

Tema: Tratamento térmico

APLICAÇÃO DE TÊMPERA E REVENIMENTO EM FERRAMENTAS DE AÇO AISI 4340*

Noan Tonini Simonassi¹
Rhuam Samary Barreto²
Frederico Muylaert Margem³
Sergio Neves Monteiro⁴
Luis Henrique de Souza Viana⁵
Silvio Gonçalves Mendes⁶
Rômulo Leite Loyola⁷

Resumo

Como ferramentas simples, moeda ou mesmo como armas os metais tornaram possível o progresso da humanidade. Uma das maiores descobertas já feitas foi o desenvolvimento do aço. Com o avanço da utilização desse material foram desenvolvidas técnicas de adição de elementos de liga assegurando propriedades que possibilitam a sua utilização em praticamente todos os setores da indústria. O objetivo do presente trabalho é avaliar a evolução do comportamento mecânico de um aço do tipo AISI 4340, submetido a tratamentos térmicos de têmpera e revenimento. As amostras estudadas neste trabalho foram obtidas de discos tracionadores que são parte de ferramentas de preparação do cabo de sensor utilizado durante a produção de petróleo. Antes da têmpera estas peças foram submetidas a um pré-aquecimento lento até a temperatura de 815°C e, posteriormente, submetido à austenitização acima de 1.000°C por um tempo determinado a fim de difundir os elementos de liga de maneira homogênea na liga. Após a têmpera, estas foram submetidas a seguidos processos de revenimento. A evolução da dureza do material tratado e sua microestrutura puderam ser observadas por meio de análises metalográficas. O comportamento mecânico destas peças obteve melhora significativa com relação às propriedades de interesse.

Palavras-chave: Têmpera; Revenimento; Dureza; Aço.

QUENCHING AND TEMPERING ON TOOLS MADE OF AISI 4340 STEEL

Abstract

As simple tools, currency or weapons metals have made possible the progress of mankind. One of the greatest discoveries was the development of steel. With the continuous use of such material, techniques of adding alloying elements were developed ensuring properties allowing its use in almost all sectors of industry. The objective of this present work is to evaluate the evolution of the mechanical behavior of steel AISI 4340 subjected to heat treatment of quenching and tempering. The samples studied in this work were obtained from traction disks that are parts of tools used in preparation of sensor cable used during the oil production. Before the quenching, the samples were subjected to a slow preheat until the temperature of 815°C and then subjected to austenitizing above 1,000°C by a specified time in order to spread the alloying elements evenly in the alloy. After the quenching the samples were submitted to following process of tempering. The hardness evolution of such material and its microstructure could be observed by metallographic analysis techniques. The mechanical behavior of such samples had a significant improvement relative to the properties of interest.

Keywords: Tempering; Quenching; Hardness; Steel.

- ¹ Graduando em Engenharia Metalúrgica, Habilitação em engenharia metalúrgica e de Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Estagiário, Centro de Inovações Tecnológicas (CIT), Transeletron, Macaé, RJ, Brasil.
- ² Bacharel, Engenharia Metalúrgica, Habilitação em engenharia metalúrgica e de Materiais, UENF, Gerente de Projetos, CIT, Transeletron, Macaé, RJ, Brasil.
- ³ Engenheiro Eletricista, DSc Engenharia de Materiais, Faculdade Redentor, Coordenador do curso de Engenharia, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.
- ⁴ Engenheiro Metalúrgico, UFRJ, MSc e PhD, University of Florida, USA, Professor do Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ⁵ Bacharel em Direito pela Faculdade de Direito de Campos (FDC). Diretor da Transeletron Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.
- ⁶ Técnico de nível médio em Eletromecânica pela Escola Técnica Estadual João Barcelos Martins. Técnico das oficinas do Laboratório de Materiais Avançados (LAMAV) da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF). Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.
- ⁷ Técnico de nível médio em Mecânica pelo Centro Técnico Universitário (CTU). Técnico das oficinas do Laboratório de Materiais Avançados (LAMAV) da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF). Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais antigos a utilização dos metais impulsionou o desenvolvimento do homem. Conforme a humanidade desenvolveu novas técnicas de beneficiamento e descobriu novos tipos de metais e suas ligas a sociedade pode se desenvolver até chegar aos padrões de hoje em dia.

É difícil imaginar como seria indústria, a produção agrícola e até mesmo o próprio cotidiano caso o setor metalúrgico não tivesse se desenvolvido até o ponto atual, uma vez que os metais estão presentes em praticamente toda a atividade humana de alguma maneira.

A maneira como respondem aos esforços mecânicos submetidos, aliado ao relativo baixo custo de produção e preparação destes materiais e ainda às demais propriedades que estes apresentam estão entre os principais motivos que justificam a grande utilização de metais e suas ligas [1].

Parte importante do setor metalúrgico é o setor que trata de ligas ferrosas. Estas ligas são nomeadas assim, pois possuem o ferro como principal constituinte estrutural [1,2]. Estas, ainda, são as ligas metálicas mais utilizadas atualmente [3].

Dentro das ligas ferrosas, se destacam os aços. O aço é uma liga genérica entre o ferro e carbono que pode ainda conter elementos de ligas oriundos do processamento ou adicionados posteriormente para que sejam obtidas propriedades de interesse ao material [2]. Os aços de alta liga e as ligas especiais são os aços de maior destaque na indústria, pois seu elevado teor de certos elementos de liga garante a estes propriedades únicas [4].

Durante o processamento destes metais, os métodos de conformação e ainda a variação de temperatura que estes são submetidos, tem influência direta nos resultados de propriedades desses materiais [4]. Isso se deve à formação de novas microestruturas ou apenas uma modificação nas já existentes fazendo com que o material altere suas propriedades de maneira a fugir dos valores padrões [1].

Por outro lado, quando se tem conhecimento da composição química do material é possível alterar as estruturas deste por meio de técnicas de tratamentos térmicos, de modo que, segundo Chiaverini [1], o tratamento se faz tão importante quanto o conhecimento prévio da aplicação de determinada peça ou ainda a complexidade da liga trabalhada.

O objetivo do presente trabalho foi de desenvolver e aplicar um tratamento térmico adequado a discos tracionadores que pertencem a uma ferramenta utilizada na preparação do cabo do sensor que é instalado no poço de petróleo durante sua produção viabilizando, desta forma, a utilização desta ferramenta. A justificativa para tal esta no fato de estas peças falharem de maneira dúctil durante o trabalho diminuindo assim a eficiência do equipamento que continuava em uso (durante as operações) até o ponto de inviabilizar totalmente o processo fazendo necessário à troca destes componentes. As peças estudadas estão ilustradas na figura 1 que mostra a ferramenta parcialmente montado com os discos tracionadores no local.

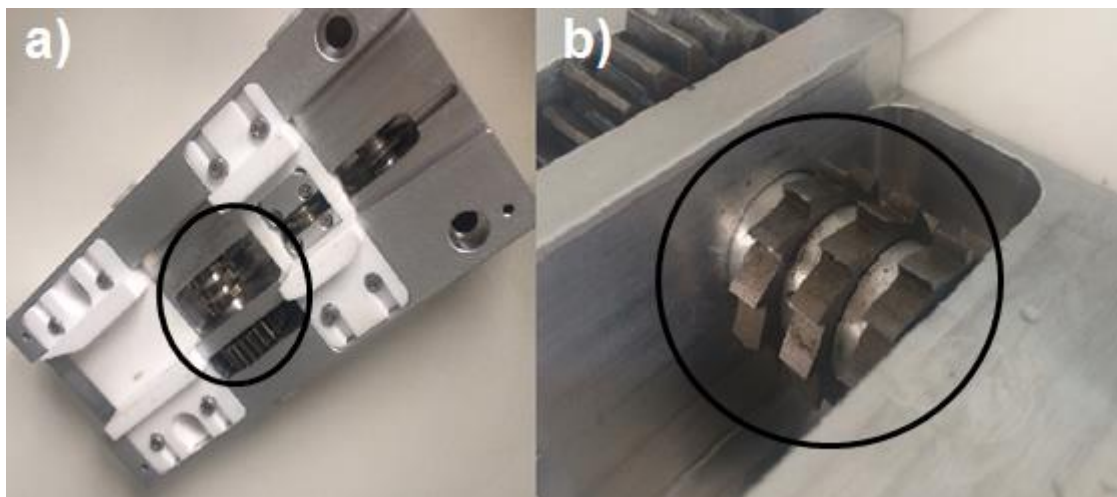


Figura 1: Separador de cabos parcialmente montado (a) e série de tracionadores postos no lugar (b).

Para tal trabalho, devido à disponibilidade e o baixo custo, foi selecionado um aço do tipo AISI 4340 que é amplamente utilizado na indústria do petróleo e gás no segmento de equipamentos submarinos.

Uma vez que esta ferramenta opera, em sua grande maioria de tempo em plataformas offshore, parte relevante deste trabalho esteve na preocupação com processos corrosivos ao qual esta ferramenta estará submetida durante o trabalho onde as condições ambientais são adversas. Preocupação extra ainda foi tomada em evitar a variação dimensional desta peça durante os processos de tratamento térmico já que em altas temperaturas o ferro tende a oxidar com maior facilidade como demonstram as curvas de energia livre de Gibbs [5].

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os discos tracionadores utilizados no presente trabalho foram fornecidos pela empresa Transeletron que, por sua vez, é a dona da ferramenta separadora de cabos. As amostras utilizadas no presente trabalho não tiveram nenhum tipo de tratamento prévio com exceção dos utilizados durante as etapas de conformação dessas peças. Estes também não foram submetidos a nenhum trabalho antes dos tratamentos térmicos.

Uma vez estabelecidos os parâmetros sobre os tratamentos térmicos decidiu-se utilizar de têmpera em óleo seguida de revenimento em água para aumentar a dureza deste material. De modo a avaliar cada etapa do processo foi retirada, a cada tratamento, uma amostra do forno para que esta pudesse ser analisada. Portanto ao fim da têmpera foi retirada uma amostra enquanto as outras foram submetidas ao processo de revenimento.

Para o aquecimento das peças foi utilizado um forno EDG modelo 7000. O regime de variação da têmpera seguida do revenimento pode ser observado na figura 2 que mostra o forno sendo aberto para retirada das peças durante a têmpera (a) e a curva da variação de temperatura por tempo durante os tratamentos (b).

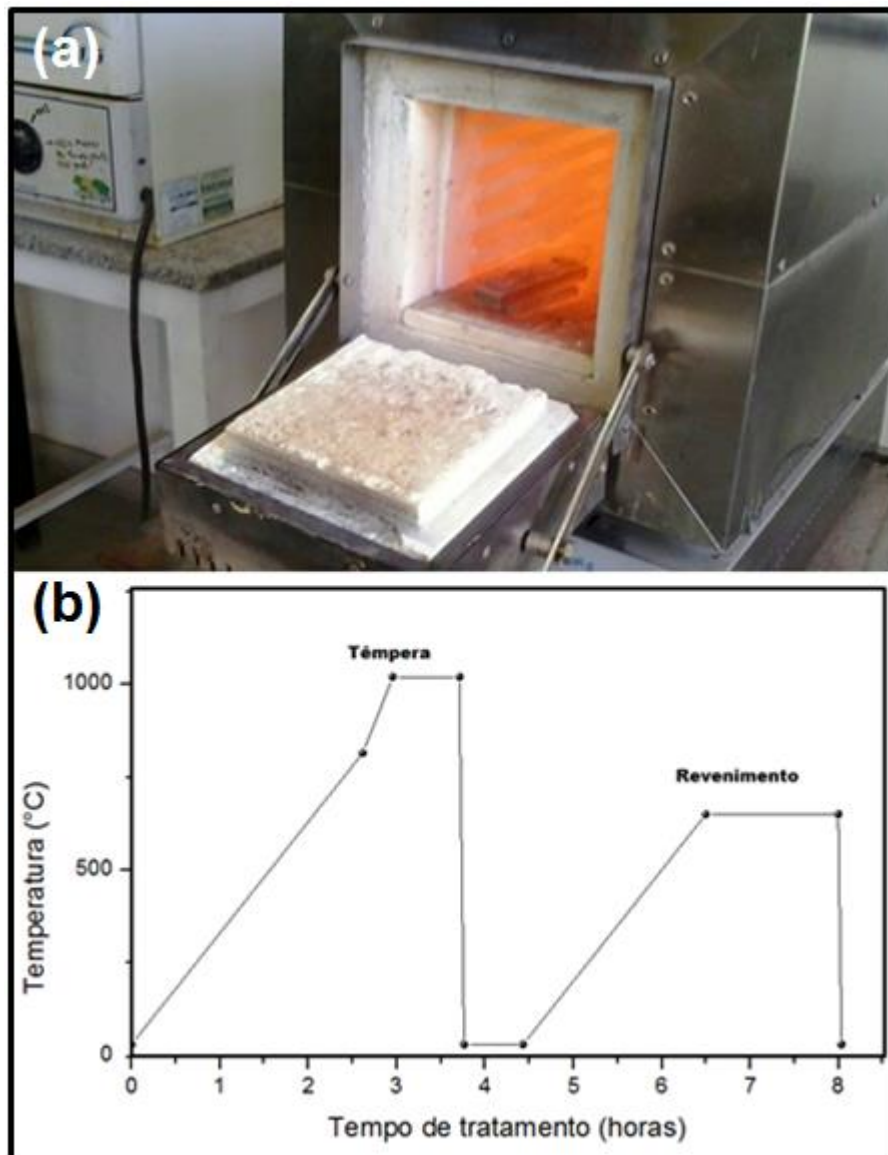


Figura 2: Amostras sendo retiradas do forno para têmpera (a) E regime de variação de temperatura durante os processos de têmpera e revenimento (b).

Para o processo de têmpera foi aumentada a temperatura de maneira lenta até o valor de 815°C e, posteriormente, com uma aquecimento um pouco mais acelerado até a temperatura de 1020 °C antes do resfriamento brusco. Houve preocupação com relação a estas variações de temperatura para evitar que as transformações alotrópicas do ferro influenciassem, de alguma forma, no processo [1].

Essas transformações podem causar danos ou mesmo alteração nas propriedades do aço. Por exemplo: acima de 912°C ocorre a transformação para a fase austenita. Após atingir 1020°C, deu-se um tempo de 45 minutos para que ocorresse uma homogeneização em todo o metal trabalhado e, em seguida, as peças foram bruscamente resfriadas até a temperatura ambiente pelo uso de óleo. Tomou-se o cuidado para por as peças sobre material cerâmico já sinterizado para evitar a difusão de elementos entre o material de interesse e a base evitando, desta forma, algum tipo de interferência.

Para a próxima etapa as peças foram limpas e postas novamente no forno para o processo de revenimento com exceção da que foi retirada para a análise da têmpera.

Para o revenimento as peças foram aquecidas novamente ao forno, da temperatura ambiente até uma de 650°C, onde permaneceu por 90 minutos sendo, posteriormente, resfriada bruscamente em água que estava à temperatura ambiente. Posteriormente as amostras recolhidas foram catalogadas, suas massas foram conferidas antes e depois de cada processo para se obter o ganho de massa por oxidação em uma balança de precisão.

As peças foram submetidas a ensaios de dureza para se avaliar a evolução desta propriedade de maneira a se comparar com o material antes dos tratamentos.

Para os trabalhos de caracterização metalográfica as amostras foram cortadas em baixa velocidade utilizando água como líquido de arrefecimento no aparelho Struers Minitom de maneira que não se alterasse qualquer estrutura do material. Após o lixamento e o polimento manual das amostras embutidas em baquelite as amostras foram atacadas com Nital (ácido nítrico e álcool etílico) a concentração de 2%, limpas e observadas no microscópio ótico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as amostras tratadas, foi possível analisar todas de maneira individual. Pode-se observar na tabela 1 os resultados obtidos para os ensaios de dureza para o material sem tratamento, com têmpera e o material revenido. Esta tabela ainda mostra a variação de massa para cada etapa do processo. O material sem tratamento não obteve alteração em sua massa, pois este é o material de referência.

Tabela 1: resultados de dureza, e massa ganha durante os tratamentos térmicos em relação a cada etapa do processo.

Nível do tratamento Térmico	Dureza (HV)	Dureza (HRC)	Massa ganha durante o Tratamento (g)
Sem Tratamento	299,7 ± 7,4	≈ 30,9	0
Têmpera	701,7 ± 30,1	≈ 58,5	0,33
Revenimento	389,3 ± 14,1	≈ 40,8	0,08

A Figura 3 mostra a curva de variação da dureza Vickers (HV) deste material durante as etapas deste processo. Pode ser observado nesta figura (figura 3) bem como nos valores da Tabela 1 que ocorre um aumento acentuado na dureza do material temperado em relação ao mesmo sem tratamento. Posteriormente esta dureza diminui com o tratamento de revenimento.

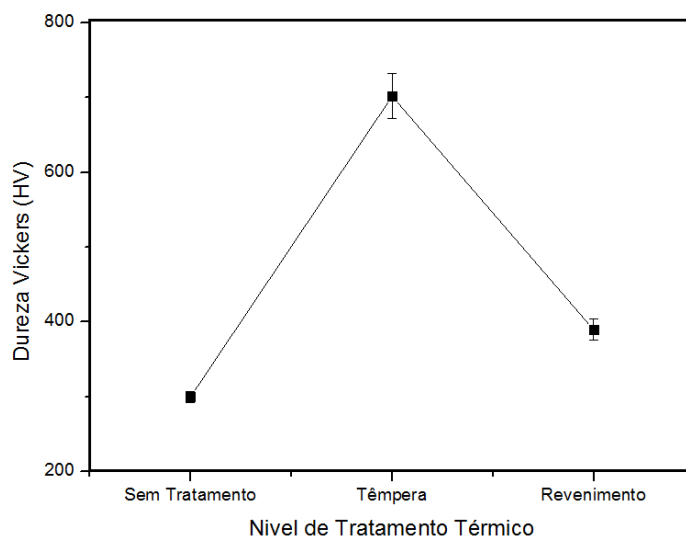


Figura 3: Gráfico de relação entre a dureza Vickers e o nível do tratamento térmico.

A figura 4 (a, b e c) mostra a evolução da micrografia deste material durante estas etapas do processo.

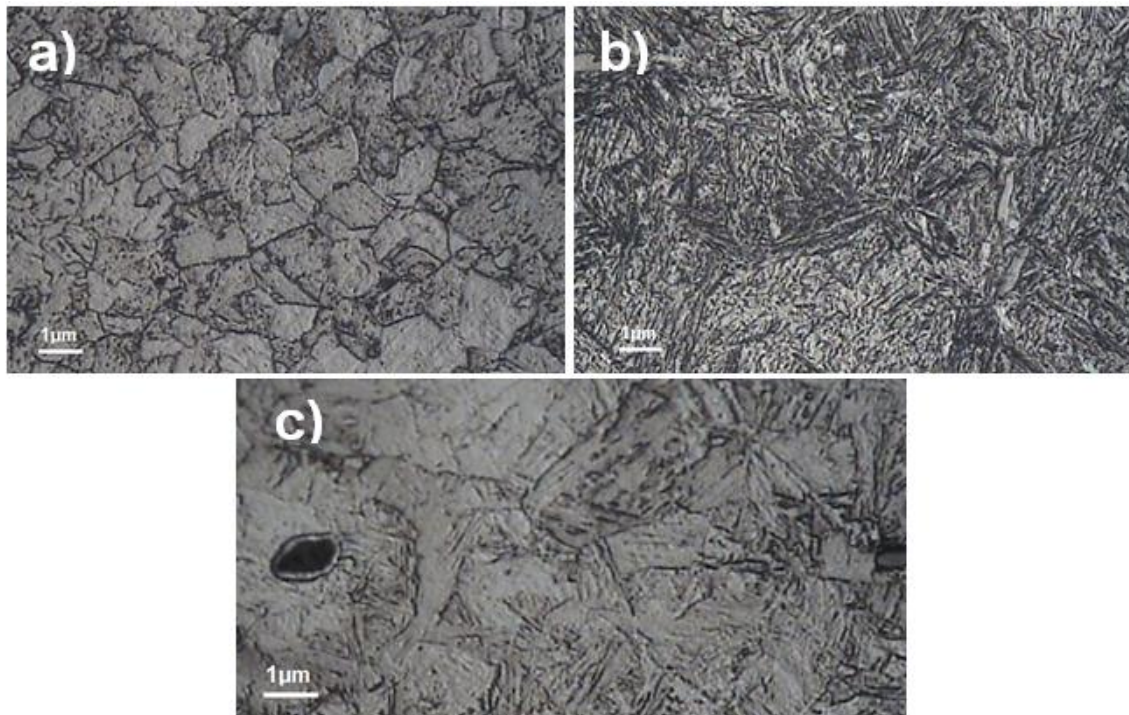


Figura 4: Microestruturas do aço sem tratamento (a), Temperado (b) e Revenido (c) todas em aumento de 500x.

Observando a microestrutura em cada etapa do processo e acompanhando o avanço da dureza pode-se observar que o material sem tratamento apresenta leve encruamento devido ao processo de eliminação de rebarbas de usinagem que foi submetido.

Devido ao baixo teor de liga, segundo Novikov [6], é de se esperar a formação da fase metaestável martensita. Há ainda a possibilidade de, pelo fato desse aço possuir estabilizadores de fase γ mesmo que em baixas concentrações, ocorrer o surgimento de austenita retida após a têmpera [6]. A micrografia da Figura 4.b levanta a possibilidade de ter ocorrido tais reações, pois pode-se ver uma fase predominante com características das agulhas de martensita com alguns grãos de outra fase mais clara que poderia ser a austenita retida. Essas reações justificariam o aumento tão brusco na dureza do material após a têmpera.

Na figura 4.c pode-se notar algumas inclusões que não estavam presentes nas imagens anteriores com o mesmo aumento. Isso indica a formação de inclusões. Novikov [6], também, justifica como sendo a formação de carbonetos especiais devido ao aço possuir elementos que formam tais componentes. Isto garante maior dureza ao material em relação a o material sem tratamento aliado a uma menor fragilidade do material em relação ao temperado [6]. Isso pode ser observado pelo surgimento de inclusões na peça e o quase desaparecimento da fase predominante anterior.

Segundo a Tabela 1, houve uma pequena variação de massa durante os processos estudados. A Figura 5 mostra a interface entre o metal, a fina camada de óxido formada e o baquelite.

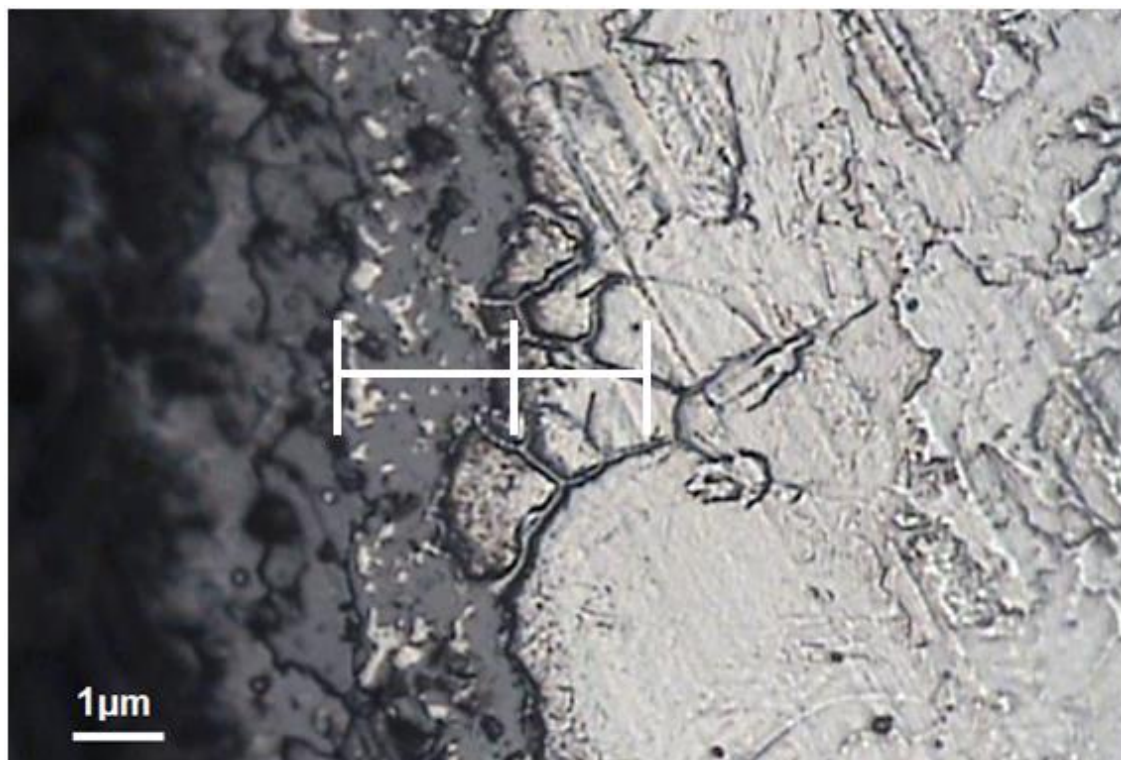


Figura 5: Da direita para a esquerda, interface entre o metal revenido, camada de óxido formada e o baquelite em aumento de 500x.

É possível observar na Figura 5 que a camada de óxido formado foi de poucos μm . Em uma análise mais detalhada foi observado que, durante o revenimento a camada de óxido formada não ultrapassou os $2\mu\text{m}$. Já para a têmpera, a camada de óxido formada foi um pouco maior não ultrapassando, porém, a marca de $4\mu\text{m}$. Macroscopicamente pode ser observado que o material não sofreu nenhuma alteração significativa em suas dimensões. Pode ser observado, ainda, algumas falhas na interface óxido/metal que são originadas do processo de oxidação deste e que podem influenciar o comportamento desta peça quando sofrer solicitações mecânicas [7].

A fina camada de óxido formada pode ser explicada devido ao metal ter pouco contato com o ar quando opera em altas temperaturas já que este foi retirado do forno e, imediatamente, submergido nos fluidos de arrefecimento. Uma forma de aprimorar estes procedimentos seria realiza-los em atmosfera controlada evitando assim o contato total do material com agentes oxidantes [5,6].

Houve aumento significativo de dureza entre o aço sem tratamento e o revenido de modo que o método pode ser o indicado para a ferramenta. Porém, como a maioria dos carbonetos dos elementos desta liga se forma a temperaturas mais baixas das que a escolhida para o revenimento, este processo poderia ter obtido resultados superiores caso tivesse sido realizado em temperaturas inferiores as de 250°C [6].

Ainda assim os resultados obtidos são de extrema importância para o objetivo deste trabalho. Com estes resultados, é provável que esta ferramenta possa operar em condições mais adequadas aumentando sua vida útil e, conseqüentemente, uma maior economia de recursos.

4 CONCLUSÕES

- O aumento na dureza de discos tracionados para o setor de petróleo, fabricados em aço AISI 4340, indica que os tratamentos realizados foram bem sucedidos.

- A diminuição da temperatura de revenimento deve diminuir a diferença de dureza entre o material temperado e o mesmo revenido sem que haja aumento de fragilidade do material.
- Para a utilização da ferramenta o material temperado seria o mais adequado, pois este apresenta uma maior dureza, já que o objetivo a princípio era de eliminar a falha dúctil do material.
- O óxido formado não deve apresentar problemas ao uso da peça. Este ainda pode ser minimizado ou até desconsiderado caso os processos sejam realizados em atmosfera inerte.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem as agências de fomento tais como CNPq, CAPES e FAPERJ bem como a empresa Transeletron.

REFERENCIAS

- 1 Chiaverini V. Tratamento Térmico das Ligas Metálicas. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2003.
- 2 Calister Jr, William D. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 7ª edição. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos Especializados Editora S.A., 2008.
- 3 Chiaverini V. Aços e Ferros Fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. 7ª edição. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2002.
- 4 Silva ALVC, Mei PR. Aços e ligas especiais. 2ª edição. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
- 5 Gentil V. Corrosão. 3ª edição. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos Especializados Editora S.A. 1996.
- 6 Novikov I. Teoria dos tratamentos térmicos dos metais. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1994.
- 7 Azevedo CRF, Cescon T. Metalografia e análise de falhas: casos selecionados (1933 – 2003). São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas.