

Análise de um Grampo Fraturado Durante uma Queda de Guia na Via dos Italianos, Face Oeste do Pão de Açúcar

1- Introdução

O presente trabalho tem por objetivo determinar as causas da fratura de um grampo de proteção, ao ocorrer uma queda de guia na via dos Italianos. Segundo informações, o guia saiu da parada (reunião), escalou até o grampo em questão (tendo costurado alguns grampos nesse percurso), costurou nele e prosseguiu escalando. Quando se preparava para costurar o grampo imediatamente acima, sofreu uma queda. Ao ser solicitado, o grampo em questão fraturou, ficando com o olhal preso na costura (e esta na corda), sendo a queda interrompida pelo grampo abaixo. Ao finalizar o processo, o guia parou pouco abaixo do segurança. O material utilizado foi uma corda “Millet Diamond III” e a segurança era feita com um “gri-gri”.

2- Material Fornecido

Foi recebido para análise o olhal do grampo fraturado, conforme mostrado nas fotos 1 e 2.

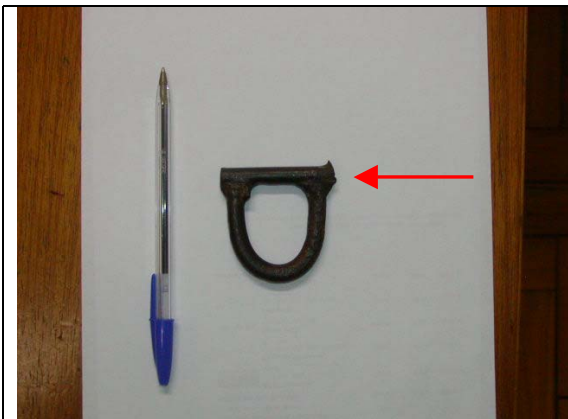


Foto 1- Olhal como recebido, parte do eixo ficou dentro da parede. A seta indica a posição da fratura.



Foto 2- Vista da superfície de fratura do olhal

3- Ensaio Realizados

Foram realizados ensaios de metalografia quantitativa, para poder estimar a quantidade de carbono (C) presente no aço, e dessa forma a especificação do mesmo. Também se realizaram análises micrográficas para determinar a microestrutura do material e macrografias para determinar o aspecto geral do cordão da solda do olhal no “eixo” do grampo.

3.1- Metalografia quantitativa

A determinação da porcentagem de carbono livre foi realizada pela metodologia de contagem de pontos, conforme descrito na especificação ASTM E 562. a contagem foi realizada em 10 campos distribuídos ao longo da amostra.

Com base no histórico de construção de grampos, considerou-se que o material é um aço carbono de baixa liga, podendo dessa forma determinar sua especificação com a metodologia acima descrita. Os resultados indicaram se tratar de um aço 1015 ou 1020, estando de acordo com o esperado para esse tipo de componente.

3.2- Análises macrográficas

Para a análise macrográfica foi isolada a região da solda próxima à fratura e realizado um corte longitudinal. A amostra foi embutida, preparada de acordo com a especificação ASTM E 3 e atacada com nital 2%. A amostra foi então observada com uma lente de aumento, a fim de verificar o aspecto global da região da fratura. Os resultados estão mostrados nas fotos 3, 4 e 5.

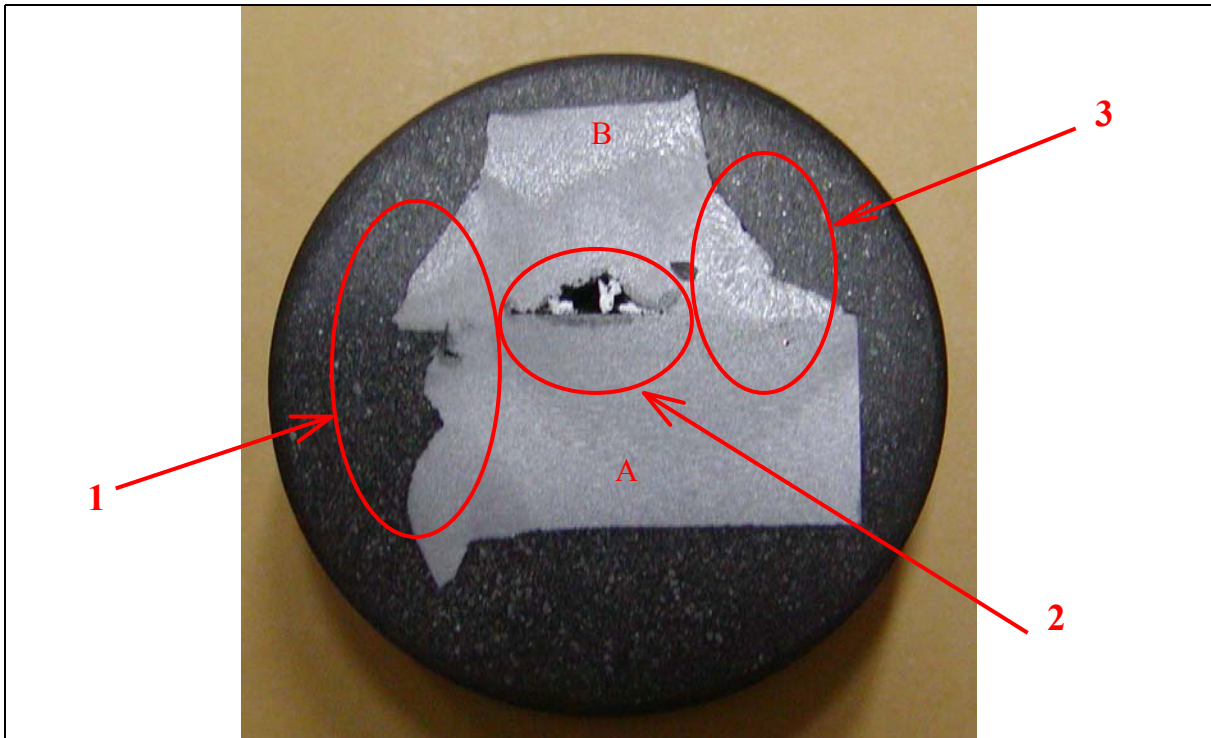


Foto 3- Vista geral da amostra preparada para a macrografia. Pode-se ver claramente o eixo (região A), o olhal (região B) e o cordão de solda. A região 1 é a região da fratura. As regiões 2 e 3 foram chamadas de “região do meio” e “outro lado”, respectivamente.



Foto 4- Detalhe da região da fratura (região 1). Notar a mancha escura no material dentro do círculo, que pode indicar a presença de uma inclusão nessa região. Deve-se ressaltar também a existência de um trinca na mancha em questão.



Foto 5- Região 3 (“outro lado”), pode-se ver claramente uma trinca (região A) e um vazio (região B) no cordão de solda (material depositado). Há também uma inclusão acompanhada de uma trinca aparentemente na interface ou na ZTA (região C)

3.3- Análises Micrográficas

A análise micrográfica foi realizada na mesma amostra utilizada no item 3.2 (análise macrográfica). Os resultados estão mostrados nas fotos 6, 7 e 8.

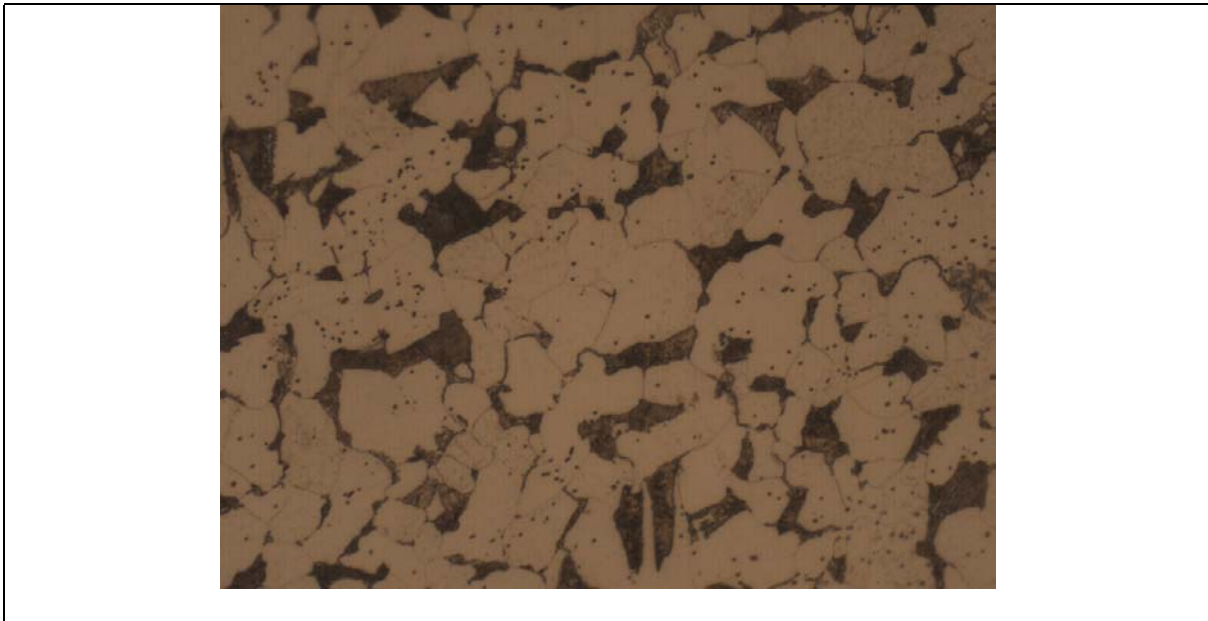


Figura 6- Microestrutura do metal base, 500x, ataque nital 2%. Conforme esperado, há uma microestrutra de ferrita-perlita, sem presença de carbonetos.



Figura 7- Região 1- Área da interface metal base/cordão de solda. 50x, Ataque nital 2%. Pode-se ver claramente a trinca principal e diversas trincas secundárias no material depositado.

4- Avaliação da Resistência

Para avaliar a resistência, o grampo foi modelado como uma viga engastada com carga aplicada na extremidade.

Da teoria de vigas, temos que a tensão atuante no material é:

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (1)$$

Onde: σ = Tensão

M= Momento fletor aplicado

y= Distância do ponto em questão à fibra neutra

I= Momento de inércia da seção

Considerando que a carga é aplicada sobre o “eixo” do grampo, temos que a seção é circular, o momento de inércia é dado por:

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (2)$$

Onde d é o diâmetro do “eixo”.

O momento fletor aplicado é o produto da carga **P** vezes a distância **L** do ponto de aplicação da força, à parede (ponto de engastamento), desta forma

$$M = PL \quad (3)$$

Como a seção resistente é circular (simétrica) pode-se concluir que a “fibra neutra” se encontra exatamente no meio da seção. Isto somado ao fato de que, em flexão, a tensão máxima ocorre na superfície, leva a:

$$y = d/2 \quad (4)$$

Substituindo (2) (3) e (4) em (1), chega-se a:

$$\sigma = \frac{32PL}{\pi d^3} \quad (5)$$

Considerando que os grampos são usualmente fabricados com o mesmo material (aço carbono), a tensão máxima suportada por este é a mesma, seja o grampo de 1/2” ou de 3/8”. Desta forma:

$$\sigma_{\max 1/2} = \sigma_{\max 3/8} \quad (6)$$

que também pode ser escrito como:

$$\frac{32P_{1/2}L}{\pi d_{1/2}^3} = \frac{32P_{3/8}L}{\pi d_{3/8}^3} \quad (7)$$

Rearranjando:

$$P_{3/8} = \frac{d_{3/8}^3}{d_{1/2}^3} P_{1/2} \quad (8)$$

Notar que o comprimento L foi considerado igual para os dois tipos de grampo. Esta é uma hipótese coerente visto que na grande maioria dos grampos de 1/2” o olhal é de 3/8”.

A equação (8) é uma relação entre a força máxima suportada por um grampo de 1/2” ($P_{1/2}$) e a força máxima suportada por um grampo de 3/8” ($P_{3/8}$). Em um trabalho prévio, Marcelo Jimenez e Miguel Freitas mediram em laboratório a força máxima suportada por um grampo de 1/2” de aço carbono, o valor obtido por eles foi de 1400kgf. Lembrando que 1/2” é igual a 12.7mm e que 3/8” é 9.5mm,

podemos substituir na equação (8) e obter o valor para a carga máxima suportada por um grampo de 3/8”:

$$P_{3/8} = \frac{(9.5)^3}{(12.7)^3} 1400$$

$$P_{3/8} = (0.42)1400$$

$$P_{3/8} = 591 \text{ kgf}$$

5- Estimativa da força a ser suportada pelo grampo durante a queda

A força exercida sobre o grampo na queda foi estimada seguindo a metodologia proposta por Marcelo Jimenez e Miguel Freitas em seu trabalho. Segundo informações, a corda utilizada era a *MILLETDiamond III*, que tem uma força de choque de 864 daN (dado obtido no site). Também será assumido que o peso do escalador seja de 80daN assim (aproximadamente 80 kg, peso total, escalador e mochila), a queda foi interrompida com o escalador abaixo do parceiro (segurança) já com o grampo quebrado. Levando em consideração que a via dos Italianos é bem protegida, pode-se assumir que, se o grampo NÃO tivesse fraturado, a queda seria interrompida próxima ao parceiro, o que leva a um fato de queda de aproximadamente 1. Como a segurança estava sendo feita com um *Gri-Gri*, não há dissipação de energia no freio, desta forma:

$$K = \frac{(F - P)^2}{2QP} \quad (9)$$

Onde: F= Força exercida pela corda sobre o escalador
P= Peso do escalador (escalador + mochila)
Q= Fator de queda
K= Constante elástica da corda

A equação (9) pode ser usada para determinar a constante elástica K da corda, bastando para isto utilizar os valores da padronização UIAA, que são:

F= Força de choque da corda= 864 daN
Q= Máximo fator de queda possível em uma escalada= 2
P= 80 kg

Substituindo em (9)

$$K = \frac{(864 - 80)^2}{2 \cdot 2 \cdot 80} = 1920$$

Com o valor de K determinado, pode-se agora aplicar ao caso em questão, para determinar a força a força exercida pela corda sobre o escalador.

A equação (9) pode ser reescrita como:

$$F = P + \sqrt{2KQP} \quad (10)$$

Substituindo em (10) os valores da queda em questão:

$$F = 80 + \sqrt{2 \cdot 1920 \cdot 1.80}$$

$$F = 634 \text{ daN}$$

Que é a força que a corda exerce sobre o escalador. Se o mosquetão da costura fosse uma polia ideal, a força suportada pelo grampo seria o dobro da força sobre o escalador, como há atrito entre a corda e os diversos mosquetões do sistema de segurança, a PETZL informa que a força suportada pelo grampo é apenas 66% maior que a exercida sobre o escalador, desta forma, chega-se a:

$$F_{\text{grampo}} = 1.66F$$

$$F_{\text{grampo}} = 1053 \text{ daN}$$

6- Conclusão

As análises realizadas podem ser divididas em dois grupos principais: análises de material e análises de resistência. Nas análises de material se determinou que o material é um aço de baixo carbono, 1015 ou 1020, amplamente usado em estruturas. A microestrutura do material é a esperada para esta classe de aços. Também foi analisada a solda do olhal, onde se encontraram problemas como presença de vazios (Fotos 3 e 5), bem como inclusões (Foto 4) e trincas (Fotos 4, 5 e 7). Deve-se ressaltar a presença de uma trinca principal e diversas trincas secundárias (Foto 7) no material de adição, indicando que o procedimento de soldagem não foi adequado.

Na análise de resistência foram avaliados tanto a resistência do grampo como a força à qual ele foi submetido. O primeiro resultado, e bem alarmante, é que o grampo de 3/8" suporta apenas algo em torno de 42% da carga suportada por um grampo de 1/2". O valor obtido equivale a um micronut, aproximadamente 600daN. A carga exercida pelo escalador sobre o grampo foi estimada em 1053daN, bem superior à resistência calculada para o grampo. Esta força foi aumentada ao utilizar o *gri-gri* como aparelho de segurança, pois este dispositivo não dissipa energia durante o processo de frenagem.

De posse desses resultados pode-se concluir que o grampo falhou por sobrecarga. Vale ainda enfatizar que a forma da falha NÃO foi a esperada, uma vez que numa condição normal o grampo sofreria uma flexão até apoiar na parede, mantendo mantendo sua funcionalidade momentânea (o grampo ficaria inutilizado, e deveria ser trocado, mas conseguiria interromper a queda do guia em questão). Na falha verificada, o grampo fraturou em duas partes, perdendo completamente sua funcionalidade como elemento de segurança. Pode-se afirmar que o grampo fraturou em decorrência de problemas no procedimento de soldagem do olhal. Estes problemas criaram condições para o início e propagação de trincas, diminuindo a ductilidade do material, levando à fratura em vez de fletir até apoiar na parede.