

Foram realizadas análises geométricas nas roscas da porca com o auxílio de um projetor de perfil e os valores obtidos foram comparados com valores normalizados. Foram realizados, ainda, ensaios em amostras da porca e do parafuso; realizou-se ensaio de dureza Vickers nas peças para verificar se estão dentro do especificado em projeto, metalografia para analisar sua estrutura e análise química quantitativa para verificar o material que compõe as peças. Através dos ensaios realizados, verificou-se que existem melhorias que podem ser realizadas no processo produtivo da rosca devido às diferenças encontradas na altura de filete com a norma e, também, uma melhoria no controle da produção dos semi-eixos, devido às altas variações encontradas nas medições.

PALAVRAS-CHAVE: semi-eixo, porca autotravante, aparafusamento.

BAGNARA, C. Failure Analysis of the Celta's Front Wheel Fixture System. 2010. 14f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ABSTRACT

Due to the growth of the automobile market in the country, avoiding rework and reducing costs is extremely important for a company to be increasingly competitive. This work deals with two of these problems: the high rate of rejections in the grip of the self-locking nut and the axle shaft, as well as the wear of the screw thread in the CV joint. The goal of this work is to reduce the two indices described.

Geometric analysis were performed on the threads of the nut with the aid of a profile projector and through the comparison between the values obtained the standard values. The Vickers hardness test was conducted on the parts to verify if they are within its specification in the project, metallographic to examine its structure and quantitative chemical analysis, to certify the material that composes the parts.

Through the tests, it was found that there are improvements that can be performed in the production process of the thread, due to differences in height with the standard fillet, and in the production control of semi-axes, due to high variations detected in the measurements.

KEYWORDS: semi-axis, self-locking nut, screwing

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	1
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	1
3.1 Uniões por Parafusos	2
3.2 Análise Geométrica da Rosca	2
3.3 Coeficiente de Atrito	3
3.4 Deformação e Coeficiente de Atrito.....	4
3.5 Cobertura de Fosfato	5
3.6 Dureza dos Materiais.....	5
4. METODOLOGIA.....	6
4.1. Tamanho das Amostras	7
4.2. Medição das Roscas	7
4.3. Ensaio de Microdureza.....	8
4.4. Análise Química.....	8
4.5. Análise Metalográfica	9
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	9
5.1. Análise Geométrica	9
5.2. Dureza das Peças	10
5.3. Análise Metalográfica	11
5.4. Análise Química.....	12
6. CONCLUSÃO.....	12
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13
APÊNDICES.....	14

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi realizado na planta de Gravataí da montadora GM (General Motors), que está completando 10 anos de operação no estado do Rio Grande do Sul, com mais de 1,5 milhões de carros produzidos e contando com aproximadamente 2,4 mil funcionários. A empresa conta com quatro etapas no seu processo produtivo: a estamparia, a funilaria, a pintura e a montagem geral. Este trabalho foi realizado na área de montagem geral.

Devido às facilidades oferecidas pelo governo brasileiro, o mercado automotivo está aquecido e as montadoras estão em busca de produtos de ótima qualidade para oferecerem a seus clientes, aliado a uma alta produtividade. Para que isso ocorra, é necessário otimizar o processo produtivo.

A finalidade deste trabalho é tratar o número de rejeições durante a fixação da porca autotravante no semi-eixo. Essas rejeições, na indústria automotiva, trazem muitos prejuízos, pois acarretam em retrabalhos. Outro ponto importante a ser citado é que, por vezes, há perda de semi-eixos durante o aparafusamento com a porca autotravante, ou seja, durante o aparafusamento, o correto era o espanamento da rosca da porca e isso está ocorrendo nos parafusos.

2. OBJETIVOS

Com o estudo realizado neste trabalho, espera-se obter um controle no processo produtivo de veículos automotores, tendo como finalidade a redução de rejeições do aperto da porca autotravante no semi-eixo, além de evitar a perda de semi-eixos pelo espanamento da rosca do parafuso, ação que deveria ocorrer na rosca da porca por ser o elemento de menor custo. Na indústria automotiva, grande parte das montagens dos componentes é realizada por rosqueamento, sendo de extrema importância o conhecimento dos parâmetros que os envolvem.

Atualmente, busca-se cada vez mais produzir automóveis com alta qualidade e baixo custo. Dessa forma, este trabalho visa a melhorar o processo produtivo através da redução dos custos com semi-eixos (cada unidade de semi-eixo com rosca espanada representa uma perda de aproximadamente R\$ 900,00) e das pequenas paradas produzidas pelas rejeições das porcas autotravantes.



Figura 2.1 – Perfil do parafuso M20x1,5 com a rosca espanada

No presente trabalho, as porcas analisadas são de material aço SAE 1045 e o material do parafuso é SAE 1050, dados obtidos através do projeto das peças.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica tem como objetivo demonstrar os conceitos de aparafusamento e, também, os conceitos utilizados na metodologia do presente trabalho.

3.1 Uniões por Parafusos

Existem diversos métodos, permanentes ou semipermanentes, para unir peças através de solda, rebites e parafusos. Os parafusos são muito utilizados em uniões não permanentes de dois ou mais elementos mecânicos.

Os parafusos são divididos em duas aplicações: parafusos de potência e parafusos de fixação. No primeiro, os parafusos são utilizados para mover cargas; no segundo, para manter as peças unidas, podendo ser arranjados para resistir a cargas de tração, de cisalhamento, ou a ambas.

Os parafusos e as porcas normalmente são produzidos utilizando-se o modelo roscas-padrão. Os padrões que definem as dimensões, segundo Shigley e Mischke [2005], são:

Passo: é a distância entre formas adjacentes de roscas medidas paralelamente ao eixo da rosca;

Diâmetro maior: é o diâmetro de uma rosca de parafuso; e

Diâmetro menor: é o menor diâmetro de uma rosca de parafuso.

Na figura 3.1, pode ser verificado um perfil de rosca métrica mostrando as principais dimensões.

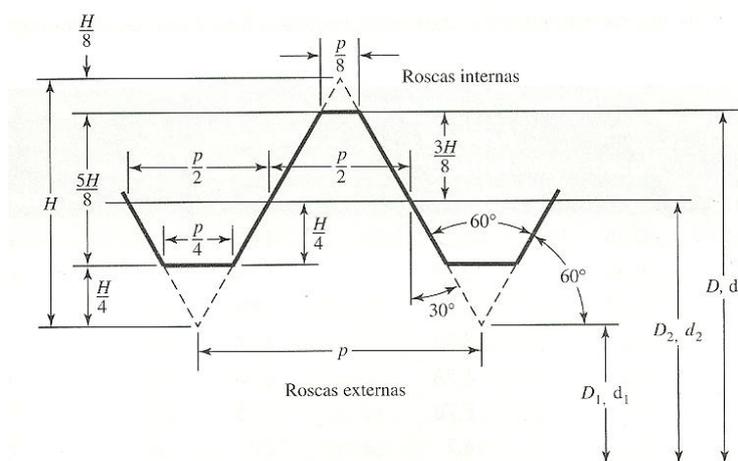


Figura 3.1 – Perfil de rosca métrica M e MJ [fonte: Shigley e Mischke, 2005]

A denominação das roscas segue a seguinte especificação:

$$Mdxp$$

Onde:

M: significa que é uma rosca métrica;

d: significa o diâmetro nominal (mm); e

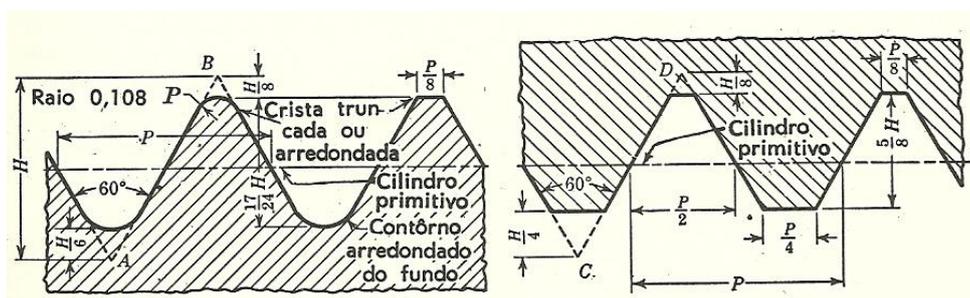
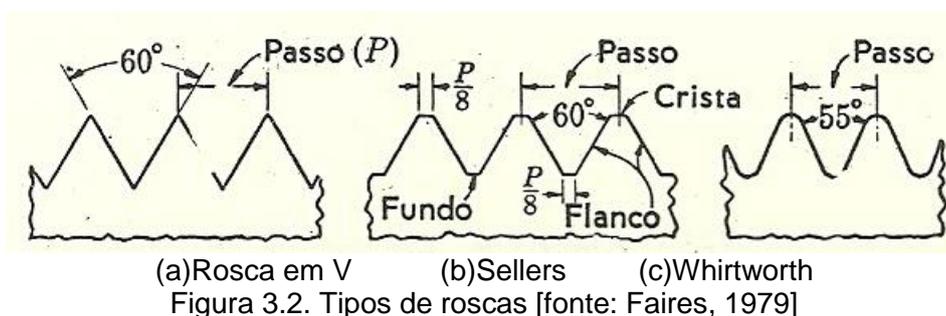
p: significa o passo da rosca (mm).

3.2 Análise Geométrica da Rosca

As roscas citadas anteriormente seguem os valores de dimensões e especificações estabelecidos por normas como ISO, DIN e NBR. Neste trabalho, será estudada a rosca de norma ISO. Através dessas normas, pode-se identificar os valores de passo, altura de filete, diâmetro menor, diâmetro maior, entre outras especificações.

Existem diversos tipos de roscas. Segundo Faires [1979], elas podem ser classificadas como: Rosca V, que possui suas cristas agudas, as quais são indesejáveis, pois a pouca espessura de material a torna extremamente frágil. Igualmente, a concentração de tensões na

raiz do filete é grande; Rosca Sellers, que apresenta crista e fundo truncados, removendo, assim, o ponto fraco próprio da rosca triangular; a Rosca Whitworth, que apresenta crista e fundo arredondados; e a Rosca do Sistema Unificado Internacional, que apresenta o ângulo de filete igual a 60° . Esse padrão, chamado de padrão americano, tem a vantagem de apresentar o fundo arredondado nas roscas externas, mas o vértice pode ser truncado ou arredondado; a rosca interna, entretanto, tem crista e fundo truncados. Nas figuras 3.2 e 3.3 pode ser verificado o que foi citado acima, como as formas de roscas e as diferenças entre roscas internas e roscas externas.



3.3 Coeficiente de Atrito

O coeficiente de atrito, uma grandeza adimensional, é a relação entre a força oposta e a força aplicada em uma superfície quando dois corpos estão em contato. O coeficiente de atrito é representado pela equação abaixo:

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (3.1)$$

Onde μ é o coeficiente de atrito, F é a força tangencial e N é a força normal.

O coeficiente de atrito depende de diversos parâmetros. Dentre eles podemos citar o tipo de acabamento superficial, a velocidade relativa entre as superfícies, a temperatura, a rugosidade e o tipo de lubrificante. A interpretação do coeficiente de atrito é realizada em dois valores, o coeficiente de atrito estático e o dinâmico.

- Coeficiente de atrito estático (μ_e), que é medido quando as partes estão em repouso.
- Coeficiente de atrito dinâmico (μ_d), que é medido quando as partes estão em movimento (pode ser apenas uma ou ambas em movimento).

Segundo Cazaud [1957], “o coeficiente de atrito em parafusos é praticamente independente da carga axial; suas variações, devidas à velocidade, podem ser desprezadas; (...) ele decresce um pouco para lubrificantes mais densos; apresenta pequenas variações para

diferentes combinações de materiais comerciais (...); e as equações teóricas proporcionam uma boa previsão das condições reais”.

Segundo Shigley e Mischke [2005], a porca, durante a fixação, tende a receber a carga total, porém há escoamento e algum enrijecimento devido ao trabalho a frio. Além disso, a carga decorrente da fixação é dividida sobre as três primeiras rosas da porca.

3.4 Deformação e Coeficiente de Atrito

Os pontos perigosos nas uniões entre porca e parafuso experimentadas e citadas por Cazaud [1957] são os seguintes pontos de concentração de esforços:

- 1º Nos filetes do parafuso, na superfície da porca.
- 2º No corpo do parafuso, no começo da rosca.
- 3º Na união da cabeça do parafuso com o corpo do mesmo.

Ainda de acordo com Cazaud [1957], 65% das quebras por fadiga ocorrem no primeiro filete que trabalha.

Através do que foi mostrado acima e da bibliografia utilizada, pode-se afirmar que as deformações ocorrem entre os três primeiros filetes da rosca.

O coeficiente de atrito pode ser separado de duas maneiras: a primeira é através de coeficiente de atrito na cabeça do parafuso, representado por μ_k ; a segunda, através do coeficiente de atrito na rosca, representado por μ_G [Norma DIN 946].

Através da norma DIN 946, podem ser verificadas as equações para os coeficientes de atrito acima citados. São elas:

$$\mu_G = \frac{\frac{M_G}{F_V} - 0,159P}{0,578d_2} \quad (3.2)$$

Onde:

M_G : componente do torque que age sobre a rosca

F_V : carga aplicada para teste

P : passo da rosca

d_2 : diâmetro do passo do parafuso

$$\mu_K = \frac{2M_K}{D_{Km}F_V} \quad (3.3)$$

Onde:

M_K : torque decorrente da fricção agindo na face de contato da cabeça do parafuso

D_{Km} : diâmetro médio da face de contato da cabeça do parafuso

A relação entre o torque aplicado e a força de união pode ser definida através da equação 3.4

$$T = M_a = F_V dK \quad (3.4)$$

Onde:

T : Torque

F_V : força tensora

d : diâmetro do fixador

K : fator atuante

O fator K , também chamado de fator de torque, depende de diversos fatores, resultando principalmente do atrito das peças envolvidas na junta, das irregularidades dimensionais e do empenamento do parafuso. O fator K pode ser obtido através da equação 3.5.

$$K = (0,16P + 0,578d_2\mu_G + \frac{D_{Km}}{2}\mu_K) \quad (3.5)$$

Ainda por meio da norma DIN 946 pode ser obtida a expressão geral do torque de aperto, sendo fatores atuantes, levados em consideração neste caso, os coeficientes de atrito da rosca e da cabeça do parafuso. Assim, a equação pode ser expressa por:

$$M_A = F_V(0,159P + 0,578d_2\mu_G + \frac{D_{Km}}{2}\mu_K) \quad (3.6)$$

3.5 Cobertura de Fosfato

Fosfatização é o processo utilizado para proteger superficialmente os metais: recobrem-se as peças metálicas com fosfatos de zinco, ferro, cromo e manganês. Os fosfatos, devido à baixa solubilidade em água, depositam-se na superfície metálica em contato com as soluções na forma de finas camadas de cristal. As vantagens de se realizar esse tipo de procedimento são:

- Baixo custo de aplicação;
- Excelente resistência à corrosão;
- Boa afinidade para óleos e tintas, aumentando a aderência; e
- Manutenção das propriedades mecânicas e magnéticas das peças.

Devido às vantagens acima descritas, a cobertura de fosfato torna-se um item importante em peças metálicas, uma vez que tem a função de reter o óleo e controlar, assim, o coeficiente de atrito, além de manter as propriedades mecânicas e magnéticas das peças [Muniz, 2007].

3.6 Dureza dos Materiais

Segundo Shigley e Mischke [2005], “a resistência de um material à penetração por uma ferramenta pontiaguda é denominada dureza”. A dureza dos metais pode ser medida através de três escala diferentes: Brinell, Rockwell e Vickers. A escala Brinell é um teste que consiste em um penetrador de forma esférica feita de carbeto de tungstênio com diâmetro de 10mm, no qual se aplica uma carga variando entre 500kgf e 3000kgf. A escala Rockwell é designada em A, B, C, etc. Neste ensaio, usa-se uma ponta de diamante em forma de cone com ângulo de 120°, utilizada em materiais de elevada dureza ou esferas fabricadas em aço de elevada dureza, com diâmetros de $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2}$ polegadas. A escala Rockwell A, designada como R_A , utiliza uma carga de 60kg e o penetrador é um cone de diamante. A escala Rockwell B, R_B , utiliza uma carga de 100kg e esfera de diâmetro $\frac{1}{16}$ polegadas. A escala Rockwell C, R_C , utiliza o cone de diamante com uma carga de 150kg. A escala Vickers faz uso de uma pirâmide de diamante de base quadrada com ângulo de 136° entre as faces opostas, que imprime a marca e mede a largura da impressão com auxílio de um microscópio.

Para a realização dos ensaios de microdureza, segundo Norton [2004], é necessário o uso de uma pequena carga sobre um diamante marcador, que consegue fornecer um perfil de microdureza através da profundidade ao longo da seção da amostra.

4. METODOLOGIA

A fixação da porca autotravante no semi-eixo ocorre após o acoplamento do motor na carroceria do veículo. Posteriormente, ocorre a fixação da porca no semi-eixo. Essa fixação ocorre por meio de uma apertadeira elétrica, com a sequência de aperto definida inicialmente por uma carga de 30Nm para verificação do *stover* da porca. Após isso, é aplicada uma carga de 100Nm, retornando 90°, aplicando um ângulo de 60° na porca com o parafuso para finalizar a fixação, que deve ficar com um torque final entre 200Nm a 420Nm. A fixação ocorre conforme pode ser demonstrado na figura 4.1.

As roscas das peças são M20x1,5, com material SAE 1045 para a porca e SAE 1050 para o parafuso. A porca tem como dimensões principais uma altura de filete de 0,84mm e um ângulo de 30°.

Quanto às especificações de dureza das peças, a porca possui valores que podem variar entre 21,3 a 26,4HRc e o parafuso tem a dureza de 27,1HRc.

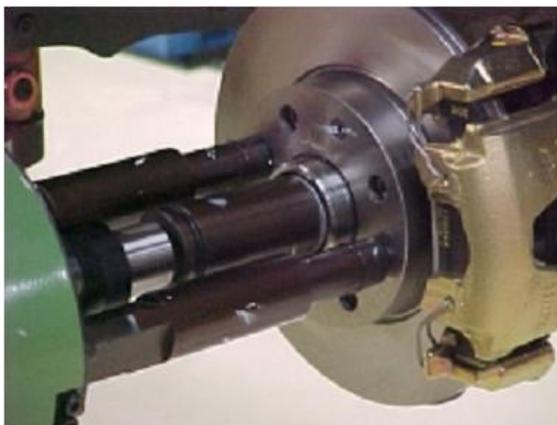


Figura 4.1 – Fixação da porca autotravante no semi-eixo

As peças analisadas neste processo podem ser demonstradas na figura 4.2. Mostra-se aqui a porca autotravante e a junta homocinética.



(a) Porca Autotravante



(b) Junta Homocinética

Figura 4.2 – Foto da porca autotravante e da junta homocinética

Para que se tenha um melhor controle do processo produtivo, devem ser estudados diversos fatores que influenciam este processo para que um controle seja realizado.

4.1. Tamanho das Amostras

Para a realização do trabalho, foram separadas cinco peças de um lote de 3000 unidades. Este número de amostras é representativo na realização deste trabalho, pois é o estudo de um controle produtivo. Este trabalho é uma representação de como deve ser realizado o procedimento de controle da qualidade. Na figura 4.3 pode ser verificada uma esquematização de como deve ser realizado o controle deste processo produtivo.

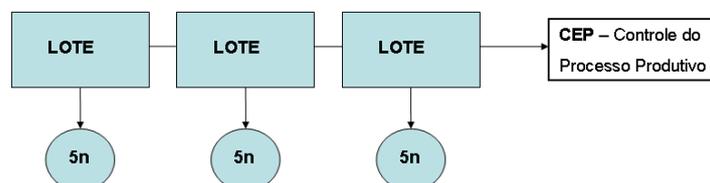


Figura 4.3 – Controle do Processo Produtivo

Neste trabalho foi realizada a análise em um dos lotes mostrados na figura acima, ou seja, de um lote foram retiradas cinco amostras para a realização dos ensaios. Este trabalho mostra que é necessário realizar um controle contínuo de acompanhamento das peças em cada lote para que o problema em questão possa ser identificado e resolvido antes de entrar no processo produtivo, ou seja, seria um método de controle da falha antes de chegar à linha de produção.

4.2. Medição das Roscas

Para que se tenha o controle do processo produtivo, inicialmente devem ser analisados os valores de altura de filete, ângulo e passo das roscas para se certificar de que elas estão dentro do especificado.

Para obter esses valores, foram realizadas medições de altura de filete, ângulo e passo em cinco amostras de porcas. Essas medições foram realizadas com o auxílio de um projetor de perfil, que tem capacidade de ampliar em até 10 vezes a imagem. Na figura 4.4 pode ser observada uma ilustração do equipamento.



Figura 4.4 – Projetor de Perfil

Os valores especificados para a rosca são obtidos através de valores normalizados. As especificações das roscas das peças utilizadas neste trabalho foram obtidas através da norma da rosca métrica, a ISO 965 parte 2.

4.3. Ensaio de Microdureza

Os ensaios foram realizados com o microdurômetro nas porcas e nos parafusos. Os ensaios foram realizados em uma máquina de medir dureza da fabricante Mitutoyo, modelo MVK-H2, com um paquímetro digital da fabricante Mitutoyo e com um termo-higrômetro da fabricante Minipa.

As condições do ambiente apresentavam uma temperatura de 21,0°C e uma umidade relativa de 51%. A força aplicada foi de 300g, com um tempo de descida de 20 segundos. O penetrador era na forma de uma pirâmide quadrada de 136°, com as diagonais de 45,30µm e 43,87µm, e as identações foram realizadas a 0,1mm da crista do filete da rosca. Na figura 4.5, pode-se ver a ilustração de um microdurômetro, aparelho empregado no ensaio.



Figura 4.5 – Microdurômetro

As amostras foram primeiramente preparadas para a realização do ensaio. A preparação das amostras foi realizada através de um embutimento e, após isso, elas foram lixadas de maneira que ficassem sem empenamento, evitando assim problemas externos que pudessem modificar os resultados.

4.4. Análise Química

A análise química tem como principal objetivo identificar qual a composição superficial das peças.

A análise química deste trabalho foi realizada em um ambiente controlado, com uma temperatura de 25,2°C e uma umidade relativa de 41%. O ensaio foi realizado em um espectrográfico da marca Spectro LAVFA 189, calibrado de acordo com a norma DIN ISO 10012.1.

Na figura 4.6, pode-se verificar a ilustração do ensaio de análise química sendo realizada no parafuso.



Figura 4.6 – Realização do ensaio de análise química em amostra do parafuso

4.5. Análise Metalográfica

Foi realizada uma análise metalográfica nas amostras, após realizados os procedimentos de embutimento das peças, o lixamento e polimento das mesmas. Após todos esses procedimentos, foi realizado um ataque químico com NITAL 2% para que fosse revelada a sua microestrutura. Após a realização destes procedimentos, as amostras foram colocadas em microscópio para analisar as suas estruturas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, foram verificados os resultados obtidos através dos ensaios realizados. Os ensaios que trouxeram os resultados foram os da análise geométrica das roscas das porcas, o da análise química das porcas e parafusos, o da dureza das porcas e parafusos e o da análise metalográfica.

5.1. Análise Geométrica

Após a separação das cinco porcas, com o auxílio do projetor de perfil foram realizadas as medições. Com a obtenção dos valores, foi elaborada a tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Medidas das roscas das porcas obtidas no projetor de perfil

	Passo [mm]	Altura de Filete [mm]	Ângulo
Amostra 1	1,502	0,796	28,15°
Amostra 2	1,498	0,703	23,34°
Amostra 3	1,497	0,711	29,36°
Amostra 4	1,470	0,765	25,41°
Amostra 5	1,545	0,620	29,54°
Média	1,502	0,719	27,16°

Os valores obtidos foram comparados com aqueles constantes da norma ISO 965 parte 2 para certificar de que estes materiais estavam dentro do especificado. Comparando-se os valores, verificou-se que temos uma divergência no valor de altura do filete. Assim, dos valores especificados em norma e projeto, como citados anteriormente, verificou-se uma redução de aproximadamente 15% no valor da altura de filete.

Utilizando a equação 3.5 e substituindo-se o valor do passo pela equação 5.1, temos:

$$P = \frac{h}{0,61343} \quad (5.1)$$

Onde:

P : passo da rosca

h : altura de filete

Quando temos um valor de altura do filete alterado, como nessa situação, em que a altura de filete está menor que o especificado em norma, para que se mantenha o valor de torque constante deve-se alterar a força tensora. Neste caso, com a redução na altura de filete, a força tensora (F_V) deve ter seu valor aumentado, conforme pode ser verificado na equação 3.4.

Com os valores de altura de filete medidos e com os valores normalizados, utilizou-se, primeiramente, a equação 5.1 para colocar o passo em função da altura de filete e para analisar a influência dessa diferença no valor medido com o normalizado na fixação dos componentes.

Após serem obtidos os valores do passo por meio da altura de filete, utiliza-se a equação 3.5 e pode-se observar que, com um valor de altura de filete menor que o normalizado, tem-se um passo maior e, assim, um valor de K inferior.

Sabe-se que a fixação das peças é realizada com o auxílio de uma apertadeira eletrônica e ela é programada para realizar o mesmo torque em todas as fixações. Sendo assim, os valores de torque e de diâmetro do fixador são os mesmos em todos os aparafusamentos e, com o uso da equação 3.4, pode ser verificado que, com um valor do fator atuante menor, tem-se que se ter uma maior força para a fixação das peças, o que pode ocasionar o efeito de espanamento do parafuso.

5.2. Dureza das Peças

Verificados os valores de dureza das peças, foi verificado que algumas amostras dos parafusos têm valores que se aproximam de alguns dos valores de dureza das porcas, mostrando que existe uma grande diferença entre os valores medidos, conforme pode ser visto na tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Resultados dos ensaios de Dureza Rockwell

	Medição de Dureza (HRc)				
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Média	Incerteza
Porca 1	25,6	25,3	24,2	25,0	1,3
Porca 2	22,4	24,5	22,2	23,0	1,2
Porca 3	25,3	23,9	25,2	24,8	1,2
Porca 4	21,2	23,6	22,9	22,6	1,1
Porca 5	26,7	27,1	24,0	25,9	1,3
Parafusos					
Parafuso 1	37,5	33,1	33,2	34,6	1,7
Parafuso 2	30,0	28,0	28,0	28,7	1,4
Parafuso 3	29,0	28,0	28,2	28,4	1,4
Parafuso 4	34,2	38,2	36,4	36,3	1,8
Parafuso 5	34,0	30,0	40,0	34,7	1,7

Existe uma variação dos valores de dureza devido aos montantes serem realizados em diferentes filetes de rosca, tanto na porca quanto no parafuso. Já no parafuso, essa variação é maior devido ao ensaio ter sido realizado em peças que estavam com a rosca espanada. Com a rosca espanada, tem-se a altura de filete comprometida, assim como o material da peça.

Por meio dos resultados encontrados, pode-se verificar que o valor máximo obtido de microdureza na porca foi de 27,1HRc e o valor mínimo de microdureza encontrado no parafuso foi de 28,0HRc. Esses valores são próximos, o que pode, em algum momento, ser invertido, ou seja, pode-se ter um valor de microdureza do parafuso inferior ao valor da porca.

Realizada a comparação entre os valores obtidos através do ensaio e o valor especificado em projeto para essas peças, verificou-se que as porcas têm seus valores atendidos, ou seja, os valores de microdureza estão dentro do intervalo de 21,3 a 26,4HRc. Tem-se valores de microdureza fora do intervalo especificado, porém não é possível afirmar que seja a causa para o espanamento do parafuso. Analisados os valores de microdureza do parafuso, pode ser verificado que nenhum dos valores encontrados nos ensaios está dentro das condições de projeto, que é de 27,1HRc, esses valores estão acima das condições de projeto assim, pode-se afirmar que a dureza não está interferindo no problema de espanamento devido ao valor de microdureza do parafuso estar superior ao de projeto, porém deve-se analisar a porca, como foi acima citado.

5.3. Análise Metalográfica

Realizadas as análises metalográficas, o primeiro ponto a se destacar é a maneira como a rosca do parafuso é produzida. Através da figura 5.4, pode ser observado que a rosca é produzida através de rolamento. Esse processo faz com que a rosca tenha aumentada a sua resistência à deformação. As roscas usinadas têm menor resistência devido ao formato do grão a ser cortado, diferentemente do que ocorre no processo de rolamento, em que a estrutura do grão é acompanhada pela forma da peça. Na figura 5.4 pode ser vista uma metalografia realizada na amostra do parafuso, onde se verifica que as roscas da peça foram obtidas através de rolamento.



Figura 5.4 – Detalhe da deformação das fibras do material do parafuso produzidos por rolamento

Uma análise da figura 5.4 mostra que as deformações nas fibras do material seguem a formação dos filetes, por isso pode-se dizer que a formação dos filetes foi realizada através de rolamento.

Já na metalografia realizada nas amostras das porcas, pode ser verificado um possível tratamento de solubilização. A figura 5.5 ilustra a metalografia da porca que recebeu um tratamento de solubilização.

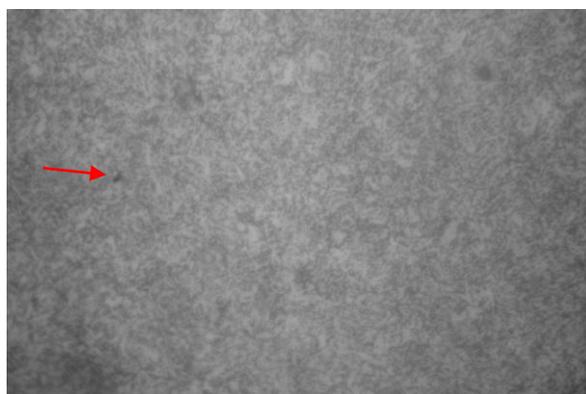


Figura 5.5 – Amostra da porca com pontos escuros mostrando tratamento de solubilização

O tratamento térmico de solubilização acarreta no material uma baixa resistência mecânica, ou seja, o principal objetivo é de solubilizar a fase endurecedora do material. Esse processo se dá na forma de precipitação de partículas extremamente pequenas e uniformemente distribuídas, fazendo com que o material enrijeça.

Os pontos escuros da metalografia da porca podem ser visto na figura 5.5, e mostram que a peça pode ter sofrido um tratamento de solubilização com a finalidade de transformar a porca em uma peça com baixa resistência, evitando, assim, que a porca tenha maior dureza que o parafuso, o que acarretaria o espanamento da rosca do mesmo.

5.4. Análise Química

Realizados os ensaios de análise química quantitativa, pode ser verificado, nas tabelas 5.3 e 5.4, os valores obtidos na queima das superfícies das amostras.

Fazendo uso de tabela de composição química para aços ABNT/SAE, verifica-se que o material utilizado no parafuso é um SAE 1050, e que o material utilizado na produção das porcas é um SAE 1045.

Tabela 5.3 – Resultado da análise química do parafuso (% em massa)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu
Amostra	0,539	0,299	0,781	0,0196	0,0226	0,192	0,0085	0,0478	0,0164	<0,01	0,107
Referencial	0,43/0,5		0,6/0,9	<0,04	<0,05						
	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	Mg	Ca	Zr	B	Fe
Amostra	0,002	0,0011	<0,001	<0,01	<0,002					0,0002	98,0
Referencial											

Tabela 5.4 – Resultado da análise química da porca (% em massa)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu
Amostra	0,442	0,268	0,856	0,0119	0,0226	0,198	<0,005	0,103	0,0057	<0,01	0,0557
Referencial	0,48/0,55		0,6/0,9	<0,04	<0,05						
	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	Mg	Ca	Zr	B	Fe
Amostra	0,0127	0,006	<0,001	<0,01	<0,002	0,0037				0,003	98,0
Referencial											

Assim, pode-se afirmar que as duas peças são produzidas com aço-carbono e se diferenciam pelo limite de escoamento, que no aço SAE 1045 é inferior ao do aço SAE 1050 em aproximadamente 13kgf/mm². Isso mostra que o parafuso possui uma maior resistência à deformação.

6. CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos, pode ser verificado que a altura do filete da especificação geométrica da rosca da porca está fora do parâmetro, contribuindo, assim, para que haja rejeições durante o aperto, ocasionando, também, o espanamento da rosca do parafuso, dada a menor área de contato entre as roscas do parafuso e da porca. Da mesma forma, a força tensora é aumentada, contribuindo para que a deformação das roscas sejam maiores do que as especificadas em projeto.

Um dos motivos principais que contribuem para o espanamento da rosca é que a altura do filete da porca está reduzida em aproximadamente 15% do valor normalizado. Os ensaios de metalografia e de análise química mostram que os materiais e o processo de produção das peças são realizados de forma a contribuir para que as peças estejam de acordo com o projeto, ou seja, mostram que os materiais e o processo fazem com que o parafuso seja mais resistente que a porca, durante a fixação.

Estudos adicionais, com o acompanhamento de um número maior de lotes, são indicados para acompanhar melhor os resultados alcançados e obter um estudo mais aprofundado sobre o assunto. Outro estudo adicional a este trabalho seria a realização de um ensaio com o auxílio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) para se obter a camada de fosfatização que se tem nas amostras ensaiadas e para se verificar como o controle do coeficiente de atrito das peças auxilia para evitar que ocorra o espanamento do parafuso.

Este trabalho foi importante para identificar as causas de espanamento do parafuso e de rejeições no aperto, possibilitando que se tenha uma redução dos custos de produção devido aos retrabalhos que eram realizados e às perdas de semi-eixos com o parafuso espanado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAZAUD, R. **La Fatiga de los Metales**. Aguilar, 1957.

CIOTTO, R. **Comportamento das Juntas Rigidamente Fixadas por Parafusos**. Sorocaba: METALAC.

COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. Edgard Blucher, 3ª edição, 1969.

CUNHA, L. S., CRAVENCO, M. P. **Manual Prático do Mecânico**. Editora Hemus, 2006.

FAIRES, V. M. **Elementos Orgânicos de Máquinas**. Livros Técnicos e Científicos, 2ª edição, 1979.

GUERREIRO, M. A. V. **Avaliação de Processos de Fosfatização**. Porto Alegre: UFRGS, 2009. Trabalho de Diplomação em Engenharia de Materiais.

HUTCHINGS, I. M. **Tribology – Friction and Wear of Engineering Materials**. Butterworth-Heinemann, 2001.

MUNIZ, J. M. **Fenômenos Tribológicos Intrínsecos ao Travamento de Juntas de Engenharia Aparafusadas: O rosqueamento na indústria automotiva: Sua utilização como recurso de união de juntas desmontáveis**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2007. Trabalho de Conclusão de curso, Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva.

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas**. Bookman, 2ª edição, 2004.

SHIGLEY, J. E., MISHKE, C. R., BUDYNAS, R. G. **Projeto de Engenharia Mecânica**. Bookman, 7ª edição, 2005.

STEVENSON, W. J. **Estatística Aplicada à Administração**. Harbra, 7ª edição, 2005.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Temperatura do revenido	0	100	200	300	400	500	600
Dureza	60	58	57	52	44	37	28
Resiliência	0,4	0,7	0,8	0,7	1,4	3,2	6
			Aço S A E 1045 temperado				

Figura 8.1 – Valores da resiliência para aço 1045