

CORRELAÇÃO ENTRE TRATAMENTO TÉRMICO, MICROESTRUTURA E
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM AÇO-FERRAMENTA
PARA TRABALHO A FRIO

E. Soares Jr.⁽¹⁾, J. Vatauk⁽²⁾, M. F. Pillis⁽¹⁾

(1) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.

Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais.

Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 CEP 05508-000 São Paulo-SP.

mfpillis@ipen.br

(2) Universidade Presbiteriana Mackenzie

RESUMO

Neste trabalho foi estudado o comportamento mecânico do aço-ferramenta de composição química (%em peso) 0,59C; 4,43Cr, 0,52 Si, 0,25 V, 0,69 W, 0,47Mo e balanço em ferro. O aço foi temperado e revenido em temperaturas variando entre 200 e 500°C. Foram feitos ensaios de tração, impacto Charpy, dureza e flexão em 4-pontos. A caracterização das amostras foi feita por meio de técnicas de microscopia ótica e eletrônica de varredura, acoplada a análise química de micro-regiões por energia dispersiva. Observou-se que o maior valor de dureza foi obtido para revenimento a 200°C (59,6 HRC), e que a dureza decresce com o aumento da temperatura de revenimento. Nas temperaturas de revenimento de 300 e 350°C os índices de tenacidade foram altos. Os melhores valores de resistência foram encontrados para temperaturas de revenimento de 250 e 300°C. Os resultados obtidos indicam a possibilidade de se trabalhar com dureza um pouco menor, com significativa melhora nos parâmetros de tenacidade, sem que ocorra um decréscimo na tensão medida pelos ensaios de tração e flexão.

PALAVRAS-CHAVES: microestrutura, propriedades mecânicas, aço-ferramenta

INTRODUÇÃO

O aço estudado apresenta, de uma forma geral, aplicação crescente em substituição aos aços AISI D2 e AISI D6 fabricados por metalurgia convencional, principalmente nos mercados da Europa e América do Norte. Embora aços-ferramenta desta classe apresentem altos valores de dureza, devido aos altos teores de C, Cr e com teores significativos de V e Mo, alternativas de tratamento térmico para agregar maior tenacidade vêm adquirindo destaque na última década, tendendo a potencializar ainda mais as propriedades ligadas à tenacidade. Apesar do grande número de estudos se referindo às propriedades tribológicas de novos aços, observa-se uma lacuna no que se refere ao estudo da tenacidade, principalmente com relação ao efeito dos tratamentos térmicos sobre o comportamento mecânico do mesmo. É importante ressaltar que apesar das propriedades ligadas à resistência ao desgaste serem de interesse primordial nos aços-ferramenta, as respostas às solicitações mecânicas apresentam importância, uma vez que falhas prematuras devido a esforços estáticos ou dinâmicos, inviabilizam a aplicação de uma ferramenta com elevada resistência ao desgaste sem tenacidade combinada em suas propriedades.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi avaliado o comportamento mecânico do aço-ferramenta por meio de ensaios de dureza, tração, impacto Charpy e flexão-4 pontos. Foram preparados 10 corpos de prova para cada ensaio, conforme as especificações das normas ASTM E 8M ⁽¹⁾, ASTM E –23 ⁽²⁾ e NBR 6157, e ASTM A-438 ⁽³⁾, respectivamente. As durezas foram obtidas a partir da média de cinco indentações. Tais corpos de prova foram preparados quando os aços em estudo se encontravam no estado recozido. Após os tratamentos térmicos os corpos-de-prova foram retificados até atingirem as dimensões finais especificadas. A composição química do aço é, em % peso: 0,59 C; 4,43 Cr; 0,52 Si; 0,25 V; 0,69 Mn; 0,47 Mo e balanço em Fe

O tratamento térmico de têmpera consistiu de um aquecimento de 2h a 400°C, seguido de 10 minutos a 800°C. A austenitização foi de 8 minutos a 950°C e o resfriamento, efetuado em banho de sal, consistiu de 2 minutos a 520°C.

Para o revenimento foram efetuados três ciclos térmicos nas temperaturas de 200, 250, 300, 350, 400, 450 e 500°C.

Foram utilizadas técnicas de microscopia óptica (MO) e microscopia eletrônica de varredura (MEV) acoplada a análises químicas de micro-regiões por energia dispersiva (EDS) para avaliação da microestrutura dos materiais como recebido, bruto de têmpera e após revenimento. Foi observada ainda a superfície de fratura dos corpos-de-prova provenientes do teste de impacto Charpy.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização dos aços no estado como recebido (recozido)

Os valores encontrados para a dureza nas secções transversal e longitudinal no material como recebido foram 225 HB e 232 HB, respectivamente. Os valores são próximos entre as duas secções do mesmo aço, indicando possível isotropia da liga.

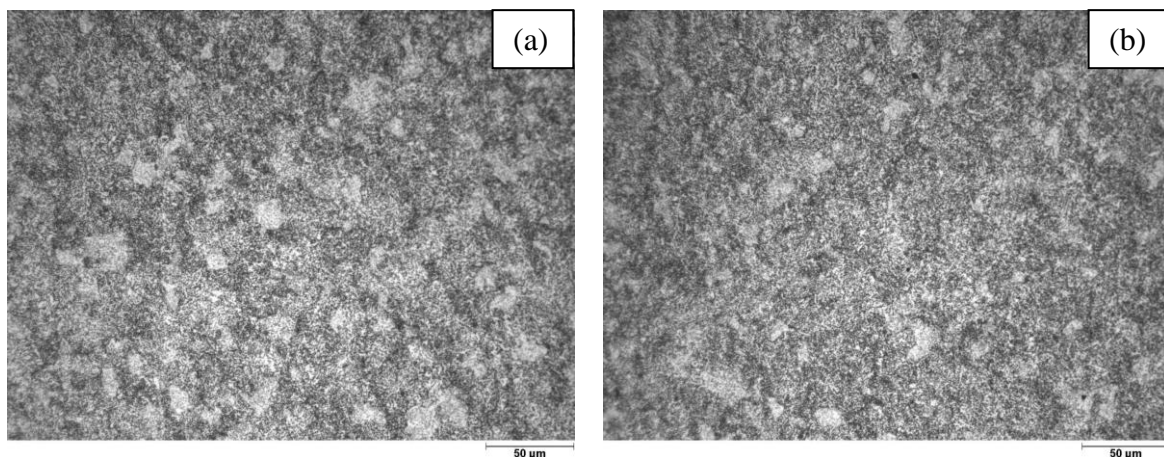


Figura 1: Microestrutura do aço-ferramenta como recebido. Secção transversal. (a) região de superfície; (b) região de núcleo.

A microestrutura é constituída de carbonetos secundários finos (regiões claras) dispersos em matriz ferrítica (região escura), como mostra a figura 1. Não

foram observadas evidências da presença de carbonetos primários nesses aços nesta condição recozida.

Microestruturas no estado temperado e revenido

Na figura 2 está apresentada a microestrutura do aço apenas temperado. Observa-se a matriz martensítica e carbonetos ricos em cromo, provavelmente do tipo M_3C .

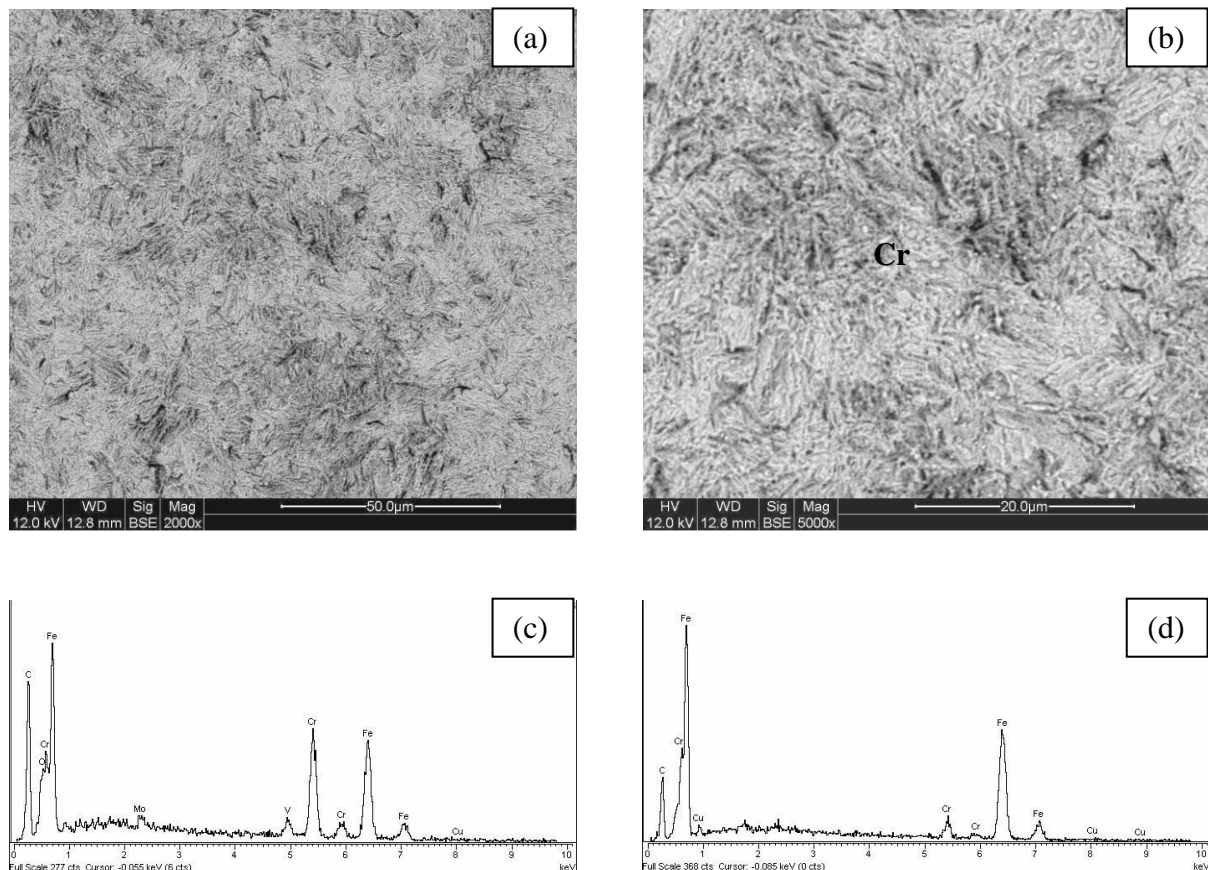


Figura 2: (a) Seção transversal do aço somente temperado. Marble; (b) Detalhe seção transversal do aço somente temperado. Marble; (c) EDS carbonetos ricos em cromo possivelmente do tipo M_3C ; (d) EDS da matriz.

A figura 3 é o mesmo aço temperado e revenido. Observa-se martensita revenida como fase predominante. Análise via EDS indicam a presença de carbonetos ricos em cromo.

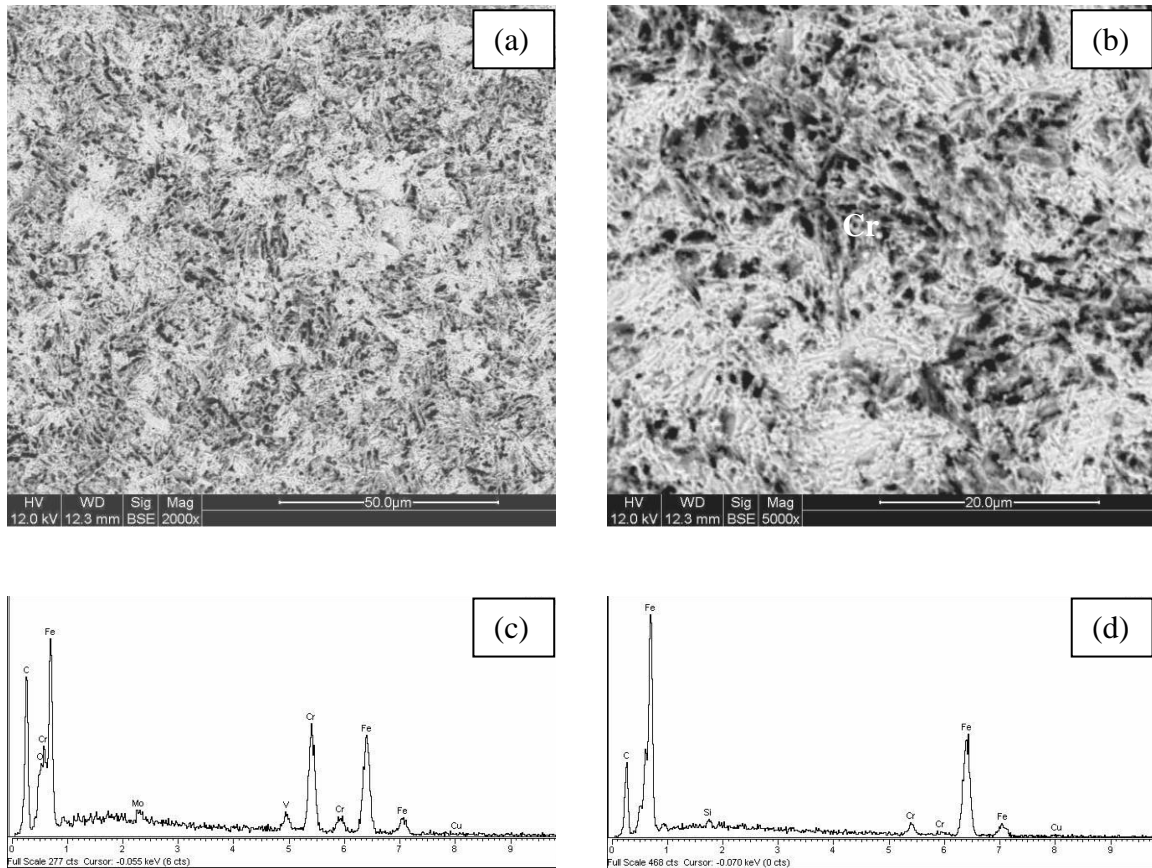


Figura 3: (a) Secção transversal do aço temperado e revenido a 300°C. Ataque Nital 3%; (b) aumento em região da figura (a); (c) EDS dos carbonetos; (d) EDS da matriz.

Na figura 4 está apresentado o gráfico de dureza em função da temperatura de revenimento.

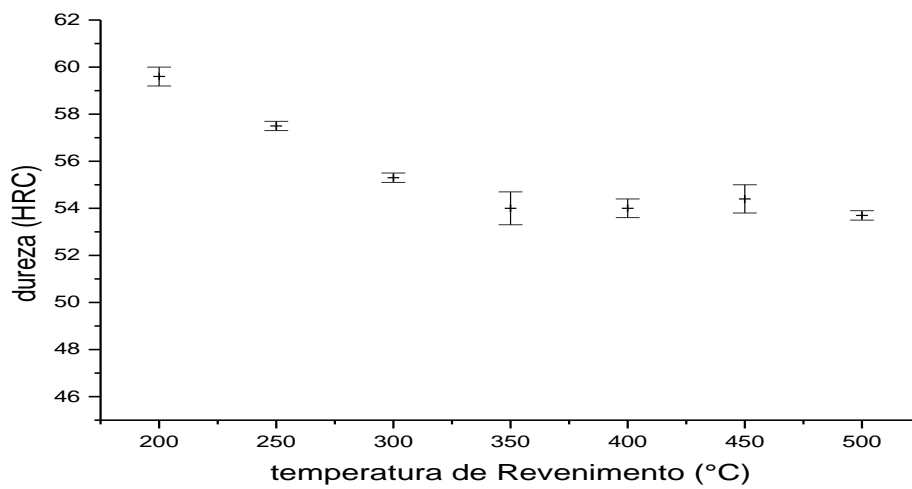


Figura 4: Dureza em função da temperatura de revenimento.

O pico de dureza foi obtido com revenimento a 200°C (59,6 HRC). Observou-se que a dureza decresce com o aumento da temperatura de revenimento. Entre as temperaturas de revenimento 300°C e 450°C (~54 HRC), não há variação significativa de dureza, porém as propriedades variam apresentando melhores resultados próximo a 300°C e piores próximo a 450°C, como mostra a figura 4.

O limite de resistência varia com a dureza, apresentando bons índices nas temperaturas de revenimento de 250°C (57,5 HRC) e 300°C (55,3 HRC), como mostra a figura 5.

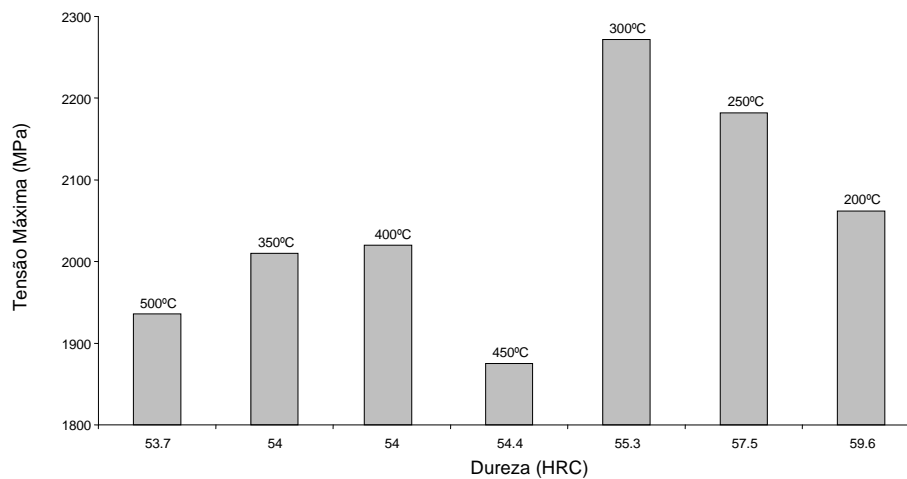


Figura 5: Limite de resistência em função da dureza.

A tenacidade também varia com a dureza, mostrando melhores índices nas temperaturas de 300°C (55,3 HRC) e 350°C (54 HRC), como mostra a figura 6.

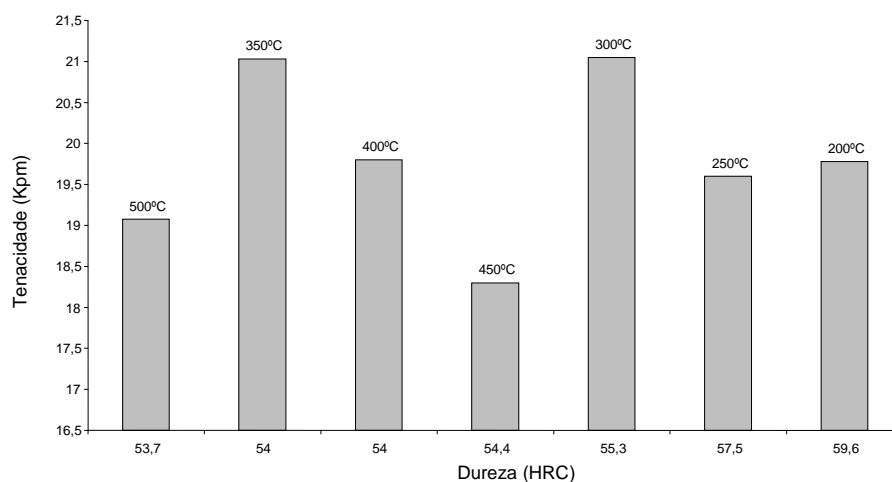


Figura 6: Tenacidade à fratura em função da dureza.

A resistência à carga máxima apresenta maior índice na temperatura de revenimento de 250°C (57,5 HRC). Na temperatura de revenimento de 350°C (54 HRC) o material também apresenta bom índice nesta propriedade, como mostra a figura 7.

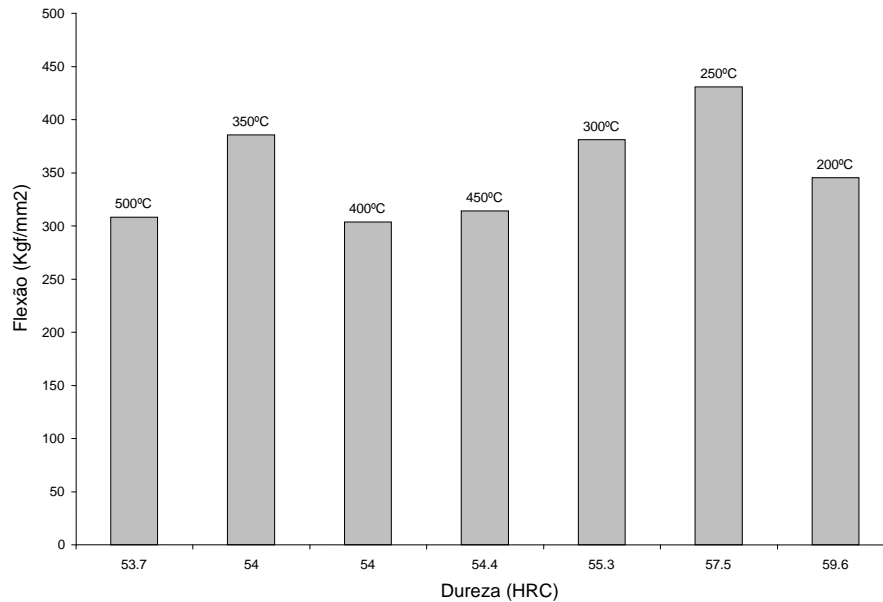


Figura 7: Módulo de ruptura em função da dureza.

Nas temperaturas de revenimento de 300°C e 350°C o material apresentou bons índices de tenacidade e resistência, apesar de apresentar menor dureza.

As superfícies típicas de relevo de fratura são mostradas na figura 8, observadas em imagem de elétrons secundários (MEV). As figuras mostram o aspecto das faces de fratura em corpos de prova rompidos em ensaio Charpy.

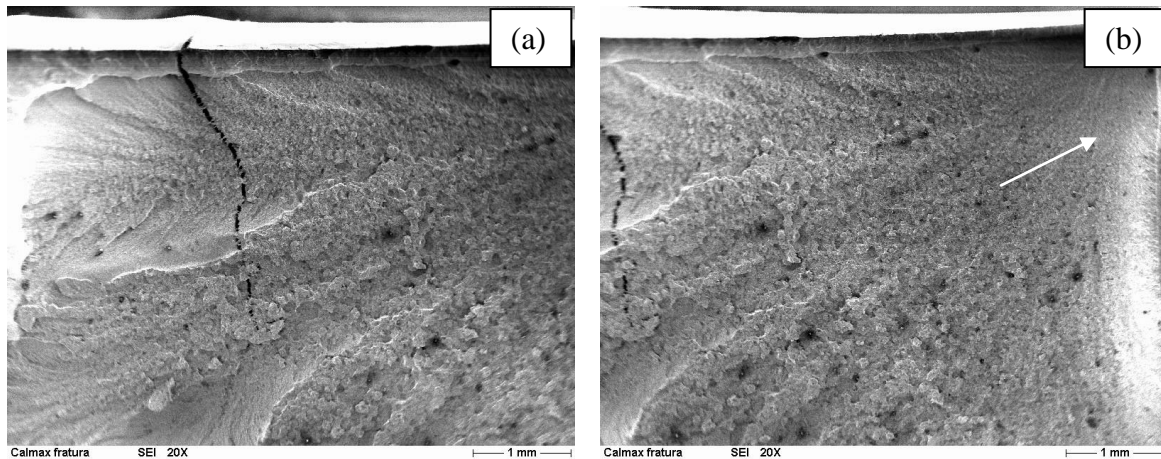


Figura 8: Fractografia típica mostrando a superfície de fratura do corpo-de-prova. Seta branca indica região de provável início de fratura.

As modernas técnicas para fabricação de aços-ferramenta possibilitaram novas metodologias para o desenvolvimento de projetos de ligas com expressiva elevação da fração volumétrica de partículas duras. O aço-ferramenta para trabalho a frio, com altos teores de carbono, cromo, molibdênio e vanádio, se revela como um exemplo típico deste novo conceito de projeto de ligas, que encontraram viabilidade de produção e de aplicação após serem submetidas a novas técnicas de tratamento térmico, resultando em uma microestrutura mais fina e homogênea.

As análises microestruturais do presente estudo revelaram, no geral, precipitados mais finos otimizando a tenacidade. Carbonetos de elevada dureza, responsáveis pelo incremento das propriedades ligadas à alta resistência ao desgaste, aparecem na microestrutura com importante participação, devido ao revenimento em várias temperaturas.

As curvas de revenimento dos aços temperados a partir de 800°C, mostram a possibilidade de obtenção da dureza de até 62 HRC, após revenimento em até duas temperaturas, com provável precipitação de carbonetos mais complexos dos tipos M_2C , M_7C_3 , $M_{23}C_6$ e MC. O duplo ou triplo revenimento geralmente é aplicado nestes aços-ferramenta para promover o endurecimento secundário consistente com finos carbonetos, para transformar a austenita retida em martensita, e também para revenir esta martensita não revenida, formada depois do primeiro revenimento ^(4,5).

O cromo difunde-se na ferrita mais facilmente que a maioria dos outros elementos metálicos e por isso o endurecimento secundário pode ser notado em temperaturas relativamente mais baixas (400°C) ⁽⁵⁾.

CONCLUSÕES

As temperaturas de revenimento 300°C e 350°C (\pm 55HRC) mostram grandes índices em tenacidade e resistência, apesar de apresentar menor dureza. É possível trabalhar com dureza um pouco inferior, com significativa melhora nos parâmetros de tenacidade, sem a ocorrência de um decréscimo na tensão medida pelos ensaios de tração e flexão.

REFERÊNCIAS

1. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials – E8M-04 – Copyright 2006 ASTM International
2. Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials – E23-06 – Copyright 2006 ASTM International
3. Standard Test Method for Transverse Testing – A438-80 – Copyright 2006 ASTM International
4. Roberts, G.; Krauss, G.; Kennedy, R. Tool Steels, 5 ed, ASM, Metals Park, OH, 1998
5. Kuo, K. Alloy carbides precipitated during the fourth stage of tempering. Journal of Iron and Steel Institute, p.256-258, 1956.

EFFECT OF HEAT TREATMENT ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF TOOL STEEL FOR COLD WORK APPLICATION

ABSTRACT

In this work it was evaluated the mechanical properties of a tool steel with the composition (wt%) 0.59 C; 4.43 Cr, 0.52 Si, 0.25 V; 0.69 W, 0.47 Mo and balance Fe. The tool steel was quenched and tempering at temperatures from 200 to 500°C. The characterization was made by using optical and scanning electron microscopy coupled with dispersive energy analysis. It was observed that the highest value of hardness was obtained for tempering temperature of 200°C (59.6 HRC), and that the hardness decreases as the tempering temperature increases. At the tempering

temperatures of 300 and 350°C the toughness values were higher. The highest strength values were determined for tempering temperatures of 250 and 300°C. These results have shown the possibility of working with hardness values slightly lower with significant improvement in toughness without the occurrence of a strength decreasing.

KEY WORDS: microstructure, mechanical properties, tool steels