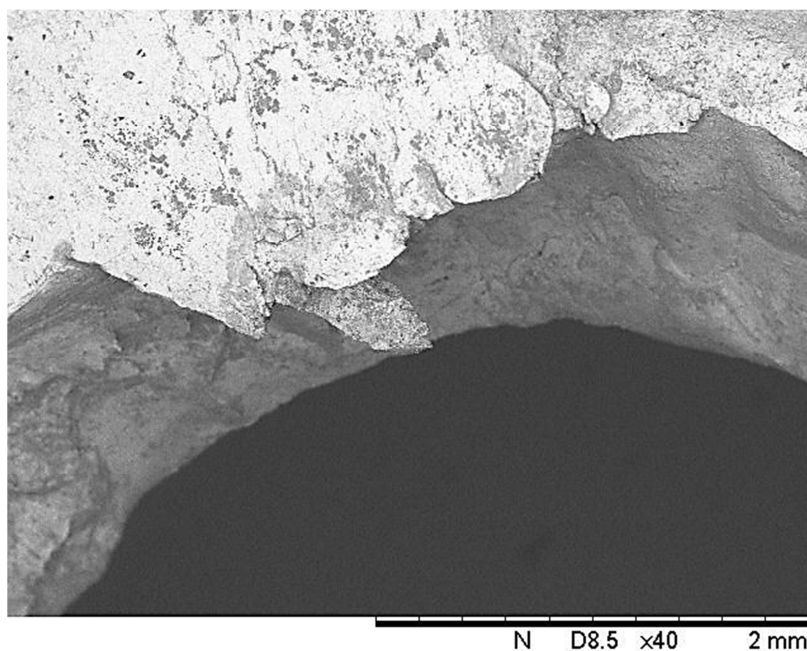


FIGURA 34 – Superfície de falha CP5. Formação de rebarba na superfície de falha devido à haste permanecer em trabalho (rotação) após a fratura.

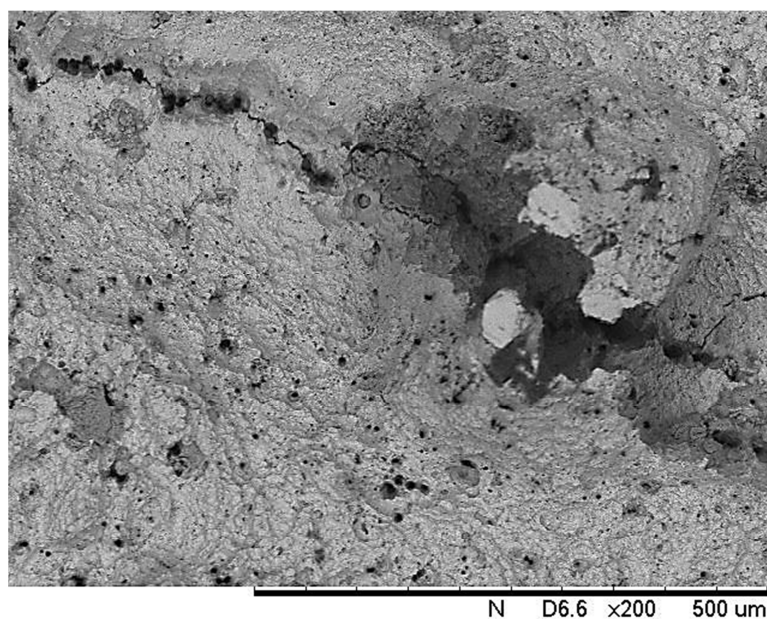


UFPA-FEMAT

Fonte: Autor, 2012.

Todos os corpos de provas apresentaram porosidades, no entanto, o CP3 se desta com grande quantidade de poros em toda superfície de fratura, Figura 33.

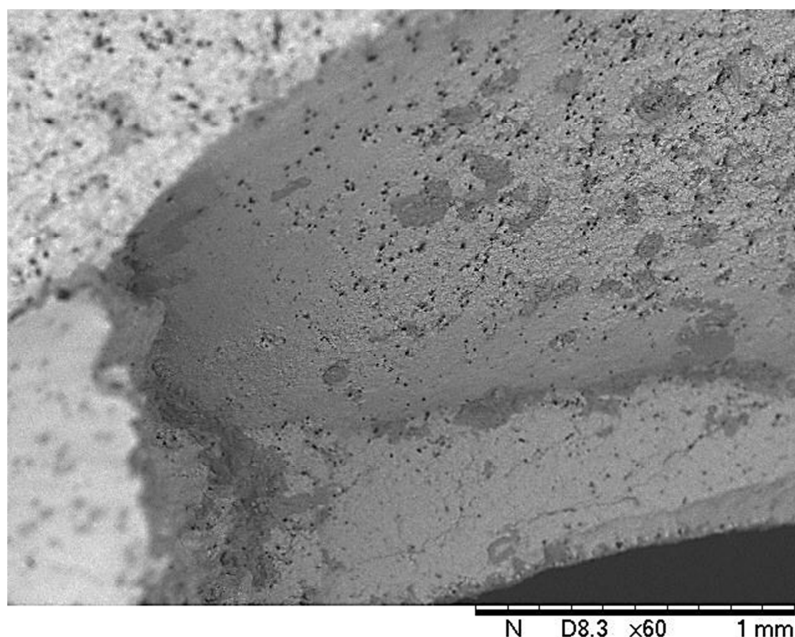
FIGURA 35 – Poros na superfície de falha do CP3.



UFPA-FEMAT

Fonte: Autor, 2012.

FIGURA 36 – Poros na superfície de falha do CP3.



UFPA-FEMAT

Fonte: Autor, 2012.

Na análise visual verificou-se que três amostras, CP1, CP4 e CP5, não tiveram sua superfície de falha preservada, pois permaneceram em trabalho (em rotação) por um período além do considerado normal com relação à percepção da ocorrência da falha, pelo operador, desse modo, não foi possível verificar precisamente a superfície de falha por estereoscopia e MEV. Além disso, o CP5 teve sua extremidade usinada, a fim de reduzir sua seção transversal cônica.

As bordas externas e internas das amostras, segundo o catálogo do fabricante, foram cementadas numa espessura média de 1,5 mm, Figura 05, o que pode ser comprovado na metalografia. O objetivo da cementação é elevar a concentração de carbono nessas regiões e conseqüentemente a dureza. A cementação, ao longo de toda haste, e a têmpera superficial, nas pontas das hastes, implicam em maior dureza e resistência a falha por fadiga, pois as tensões externas são reduzidas em magnitude pela tensão residual de compressão que forma nas bordas endurecidas^[12].

Um dos principais tipos de falha em haste, devido às solicitações mecânicas na qual está submetida, é a fadiga. A resistência à fadiga aumenta numa aproximação proporcional a resistência à tração^[13], porém, valores muito elevados de dureza, a resistência à fadiga não é beneficiada. A explicação se dá pelo grande probabilidade de formação de inclusões em aços de alta resistência, vale lembrar

que nos corpos de prova foram identificadas diversas inclusões, próximas às zonas de maior dureza, Figuras 23, 27, 30 e 31. As inclusões atuam nos materiais como micro-trincas gerando pontos de concentração de tensão onde nucleiam falhas por fadiga.

Quanto à análise fractográfica, no CP1, verificou-se certa rugosidade na transição da zona cementada externa com o meio e início da formação de dimple, que é característico de materiais dúcteis. Na zona cementada, a superfície se manteve lisa e com mudanças no plano de fratura, característica de materiais frágeis. Foi possível verificar a presença de inclusão, nesta região, que é mostrada com mais detalhes na Figura 22 e 23, onde se podem observar trincas partindo da inclusão. O CP2 tem superfície de falha rugosa com presença de inclusão e micro trincas, também houve mudança de plano de fratura na região da inclusão, Figura 26 e 27. No CP3, há grande quantidade de trincas e poros na superfície de fratura, além de inclusão, Figura 30. O CP4 e o CP5 destacam-se pela grande quantidade de poros ao longo de toda sua superfície de falha. Os CP's 01, 04 e 05, não tiveram sua superfície de falha preservada, assim não foi possível uma verificação precisa.

De modo geral, os corpos de prova apresentam grande quantidade de defeitos e pouca evidência, por exemplo, de marcas de praia, dimple, que caracterizam e possibilitam identificar o tipo de falha. Isso se deve ao fato de defeitos como trincas, poros e inclusões, dependendo do seu tamanho em relação à peça, atuarem como discordâncias nas superfícies de fratura de modo à desconfigurá-las^[5,14].

Analisando a falha do CP3 pode se observar que a fratura teve início na borda interna, onde há a união de três ramificações de trinca, ou seja, um ponto de grande concentração de tensão, ver Figura 36. A intensidade de tensão no extremo de uma trinca não pode ultrapassar o valor crítico de tenacidade à fratura, caso contrário ocorrerá propagação da trinca. Neste caso, o ponto de união das três trincas é o local, na superfície de fratura, com maior concentração de tensão. A partir deste ponto a trinca se propaga em duas direções uma perpendicularmente à seção transversal da haste e a outra com ângulo de 45 graus. Devido à grande quantidade de trincas e poros presentes na superfície de falha perpendicular a seção transversal, poros com tamanhos de aproximadamente 300 μm e inclusões com tamanho de aproximadamente 200 μm , pode se afirmar que houve um alto grau de

deslizamento nas superfícies de trincas e contornos de inclusões durante a rotação da haste, isso explica a propagação transgranular da trinca, ver Figura 30 e 31.

FIGURA 37 – Início da fratura CP3



Fonte: Autor, 2012.

O CP3 apresentou menor média de dureza aproximadamente 323 HV, ou seja, uma dureza intermediária entre materiais frágeis e materiais dúcteis. Não houve grande aumento progressivo de dureza em direção à região externa da haste, pois o mesmo apresentou a menor dureza na região externa. No entanto, a microestrutura martensítica é frágil e não houve revenimento para correção da austenita retida e nem alívio das tensões, isso explica as trincas presente próximo a região externa, ver Figura 29 e 30. A Falha no CP3 iniciou-se na região central, ver Figura 32, propagou-se perpendicularmente ao eixo longitudinal da haste, em seguida, se rompeu por torção. O ângulo de 45 graus é característica de materiais frágeis em fratura por torção.

6. CONCLUSÃO

A rotação da haste gera tensões cisalhantes nas extremidades das trincas e as vibrações mecânicas provenientes do atrito haste-rocha produzem intensidade de carregamentos variáveis, ou seja, carregamentos cíclicos. Na fadiga de baixo ciclo a nucleação e a propagação da trinca ocorrem acompanhadas por um escoamento generalizado na superfície da peça, resultando em geral numa superfície rugosa,

pelo elevado grau de deformação plástica^[17], o que pode ser observado em todos os CP's, ver Figura 25, 26 e 28. Dependendo do material e do modo como ocorrem os planos de deslizamento, as microtrincas podem ser nucleadas a partir das bandas de deslizamento, ou mesmo a partir dos contornos de grão, quando o corrugamento superficial for excessivo. Neste caso formam-se degraus na superfície, observado no CP2, ver Figura 26, devido a um escorregamento intergranular, ao longo dos contornos de grão, sendo as microtrincas intergranulares logo na sua formação, podendo passar a transgranular com o crescimento^[17].

Os corpos de prova 1 e 2, apresentam características de falha por fadiga de baixo ciclo, com propagação em degraus intergranular e marcas de praia, ver Figuras 22, 23 e 25. O corpo de prova 3 falhou por torção. Nos corpos de prova 4 e 5 não foram encontrados indícios suficientes para justificar o tipo de falha, pois suas superfícies estavam bastante desconfiguradas.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se afirmar que o processo e/ou técnicas empregadas na fabricação das hastes não proporciona boa qualidade e eficiência ao produto. Os defeitos encontrados nos corpos de prova reduzem consideravelmente a vida útil do material, pois as trincas, poros, inclusões, dureza excessiva e não regularidades das propriedades afetam diretamente a resistência do material às solicitações no qual será submetido.

REFERÊNCIAS

- [01] Global Product Catalogue - www.boartlongyear.com;
- [02] BRESCIANI, E. F. **Conformação Plástica dos Metais**. 4ª Edição. Campinas.
- [03] PEREIRA, M. **Tratamentos Térmicos e Termoquímicos**. Departamento de Engenharia de Materiais. PUC. RIO;
- [04] PINTO, L. G. S. **Tratamento Térmico**. SENAI-SP, 2003;
- [05] Handbook of Metals Volume 12 of the 9th Edition – **Fractography**;
- [06] ASTM E3 - 95– **Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens**;
- [07] SOUZA, S. A. **Composição Química dos Aços**;
- [08] COSTA, A. L.; Mei, S. P. R. **Aços e Ligas Especiais**. 3ª Edição;
- [09] Handbook of Metals Volume 9 of the 9th Edition. **Metallography and Microstructures**;
- [10] COLPAERT, H. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**. 4ª Edição;
- [11] ASTM E384 – 99 - **Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials**;
- [12] GARCIA, Amauri. **Ensaio dos Materiais**;
- [13] SCHIJVE, Jaap. **Fadigue de Structures e Materials**. Delft University Technolgy Faculty Aerospace Enginnering, The Netherlands;
- [14] MURAKAMI, Y. Metal Fatigue: **Effects of Small Defects and Nonmetallic Inclusions**. 2002;
- [15] JONES, D.R.H. **Failure Analysis Case Studies II**. Department of Engineering University of Cambridge, UK – 2001;
- [16] MOBLEY, R. K. **Root Cause Failure Analysis**;
- [17] ROSA, E. **Análise de Resistência Mecânica**. Departamento de Engenharia Mecânica. UFSC. 2002