



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO
DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

ANÁLISE DE FALHA DE UM SETOR DE DIREÇÃO DE UM VEÍCULO

Inácio da Fontoura Limberger, oicanis@gmail.com¹

Mateus Palharini Schwalbert, m.palharini@yahoo.com.br¹

Lorenzo Marzari Félix, lorenzomarzari@yahoo.com.br¹

Carlos Henrique de Andrade Molenda, molenda@smail.ufsm.br¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Dep. de Engenharia Mecânica, Santa Maria - RS, Brazil, CEP 97105-900

Resumo: Atualmente as indústrias automotivas têm dado grande importância à qualidade e à segurança de seus produtos. Não raramente as montadoras chamam os proprietários dos veículos para a troca de algum componente. Quando ocorrem falhas em componentes ou peças é necessário identificar os motivos que levaram à ocorrência dessa falha, para que não ocorram em novos projetos. Um acidente de trânsito, causado pela falha do setor de direção, provocou a colisão entre dois veículos. Para buscar as possíveis causas da falha, foi realizado um estudo no conjunto mecânico, identificando os componentes que apresentavam algum tipo de dano. Posteriormente fez-se uma avaliação funcional em cada peça do setor para identificar a possível seqüência de falhas e as possíveis causas do surgimento dos danos. Foram usadas técnicas para retirada de amostras e preparação de corpos de prova com o propósito de observar os mecanismos de falha e identificar defeitos metalúrgicos nos materiais. Foi verificado que a peça utilizada para eliminar a folga no engrenamento pinhão / cremalheira apresentava trincas de fadiga. Constatou-se a existência de defeitos de fundição, tais como defeitos superficiais, microrrechupes, bolhas de gás e inclusão de escória, defeitos que reduzem resistência do material e que, combinados com a geometria da peça, potencializam a nucleação e a propagação de trincas de fadiga. A combinação de todos esses defeitos associado ao esforço exigido no sistema de direção quando o veículo trafegava em baixa velocidade levou à falha do componente, o que comprometeu o funcionamento de todo o conjunto de direção do veículo.

Palavras-chave: falha, trinca, defeitos de fabricação, componente automotivo.

1. INTRODUÇÃO

A análise de falhas em componentes mecânicos sempre foi uma ferramenta imprescindível para analisar o comportamento de um processo que pode trazer consequências sérias aos envolvidos com tal componente. O entendimento e a exploração deste assunto tiveram fundamental crescimento durante as constantes inovações tecnológicas impostas à sociedade pela sempre crescente necessidade de novas tecnologias. Tal compreensão se fez necessária para atender melhor as expectativas de consumo e de um melhor controle sobre componentes que sofrem com defeitos que podem ser desde problemas provenientes da fabricação até defeitos que surgem a partir de esforços repetitivos.

A abordagem de tal assunto também foi muito importante a partir do início do século XX, onde a indústria começou a desenvolver e produzir máquinas cada vez mais complexas, e que exigiam um nível de confiabilidade ainda maior. Observar e entender os processos que implicam em falhas foi de fundamental importância para o surgimento de equipamentos cada vez mais confiáveis e que geram segurança aos usuários.

A busca pelo entendimento do processo de falha é tão importante quanto o juízo dos detalhes de máquinas ou equipamentos que não apresentam falhas, evitando assim que os mesmos tenham desgaste prematuro e apresentem novos problemas (AFFONSO, 2002, p.13).

Nos dias atuais as indústrias do setor automotivo têm dado grande importância à qualidade e a segurança de seus produtos, pois estes dois itens refletem diretamente na credibilidade da marca junto aos consumidores. Quando ocorrem falhas em componentes, em muitos casos as montadoras avaliam a situação e não raramente chamam os proprietários dos veículos para a troca de peças. Então quando ocorre uma falha em um componente ou peça é preciso identificar qual ou quais os motivos que levaram a ocorrência desta falha e fazer com que os dados obtidos retornem ao sistema produtivo de maneira que o problema possa ser corrigido e não ocorra em novos projetos.

Tendo em vista esta preocupação em avaliar o comportamento e identificar as possíveis causas que levam um componente mecânico a falhar em serviço, um setor de direção utilizado em um automóvel de fabricação nacional que falhou foi entregue ao Laboratório de Metalurgia Física da Universidade Federal de Santa Maria. A falha do conjunto provocou o acidente quando o veículo trafegava em baixa velocidade e o motorista teve de efetuar uma manobra. Ao

torcer o volante o sistema de direção não respondeu e o motorista perdeu o comando do veículo. Segundo relatos do proprietário do veículo sistema de direção do veículo já tinha passado por reparos em oficinas autorizadas para a eliminação de folga no setor.

O material depositado no Laboratório não apresentava danos externos e todos os pontos de abertura estavam fechados e com as marcações dos lacres em perfeito estado, sem indícios de violação.

Visualmente pode-se verificar externamente ao componente que as identificações feitas pelo fabricante estavam legíveis.

2. METODOLOGIA

Após o recebimento e identificação do setor de direção passou-se a um processo de desmontagem para se ter acesso aos componentes internos. Nesta etapa foram utilizadas ferramentas manuais adequadas para que não ocorresse o risco de danificar qualquer peça nesta operação. Em seguida a etapa de desmontagem todas as peças passaram por um processo de desengraxe com acetona para garantir a retirada de toda a graxa, a Fig. (1) mostra o conjunto desmontado.



Figura 1. Setor após ser desmontado e limpo para início das análises.

Foi feito então uma análise visual de todas as peças e foram identificadas as que apresentavam algum tipo de dano. Posteriormente fez-se uma avaliação do funcionamento do setor para identificar a possível seqüência de ocorrência dos danos.

Segundo Affonso (2002), as falhas costumam ter causas múltiplas, ainda mais em mecanismos, sendo assim foram identificados os danos e a possível seqüência de ocorrência, e passou-se para a fase de procurar as possíveis causas para o surgimento dos danos em cada uma das peças.

Identificada a peça que primeiro sofreu dano, passou-se a procurar as causas que levaram esta a falhar. Para isso foram usadas técnicas de análise tais como; limpeza da peça em banho de acetona com um equipamento de ultra-som, análise das superfícies da peça e da fratura com auxílio de microscópio estereoscópico e com Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Foi feito o seccionamento da peça para fazer a preparação de amostras para análise metalográfica com microscopia óptica e MEV. Foi utilizada uma micro-sonda EDS para identificação de partículas e componentes micro estruturais no material da peça.

3. ANÁLISES E RESULTADOS

Após a desmontagem e a limpeza do setor de direção observou-se que a cremalheira, o pinhão e a peça que fica posicionada atrás da cremalheira que serve para manter o engrenamento sem folga apresentavam danos.

Na análise feita na cremalheira pode-se notar que esta apresenta amassamento na superfície de engrenamento dos dentes e em alguns locais ocorre até mesmo o lascamento de pequenas regiões, que justifica a presença de fragmentos de metal encontrados na graxa. Os dentes do pinhão também apresentaram amassamento e lascamento, semelhantes ao observados na cremalheira, como pode ser visto na Fig. (2).

O amassamento e o lascamento encontrados na parte superior dos dentes mostram que algum dos parâmetros de engrenamento não estava correto. Um valor para a folga de engrenamento fora do padrão, por exemplo, pode provocar a batida entre os dentes engrenados. A inversão do sentido de acionamento do setor feito ao se movimentar o volante para

um lado ou para o outro fazem com que ocorra a batida de um dente contra o outro. Outra situação em que ocorre a batida entre os dentes é quando as rodas do veículo passam por um terreno irregular, provocando o movimento alternativo entre os componentes do conjunto.



Figura 2. Vista de parte da cremalheira e do pinhão mostrando o amassamento e a retirada de lascas da superfície dos dentes.

A terceira peça do conjunto que apresentou dano foi o elemento que serve de encosto para a cremalheira, que será chamado de encosto metálico. Esta peça fica posicionada na parte posterior da cremalheira coincidentemente com a posição de engrenamento do pinhão com a cremalheira. O encosto permite a regulação do posicionamento dos dentes engrenados e permite que o engrenamento aconteça dentro dos parâmetros definidos no projeto, diminuindo a probabilidade do surgimento de folga de engrenamento.

Neste conjunto foi encontrado o elemento de fricção, que fica entre a parte posterior da cremalheira e o encosto metálico, quebrado em várias partes. O elemento de fricção quebrou devido ao afastamento que ocorreu com as abas do encosto, deformação esta ocorrida devido ao aparecimento de duas trincas, como pode ser visto na Fig. (3).



Figura 3. Trincas paralelas encontradas na peça de ajuste da folga pinhão cremalheira.

A nucleação e a propagação das trincas no encosto metálico e o conseqüente afastamento das abas, fazem com que o conjunto perca a função de eliminar a folga de engrenamento. Esta combinação de fatos propiciou então o aparecimento de folga entre o pinhão e a cremalheira. Isso vem a justificar o surgimento do barulho característico de

batida no setor de direção do veículo e a presença do amassamento e lascamento ocorridos na superfície dos dentes do pinhão e da cremalheira, citados anteriormente.

A constatação da presença de trincas e a perda da função de eliminar a folga fizeram com que fosse feita uma análise mais detalhada sobre este componente.

Primeiramente utilizou-se uma lupa para verificar a superfície da peça e pode-se constatar que ocorreram vários defeitos superficiais oriundos do processo de fabricação. Os defeitos encontrados podem ser vistos na Fig. (4). Este tipo de defeitos encontrados, quando localizados em uma região mais solicitada como é o caso dos locais de surgimento das trincas se comportam como concentradores de tensão e podem dar início ao crescimento de trincas de fadiga (SYMONDS et al, 1999, p.5).

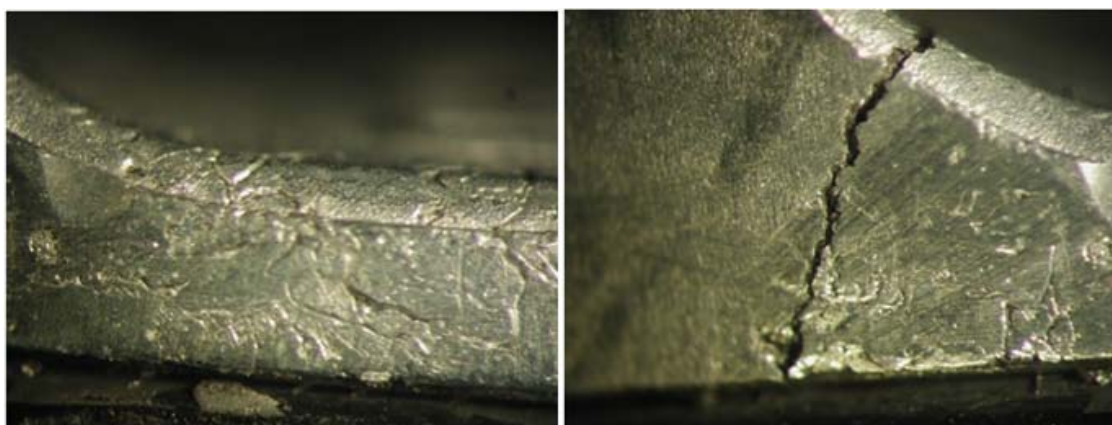


Figura 4. Defeitos de fundição encontrados na superfície da peça (encosto).

Para a melhor caracterização dos defeitos a peça foi levada ao MEV, onde se pode constatar claramente a existência dos defeitos superficiais oriundos do processo de fundição por injeção pelo qual a peça é produzida, como pode ser observado nas fotos da Fig. (5). Com as imagens do MEV fica evidente a severidade dos defeitos de fundição junto à superfície da peça, os quais prejudicam o comportamento da peça quando solicitada em serviço.

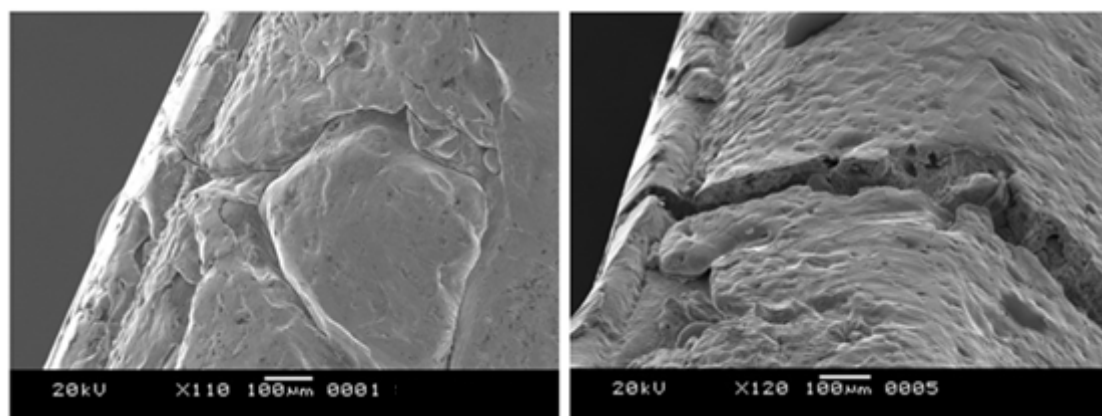


Figura 5. Defeito e trincas encontrados na superfície da peça, MEV.

Para que a superfície da trinca pudesse ser observada, foi feita a ruptura de uma das abas do encosto. Para efetuar a fratura e para que o resultado desta fratura ficasse diferente da trinca nucleada em serviço a peça foi resfriada com nitrogênio líquido e foi então submetida a uma carga de impacto. A superfície da fratura foi então levada ao MEV para ser observada. As análises feitas na superfície mostram que a trinca nucleou e propagou por fadiga, pois foi encontrada uma superfície bastante lisa, característica deste processo de propagação de trinca (FE, 1992, p.286). As fotos da Fig. (6) mostram a diferença entre a morfologia da trinca de fadiga que ocorreu na peça durante o serviço e a trinca de

ruptura brusca por sobrecarga que ocorreu quando da quebra provocada para retirar uma das abas, justamente para a observação da trinca.

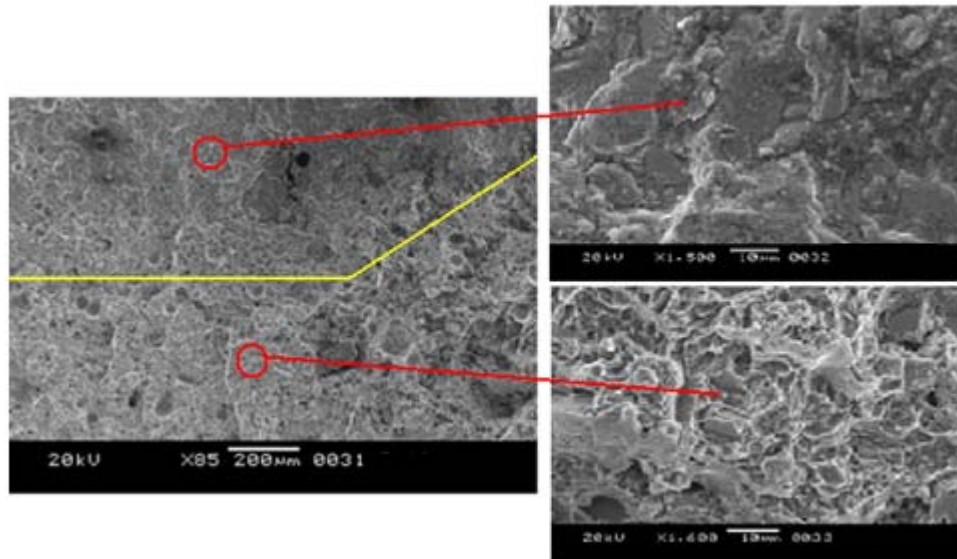


Figura 6. Região de transição da propagação da trinca de fadiga para propagação brusca.

Analisando a trinca, mostrada na Fig.(7), pode-se observar que nas bordas da peça a trinca coincide com locais de defeito de fundição, tal como foi inicialmente dito.

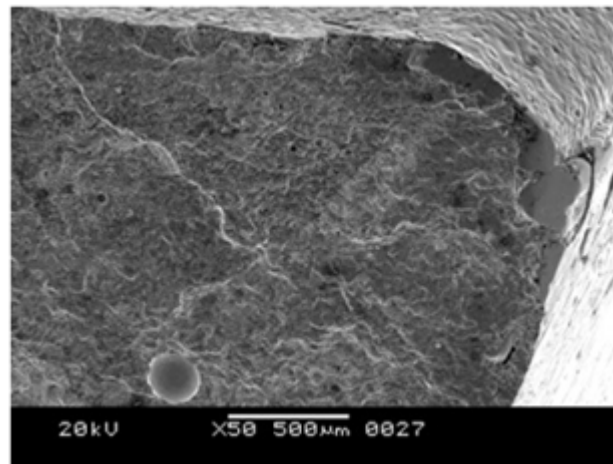


Figura 7. Defeito de dobra, na borda da peça, coincidindo com a trinca.

Foi encontrada na superfície da trinca uma grande quantidade de defeitos oriundos do processo de fundição tais como microrrechupes e bolhas de gás. A literatura técnica (DeRoss, 1980; DeParis, 2008) indica que estes defeitos reduzem consideravelmente a resistência da peça. A Fig. (8) mostra uma região com grande quantidade de poros ou bolha de gás.

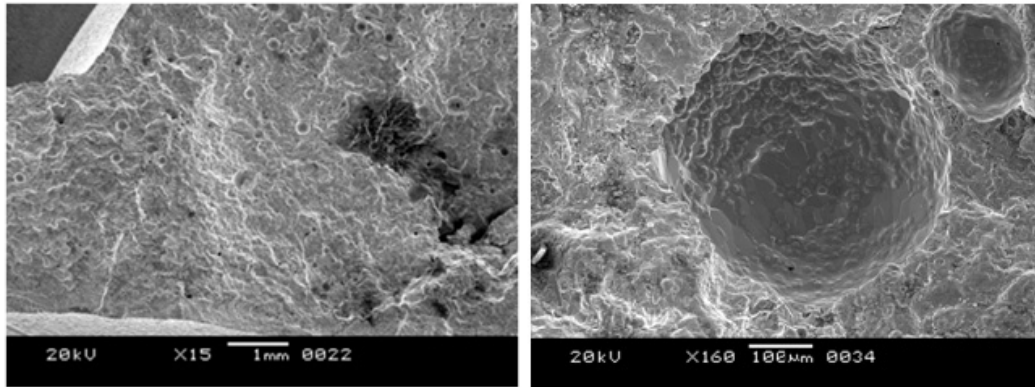


Figura 8. Superfície da trinca, com grande quantidade de poros devido à retenção de gás.

Foi encontrado na superfície da trinca uma inclusão de óxido, como pode ser visto na Fig. (9).

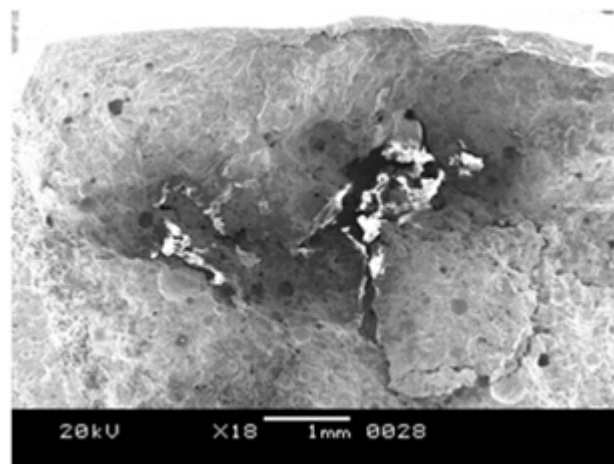


Figura 9. Região com inclusão de oxido no interior da peça.

Uma análise utilizando a micro-sonda EDS, na inclusão selecionada, acusou a presença de O, Al, Si, Ca e Zn, conforme pode ser visto na Fig. (10).

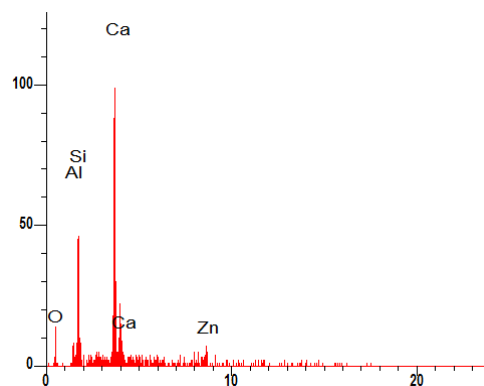


Figura 10. Espectro EDS obtido na análise da inclusão.

Para caracterizar a existência de poros no interior do material foi executado um corte na peça, transversal às trincas e foi feita a preparação da amostra. A Fig. (11) mostra uma das trincas e os defeitos no caminho e próximos a esta.



Figura 11. Defeitos encontrados no interior do material da peça.

4. CONCLUSÃO

Após a análise feita nos componentes do setor de direção que sofreu falha em serviço e nos resultados obtidos na avaliação dos danos, pode-se constatar que o componente com a função de manter ajustada a folga entre o pinhão e a cremalheira (encosto) foi quem primeiro apresentou dano. Sendo assim não foi mais possível eliminar a folga no conjunto e a partir daí a cremalheira e o pinhão passaram se bater cada vez que volante mudasse de posição, fazendo com que aparecesse amassamento e lascamento nos dentes.

O componente denominado de encosto apresenta vários tipos de defeitos, todos provenientes do processo de fabricação (fundição). Estes defeitos: dobras de material na superfície da peça que surgem durante o enchimento do molde, provavelmente problemas de temperatura do metal líquido ou do molde; microrrechupes ocorrem devido a falta de alimentação de metal líquido durante a solidificação do metal; bolhas de gás que ocorrem devido um processo inadequada de desgaseificação do banho de metal líquido ou pela falta de saída dos gases no enchimento do molde e a presença de inclusões não metálicas provenientes de um descuido no processo de limpeza do metal líquido, quando presentes em um componente mecânico, comprometem sensivelmente a resistência do material, fazendo com que este não suporte as cargas aplicadas e comece a se deteriorar, nuclear e propagar trincas, como o ocorrido com a peça analisada (DEROSS, 1980, p.150; DE PARIS; 2008, p.183; STROHAECKER, 2000, p.41). Esta peça foi fabricada com uma liga de Zinco e Alumínio, chamada popularmente de Zamac, contendo ainda pequenas proporções de Cobre e Magnésio. Esta liga é extremamente sensível às impurezas, as quais comprometem sua resistência mecânica (LOSEKANN, 2008, p. 123)

A degradação deste componente, devido aos problemas citados anteriormente, propicia o surgimento de folga no engrenamento do pinhão com a cremalheira o que provoca o batimento dos dentes. O batimento entre os dentes engrenados produz o amassamento do perfil dos dentes ou ate mesmo o lascamento superficial. O acúmulo destes danos associados a maior distância entre os dentes, como os encontrados no conjunto analisado, podem provocar a perda de direção do veículo pois, a existência destes defeitos combinada com o esforço necessário para acionar o volante pode provocar o desengrenamento dos dentes ocasionando a perda do controle do veículo.

Problemas como este encontrado no setor de direção do veículo analisado, podem causar acidentes graves, principalmente em estrada quando o veículo faz uma curva. Nestas condições o sistema de direção é submetido a grandes esforços e o setor de direção não tem mais rigidez suficiente para suportar tais esforços o veículo fica sem o controle do motorista.

5. REFERÊNCIAS

- Affonso, L. O. A., 2002, “Equipamentos Mecânicos – Análise de Falhas e Solução de problemas”, Qualitymark Editora Ltda, Rio de Janeiro, Brasil, 356 p.
- DeRoss, A. B., 1980, “Aluminum Casting Technology”, Ed. AFS, Des Plaines, USA, 280 p.

- De Paris, A. A. F., 2008, “Tecnologia da Fundição”, Ed. Independente, Santa Maria, Brasil, 188 p.
Fe, J. M. P., 1992, “Fallos en Servicio de Los Materiales Metalicos”, Madrid, España, 618 p.
Losekann, C. R., 2008, “Materiais de Construção e Mecânica II”, Ed Independente, Santa Maria, Brasil, 244 p.
Strohaecker, T. R., 2000, “Mecânica da Fratura”, Gráfica da UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 84 p.
Symonds, J. et al, 1999, “Marks’ Standard Handbook for Mechanical Engineers, Section 5 – Strength of Materials”, McGraw-Hill, 10th Edition, 67 p.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

FAILURE ANALYSIS OF A STEERING RACK OF A VEHICLE

Inácio da Fontoura Limberger, oicanis@gmail.com¹
Mateus Palharini Schwalbert, m.palharini@yahoo.com.br¹
Lorenzo Marzari Félix, lorenzomarzari@yahoo.com.br¹
Carlos Henrique de Andrade Molenda, molenda@smail.ufsm.br¹

¹ Federal University of Santa Maria, Department of Mechanical Engineer, Santa Maria - RS, Brazil, CEP 97105-900

Abstract: *Currently the automotive industry has given great importance to quality and safety of their products and often the makers call the owners of vehicles for the exchange of any component. When failures occur in components is necessary to identify the reasons for that failure, so that they do not occur in new projects. The failure of the steering rack caused a collision between two vehicles. To search for possible causes of failure, a study was conducted on mechanical assembly, identifying the components that had some type of damage. Later there was a functional assessment in each piece of the rack to identify the possible sequence of failures and the possible causes of the emergence of damage. In component analysis, techniques were used to remove samples and preparation of specimens for observing the failure mechanisms and identify defects in metallurgical materials. It was found that the piece used to remove the clearance in the gear pinion / rack had fatigue cracks. It was verified the existence of casting defects such as surface defects, micro shrinkage, gas bubbles and slag inclusion defects, which reduce rolling resistance and that, combined with piece geometry, increase the nucleation and crack propagation fatigue. The combination of all these defects, associated with the effort required in the steering rack when the vehicles travel at low speed, led to the failure of the component, which compromised the functioning of the whole direction system of the vehicle.*

Keywords: *failure, crack, manufacturing defects, steering rack.*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.