

ANÁLISE DE FALHA EM CORRENTE DE TRANSMISSÃO DUPLA

INTERESSADO:

JUNHO DE 2012

Uma corrente de transmissão dupla rompida em serviço foi enviada para análise de fratura de seus componentes e determinação de possíveis causas de falha. A Error! Reference source not found. e a Error! Reference source not found. mostram a corrente rompida.

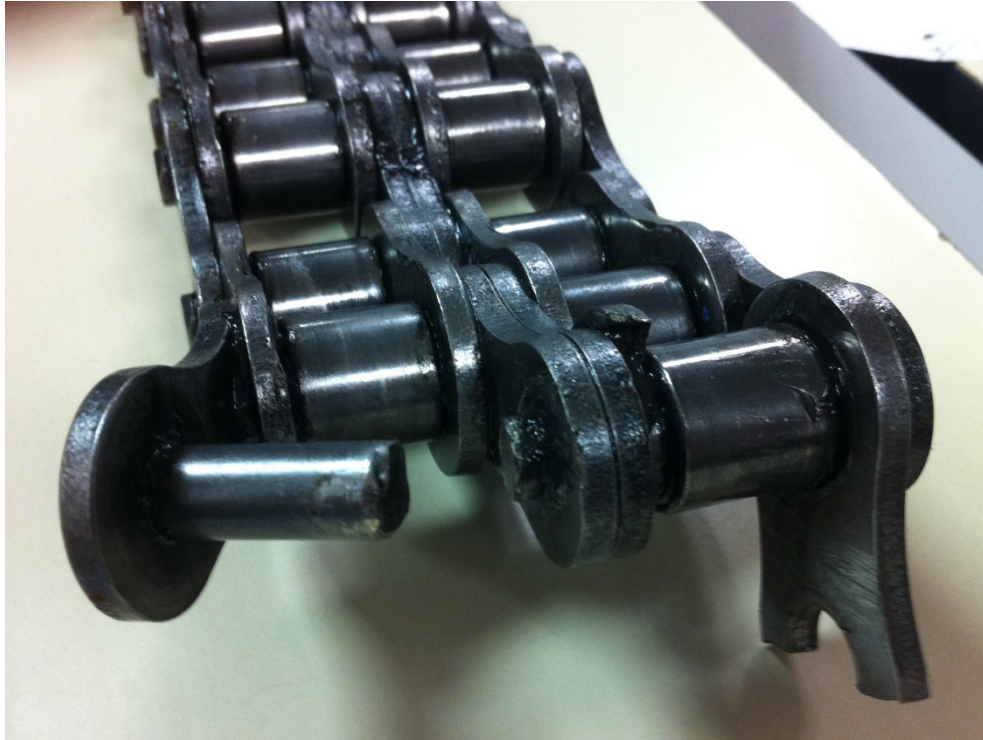


Figura 1 – Corrente de transmissão rompida em serviço.



Figura 2 – Corrente de transmissão rompida em serviço

A corrente de transmissão dupla é formada por elos externos e internos que se repetem alternadamente:

- 1) Elo interno: formado por duas placas internas, duas buchas e dois rolos, sendo as buchas montadas com ajuste prensado nas placas enquanto os rolos giram livremente sobre as buchas;
- 2) Elo externo: formado por dois pinos montados com ajuste e prensados em duas placas externas e posteriormente rebitados;

Os pinos e buchas são os principais componentes sujeitos a desgastes, pois a medida em que a corrente articula nas engrenagens, os pinos giram dentro das buchas.

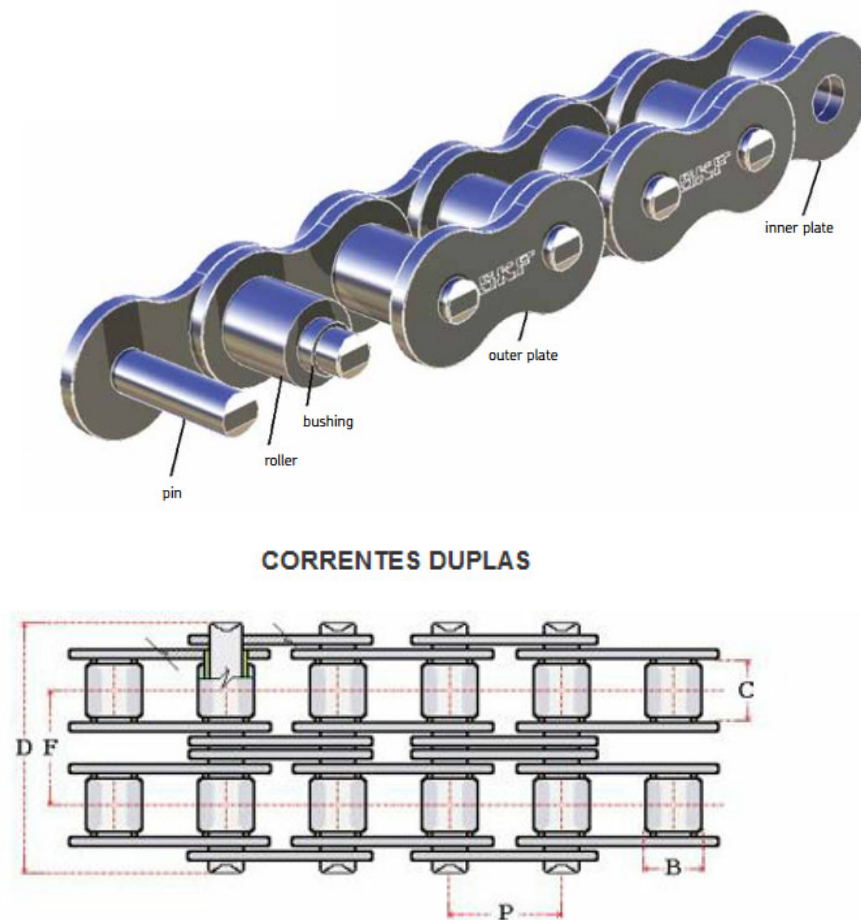


Figura 3 – Partes componentes de corrente de transmissão dupla.

As placas externas e internas devem ser temperadas e revenidas para obtenção de microestrutura homogênea, constituída de martensita revenida, com elevada resistência à fadiga, com dureza entre 30 e 45 HRC¹. Os pinos e buchas devem ser fabricados em aço ligado e devem ser cementados para obtenção de uma camada superficial endurecida e um núcleo de maior tenacidade. Especialmente as buchas, devem ser cementadas para obtenção de

¹ D.I.D General catalog acessado em <http://www.did-daido.co.jp/documents/en/catalog/didcatalog.pdf>

resistência ao desgaste superficial, associada à tenacidade de um núcleo de baixo teor de carbono².

A Tabela 1 mostra os valores de dureza superficial recomendada para buchas cementadas.

Tabela 1 – Valores de dureza superficial de buchas cementadas¹

	Carburizing
Layer	High carbon
Surface hardness (HV)	750~850
Actual thickness of treated layer	100 or more
Surface hardness lowering temperature	200 or more
Peeling resistance	○
Wear resistance	△

Objetivo

O objetivo desse relatório é analisar as características das fraturas observadas nos diferentes componentes da corrente e determinar as prováveis causas de falha em serviço.

Metodologia

Foram feitos os seguintes ensaios e análises:

1. Exame visual e em lupa estereoscópica ZEISS Stemi 2000 C e registro fotográfico com câmera digital Zeiss AxionCam ICc3
2. Análise da superfície de fratura em microscópio eletrônico de varredura Cambridge Stereoscan 440, com detectores de elétrons secundários e elétrons retroespalhados.
3. Análise da estrutura metalográfica em Microscópio Óptico Olympus BX60-M com aumentos de 50 a 1000 X. Padrão para aferição de aumentos – escala micrométrica Leitz Wetzlar de 1mm/100 divisões e câmera digital de 3Mpixel Altra 20.
4. Análise de imagens para determinação de fração de austenita retida utilizando programa Image J.
5. Medidas de microdureza em microdurômetro Zwick 3202 com carga de 300 gf – Certificado de calibração da Dinateste para cargas de 300 gf e 1000 gf DNNT/970c/10.

² SKF Transmission Chain – acessado em <http://www.skf.com/files/896759.pdf>

Resultados

Análise visual e em lupa estereoscópica

A **Error! Reference source not found.** mostra a superfície de fratura da bucha vista em lupa estereoscópica. É possível observar que a fratura tem aspectos diferentes tanto na superfície interna quanto na superfície externa, indicando que a mesma deve ter sido cementada.

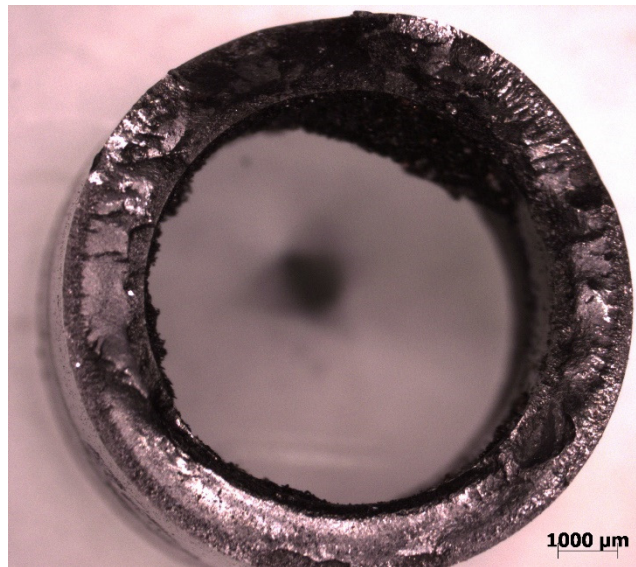


Figura 4- Superfície de fratura da bucha.

A **Error! Reference source not found.** mostra a superfície de fratura da placa interna fraturada. Observa-se início de trinca por fadiga no canto interno indicado pela seta branca.

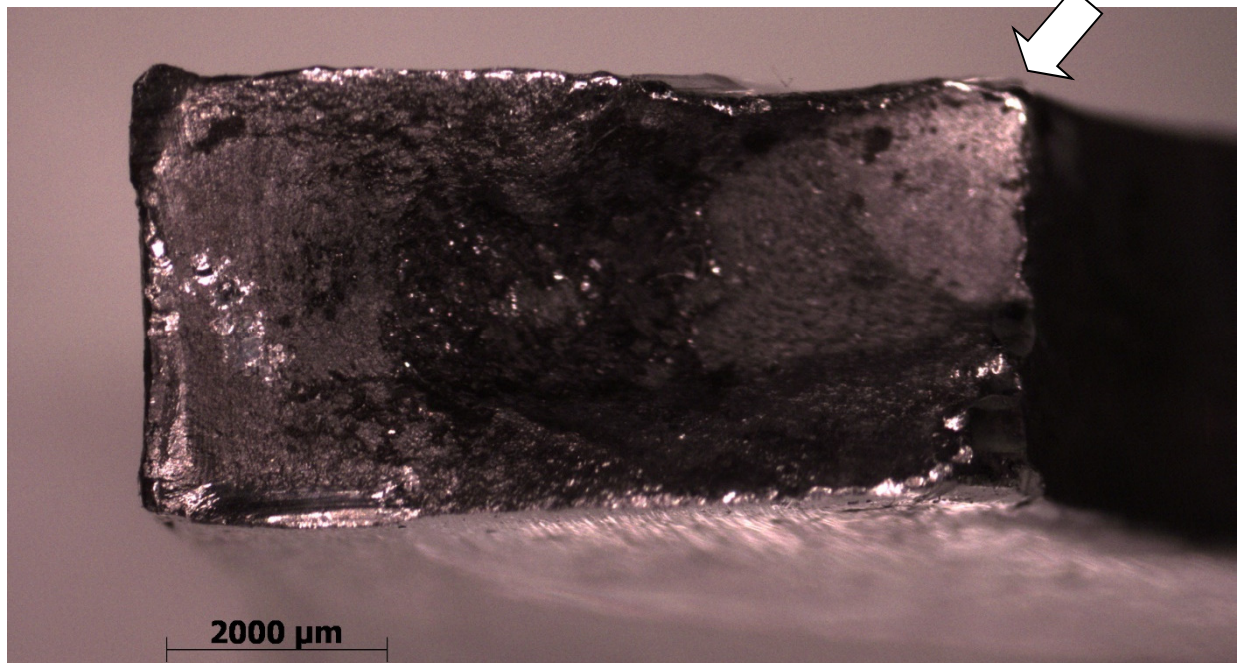


Figura 5 – Superfície de fratura da placa interna. Fratura por fadiga iniciada no canto interno da placa, indicado pela seta branca. Observam-se marcas de praia no final da fratura.

A **Figura 6** mostra o acoplamento da bucha à placa fraturada por fadiga.

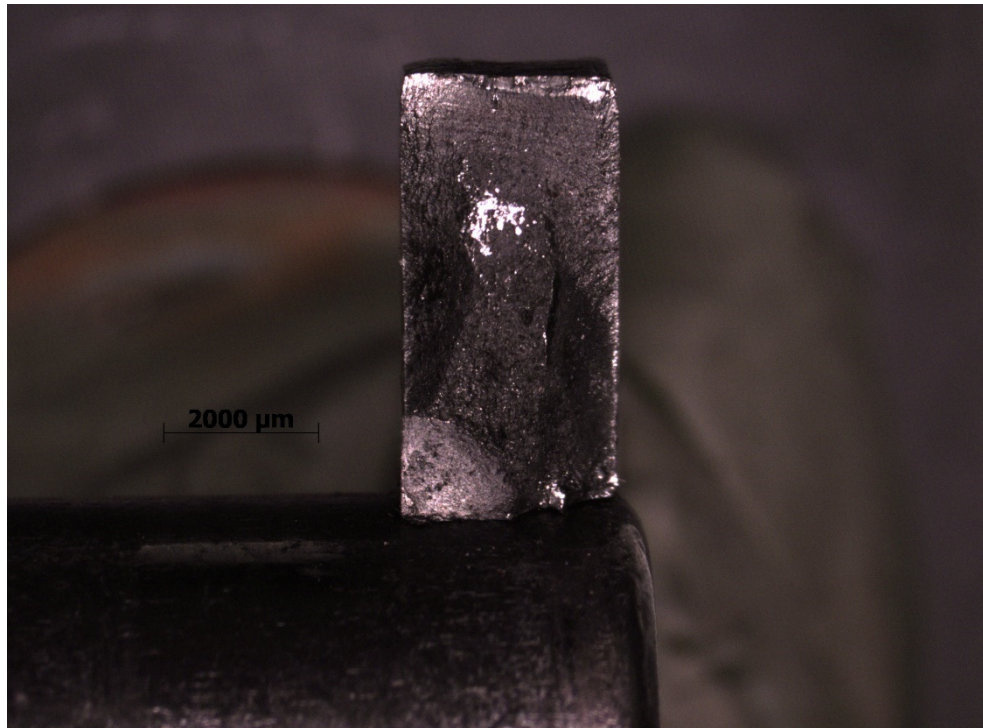


Figura 6 – Acoplamento da bucha à placa fraturada por fadiga.

A **Figura 7** mostra a superfície de fratura do pino que trabalhava acoplado à uma placa externa fraturada. A superfície de fratura está bastante danificada, mas é possível observar marcas de praia de coloração cinza escura em uma região em que não houve amassamento.

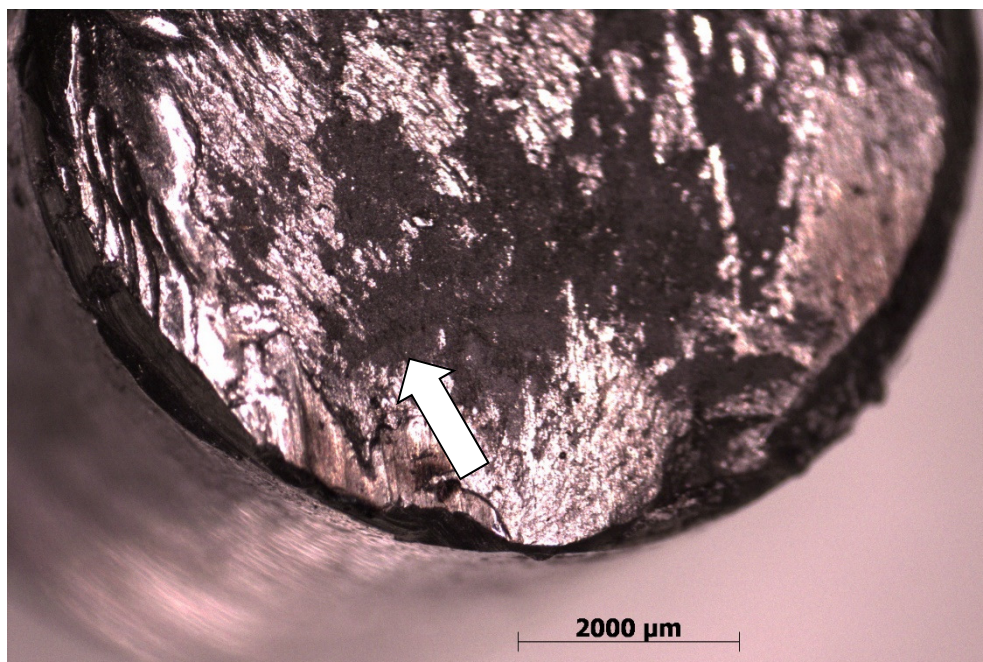


Figura 7 – Superfície de fratura do pino. Observam-se marcas de praia indicadas pela seta branca.

Análise das superfícies de fratura por microscopia eletrônica de varredura

A **Error! Reference source not found.** e a **Error! Reference source not found.** mostram a superfície de fratura da bucha vista ao microscópio eletrônico de varredura. Observa-se fratura frágil intergranular em uma grande região próximo à superfície. Na **Error! Reference source not found.** é possível observar uma descontinuidade situada a aproximadamente 0,3 mm da superfície que separa a região de fratura intergranular de uma região de fratura frágil transgranular.

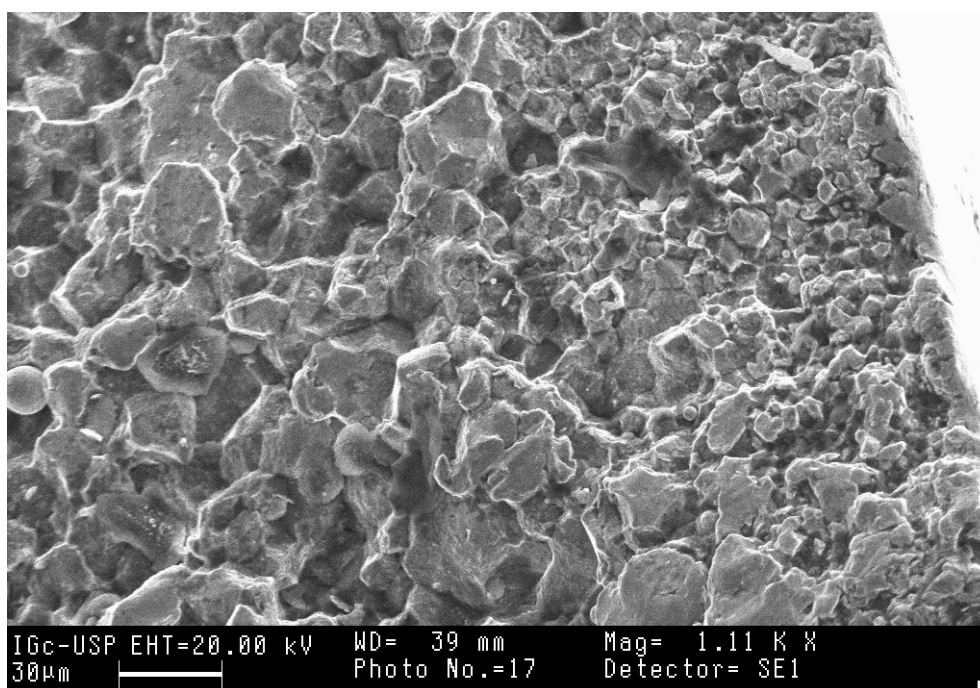


Figura 8 – Fratura frágil intergranular na região da superfície cementada da bucha. MEV. 1.100X.

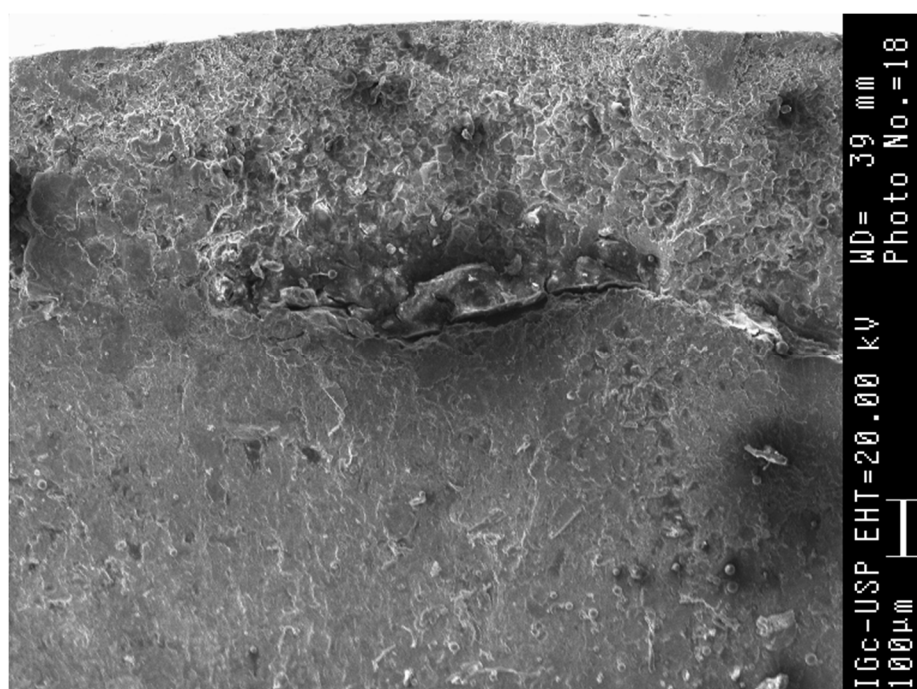


Figura 9 – Descontinuidade presente na superfície de fratura. Observa-se fratura intergranular acima da descontinuidade. MEV. 150 X.

A **Error! Reference source not found.** mostra a superfície de fratura da placa interna, iniciada no canto interno de acoplamento da mesma à bucha. Observa-se fratura por fadiga, formando uma região relativamente lisa seguida de outra região contendo estrias. A fratura final **Figura 11** ocorreu por processo de fadiga de baixo ciclo com formação de dimples e estrias bastante espaçadas.

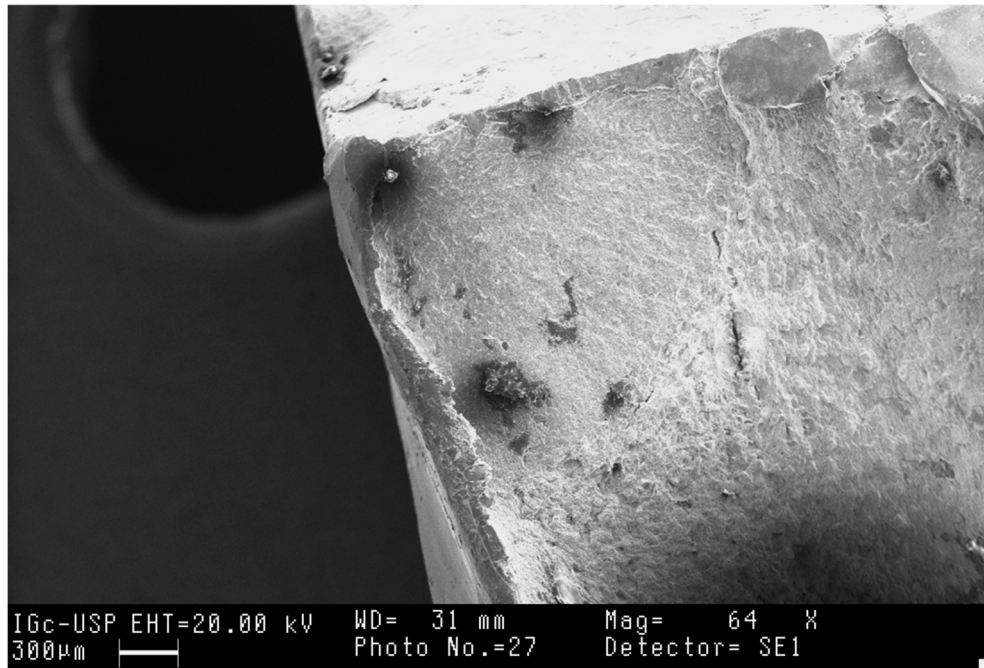


Figura 10 – Fratura por fadiga iniciada no canto interno da placa que trabalha acoplada à bucha. Observam-se marcas de praia bastante espaçadas formadas em processo de fadiga de baixo ciclo. MEV. 64 X.

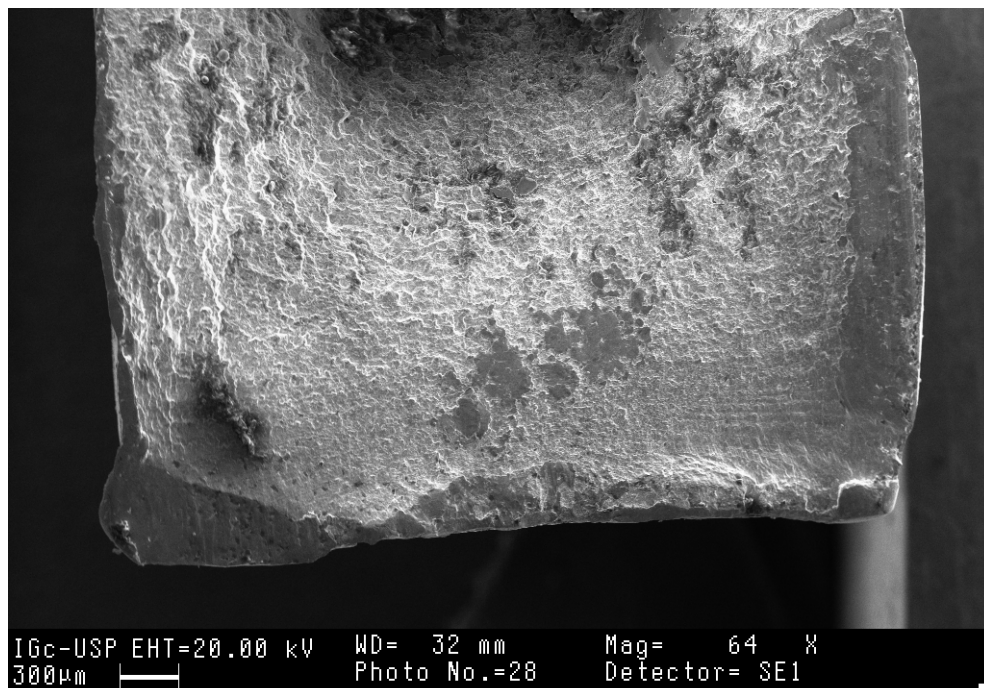


Figura 11 – Fratura por fadiga de baixo ciclo com estrias bastante espaçadas. MEV. 64 X.

A **Figura 12** mostra que o mecanismo de fratura ao final é de coalescência de microcavidades, compatível com a observação de fratura por fadiga de baixo ciclo.

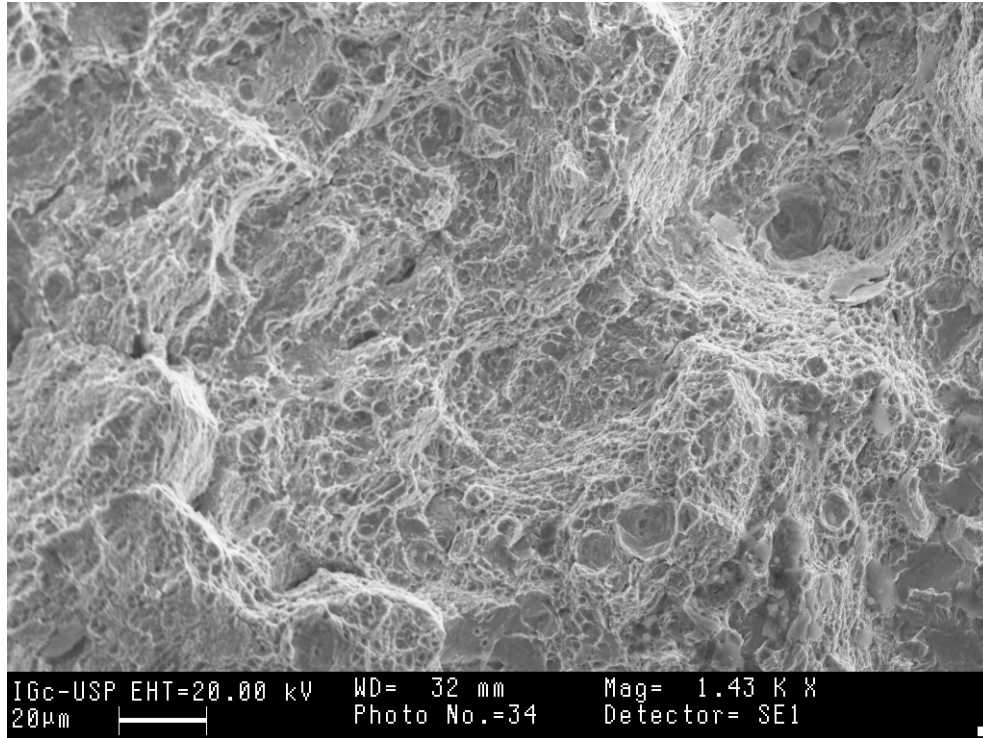


Figura 12 – Fratura dútil com formação de “dimples”, indicativo de relativa ductilidade do material. MEV. 1430 X.

A **Error! Reference source not found.** mostra a superfície de fratura do pino rompido por fadiga iniciada na região indicada pela seta branca. Observa-se uma região em forma de meia lua, de trinca por fadiga iniciada no local indicado pela seta branca, que apresenta amassamento.

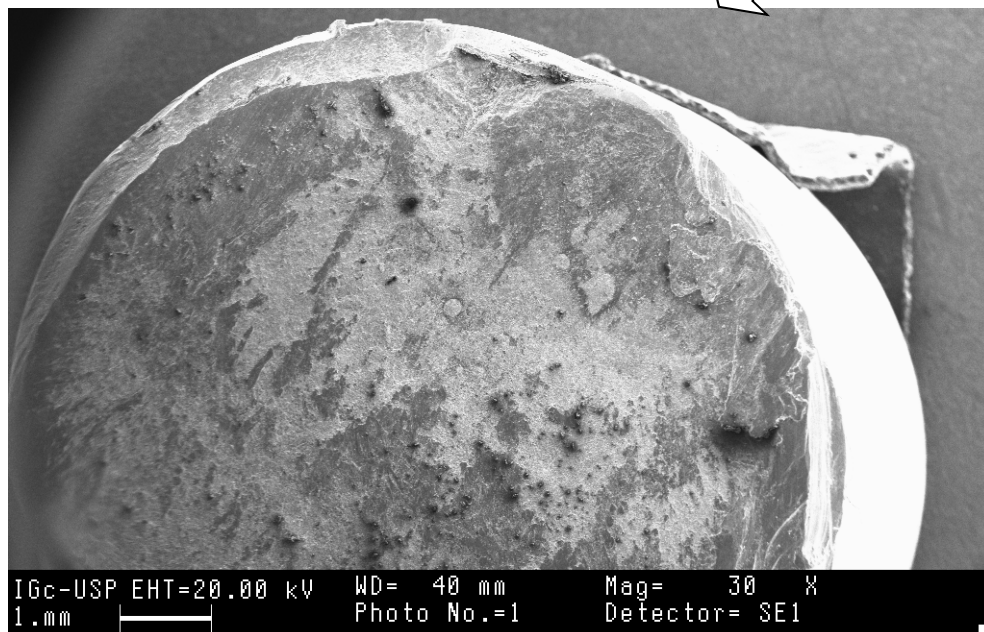


Figura 13 – trinca de fadiga iniciada na região indicada pela seta branca. MEV. 30 X.

Análise metalográfica dos componentes da corrente

A **Figura 14** mostra que existe uma descontinuidade na bucha, possivelmente uma dobra de laminação do material. A região mais externa da bucha se encontra separada da parte interna núcleo da bucha por um cordão de inclusões de óxidos.

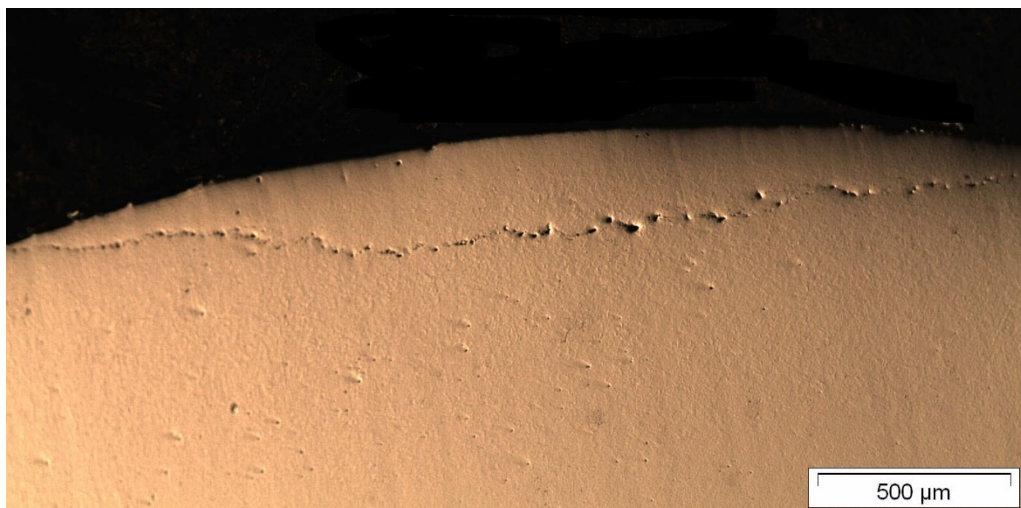


Figura 14 – Descontinuidade encontrada em bucha de corrente. A parte externa da bucha se encontra separada da parte interna por um cordão de óxidos. MO. Sem ataque. 50 X.

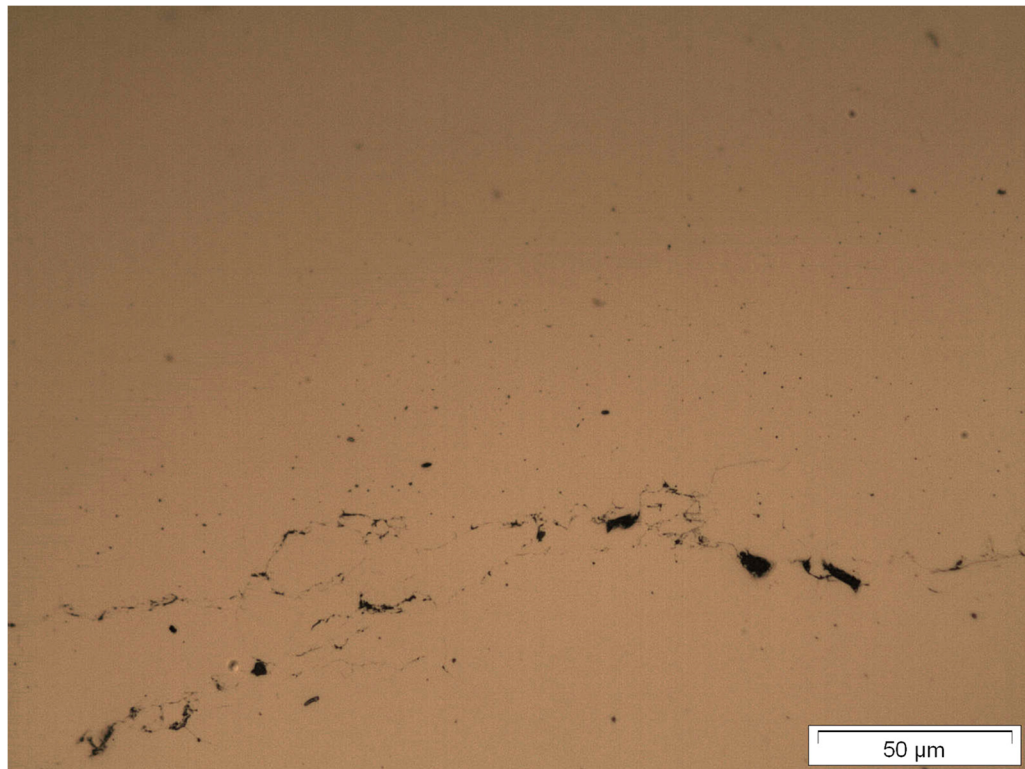


Figura 15 - Descontinuidade encontrada em bucha de corrente. A parte externa da bucha se encontra separada da parte interna por um cordão de óxidos. MO. Sem ataque. 500 X.

A microestrutura da superfície cementada possui quantidade excessiva de austenita retida (~28%), como mostram a **Figura 16** e a **Figura 17**.

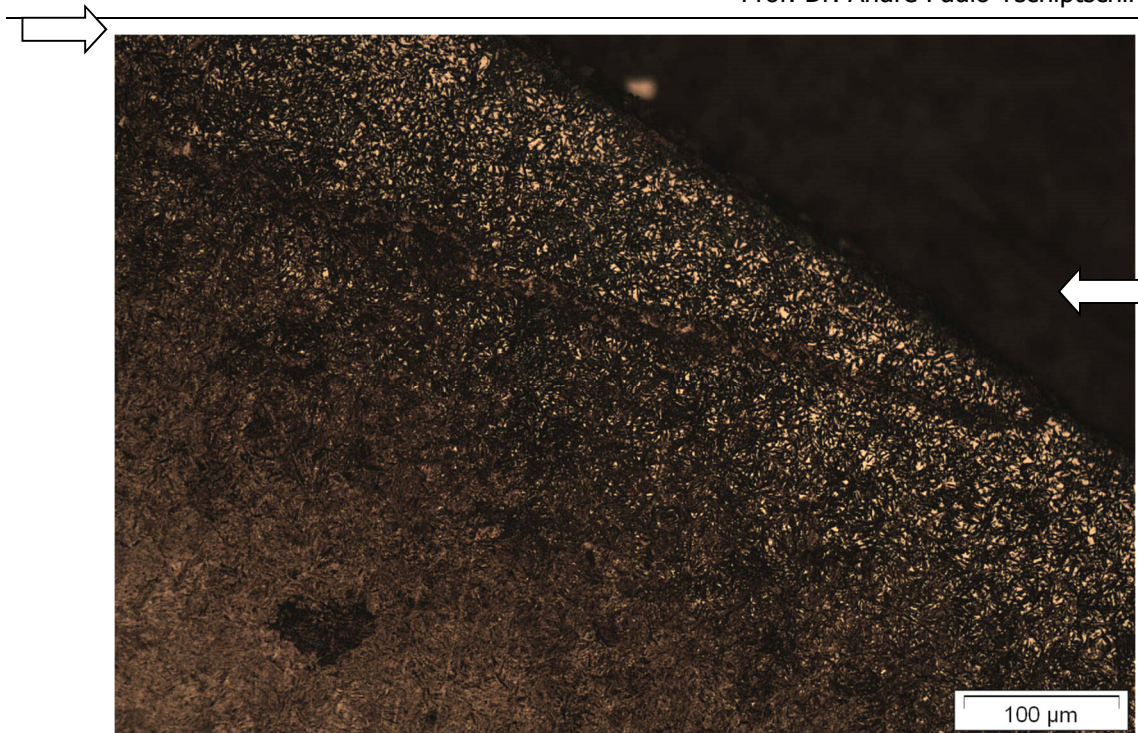


Figura 16 – Camada cementada da bucha com quantidade excessiva de austenita retida. Observa-se a descontinuidade que se estende desde a seta branca da direita até a seta branca da esquerda. MO. Ataque: Nital. 200X.

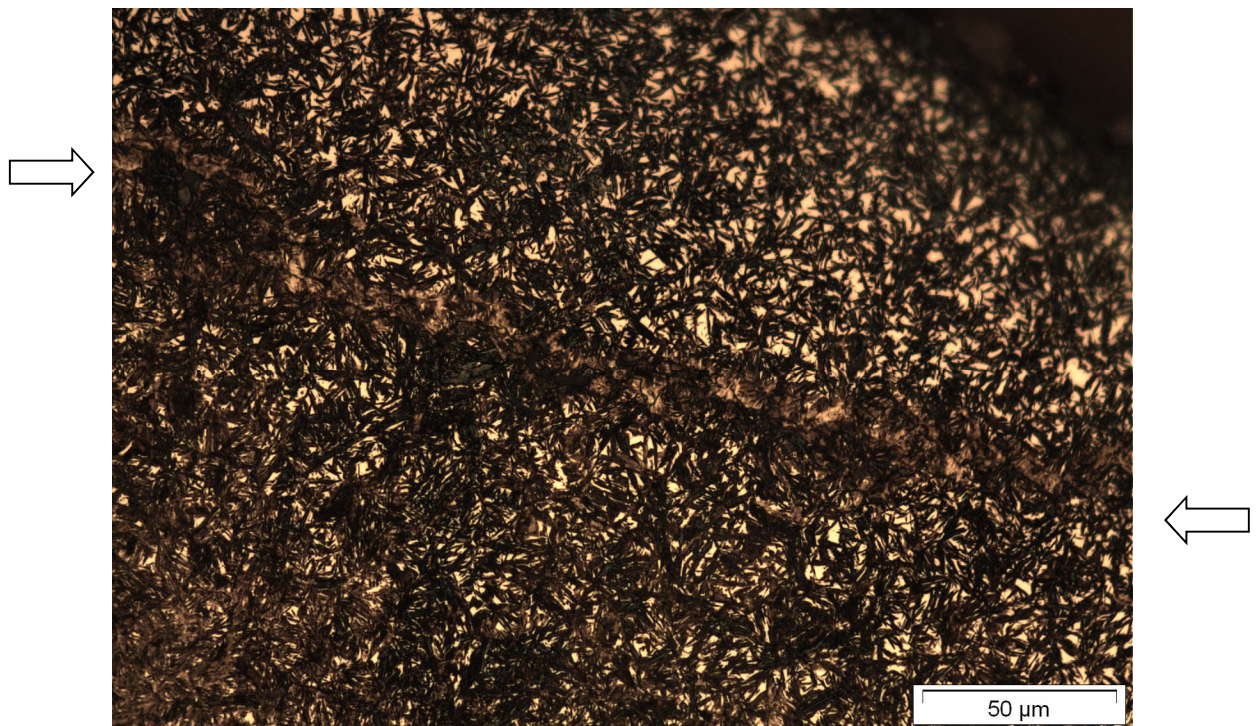


Figura 17 - Camada cementada da bucha com quantidade excessiva de austenita retida (~28%). Descontinuidade entre as setas brancas. MO. Ataque: Nital. 500 X.

As evidências encontradas indicam que a bucha possui quantidade excessiva de austenita retida e descontinuidade que se estende no interior do material, possivelmente uma dobra de laminação.

A placa interna fraturada por fadiga apresenta microestrutura extremamente heterogênea contendo ferrita, perlita e bainita, como mostram a **Figura 18** e a **Error! Reference source not found.**

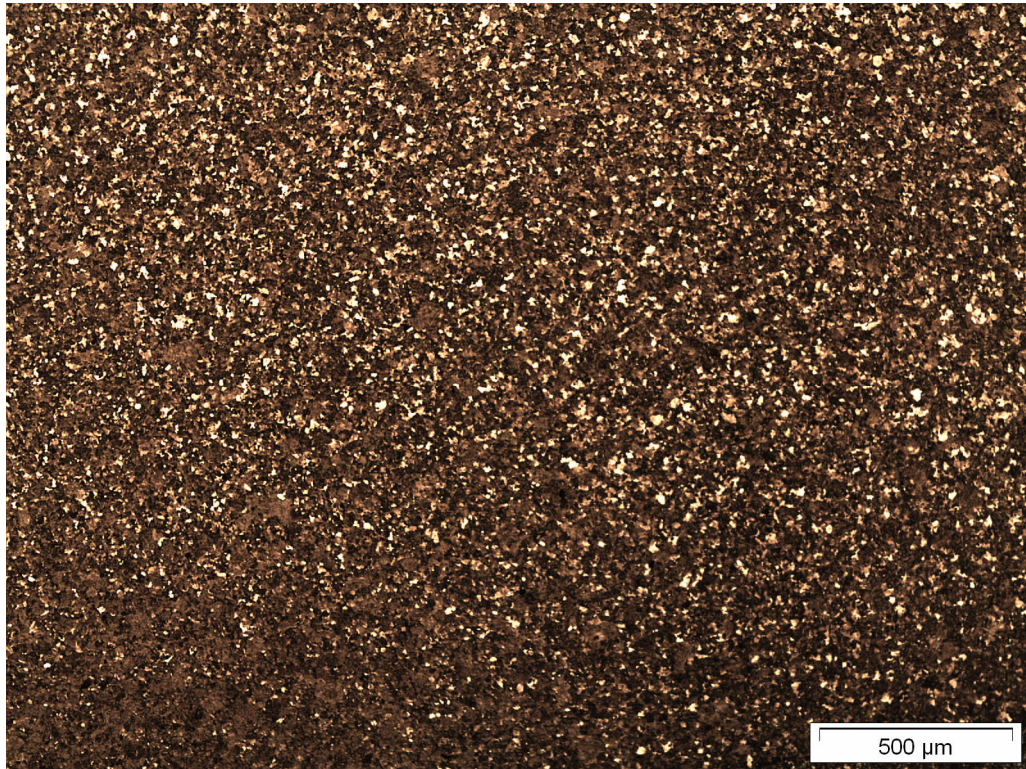


Figura 18 – Microestrutura heterogênea da placa interna da corrente. MO. Ataque: Nital. Aumento 50 X.

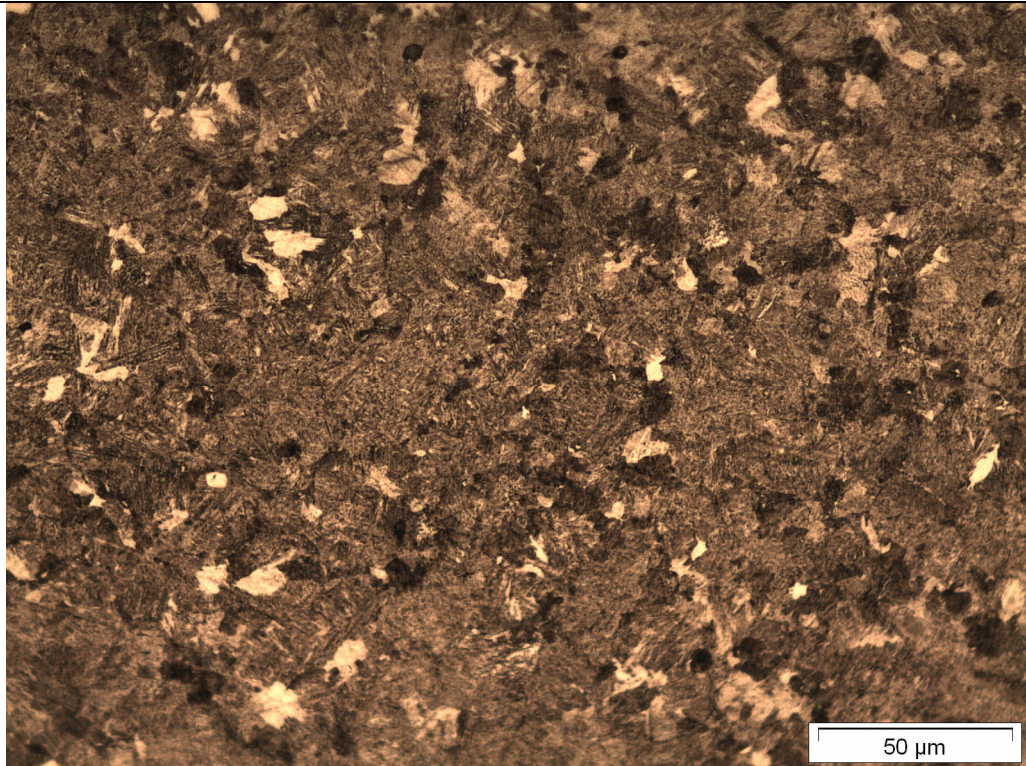


Figura 19 – Ferrita, perlita e bainita na placa interna da corrente. MO. Ataque: Nital. Aumento 500 X.

A **Error! Reference source not found.** mostra que, além disso, a placa interna apresenta descarbonetação superficial.

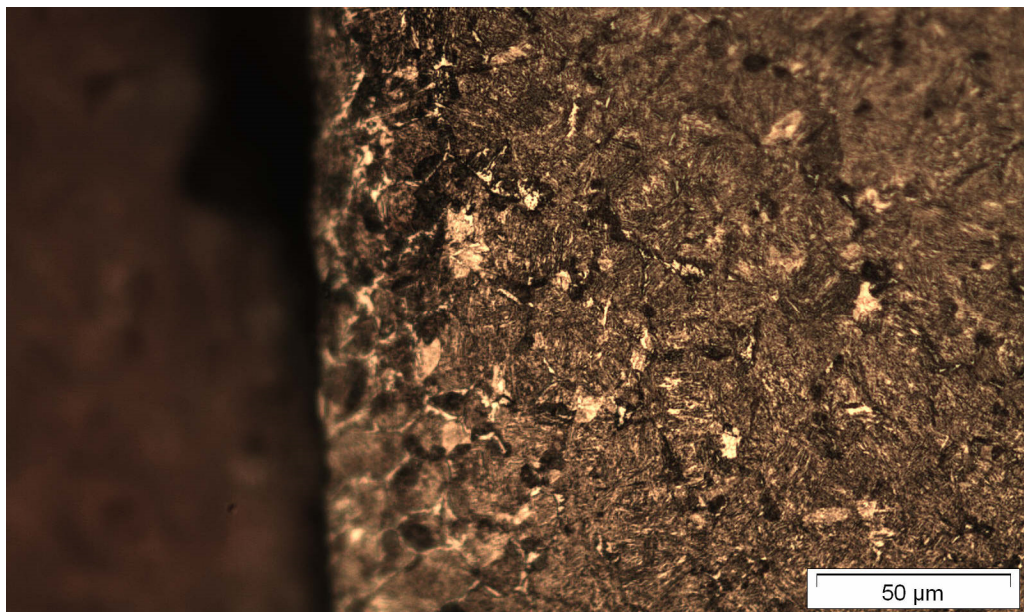


Figura 20 – Descarbonetação superficial. MO. Ataque: Nital. Aumento: 500 X.

As evidências encontradas indicam que a placa interna da corrente, fraturada por fadiga, apresenta microestrutura heterogênea, resultante de tratamento térmico mal feito e

Prof. Dr. André Paulo Tschiptschin

descarbonetação superficial.

A microestrutura do pino é homogênea, constituída de martensita revenida em toda a seção transversal, como se vê na **Error! Reference source not found..** O pino não foi cementado nem recebeu qualquer outro tratamento para endurecimento superficial.

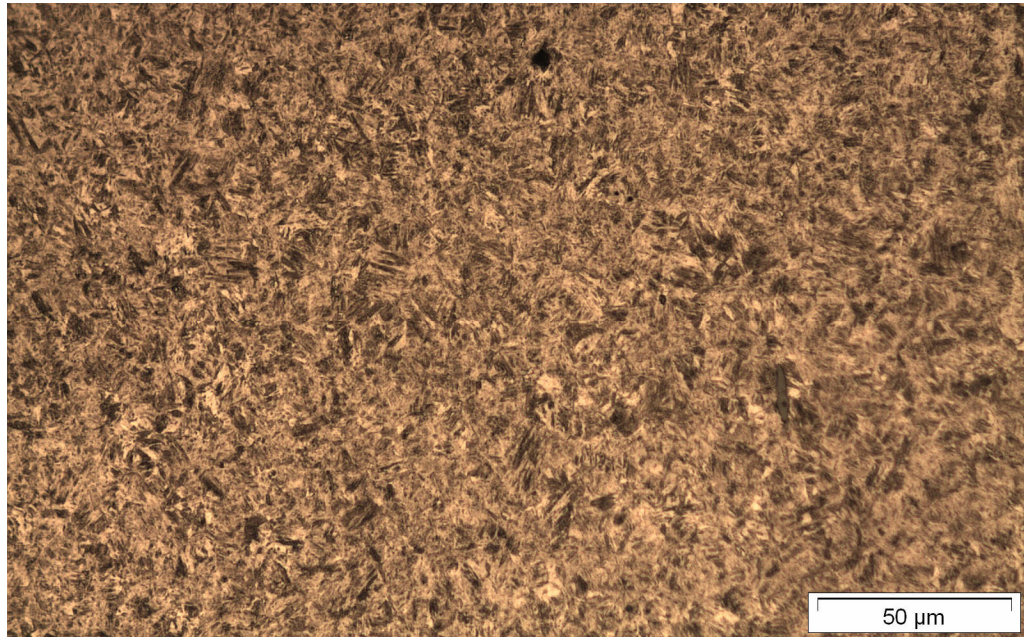


Figura 21- Microestrutura homogênea em toda a seção transversal, constituída de martensita revenida. MO. Ataque: Nital. Aumento: 500 X.

As evidências encontradas indicam que os três componentes da corrente apresentam problemas de estrutura metalográfica e de tratamento térmico que se reflete em suas durezas.

Medidas de dureza Vickers HV 0,3

As medidas de microdureza Vickers indicam que a bucha apresenta abaixamento de dureza na superfície, devido à presença de elevada quantidade de austenita retida, como mostra a **Figura 22.**

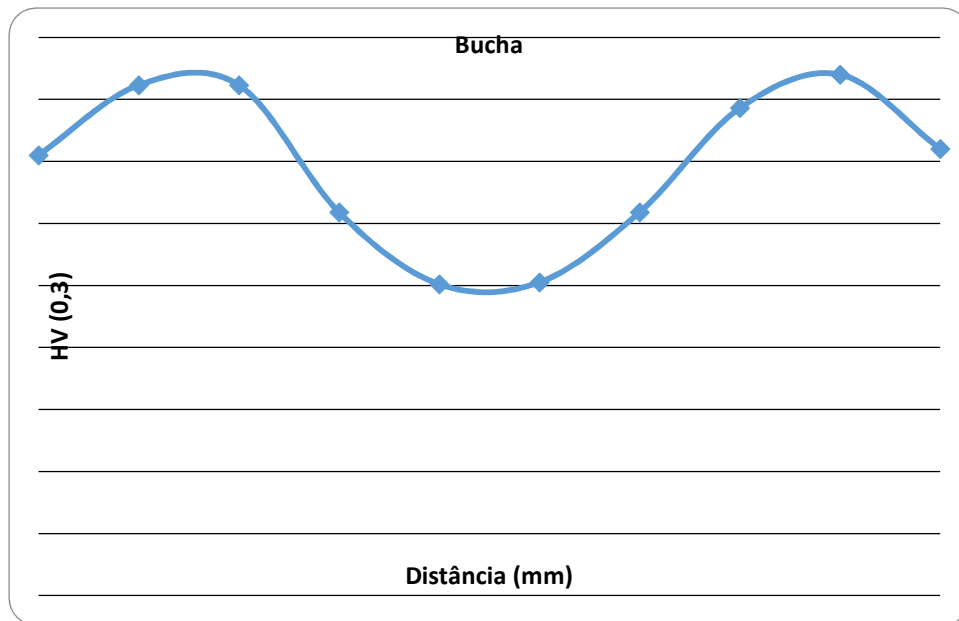


Figura 22 – Microdureza Vickers 0,3 da bucha ao longo de sua seção transversal.

A dureza da placa interna é relativamente baixa e sofre queda acentuada nas duas superfícies descarbonetadas, como se vê na **Figura 23**.

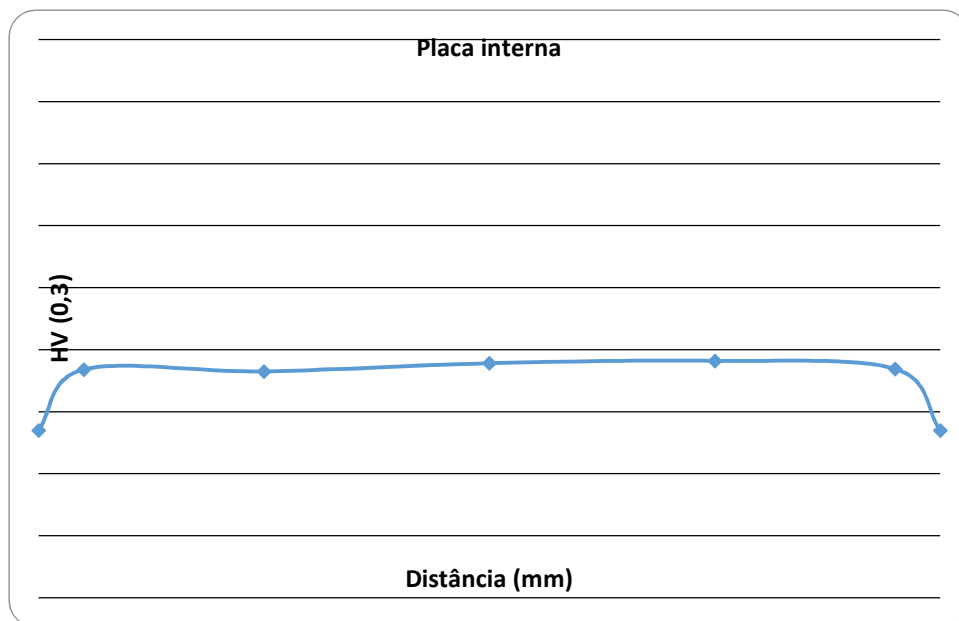


Figura 23 - Microdureza Vickers 0,3 da placa interna ao longo de sua seção transversal.

O perfil de dureza do pino mostra que o mesmo não foi cementado, como se vê na **Figura 24**.

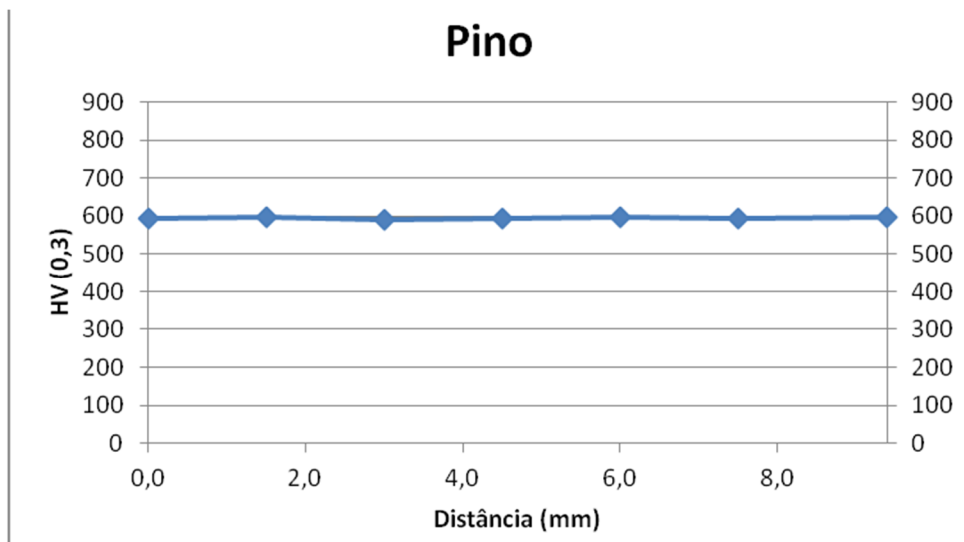


Figura 24 - Microdureza Vickers 0,3 do pino ao longo de sua seção transversal.

Discussão

As evidências encontradas indicam que todos os componentes da corrente apresentam problemas de estrutura metalográfica, decorrentes de tratamentos térmicos mal especificados ou mal feitos. A bucha apresenta cerca de 28% de austenita retida. Além disso, apresenta descontinuidade de tamanho exagerado, possivelmente uma dobra de laminação. A placa interna apresenta estrutura muito heterogênea e descarbonetação superficial. O pino não foi cementado como indicado pelas melhores práticas de fabricantes de correntes de transmissão^{1, 2}

A placa interna e o pino quebraram por fadiga enquanto a bucha sofreu fratura frágil intergranular. Provavelmente a placa interna ou o pino começaram a romper por fadiga causando sobrecarga nos outros componentes da corrente.

Conclusão

- 1) Os três componentes da corrente apresentam problemas de fabricação:
 - A bucha apresenta descontinuidade de tamanho exagerado e quantidade exagerada de austenita retida.
 - A placa interna apresenta microestrutura heterogênea indicativa de tratamento térmico mal feito, além de descarbonetação superficial.
 - O pino apresenta estrutura homogênea, mas não foi cementado, como indicam as melhores práticas de fabricantes de correntes de transmissão.
- 2) A placa interna rompeu por fadiga nucleada na região de acoplamento à bucha
- 3) O pino rompeu por fadiga nucleada em uma região de amassamento.
- 4) A bucha rompeu frágil com fratura intergranular.

Prof. Dr. André Paulo Tschiptschin

Referências

1. D.I.D General catalog - <http://www.did-daido.co.jp/documents/en/catalog/didcatalog.pdf>
2. SKF Transmission Chain – <http://www.skf.com/files/896759.pdf>