



**UNIVERSIDADE SANTA
CECÍLIA**

ENGENHARIA MECÂNICA INDUSTRIAL

**Análise dos Parâmetros que Influenciaram a Falha dos Parafusos
Calibrados Aço1045 do Acoplamento de Engrenagem da Mesa
Giratória do Laminador de Chapas Grossas**

SUMÁRIO

-  **Objetivo**
-  **Metodologia**
-  **Introdução**
-  **Fundamentação Teórica**
-  **Método Experimental**
-  **Resultados Experimentais**
-  **Conclusão**
-  **Grupo de Trabalho**



OBJETIVO

Apresentar um estudo do motivo da quebra dos parafusos do acoplamento da mesa giratória do Laminador de Chapas Grossas da Cosipa.



METODOLOGIA

Método baseado na metalografia e nos estudos dos esforços mecânicos a que eles estão submetidos.

Utilização do software SOLIDWORKS® e COSMOSWORKS®, que simula todos estes esforços mecânicos através do “método matemático dos elementos finitos”.



INTRODUÇÃO

Um laminador de chapas grossas é um equipamento composto de quatro cilindros empilhados na vertical e seu objetivo é reduzir a espessura de placas de aço, à medida que elas passam entre estes cilindros, aplicando-se uma força de aperto nas placas.



INTRODUÇÃO

Um dos principais equipamentos que fazem parte de um laminador de chapas grossas são as mesas giratórias de entrada e saída. A principal função destas mesas é girar o material na entrada e na saída do laminador, conforme o sentido de laminação, se transversal ou longitudinal.



INTRODUÇÃO

O trabalho surgiu da necessidade de analisar as quebras dos parafusos do acoplamento da mesa giratória, que causaram paradas de emergência no equipamento.



REGIÃO FRATURADA



FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

ANÁLISE DE FALHAS

A análise de falha é uma metodologia que tem o objetivo de identificar os mecanismos que causam danos ou falhas em elementos mecânicos ou equipamentos. O resultado de um estudo de análise de falha é utilizado para corrigir os fatores que provocam as falhas, evitando suas reincidências.



FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DE FALHAS

- Coleta de Informações;
- Inspeção Visual;
- Metalografia;
- Ensaio de Dureza;
- Engenharia Reversa e
- Cálculos Matemáticos.



FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

COLETA DE INFORMAÇÕES

A informação deve ser feita preferencialmente no momento e no local onde ocorreu a falha, a fim de evitar que falte algum dado importante.



FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

INSPEÇÃO VISUAL

Importante recurso na verificação de alterações dimensionais, padrão de acabamento superficial e na observação de descontinuidades superficiais visuais. Ex.: cavidades e porosidades.



FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

METALOGRAFIA

Metalografia é o estudo da estrutura interna ou externa dos metais. Quanto ao tipo de observação, ela está subdividida basicamente em duas classes:

- **Macroscopia;**
- **Microscopia.**



FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

ENSAIO DE DUREZA

O ensaio de dureza é a determinação da resistência que um material oferece à penetração de outro em sua superfície.



FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

ENGENHARIA REVERSA

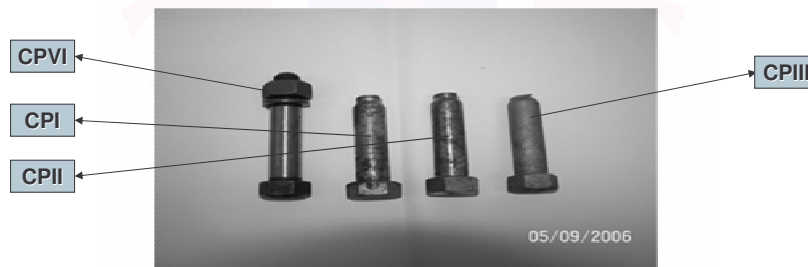
A engenharia reversa consiste em, a partir de uma solução pronta, reavaliar parâmetros e conceitos ali empregados.



MÉTODO EXPERIMENTAL

Inspeção Visual

Para os corpos de prova, foram selecionados parafusos que quebraram em campo, sendo identificados como: CP I, CP II, CP III e CP IV (parafuso novo).



MÉTODO EXPERIMENTAL

Macrografia

O ensaio de macrografia foi realizado com a finalidade de identificar os defeitos superficiais.

O preparo do corpo de prova de macrografia consistiu em:

- Escolha e localização da secção a ser estudada;
- Deixar a superfície plana e polida no lugar escolhido;
- Ataque dessa superfície por um reagente químico adequado.



MÉTODO EXPERIMENTAL

Micrografia

O exame da superfície foi realizado no microscópio óptico para verificação de inclusões, escórias, trincas, distribuição da grafita, porosidades, ou outras ocorrências.



MÉTODO EXPERIMENTAL

Ensaio de Dureza

- Foram seccionados dois corpos de provas CPI e CPII no cortador de disco abrasivo (cut-off);
- Estes CPs foram submetidos a um polimento, onde a superfície que interessava foi cuidadosamente lixada e polida;
- Logo após a finalização do acabamento superficial, os CPs foram submetidos ao ensaio de dureza, o qual foi repetido por três vezes, em cada um dos CPs, para obtenção da média, utilizando a escala de Rockwell C do equipamento.



MÉTODO EXPERIMENTAL

Engenharia Reversa

A engenharia reversa compreendeu o tratamento térmico do material para a obtenção da dureza necessária.

Tratamento térmico

Foi realizado um ensaio de tratamento térmico, têmpera e revenimento, conferindo as características como uma forma de avaliar as microestruturas.



UNISANTA



MÉTODO EXPERIMENTAL

Têmpera em água dos corpos de prova

- Foi realizado um tratamento térmico de têmpera com o objetivo de obter uma estrutura denominada martensítica. Os corpos de prova foram submetidos às seguintes etapas:
- Os corpos de provas CP I e CP II foram seccionados em três partes com dimensões de Ø16 mm x 5 mm de altura;
- A mufla foi ajustada para chegar à temperatura de 950 °C;
- Após atingir esta temperatura os CPs foram inseridos, permanecendo lá por 10 min;
- Depois de retirados da mufla os CPs foram inseridos em um recipiente com água a uma temperatura de 25 °C.



UNISANTA



MÉTODO EXPERIMENTAL

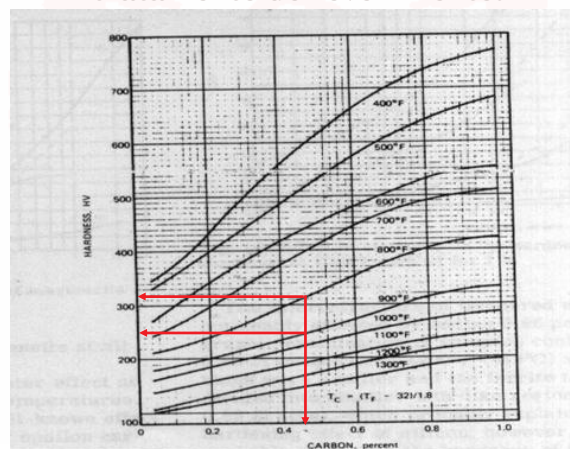
Revenimento dos corpos de prova CPI e CPII

É o tratamento usado para remover as tensões internas deixadas pela têmpera. O revenimento melhora a tenacidade das microestruturas martensíticas, diminuindo a resistência e a dureza.



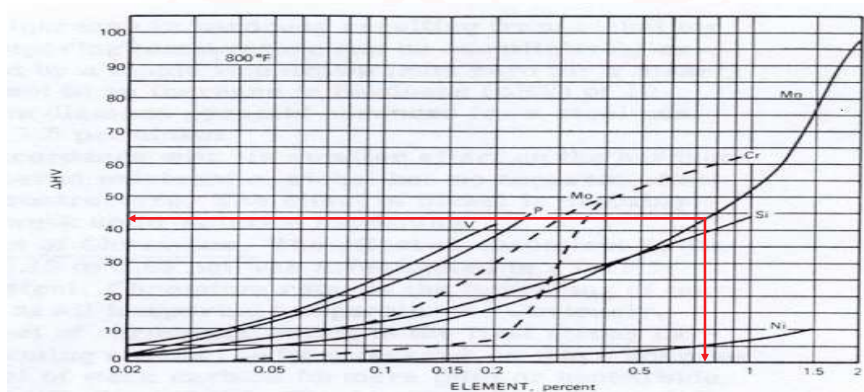
MÉTODO EXPERIMENTAL

Demonstrativo da influência do Carbono na dureza no tratamento de revenimento.



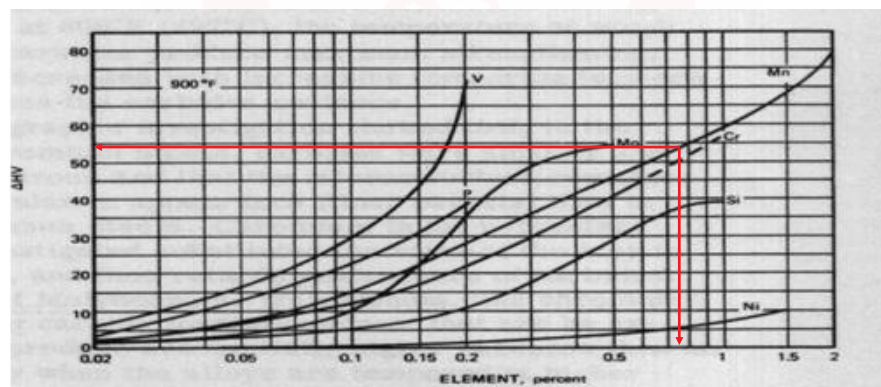
MÉTODO EXPERIMENTAL

Demonstrativo da influência do Manganês (800° F) na dureza no tratamento de revenimento.



MÉTODO EXPERIMENTAL

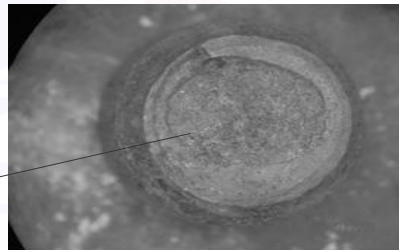
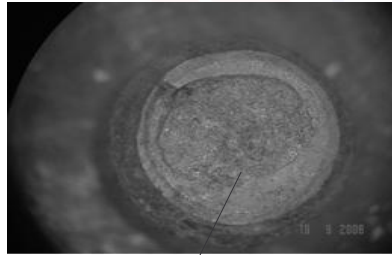
Demonstrativo da influência do Manganês (900° F) na dureza no tratamento de revenimento.



RESULTADOS EXPERIMENTAIS

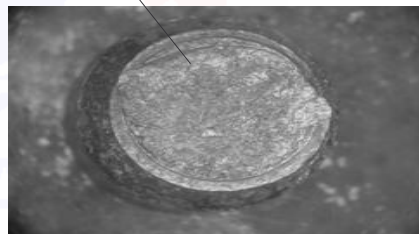
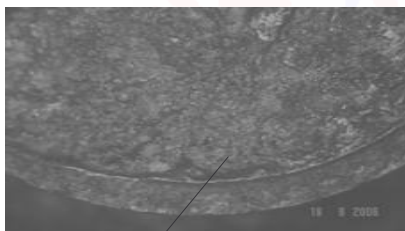
Análise Visual

Fratura por fadiga seguida por fratura frágil.



RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Fratura Frágil



RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Ensaio de Dureza

RESULTADO DA DUREZA - HRC					
Amostra	Tipo de Dureza	Medida I (HRC)	Medida II (HRC)	Medida III (HRC)	Resultado (HRC)
CP I	HRC	11	9	10	10
CP II	HRC	7	6	8	7
CP IV	HRC	25	23	24	24



RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Ensaio Metalográfico

Macrografia:

Não apresentou algumas das heterogeneidades mais comuns nos aços, tais como:

- vazio, causado pelo resfriamento lento;
- segregação, causadas pelas impurezas e outros metais;
- dendritas, formação de grãos de vários tamanhos;
- trincas, devido às tensões excessivas no resfriamento.



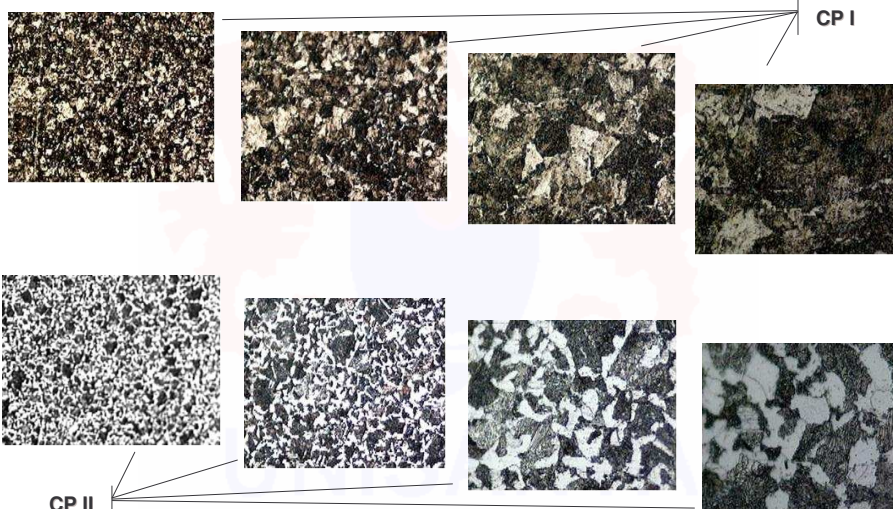
RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Micrografia:

As amostras (CP I e CP II) analisadas apresentaram microestruturas variadas, cuja apresentação destes resultados veremos subdivididos por amostras.



RESULTADOS EXPERIMENTAIS



RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Amostras CP I e CP II

Microestrutura: ferrita e perlita

Tratamento térmico: ausência de têmpera e revenimento



RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Reengenharia

Foi realizado um processo de têmpera, aquecendo o material à 950°C e após resfriando-o em água à 25°C, onde adquiriu-se uma estrutura 100 % martensítica, com dureza de 58 HRC. Posteriormente, com a mesma amostra realizamos um ensaio de revenimento baseado nos cálculos descritos no método experimental, cujo valor encontrado é para uma temperatura de 458,51 °C. Dessa forma, alcançamos uma dureza, após o revenimento, de 32 HRC.



RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Amostra CP I apresentou martensita revenida (imagem ampliada 200 X).



RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Cálculos dos Esforços

Força de aperto:

$$F_{ap} \geq \frac{R}{\mu_{chapa}}$$

Momento de aperto:

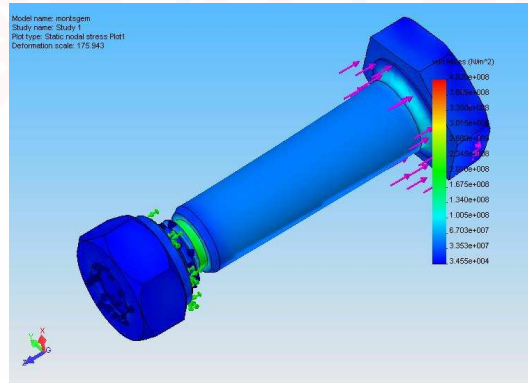
$$M_{ap} = F_{ap} \times \left[\frac{d_2}{2} \times \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + 0,7 \times d \times \mu_{escora} \right]$$



RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Modelamento Matemático

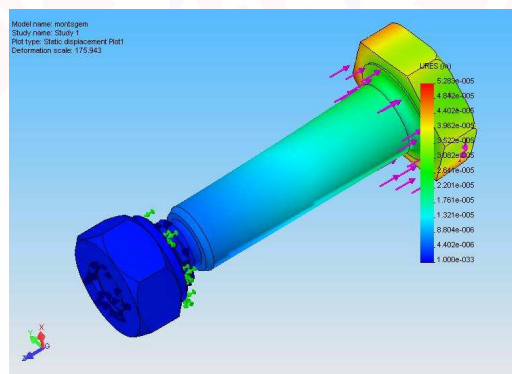
Conjunto de fixação: Análise de tensões por Von Mises



RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Modelamento Matemático

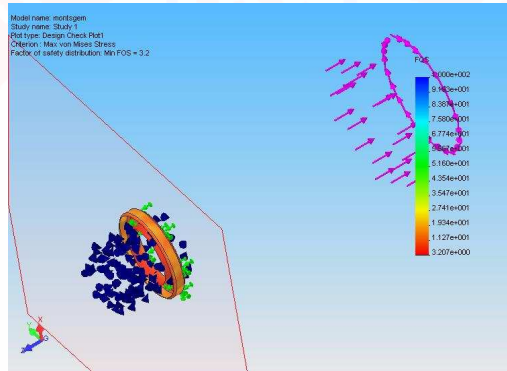
Conjunto de fixação: Deslocamento da cabeça do parafuso



RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Modelamento Matemático

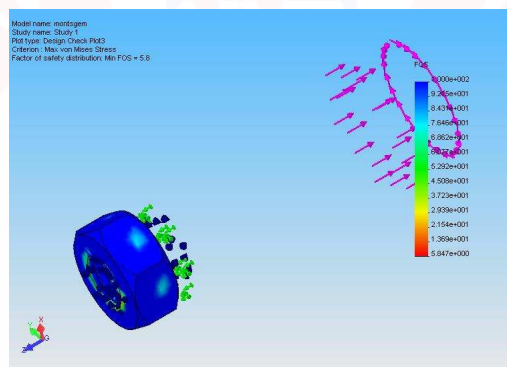
Conjunto de fixação: Coeficiente de segurança da arruela



RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Modelamento Matemático

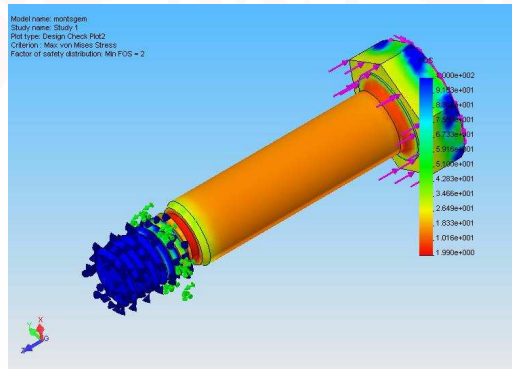
Conjunto de fixação: Coeficiente de segurança da porca



RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Modelamento Matemático

Conjunto de fixação: Coeficiente de segurança do parafuso



CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O CPI rompeu por fadiga seguida de fratura frágil
- O CP II rompeu somente por fratura frágil.
- Os corpos de prova ensaiados apresentaram dureza abaixo do especificado no projeto, pois não eram materiais temperados e revenidos
- Com os cálculos de elementos de máquinas foi possível determinar a força de aperto e o momento de aperto, dados que não constam no projeto e não é possível determinar se foram utilizados na montagem dos parafusos.
- Com base nos programas SOLIDWORKS® e o COSMOSWORKS® utilizados, em conjunto com o método matemático de elementos finitos, justificamos que o parafuso especificado estava superdimensionado em relação ao projeto.



GRUPO DE TRABALHO

Cláudio Marcelo Balbino dos Santos

Gledson Leandro Severo da Silva

Ludney Oliveira de Jesus

Ricardo Lima da Silva

Wagner Tiago de Lima

