FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGA

ESTUDO DE QUEBRAS EM GRAMPOS CONFORMADOS A FRIO APLICADOS EM FEIXES DE MOLAS

EMERSON GOMES VIDAL
IVAIR RODRIGUES DE CAMARGO

Monografia apresentada a Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba para Graduação no curso superior de “Tecnologia em Metalurgia”.

Pindamonhangaba-SP
2013

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGA

ESTUDO DE QUEBRAS EM GRAMPOS CONFORMADOS A FRIO APLICADOS EM FEIXES DE MOLAS

EMERSON GOMES VIDAL
IVAIR RODRIGUES DE CAMARGO

Monografia apresentada a Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba para Graduação no curso superior de "Tecnologia em Metalurgia".

Área de concentração: Materiais
Orientador: Amir Rivaroli Junior
Coorientador (a): Denise C. de Oliveira

Pindamonhangaba-SP
2013

V667e Vidal, Emerson Gomes.
Estudo de quebras em grampos conformados a frio aplicados em feixes de molas / Emerson Gomes Vidal; Ivair Rodrigues de Camargo / FATEC Pindamonhangaba, 2013.
45f.; il.

Orientador: Professor Me. Amir Rivaroli Junior
Co-Orientadora: Denise C. de Oliveira
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2013

1. Conformação. 2. Grampo. 3. Quebra. 4. Análise. I. Vidal, Emerson Gomes. II. Camargo, Ivair Rodrigues de. III. Rivaroli Junior, Amir. IV. Oliveira, Denise C. de. V. Título.

CDD 671.25

Sueli Camargo de Souza – Bibliotecária FATEC Pindamonhangaba – CRB/8 7788

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA

TÍTULO DO TRABALHO

"Estudo de quebras em grampos conformados frio aplicados em feixes de molas"

Emerson Gomes Vidal

Ivair Rodrigues de Camargo

Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, para graduação no Curso Superior de Tecnologia em Metalurgia.

Comissão Examinadora

Orientador – Prof. Especialista Amir Rivaroli Júnior

Membro Interno – Prof. Ms. Marcelo Bergamini de Carvalho

Membro Externo – Ms. Especialista Denise Correa de Oliveira

Pindamonhangaba, 24 , de Julho , 2013.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu irmão Marcelo uma pessoa especial por natureza, a minha esposa Mariane, meu filho Ronaldo e aos meus pais e irmãos.

Emerson

AGRADECIMENTOS

A Deus que foi e continua sendo à base de tudo durante toda essa jornada;

A minha Esposa e meu filho, companheiros inseparáveis pela compreensão e incentivo.

Aos meus Pais e Irmãos pela educação e o convívio familiar que moldaram minha índole e meu caráter.

A Todos os Professores da Faculdade de tecnologia de Pindamonhangaba por terem contribuído direta ou indiretamente com meu aprendizado.

Ao Professor Amir Rivaroli Junior pelos ensinamentos e por me orientar na criação deste trabalho;

À engenheira Denise Correa de Oliveira pela sua dedicação e apoio técnico na criação deste trabalho.

A todos os colegas de classe e funcionários da Fatec de Pindamonhangaba

Emerson

DEDICATÓRIA

A meus pais Benedito e Geni, minha esposa Maria do Carmo, meus filhos e

Meus irmãos.

Ivair

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, à minha esposa Maria, que sempre me incentivou.

A Todos os Professores da Faculdade de tecnologia de Pindamonhangaba por terem contribuído direta ou indiretamente com meu aprendizado.

Ao Professor Amir Rivaroli Junior pela orientação na criação deste trabalho.

À engenheira Denise Correa de Oliveira pela sua disponibilidade em compartilhar seu conhecimento para o enriquecimento do trabalho.

A todos os colegas de classe e funcionários da Fatec de Pindamonhangaba.

Ivair

SUMÁRIO

Resumo 10

Abstract 11

1. Objetivos 12

2. Introdução 13

3. Revisão bibliográfica 18

3.1.3 Defeitos de Laminação 18

3.2.3 Defeitos de Trefilação 22

3.3. Amassamento 25

3.4. Dobramento 26

3.4.1 Raio de Dobramento 27

3.4.2 Efeito mola 28

4. Materiais e Métodos 30

4.1 Amostragem e Rastreabilidade 30

4.2 Pré análise 30

4.3 Preparação 30

4.4 Análise 30

5. Resultados 31

5.1 1º Caso 31

5.2 2º Caso 34

5.3 3º Caso 37

5.4 4º Caso 40

6. Discussão de resultados 43

7. Conclusões 44

8. Referências Bibliográficas 45

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Aplicação de grampos na suspensão de veículos..... 13

Figura 2 - Fluxograma de produção de barras para fabricação dos grampos 14

Figura 3 - Foto de trinca transversal na região dobrada de um grampo 16

Figura 4 - Foto de fratura em grampo iniciada na região interna de um grampo 16

Figura 5 – Foto de um Vazio 100X..... 18

Figura 6 - Foto de uma Gota fria..... 19

Figura 7 - Foto de uma Trinca..... 19

Figura 8 - Foto de uma Dobra..... 20

Figura 9 - Foto de uma Inclusão 20

Figura 10 - Foto de uma Segregação 21

Figura 11 - Foto de Granulação Heterogênea..... 21

Figura 12 - Ilustração de Diâmetro irregular..... 22

Figura 13 - Ilustração de Fratura irregular..... 22

Figura 14 - Marcas em forma de “V” e Fratura em ângulo 23

Figura 15 - Fratura com risco lateral ao redor da marca de inclusão..... 23

Figura 16 - Ilustração de Fratura com trinca aberta em duas partes 23

Figura 17 - Detalhe de Queima de trefila 24

Figura 18 - Defeito do tipo Chevron 24

Figura 19 - Foto de Barras que sofreram amassamento na região central 25

Figura 20 - Efeito do amassamento na estrutura de uma barra cilíndrica..... 25

Figura 21 - Esquema de dobramento de múltiplas operações 26

Figura 22 - Esquema de esforços e forma no dobramento 27

Figura 23 - Esquema de tensões de dobramento 28

Figura 24 - Ilustração de Efeito mola 29

Figura 25 - Foto do grampo 1ºCaso 29
Figura 26 - Detalhes da trinca na região 4 1°Caso 29
Figura 27 - Foto da Região 2 superficial com detalhe da seção 1ºCaso 32
Figura 28 - Foto da região 1 com Granulação heterogênea 100X 1ºCaso 32
Figura 29 - Foto da região 2 Transversal 500X 1ºCaso 33
Figura 30 - Foto da região 2 longitudinal 500X 1ºCaso 33
Figura 31 - Foto do grampo 2º Caso 34
Figura 32 - Foto do detalhe da fratura 2º Caso 34
Figura 33 - Detalhe da trinca na região 3 2º Caso 35
Figura 34 - Foto da região 4 com Granulação heterogênea 100X 2º Caso 35
Figura 35 - Região 1 transversal 500X 2º Caso 36
Figura 36 - Região 2 longitudinal 200X 2º Caso 36
Figura 37 - Regiões analisadas 3º Caso 37
Figura 38 - Face da fratura 3º Caso 37
Figura 39 - Trinca transversal 3º Caso 38
Figura 40 - Posição 02 não amassada 100X 3º caso 38
Figura 41 - Região 02 Transversal 500X 3º Caso 39
Figura 42 - Posição 02 não amassada 100X 3º caso 39
Figura 43 - Regiões analisadas 4º Caso 40
Figura 44 - Detalhe da Fratura 4º Caso 40
Figura 45 - Trinca transversal 4º Caso 41
Figura 46 - Região 01 100X 4º Caso 41
Figura 47 - Região 01 Corte Transversal 500X 4º Caso 42
Figura 48 - Região 01 Corte Longitudinal 200X 4º Caso 42

VIDAL, EMERSON; DE CAMARGO, IVAIR. **ESTUDO DE QUEBRAS EM GRAMPOS CONFORMADOS A FRIO APLICADOS EM FEIXES DE MOLAS.** 2013. 45 páginas, Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba.

Resumo

O presente trabalho trata da quebra de grampos conformados a frio. Foram analisados quatro casos de grampos que sofreram quebra durante o processo de fabricação, realizando-se análises metalográficas. Os resultados das análises mostraram as origens das fraturas em cada caso, dessa forma foi possível identificar falhas de produto e de processo. A partir das quais poderão ser tomadas ações corretivas para minimizar ou eliminar este tipo de ocorrência.

Palavras chave: Grampo, conformação, Quebra, Analise.

VIDAL, EMERSON; DE CAMARGO, IVAIR. **ESTUDO DE QUEBRAS EM GRAMPOS CONFORMADOS A FRIO APLICADOS EM FEIXES DE MOLAS.** 2013. 45 páginas, Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba.

Abstract

This work is focused on the study of broken U-bolts, used in suspension springs. Four breakages were studied using metallographic analysis. Results have shown the origin of the failures, some products and process problems could be identified, to guide some corrective actions to minimize these occurrences.

Keywords: U-bolts, broken, Analysis, failures.

1 Objetivos

Este trabalho visa analisar as falhas ocorridas durante o processo de fabricação de grampos conformados a frio aplicados em feixes de molas, que os levaram a ruptura e assim identificar as possíveis causas relacionadas a processo e ou matéria prima, através de analises metalúrgicas nas peças fraturadas.

2 Introdução

No cenário atual, a competitividade é imprescindível para a sobrevivência de uma organização e são extremamente impactantes prejuízos como: perda metálica por peças refugadas (sejam elas em qualquer etapa do processo de fabricação), retrabalho de qualquer tipo devido a falhas de processo e recall. Este último é o mais grave, tem um impacto financeiro gigantesco, além de poder comprometer a segurança dos usuários do produto final em alguns casos, como no mercado automotivo. Direta e indiretamente soma-se o custo de encargos referentes à devolução de produtos, juntamente com os prejuízos relacionados à imagem da empresa e/ou produto e perda de clientes.

Logo fica clara a importância de se garantir um produto de qualidade e dessa forma encontrar a origem de falhas sejam elas de processo ou de matéria prima.

O estudo do presente trabalho é sobre um produto do segmento de autopeças, o que aumenta a criticidade do problema e exige um controle de qualidade ainda maior. Uma peça com defeito que chegue até o cliente final (usuário do veículo) e venha a quebrar poderá trazer inúmeras consequências como perdas materiais e processos criminais por exemplo.

O produto em questão é um grampo utilizado na montagem de feixes de mola de suspensão aplicados em caminhonetes, ônibus e caminhões. São montados de forma a agrupar as molas fixando-as no eixo conforme Figura 1.

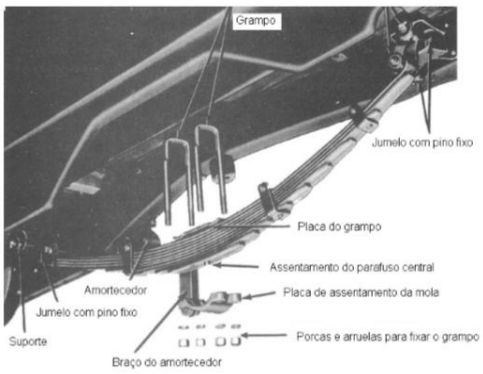

Figura 1- Aplicação de grampos na suspensão de veículos (VENTURA, 2006).

Estas peças sofrem severas solicitações de esforço mecânico e devido a isso necessitam de propriedades mecânicas e metalúrgicas especificas. O produto é fabricado em aço médio carbono, com manganês e refinadores de grão.

Os grampos são fabricados a partir de barras trefiladas, produzidas em usina semi-integrada que usa sucata como matéria prima. O aço é produzido em lingotamento continuo, em seguida é laminado a quente para uma bitola intermediaria, sendo o estágio final de laminação o formador de espiras, em que são formadas as bobinas (produto ainda intermediário). No próximo estágio as bobinas são enviadas para o setor de trefilação onde são produzidas barras trefiladas na bitola final na qual será produzido o grampo (Figura 2).

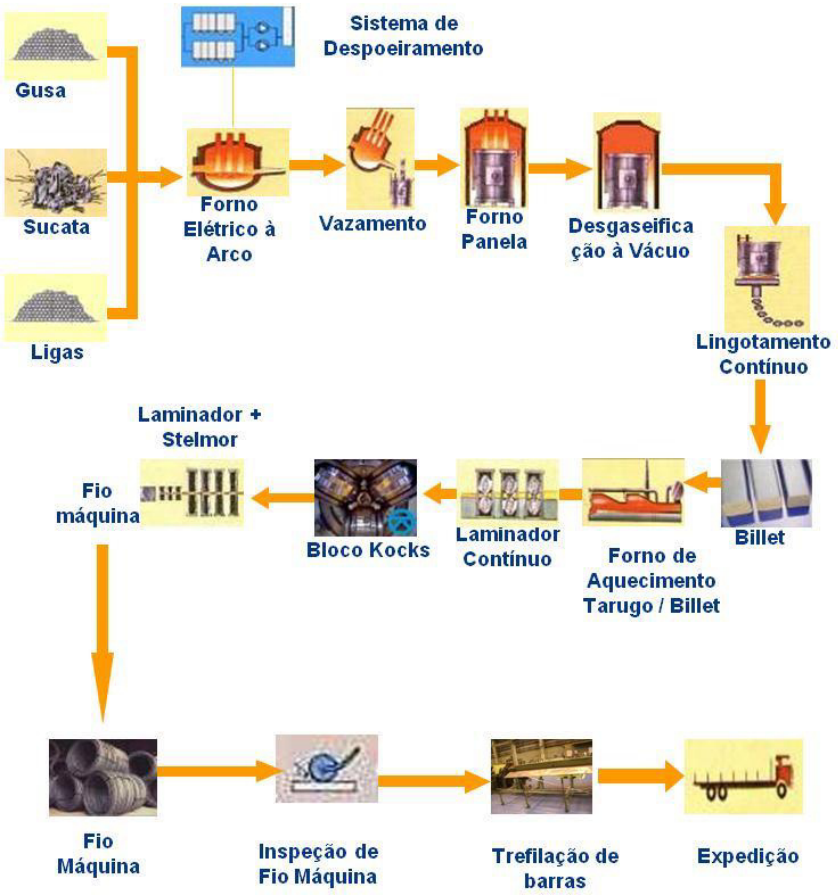

Figura 2 - Fluxograma de produção de barras para fabricação dos grampos

O grampo é produzido a partir das barras trefiladas, e passa pelas seguintes etapas de processo:

- Corte: as barras são cortadas no comprimento especificado;

- Amassamento da região central: as barras são amassadas em prensa hidráulica formando uma região plana meio da barra;

- Laminação da rosca: são laminadas as roscas nas extremidades das barras;

- Dobramento a frio em formato de U: As barras são dobradas em forma de U;

- Inspeção: avaliação das peças para inspeção de defeitos superficiais

- Pintura: acabamento da peça.

A falha analisada ocorre na etapa de dobramento a frio, logo após o amassamento da região central, quando a peça é submetida à pressão nas duas extremidades através de uma prensa hidráulica. A região central fica apoiada em uma matriz.

No geral as quebras sempre ocorrem no raio do grampo, essa região concentra uma grande quantidade de tensões, oriundas das diversas etapas de conformação precedentes, como trefilação, amassamento e dobramento, por isso é necessária uma análise aprofundada levando em conta a diversidade de defeitos que podem ser gerados durante esses processos e nos anteriores.

Quanto ao início da fratura, há duas incidências de falha: a partir da superfície e a partir do núcleo da peça. Em alguns casos a quebra se inicia no raio externo da região dobrada, com o surgimento de trincas transversais (Figura 3).

Figura 3 - Foto de trinca transversal na região dobrada de um grampo

O surgimento de trincas transversais indica a existência de uma região fragilizada na superfície, o que pode ser causado por atrito excessivo na trefilação (“queima de trefila” – formação de camada martensítica pelo aquecimento excessivo seguido de rápido resfriamento durante a trefilação). Outra causa poderia ser granulação grosseira (camada com crescimento de grão na superfície causado por desvios de laminação relacionados a resfriamento). Porém em alguns casos a quebra se inicia no interior da região dobrada e se propaga para superfície (Figura 4).

Figura 4 - Foto de fratura em grampo iniciada na região interna de um grampo

Nesses casos imagina-se a existência de uma região frágil no núcleo da região dobrada, o que pode indicar existência de segregação interna (originada em aciaria) ou heterogeneidades estruturais oriundas de laminação ou da própria conformação. Outra origem poderia também ser algum defeito interno, porém seria um caso pontual, em apenas algumas peças, e provavelmente não repetitivo em diversas peças.

3 Revisão bibliográfica

3.1 Defeitos nos Produtos Laminados

Os produtos laminados podem apresentar defeitos provenientes do próprio processo de laminação assim como defeitos originados na fabricação do lingote. Alguns deles estão listados a seguir (MORO e AURAS, 2007).

- Vazios: Podem ter origem de rechupes ou gases retidos durante a solidificação do lingote. Eles causam tanto defeito na superfície quanto enfraquecimento da resistência mecânica do produto (figura 5).

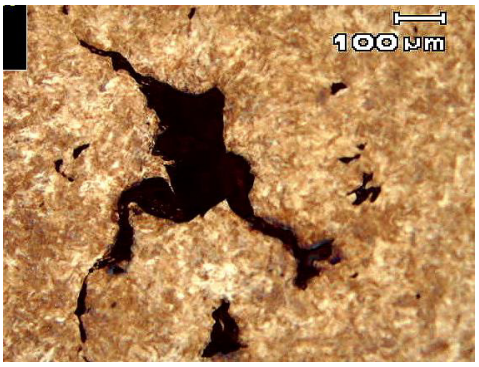

Figura 5 – Foto de um Vazio 100X

- Gotas frias: São respingos de metal que se solidificam nas paredes das lingoteiras durante o vazamento. Posteriormente, eles se agregam ao lingote e permanecem no material até o produto acabado na forma de defeitos na superfície (figura 6).

Figura 6 – Foto de uma gota fria

- Trincas: Aparecem no próprio lingote ou durante as operações de redução que acontecem em temperaturas inadequadas (figura 7).

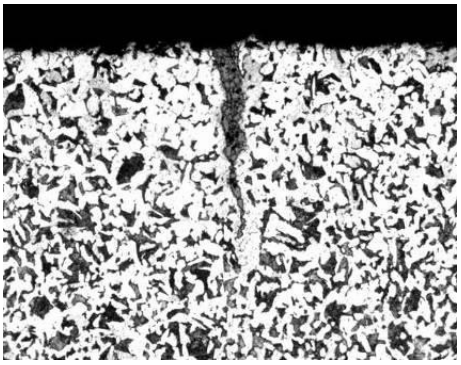

Figura 7 - Foto de uma trinca

- Dobras: São provenientes de reduções excessivas no qual um excesso de massa metálica ultrapassa os limites do canal e sofre recalque no passe seguinte (figura 8).

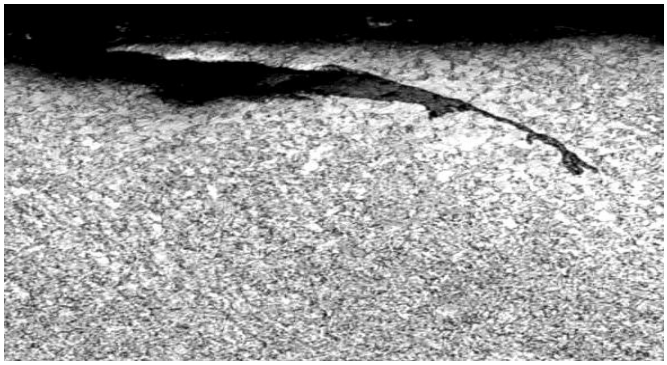

Figura 8 – Foto de uma dobra

- Inclusões: São partículas resultantes da combinação de elementos presentes na composição química do lingote, ou do desgaste de refratários e cuja presença pode tanto fragilizar o material durante a laminação quanto causar defeitos na superfície (figura 9).

Figura 9 – Foto de uma Inclusão

- Segregações: Acontecem pela concentração de alguns elementos nas partes mais quentes do lingote, as últimas a se solidificarem, elas podem acarretar heterogeneidades nas propriedades, além de fragilização e enfraquecimento de seções dos produtos laminados (figura 10).

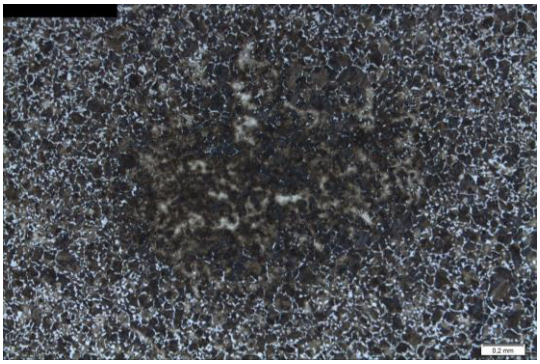

Figura 10 – Foto de uma segregação

- Granulação heterogênea: Acontece devido a variações nos parâmetros tempo e temperatura, podem se apresentar em toda seção do material ou em colônias na superfície e logo abaixo da mesma, nessa condição o material fica vulnerável em caso de posterior processamento (figura 11).

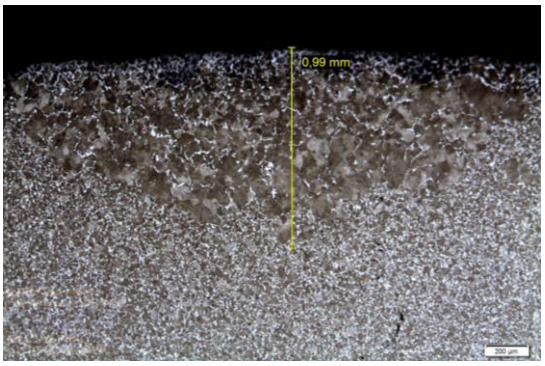

Figura 11 – Foto de Granulação heterogênea

Além disso, o produto pode ficar empenado, retorcido, ou fora de seção, em consequência de deficiências no equipamento, e nas condições de temperatura sem uniformidade ao longo do processo (MORO e AURAS, 2007).

3.2 Defeitos de trefilação

Os produtos trefilados podem apresentar defeitos provenientes do próprio processo de trefilação, assim como defeitos originados nos processos anteriores, alguns deles estão listados a seguir (BORBA, 2011).

- Diâmetro irregular: causado por partículas duras que ficam retidas na fieira e Posteriormente se desprendem (figura 12).

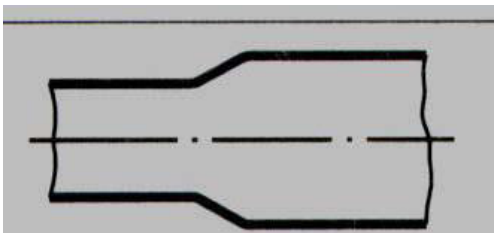

Figura 12 – Ilustração de Diâmetro irregular (BORBA, 2011).

- Fratura irregular formando cones: causada por redução excessiva e ângulo de Fieira muito grande, com acentuada deformação da parte central (figura 13).

- Fratura irregular com estrangulamento: causada por esforço excessivo devido á lubrificação deficiente ou redução excessiva.

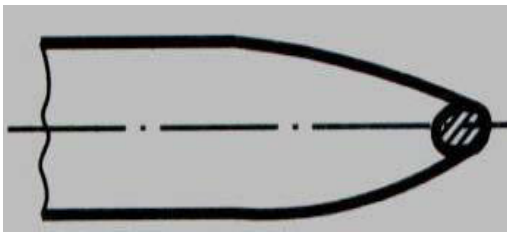

Figura 13 – Ilustração de Fratura irregular (BORBA, 2011).

- Marcas em forma de “v” ou fratura em ângulo: causadas por redução grande e Parte cilíndrica pequena, com inclinação do fio na saída; ruptura de parte da Fieira com inclusão de partículas no contato fio-fieira; inclusão de partículas Duras estranhas (figura 14).

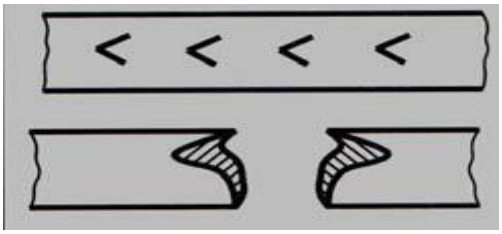

Figura 14 – Ilustração de Marcas em “V” e Fratura em ângulo (BORBA, 2011).

- Fratura com risco lateral ao redor da marca de inclusão: causada por partícula Dura inclusa no fio inicial proveniente da laminação ou extrusão (figura 15).

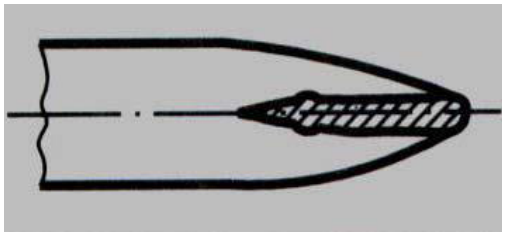

Figura 15 – Ilustração de Fratura com risco lateral ao redor da marca de inclusão (BORBA, 2011).

- Fratura com trinca aberta em duas partes: causada por trincas de laminação (figura 16).

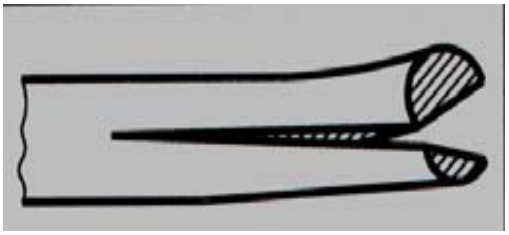

Figura 16 – Ilustração de Fratura com trinca aberta em duas partes (BORBA, 2011).

- Queima de trefila: causada por atrito excessivo (figura 17).

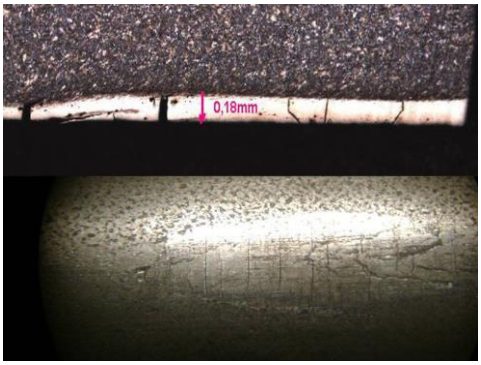

Figura 17 – Detalhe de Queima de trefila

- Chevron: este defeito ocorre devido à diferença de limite de escoamento entre a região interna e a região superficial, a região interna quando segregada apresenta um limite de escoamento menor (figura18).

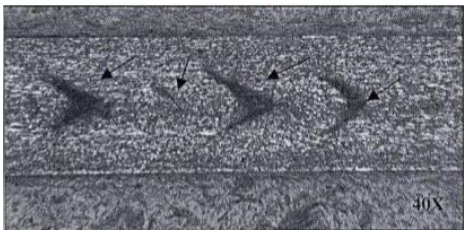

Figura 18 – Defeito do tipo Chevron (CUNHA, 2007).

3.3 Amassamento

Esse processo consiste em deformar levemente a região central da barra formando uma superfície plana (Figura 19), através de uma prensa hidráulica esse processo é realizado a temperatura ambiente causando encruamento no material.

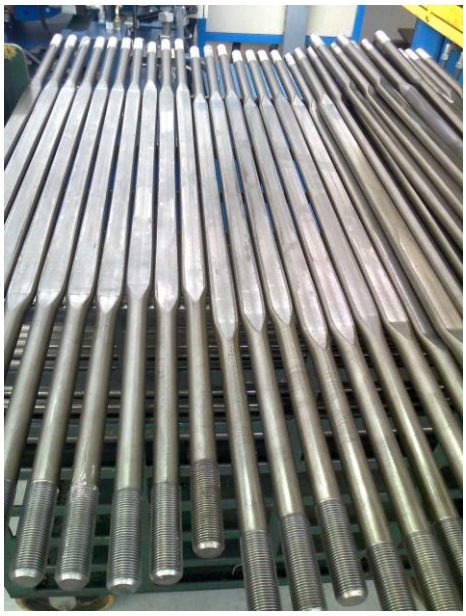

Figura 19 – Foto de Barras que sofreram amassamento na região central

A força é aplicada na superfície e a 180°, assim cria uma superfície plana. O processo gera linhas de deformação na estrutura em formato de X (Figura 20), criando zonas concentradoras de tensão.

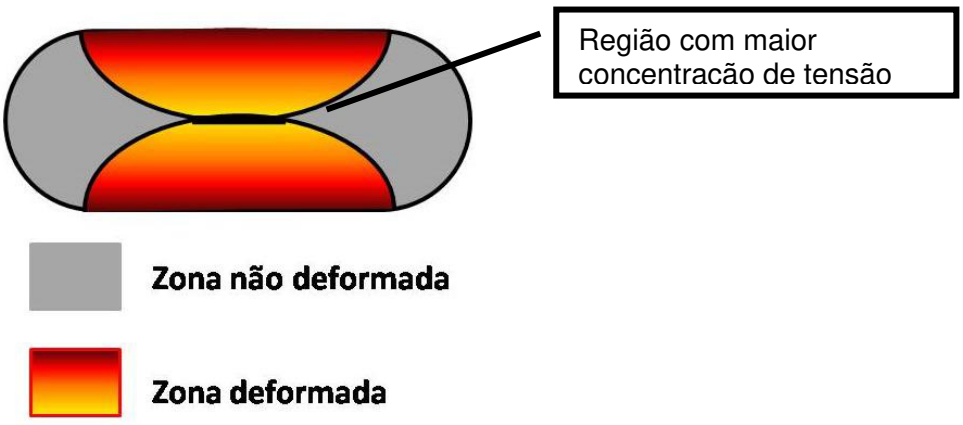

Figura 20 – Ilustração do efeito do amassamento na estrutura de uma barra cilíndrica

3.4 Dobramento

No dobramento, o material sofre uma deformação por flexão em prensas que fornecem a energia e os movimentos necessários para realizar a operação. A forma é conferida mediante o emprego de punção e matriz específicas até atingir a forma desejada.

O dobramento pode ser conseguido em uma ou mais operações, com uma ou mais peças por vez, de forma progressiva ou em operações individuais (figura 21). Dobramento em prensas dobradeiras em várias operações (MORO e AURAS, 2006).

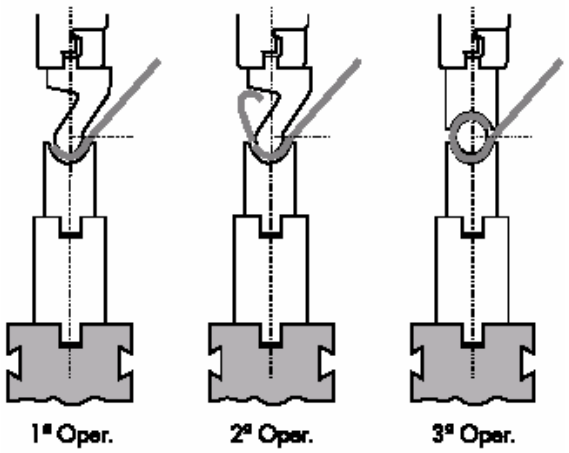

Figura 21 – Esquema de dobramento de múltiplas operações (MORO e AURAS, 2006).

Na operação de dobramento, o material é submetido a esforços aplicados em duas direções opostas para provocar a flexão e a deformação plástica, mudando a forma de uma superfície plana para duas superfícies concorrentes, em ângulo, com raio de concordância em sua junção (MORO e AURAS, 2006).

A figura 22 mostra os esforços atuantes e a forma adquirida por uma tira submetida a dobramento.

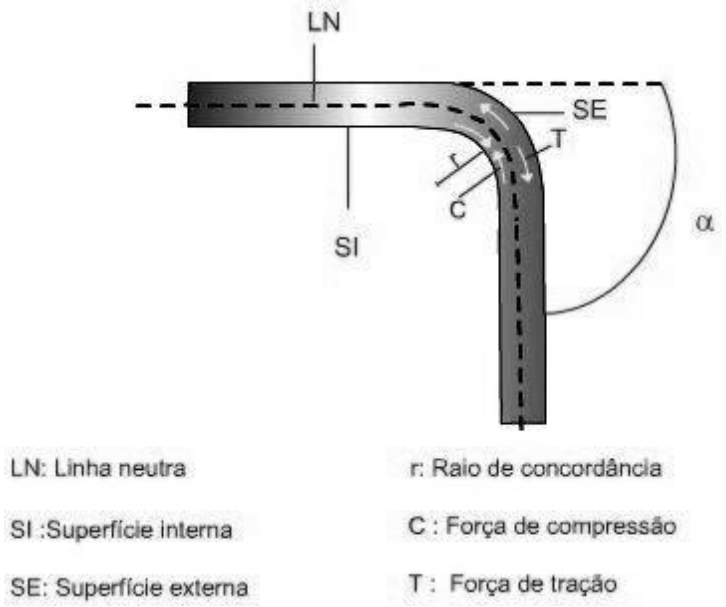

Figura 22 – Esquema de esforços e forma no dobramento (MORO e AURAS, 2006).

3.4.1 Raio de dobramento

Quanto menor o raio de dobramento, maior é a tensão desenvolvida na região tracionada. Um excessivo tracionamento provocado por um pequeno raio de dobramento pode vir a romper as fibras externas do material dobrado. Define-se o raio interno mínimo de dobra, como o menor valor admissível para o raio para se evitar grande variação na espessura do material na região dobrada (MORO e AURAS, 2006).

3.4.2 Efeito mola

O dobramento é uma operação onde ocorre uma deformação por flexão. Quando um metal é dobrado, a sua superfície externa fica tracionada e a interna comprimida (figura 23). Estas tensões aumentam a partir de uma linha interna neutra, chegando a valores máximos nas camadas externa e interna (MORO e AURAS, 2006).

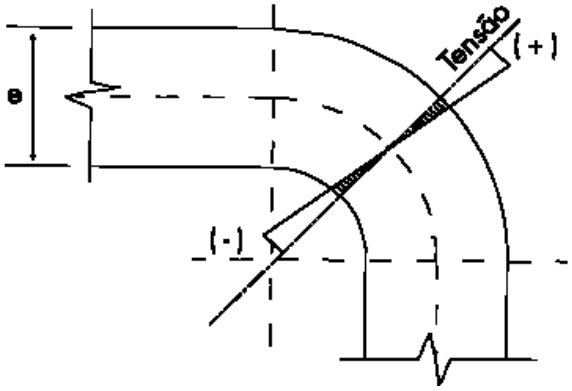

Figura 23 – Esquema de tensões de dobramento (MORO e AURAS, 2006).

Desta forma, uma parte das tensões atuantes na seção dobrada estará abaixo do limite de proporcionalidade (máxima tensão abaixo do qual o material segue a lei de Hooke - região de deformação elástica) e a outra parte supera a este limite, conferindo à peça uma deformação plástica permanente (MORO e AURAS, 2006).

Uma vez cessado o esforço de dobramento, a parte da seção que ficou submetida a tensões inferiores ao limite de proporcionalidade, por ter permanecido no domínio elástico, tende a retornar à posição inicial anterior ao dobramento (figura 24). Como resultado, o corpo dobrado apresenta um pequeno “retorno elástico” ou efeito mola (“Spring back”) que deve ser compensado durante a operação de dobramento (MORO e AURAS, 2006).

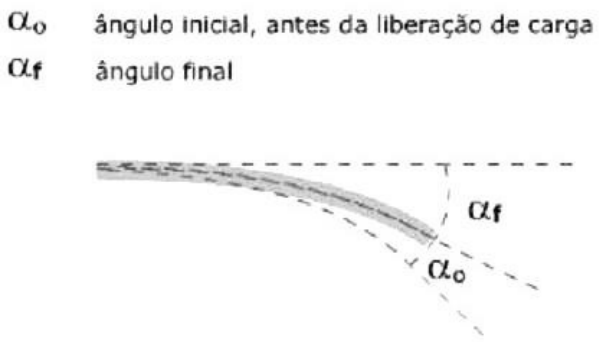

Figura 24 – Ilustração de Efeito mola (MORO e AURAS, 2006).

Portanto, a operação de dobramento exige que se considere a recuperação elástica do material (efeito mola), para que se tenham as dimensões exatas na peça dobrada.

A recuperação elástica da peça será tanto maior quanto maior for o limite de escoamento. Em alguns casos, é utilizada a prática de se efetuar uma calibragem em estampo específico, já compensado o retorno elástico, para dar as dimensões finais da peça. Este procedimento é viabilizado em produção seriada onde o custo do estampo calibrador pode ser diluído no preço unitário da peça (MORO e AURAS, 2006).

4 Materiais e Métodos

4.1 Amostragem e Rastreabilidade

Foram separadas quatro peças que apresentaram início de ruptura e/ou que sofreram quebra, foram identificadas como peça um até peça quatro, cada caso foi analisado conforme etapas descritas.

4.2 Pré-análise

Observação da fratura para verificação do ponto de nucleação da quebra e sentido de propagação. observação em toda peça, verificando possíveis defeitos superficiais, seguida de observação no estereoscópio para verificar os detalhes com uma melhor resolução.

4.3 Preparação

Corte de amostras para análises, nas regiões próximas a fratura e na extremidade do grampo, sempre no sentido transversal e longitudinal. Após o corte as amostras foram lixadas em lixas de granulação 100, 220, 320, 400, e 600, sempre cruzando o sentido de lixamento a cada troca de granulação, após o lixamento foi realizado o polimento em pano de 6 micra e 1 mícron, em seguida as amostras foram atacadas quimicamente em reagente Nital 2% (álcool etílico com 2% de ácido nítrico).

4.4 Análises

As amostras foram analisadas em microscópio ótico verificando a existência de defeitos internos e superficiais, existência de heterogeneidades estruturais e inclusões, foi feito registro fotográfico.

5 Resultados

5.1 1º Caso

O grampo (Figura 25) não chegou a se romper totalmente, porém apresentou trinca transversal na região dobrada (Figura 26).

Figura 25 - Foto do grampo 1º Caso

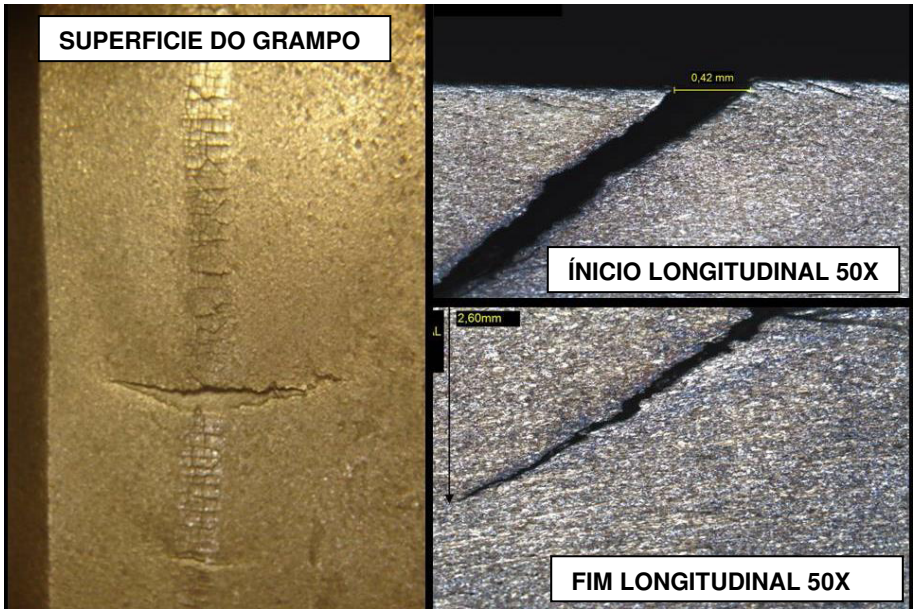

Figura 26 – Detalhes da trinca na região 4 1° Caso

Na análise visual foram observadas marcas superficiais com características de queima, o que foi evidenciado posteriormente na analise metalográfica (Figura 27).

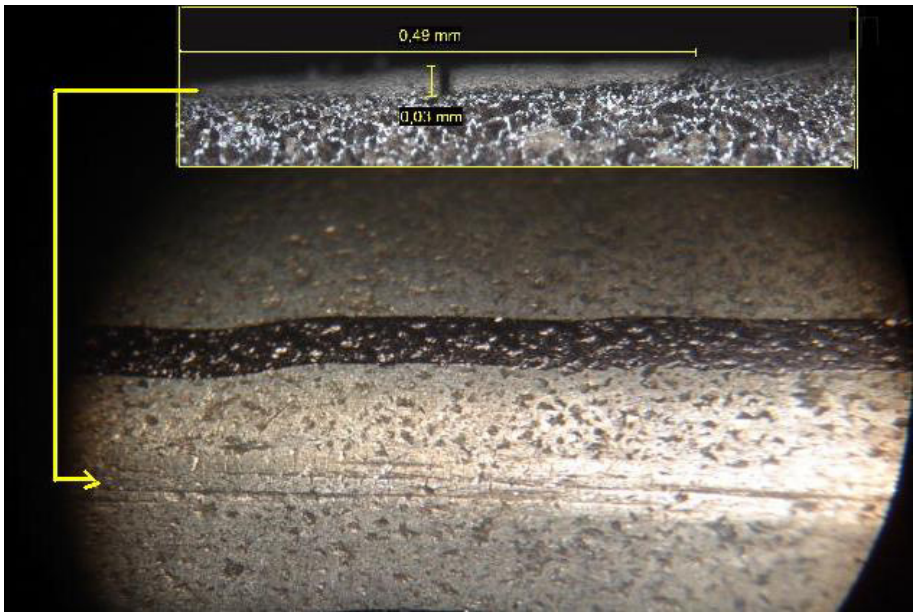

Figura 27 – Foto da Região 2 superficial com detalhe da seção 1º Caso

Na região 1 foi observada existência de uma camada de granulação grosseira com profundidade de 0,14mm (Figura 28).

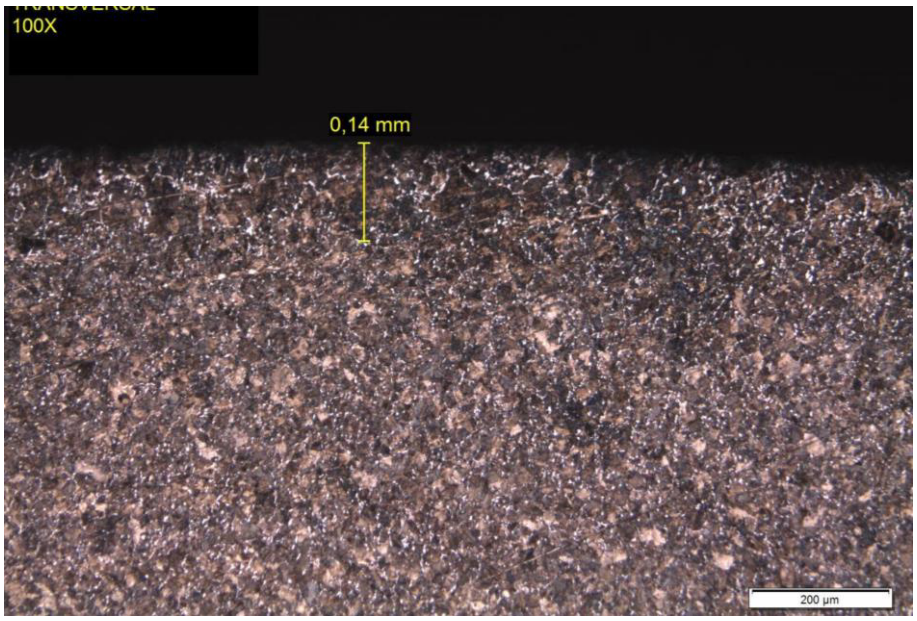

Figura 28 – Foto da região 1 com granulação grosseira 100X 1º Caso

Na região 2 foi observada existência de segregação de constituinte acicular (Figura 29) analise longitudinal evidenciou constituinte acicular em faixas com espessura de 0,02mm (Figura 30).

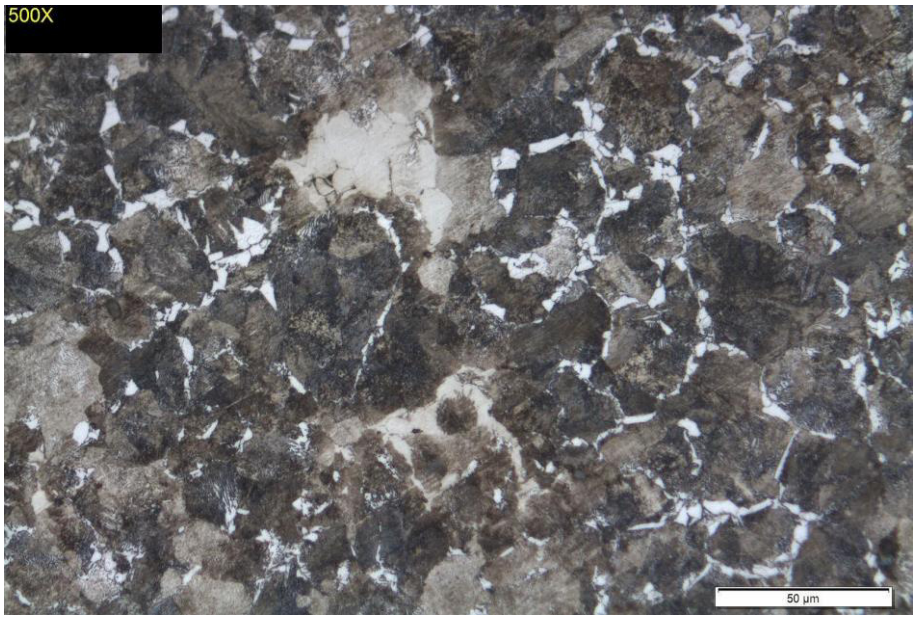

Figura 29 - Foto da região 2 Transversal 1º Caso

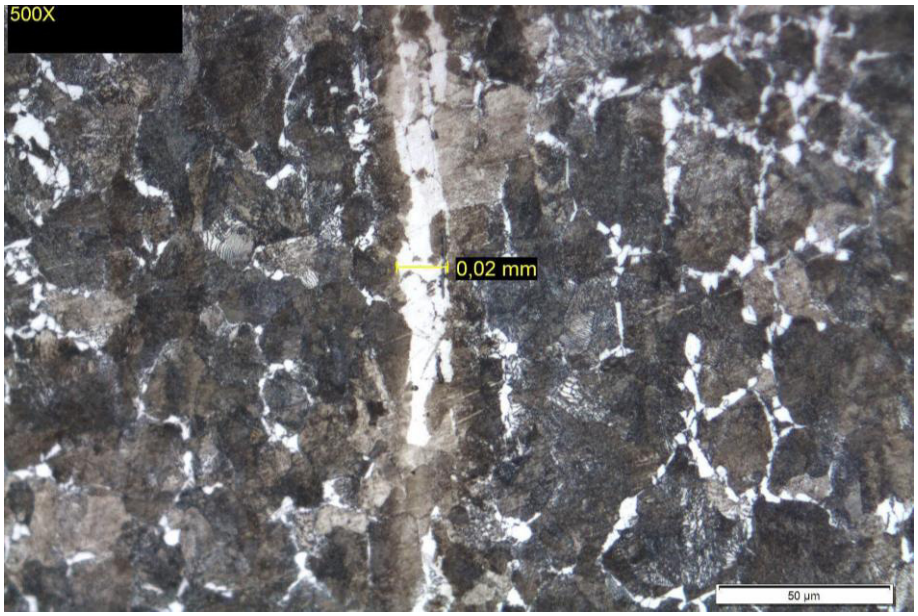

Figura 30 – Foto da região 2 longitudinal 1º Caso

5.2 2º Caso

O grampo rompeu nos dois raios da região dobrada (Figura 31).

Figura 31 - Foto do grampo 2º Caso

A região fraturada apresentou indícios de nucleação na região interna e sentido de propagação para a parte externa.

Figura 32 - Foto do detalhe da fratura 2º Caso

Na análise da região 3 foi observado à existência de trincas transversais (Figura 33) e não encontrado queima superficial

Figura 33 – Detalhe da trinca na região 3 2º Caso

Na análise da região 4 foi possível observar a existência de uma camada de granulação grosseira com 0,17mm de profundidade.

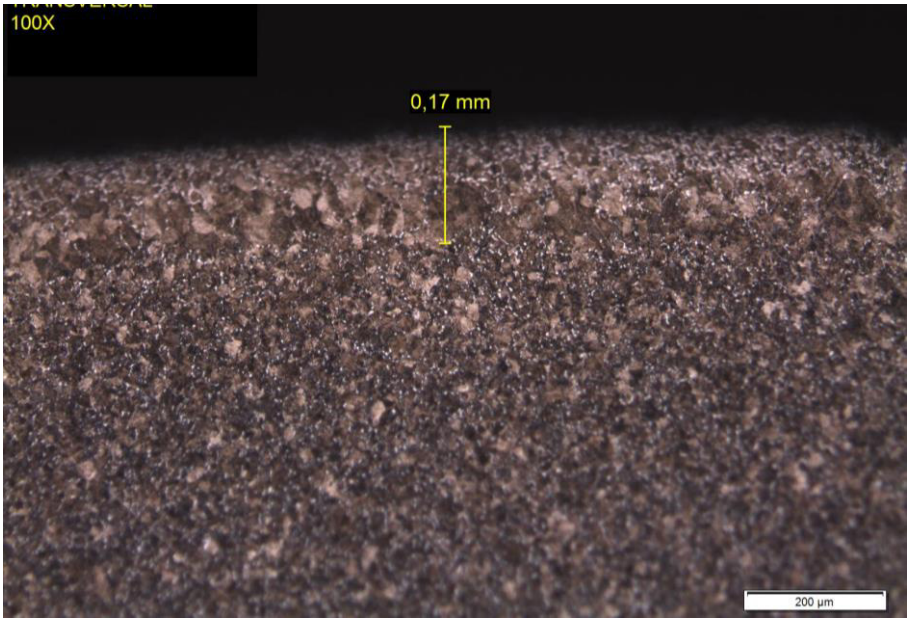

Figura 34 - Foto da região 4 com granulação grosseira 100X 2º Caso

Na análise micro estrutural da região 1 foi evidenciado vestígios de martensita concentrados no núcleo.

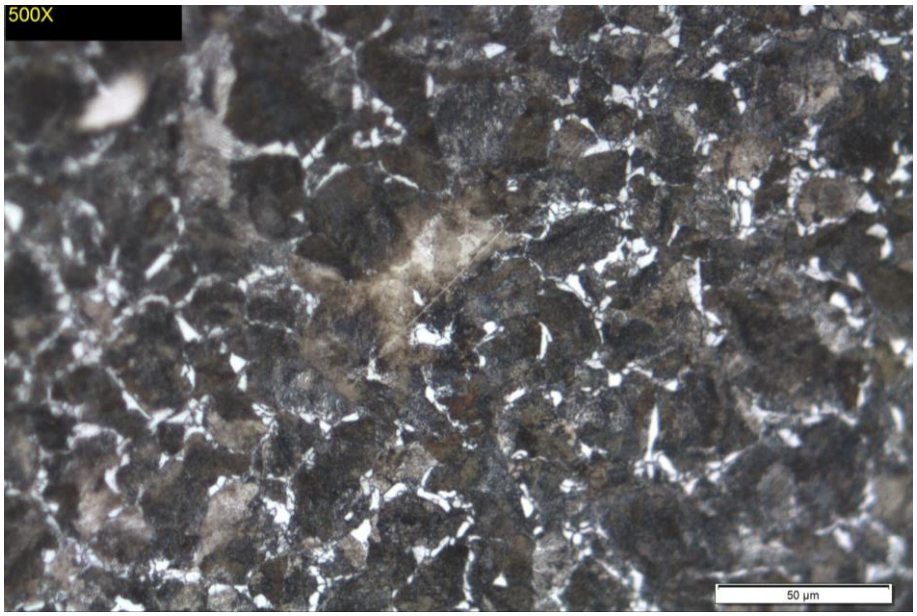

Figura 35 - Região 1 transversal 500X 2º Caso

Na análise longitudinal da região 2 foi observado encruamento e segregação de martensita com faixas de até 0,03mm (Figura 36).

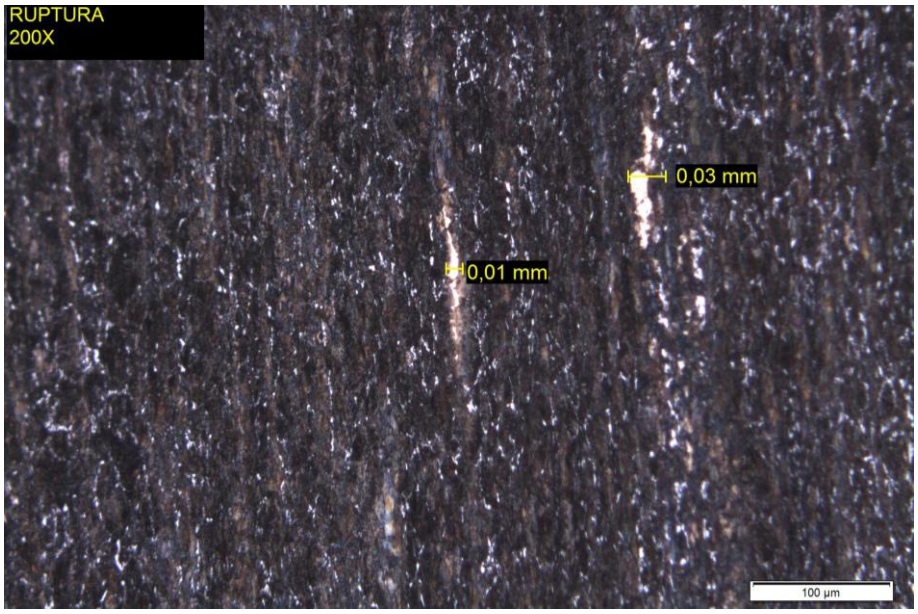

Figura 36 - Região 2 longitudinal 200X 2º Caso

5.3 3º Caso

O grampo quebrou na região dobrada (Figura 37).

Figura 37 - Regiões analisadas 3º Caso

A análise da fratura evidenciou que o inicio da quebra aconteceu em uma região próxima à superfície (Figura 38).

Figura 38 - Face da fratura 3º Caso

Na análise visual foi observado próximo a região dobrada a existência de trincas transversais e de uma marca com características de queima de trefila evidenciada pela analise longitudinal (Figura 39)

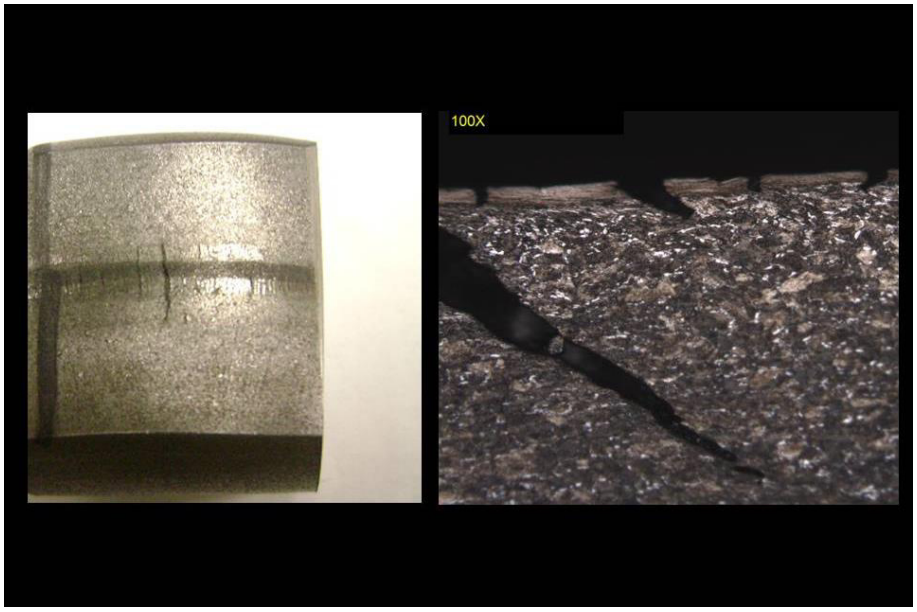

Figura 39 – Trinca transversal 3º Caso

Na análise da região 02 foi observada queima com 0,03mm de profundidade em uma faixa de 1,17mm de largura.

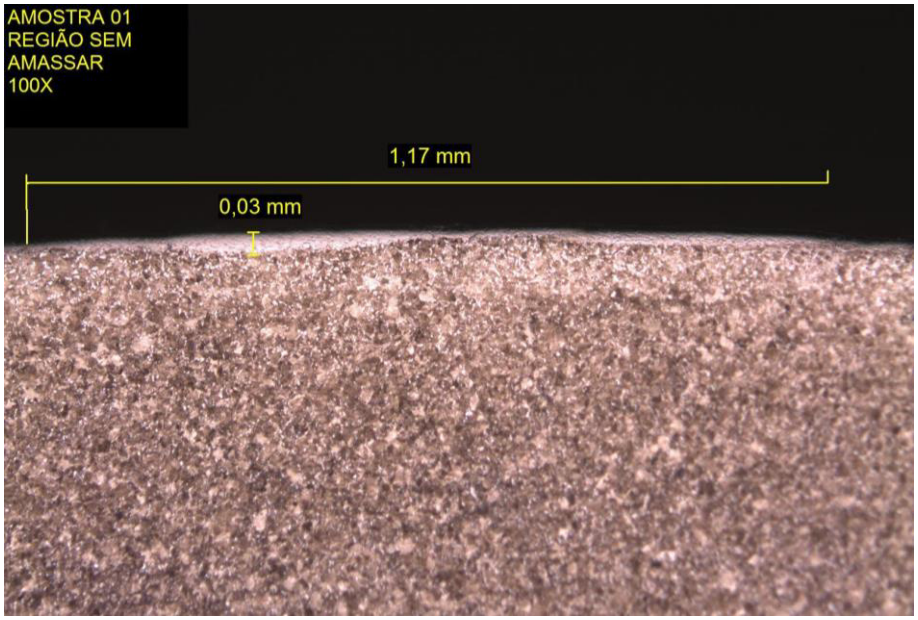

Figura 40 - Posição 02 não amassada 100X 3º caso

Na análise realizada na região 2 foi encontrada ocorrência de martensita (Figura 41).

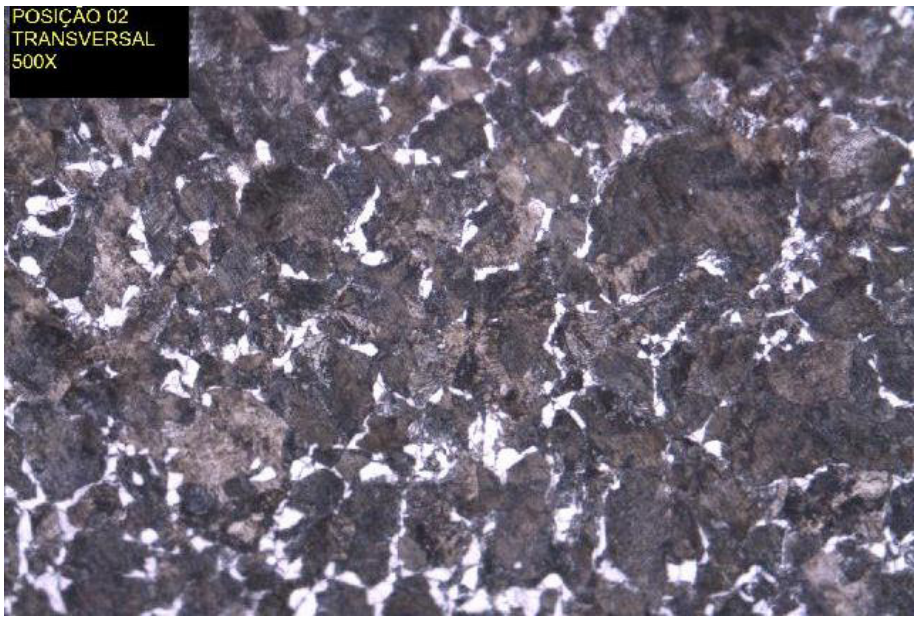

Figura 41 - Região 02 Transversal 500X 3ºCaso

Na análise longitudinal da região 2, foram observadas faixas de martensita onde se vê a ocorrência de defeito Chevron. (Figura 42).

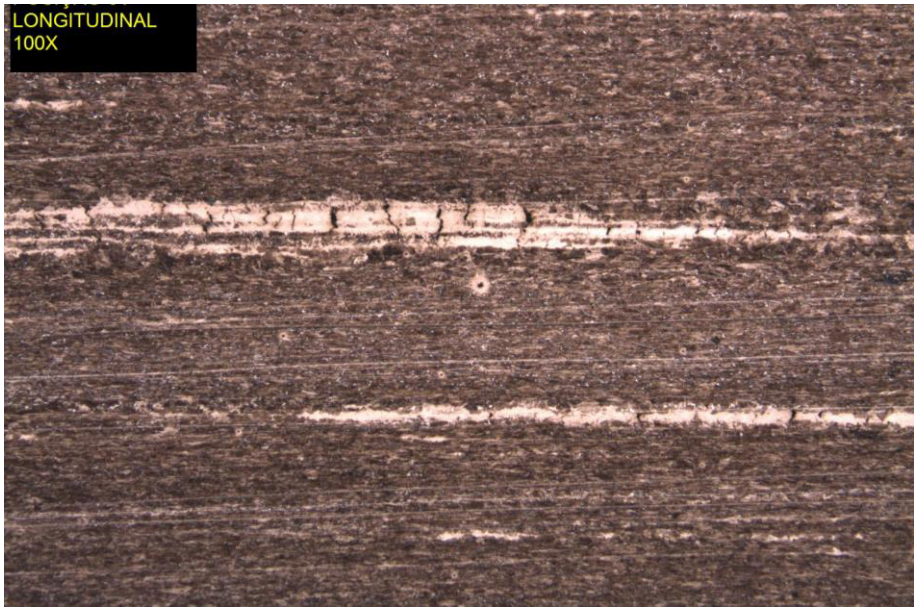

Figura 42 - Região 1 longitudinal 100X 3º Caso

5.4 4º Caso

O grampo rompeu na região dobrada (Figura 43).

Figura 43 – Regiões analisadas 4º Caso

A análise da fratura apresentou indícios de que o inicio da ruptura ocorreu internamente, e se propagou para a parte externa (Figura 44).

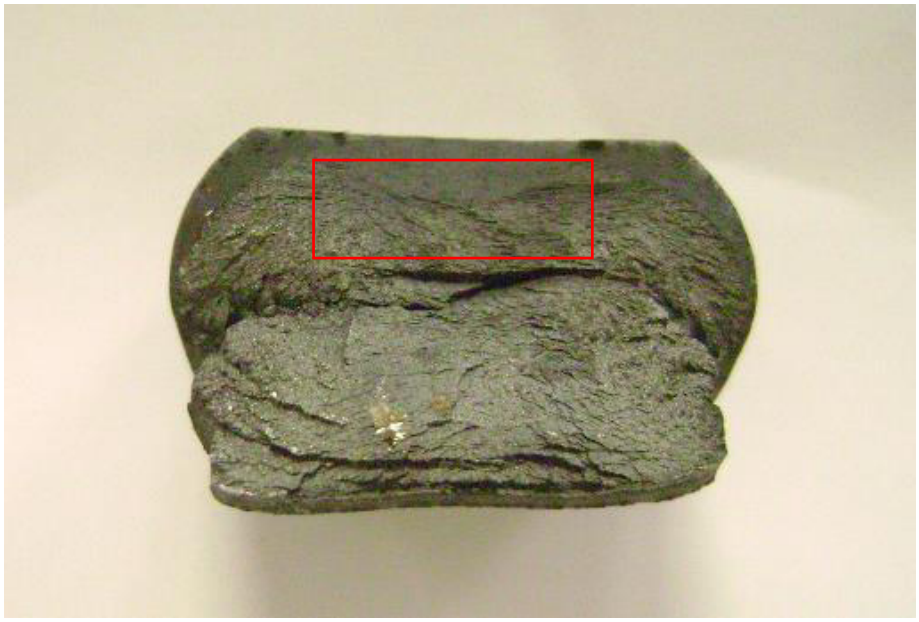

Figura 44 – Detalhe da Fratura 4º Caso

A analise visual evidenciou a existencia de trincas transversais próximas a região fraturada, porém na analise longitudinal foi observado a existencia de trincas internas nucleadas nas faixas de martensita.

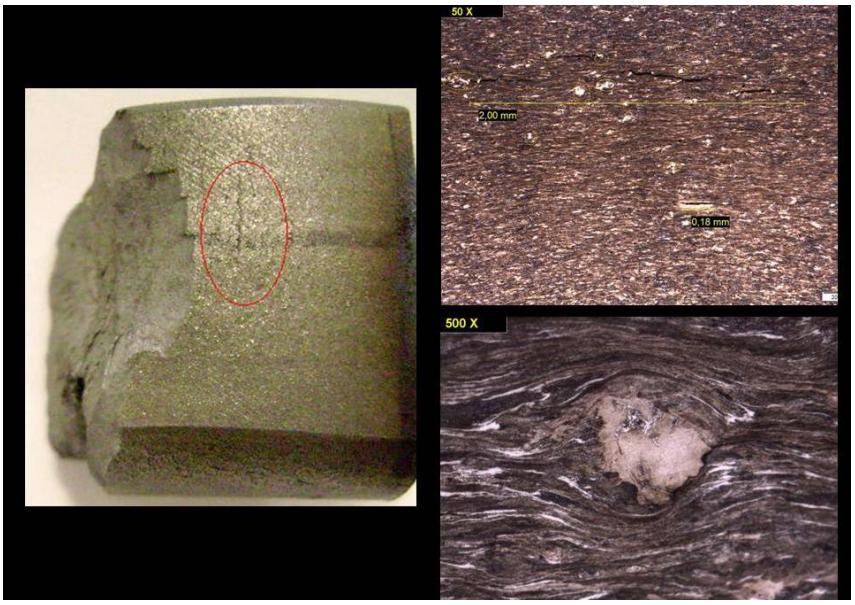

Figura 45 – Trinca transversal 4º Caso

A análise da região 01 evidenciou a existência de Granulação heterogênea com até 0,20mm de profundidade (Figura 46)

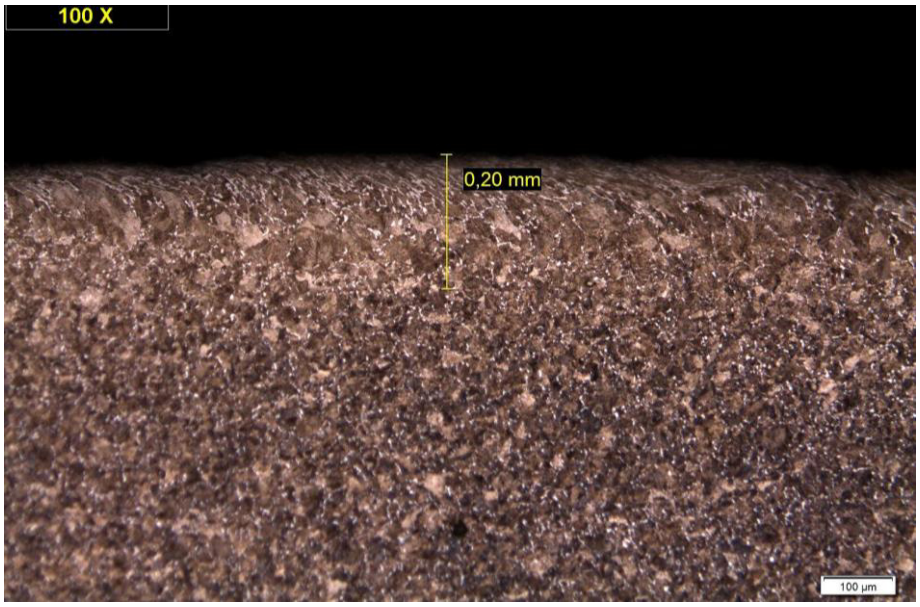

Figura 46 - Região 01 100X 4º Caso

Na análise transversal da região 01 foi observado existência de constituinte acicular na região do núcleo (Figura 47), já a analise longitudinal evidenciou faixas de martensita com até 0,06mm de espessura com ocorrência de defeito Chevron. (Figura 48).

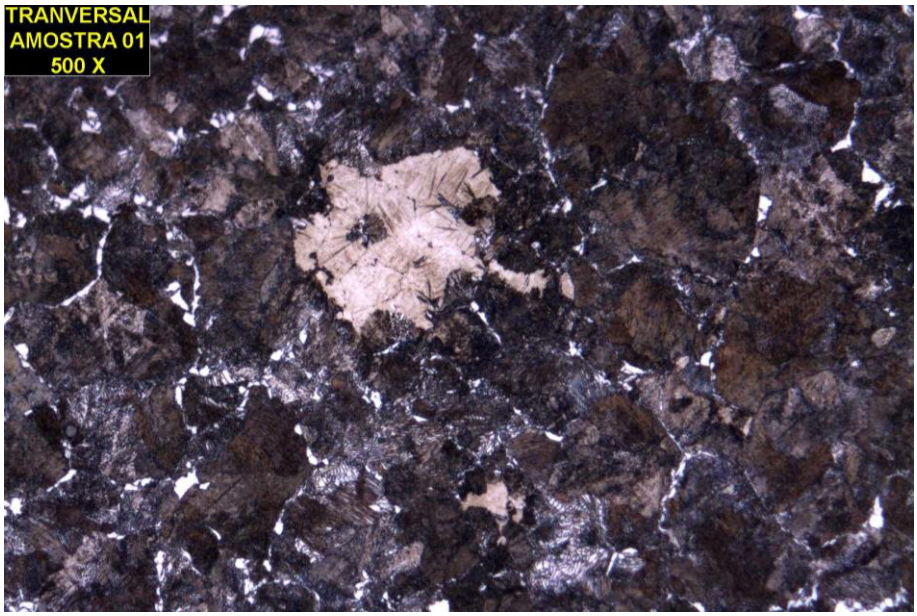

Figura 47 - Região 01 Corte Transversal 500X 4º Caso

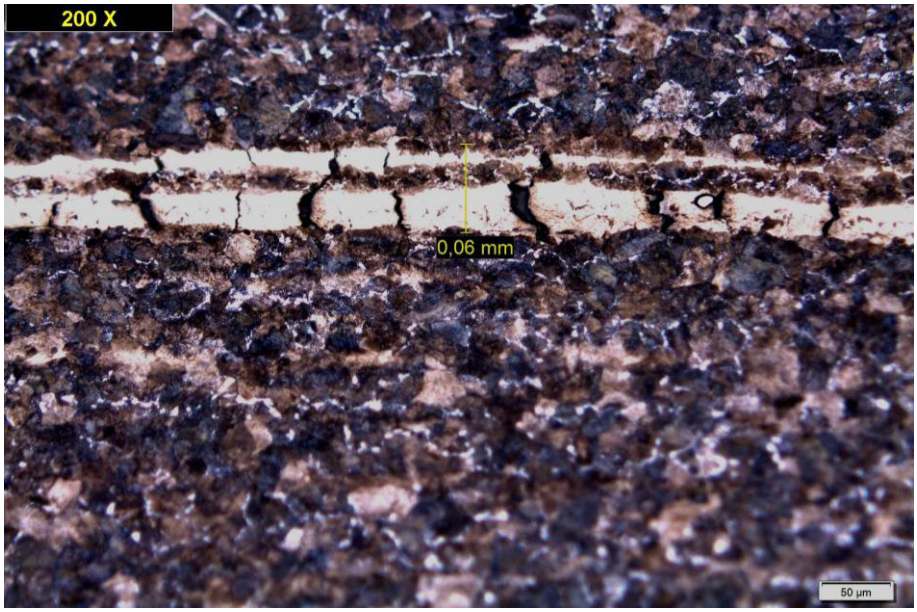

Figura 48 - Região 01 Corte Longitudinal 200X 4º Caso

6 Discussão de resultados

Os ensaios realizados nos 4 casos analisados revelaram as causas das quebras e suas origens. Com base nestas analises é possível tomar ações direcionadas a eliminação e/ou minimização de ocorrências de falhas pela mesma natureza. Abaixo veremos as causas e origens e os respectivos estágios do processo onde devem ser tomadas as ações.

Nos 1º e 3º Casos as quebras se iniciaram na região da superfície do material, e as análises evidenciaram existência de camadas de granulação heterogênea e queima de trefila, não houve evidencias que associassem a granulação heterogênea e processos de fabricação com as quebras. A queima de trefila foi responsável pelas quebras, esse defeito criou uma camada de martensita na superfície das barras, e a grande concentração desta estrutura criou micro trincas que quando submetidas aos processos de amassamento e dobramento se propagaram levando o grampo a ruptura. Este defeito que ocorre por atrito excessivo, poderia ter sido gerado no processo de trefilação ou no processo de produção do grampo, porém as etapas do processo de produção não permitem este tipo de defeito, isso restringe a responsabilidade das quebras para o processo de trefilação, e especificamente para os parâmetros lubrificação e redução por passe.

Nos 2° e no 4° Casos as quebras se iniciaram na região do núcleo dos grampos, onde foi encontrada segregação de martensita e Chevron, sendo este último o responsável pela quebra. Este defeito de trefilação quando submetido aos processos de amassamento e dobramento se propagou levando o grampo a ruptura. Os estudos dessas ocorrências mostraram que a martensita no núcleo é proveniente dos processos de Aciaria e de Laminação. A aciaria é responsável pela segregação de carbono no material que ocorre durante a solidificação do lingote, e a laminação deve controlar parâmetros como tempo e temperatura para garantir a homogeneidade da estrutura do material, para que durante a trefilação não ocorra formação de Chevron.

7 Conclusões

Dessa forma, para minimizar e ou eliminar essas ocorrências, é recomendado avaliar parâmetros dos processos de fabricação de aço líquido e de conformação, principalmente:

- Velocidade de lingotamento;

- Tempo e Temperatura em Laminação;

- Grau de redução e eficiência/condição da lubrificação em Trefilação.

8 Referências Bibliográficas

ALMEIDA, C. F; COSTA, M. J. da S. **Defeitos em Produtos do Lingotamento Continuo**,http://www.slideshare.net/blefetrix/defeito-s-lingotamento-de-tarugos-18252607, Acesso em 13/07/2013

BORBA, V. R. **Conformação mecânica**, http://professores.chapeco.ifsc.edu.br/vinicius/files/2011/09/Aula-de-trefila%C3%A7%C3%A3o.pdf , Acesso em 11/7/2013

CUNHA, D. S. **Desenvolvimento de fio máquina para a fabricação de arames para soldagem MIG com características adequadas ao processo de descarepação mecânica**, Daniella de Souza Cunha, Belo Horizonte, 2007.

MORO, N.; AURAS, A.P. **Processos de Fabricação – Conformação mecânica 1 – Generalidades, Laminação e Forjamento**, Prof. Eng. Mec. Norberto Moro / Téc. Mec. André Paegle Auras, Florianópolis, 2007.

MORO, N.; AURAS, A.P. **Processos de Fabricação – Conformação mecânica 2 – Extrusão, Trefilação e Conformação de Chapas**, Prof. Eng. Mec. Norberto Moro / Téc. Mec. André Paegle Auras, Florianópolis, 2006.

VENTURA, J. M. **Desenvolvimento de aços para conformação a frio de elemento de fixação do feixe de molas,** Jaime Milan Ventura, São Carlos, 2006.