NEW LEADER ENGENHARIA LTDA.
CNPJ 07.154.468/0001-80

RELATÓRIO TÉCNICO

RECOMENDAÇÕES PARA AJUSTES PRENSADOS

ENTRE PEÇAS DE AÇO

NEW LEADER ENGENHARIA LTDA

Responsável: Engº Celso Luiz de Azevedo Martins

CREA 140586364-1

NOTA DO AUTOR

Este relatório foi elaborado tomando-se como referência a dissertação de Mestrado Profissional em Materiais, orientada pelo Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro, realizada no UniFOA – Centro Universitário de Volta Redonda e defendida e aprovada em 23/03/2013.

NEW LEADER ENGENHARIA LTDA

RESUMO

Esta pesquisa confirmou, por meio de resultados experimentais, que nos ajustes prensados entre peças de aço, a força de aderência aumenta muito nos primeiros dias após a montagem e segue aumentando lentamente ao longo do tempo. Ajustes com interferência, classificados como ajustes prensados, são muito utilizados em árvores mecânicas com engrenagens. Portanto, a importância deste estudo está no alerta aos engenheiros e aos fabricantes que este fenômeno deve ser considerado nos cálculos de ajustes prensados e nos estudos das causas prováveis de fraturas em engrenagens montadas em seus respectivos eixos, mas que ainda não foram postas em operação. Para comprovar o aumento da força de aderência entre peças de aço, em um ajuste prensado, foram fabricadas rodas em aço ABNT 4340 e eixos em aço ABNT 1045, de modo que a interferência de cada um dos conjuntos roda-eixo produzisse efeitos de intensidades suficientes para facilitar as leituras e as análises; e que as respectivas tensões tangenciais não fossem superiores às tensões de escoamento dos materiais das peças. Os conjuntos roda-eixo foram montados e desmontados com a utilização de uma máquina universal hidráulica de ensaios mecânicos. As desmontagens foram realizadas em sequência, após períodos que variaram entre a primeira hora até quarenta e um (41) dias após montagem. Deste modo, foi possível verificar o aumento da força necessária para desmontagem decorrente do tempo entre a montagem e a desmontagem.

NEW LEADER ENGENHARIA LTDA

Palavras-chave: Força de aderência. Ajuste prensado. ABNT 4340. Ajuste com interferência.

INTRODUÇÃO

Esta pesquisa é o resultado da análise do comportamento da força de aderência, em função do tempo decorrido entre a montagem prensada e a posta em marcha[1], de conjuntos de peças de aço constituídos de uma roda ajustada a um eixo maciço. [3]

Para o estudo foram fabricadas rodas e eixos e executados ensaios constituídos de uma montagem e de uma desmontagem, de cada um dos conjuntos roda – eixo, utilizando-se uma máquina universal hidráulica de ensaios mecânicos. As desmontagens ocorreram em períodos distintos, de modo que cada ensaio representasse um intervalo de tempo de armazenamento entre uma (01) hora e quarenta e um (41) dias.

Para cada um dos ajustes prensados foram gerados dois gráficos *força x deslocamento*: um na montagem e o outro na desmontagem. Esses gráficos permitiram a análise do comportamento da força de aderência em função do tempo decorrido entre a montagem e a posta em marcha.

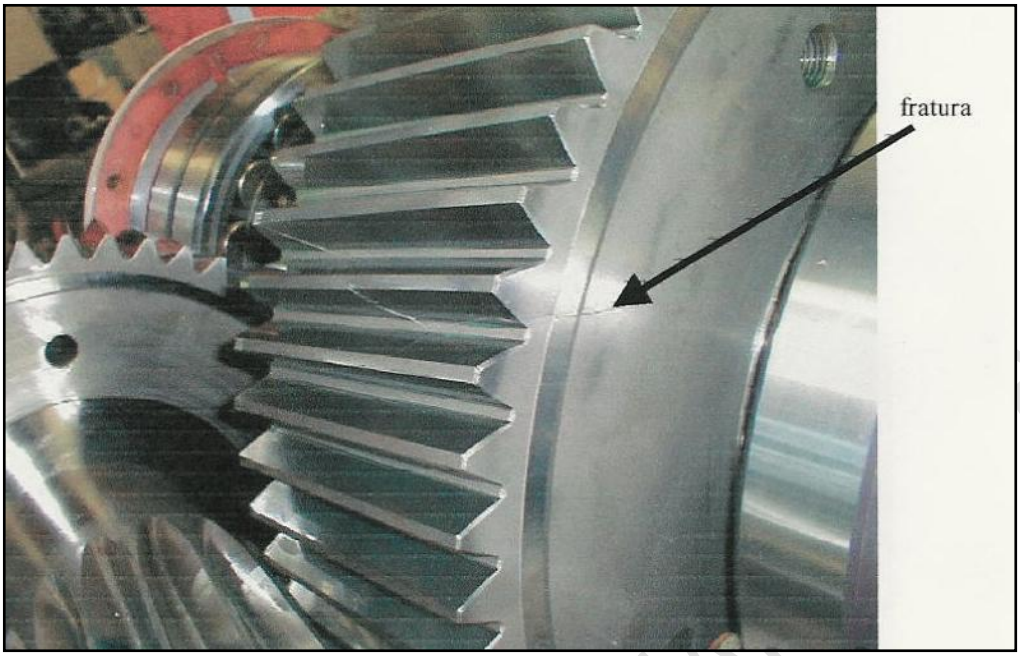
O conhecimento do comportamento da força de aderência é de grande importância para o cálculo da interferência entre as peças, pois a ocorrência do aumento da força de aderência pode produzir níveis de tensões tangenciais suficientes para provocar fraturas nos componentes do conjunto.

As Fotografias 1 e 2 são exemplos de um caso real e mostram uma das seis engrenagens de redutores de velocidades cujas fraturas ocorreram seis semanas após a montagem e durante o armazenamento. As fraturas ocorreram antes da posta em marcha e, portanto, sem estarem sujeitas aos esforços externos resultantes da operação do redutor de velocidades.

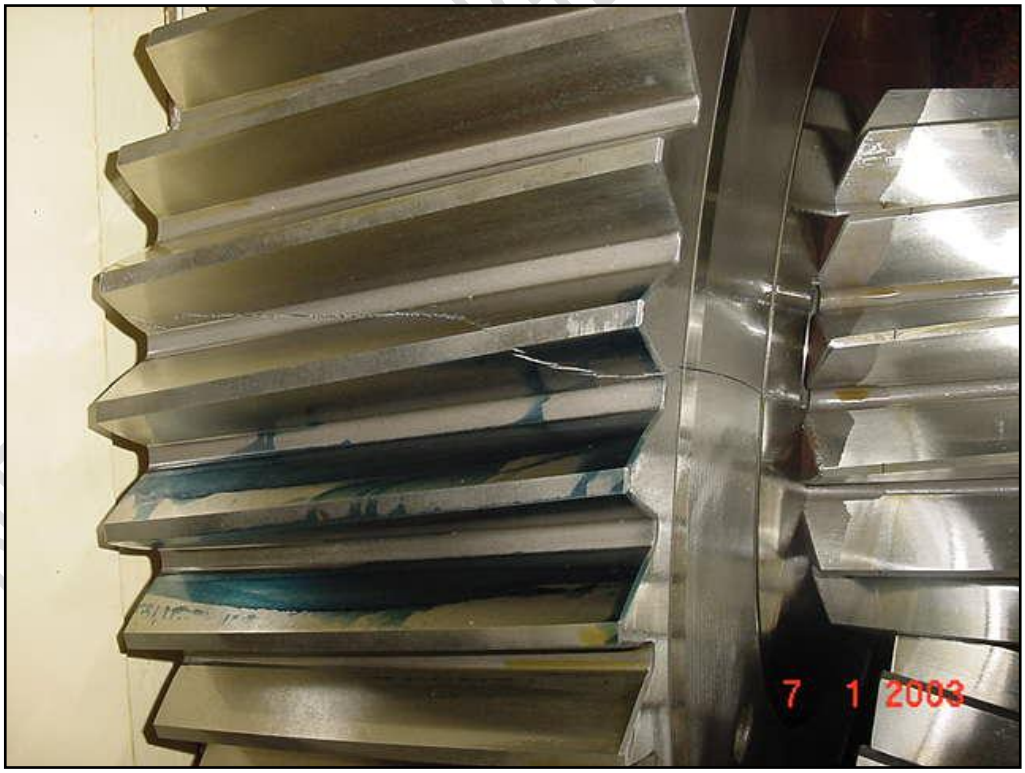
NEW LEADER ENGENHARIA LTDA

[1] Fase de partida das máquinas.

Fotografia 1 – Engrenagem fraturada



Fotografia 2 – Detalhe da fratura



METODOLOGIA

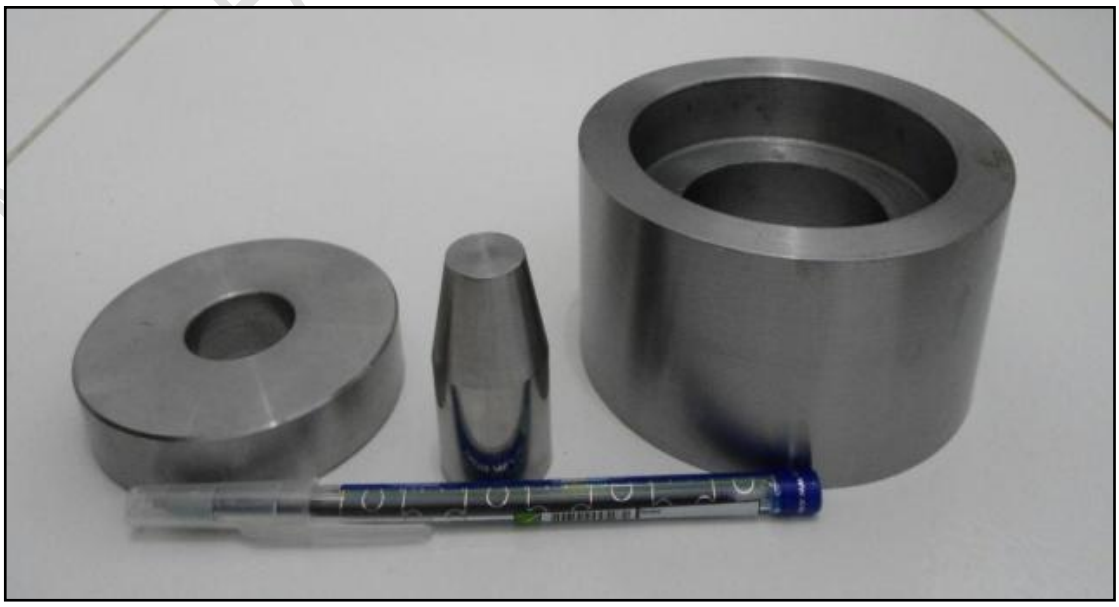
A metodologia deste estudo consistiu em submeter uma determinada quantidade de corpos de prova a ensaios mecânicos, com o objetivo de analisar o comportamento da força de aderência em função do tempo decorrido após a montagem do conjunto. Cada um dos ensaios correspondeu a uma montagem prensada de um eixo no furo de uma roda e da respectiva desmontagem pela mesma prensa.

Para a roda foi especificado o aço ABNT 4340, pois é um tipo de aço muito utilizado na fabricação de engrenagens devido a sua alta temperabilidade e alta resistência mecânica, além de possuir boa usinabilidade, boa tenacidade e boa ductibilidade. Para o eixo foi especificado o aço ABNT 1045, pois a maior parte dos eixos de máquinas é feita de aço de baixo ou médio carbono; sendo o aço ABNT 1045 um dos mais utilizados na fabricação de eixos. [4]

Para a união entre a roda e o eixo, o diâmetro nominal foi calculado e definido em 25 mm. O ajuste, também calculado e selecionado, foi o H7/z7, cuja interferência é de alta intensidade. [2]

As rodas, os eixos e o suporte utilizado nas montagens e desmontagens estão exemplificados na Fotografia 3.

Fotografia 3 – Roda, eixo e suporte



FADER ENGENHARIA LTDA

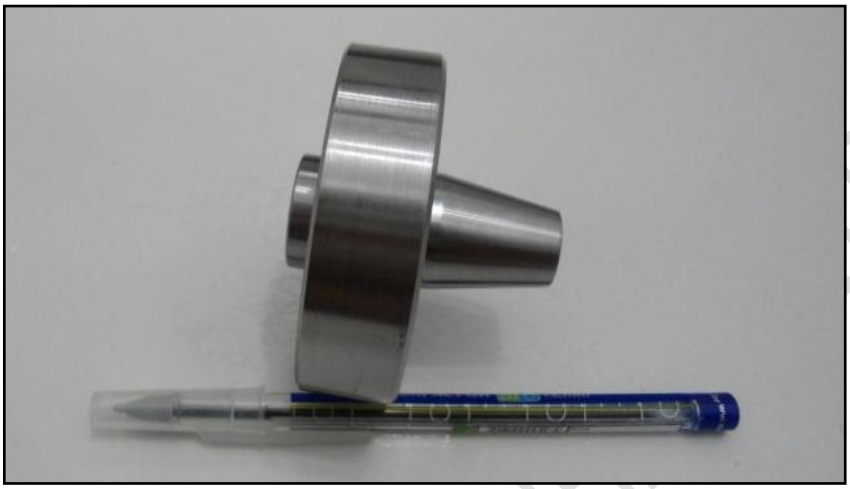
Após a lubrificação das peças, cada um dos conjuntos foi preparado para montagem inserindo-se a roda no suporte e posicionando-se o eixo no furo da roda, com a ponta biselada para baixo, conforme mostram as Fotografias 4 e 5.

Fotografia 4 – Roda inserida no suporte

Fotografia 5 – Eixo posicionado para montagem

As montagens foram realizadas pela Máquina para Ensaios de Materiais WOLPERT LESTOR, pressionando-se o eixo até o contato pleno das superfícies de ajuste, cujo resultado está mostrado na Fotografia 6.

Fotografia 6 – Conjunto montado



As desmontagens foram realizadas com os conjuntos posicionados conforme está mostrado na Fotografia 7, pressionando-se a ponta do eixo, com a mesma máquina, até que o contato entre as peças deixe de existir.

Fotografia 7 – Conjunto posicionado para desmontagem

A coleta de dados foi realizada nos gráficos *força x deslocamento*, gerados pela máquina de ensaios mecânicos WOLPER LESTOR nas montagens e nas desmontagens dos conjuntos.

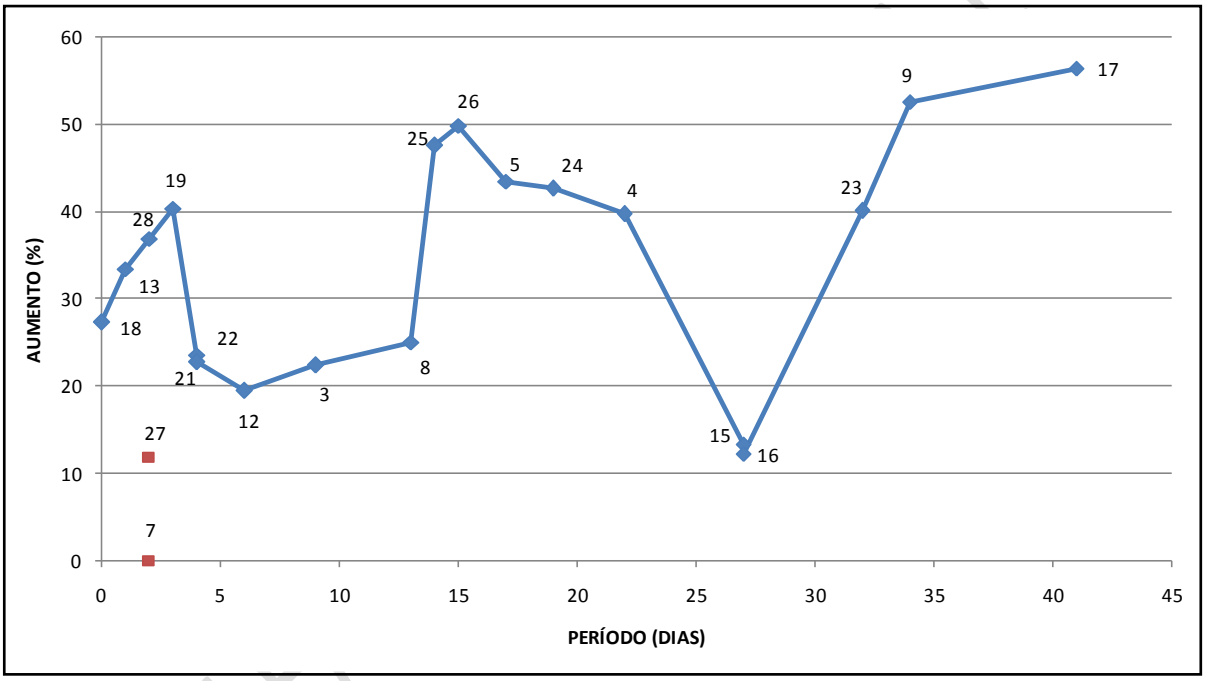
Foram realizadas caracterizações metalográficas no material roda, para comparar a forma e a orientação preferencial dos grãos da superfície próxima ao furo com a superfície próxima ao diâmetro externo. Também foram realizados ensaios de dureza na roda e no eixo, com o objetivo de verificar a ocorrência de aumento de dureza decorrente de uma possível deformação plástica durante a montagem.

NEW LEADER ENGENHARIA LTDA.

RESULTADOS

O Gráfico 1 é o resumo dos quarenta e dois (42) gráficos gerados pela Máquina para Ensaios de Materiais WOLPERT LESTOR e mostra o comportamento da força de aderência em função do tempo. O eixo vertical do gráfico representa o percentual de aumento da força de desmontagem em comparação com a força de montagem e o eixo horizontal representa tempo decorrido entre a montagem e a desmontagem de cada um dos conjuntos roda-eixo.

Gráfico 1 – Comportamento da força de aderência em função do tempo

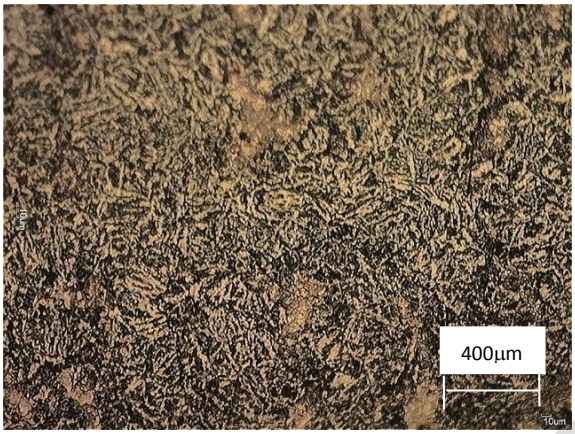


O gráfico mostra que, para todos os conjuntos, a força de desmontagem (força de aderência) [1] é maior do que a força de montagem e que a força de desmontagem aumenta em função do tempo. Portanto, confirma a afirmativa de que a força de aderência de um ajuste prensado, entre peças de aço, aumenta com o tempo decorrido após montagem. [3]

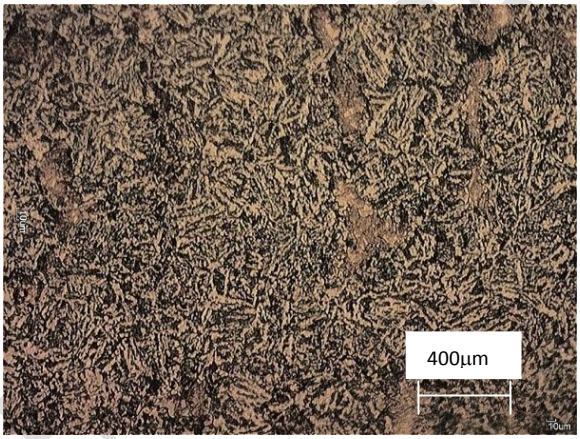
Além disso, foi possível confirmar que a taxa de aumento da força de aderência foi mais alta nos primeiros dias e diminuiu com o decorrer do tempo: no terceiro dia após montagem foi registrado um aumento de 40% e, embora com oscilações, o aumento total chegou a 56% no quadragésimo primeiro (41º) dia.

As Micrografias 1, 2, 3 e 4 mostram as imagens da superfície lateral da roda nº 17, que foi desmontada no 41º dia após montagem[2]: (a) micrografia de um ponto distante ≅ 1,2 mm do furo; (b) micrografia de um ponto distante ≅ 2,5 mm do furo; (c) micrografia de um ponto distante ≅ 3,0 mm do diâmetro externo da roda; (d) micrografia de um ponto distante ≅ 2,0 mm do diâmetro externo da roda.[3]

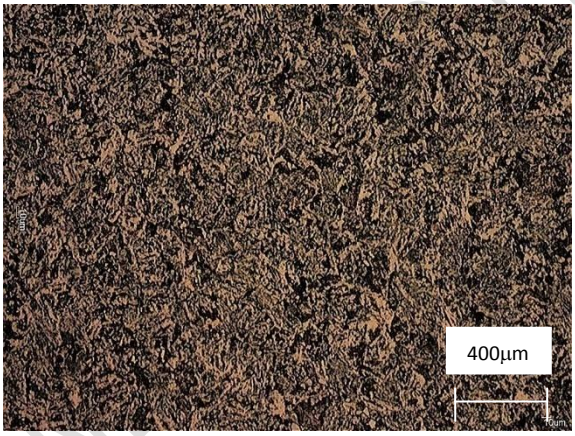
Micrografia 3.2 – Roda nº 17 (após desmontagem) 100X – Nital 2%



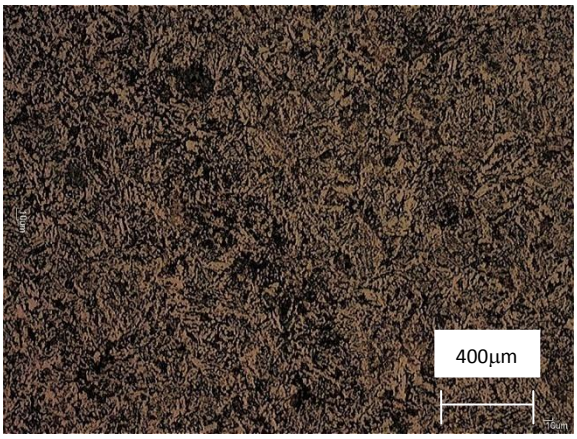
(a) próximo ao furo (≅ 1,2 mm)



(b) próximo ao furo (≅ 2,5 mm)



(c) próximo da superfície externa (≅ 3,0 mm)



(d) próximo da superfície externa (≅ 2,0 mm)

[2] Escolhida por ser a amostra com maior tempo de armazenamento.

[3] (a) e (b) Distâncias medidas a partir da interseção do raio de concordância do furo com a superfície lateral da roda; (c) e (d) Distâncias medidas a partir do raio externo da roda.

As imagens da amostra permitiram executar a comparação da morfologia do material entre as regiões laterais próximas ao furo e as regiões laterais próximas ao diâmetro externo da roda. Verificou-se que os grãos do material da roda estão um pouco mais reduzidos e alongados nas regiões próximas ao diâmetro externo da roda. Fato que pode ser explicado pelo processo de fabricação da matéria prima, ou seja, do processo de resfriamento do tarugo: mais rápido na superfície externa e mais lento na superfície interna.

Os resultados dos ensaios de dureza na roda nº 8 - amostra escolhida de modo aleatório - mostraram que a dureza é maior nas regiões próximas à superfície externa da roda. Fato que também que também pode ser explicado pelo processo de resfriamento do tarugo.

Portanto, o exame das imagens microscópicas e o resultado da análise dos ensaios de dureza permitiram concluir que a tensão resultante da interferência entre as peças não provocou deformações permanentes nas regiões com distância maior do que 2,2 mm (raio de concordância do furo + 1,2 mm).

NEW LEADER ENGENHARIA LTDA

CONCLUSÃO

Com base nos resultados dos ensaios de montagem e de desmontagem dos conjuntos roda – eixo foi possível confirmar experimentalmente a afirmação de que nos ajustes prensados, entre peças de aço, a força de desmontagem (força de aderência) aumenta após a execução da união das peças e que esta aumenta muito nos primeiros dias e segue aumentando, embora mais lentamente, com o decorrer do tempo.

RECOMENDAÇÕES

Este fenômeno é de grande importância para o cálculo da interferência entre peças de aço, pois o aumento da força de aderência, que nesta pesquisa, em quarenta e um (41) dias de armazenamento, foi de 56% da força de montagem, pode produzir níveis de tensões tangenciais que, em conjunto com pontos de concentração de tensões, como rasgos de chavetas, podem iniciar trincas que poderão resultar em fraturas.

Outro ponto de grande importância está no alerta aos engenheiros que este fenômeno deve ser considerado nos estudos das causas prováveis de fraturas em engrenagens montadas em seus respectivos eixos, mas que ainda não foram postas em operação.

Os resultados do estudo revelaram a necessidade de ações de continuidade, sendo uma das principais a necessidade da realização de pesquisas com o objetivo de determinar o tempo de espera mínimo para a posta em marcha, de maneira a não coincidir com alguma das oscilações negativas da força de aderência.

NEW LEADER ENGENHARIA LTDA

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGOSTINHO, Oswaldo Luiz et al. **Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões**. 3ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1977.

2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6158**: Sistemas de tolerâncias e ajustes. Rio de Janeiro, 1995.

3. MATEOS, Abelardo Garcia. **Tolerâncias e Ajustes**. Tradução de Augusto Câmara Neiva. 2ª ed. São Paulo : Editora Polígono, 1974.

4. NORTON, Robert L. **PROJETO DE MÁQUINAS.** Uma abordagem integrada. Tradução de Maik Briscese Müller et al. 2ªed. Porto Alegre : Artmed Editora S.A., 2004.

NEW LEADER ENGENHARIA LTDA