

## Efeito de tratamentos térmicos na dureza e microestrutura do aço DOMEX 700

## Effects of heat treatments on DOMEX 700 steel hardness and microstructure

### RESUMO

Stella Maria Giongo Colferai  
[stellacolferai@alunos.utfpr.edu.br](mailto:stellacolferai@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, Paraná, Brasil

Viviane Teleginski Mazur  
[vivianemazur@utfpr.edu.br](mailto:vivianemazur@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, Paraná, Brasil

O DOMEX 700 é um aço de alta resistência e baixa liga. Quando aquecido a elevadas temperaturas, esse perde resistência mecânica e há modificações em sua microestrutura ferrítica. Para verificar o range de temperaturas, nas quais é possível recuperar os valores de dureza do material comercial, amostras foram submetidas a tratamentos térmicos de têmpera a partir de 850, 900 e 950°C. Além disso, o revenimento para promover alívio de tensão foi aplicado à 350, 400 e 450°C. O resultado das análises de dureza, bem como as microestruturas obtidas, foram comparadas ao material original. Os resultados indicam que o aquecimento acima de 900°C promoveu austenitização e o resfriamento rápido aumentou a dureza. Quanto maior a temperatura de revenimento, mais macio se tornou o material devido à redução de carbonetos e aumento do tamanho dos grãos de ferrita. Desta forma, foi possível controlar a dureza para que o aço retorne a valores de dureza e microestrutura similar ao metal base.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aços de alta resistência. Propriedades mecânicas dos metais. Resfriamento dos metais. Microscopia.

**Recebido:** 19 ago. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

### ABSTRACT

DOMEX 700 is a high-strength low-alloy steel (HSLA). When heated to high temperatures, this steel loses mechanical strength and there are changes in its ferritic microstructure. In order to check the temperature range in which it is possible to recover the hardness values of the commercial material, the samples were subjected to quenching from 850, 900 and 950 ° C. In addition, tempering to provide stress relief was applied at 350, 400 and 450 ° C. The results of hardness analysis and obtained microstructures were compared with the original material. The results indicate that heating above 900 ° C promotes austenitization an high cooling rates increased hardness. The higher the quenching temperature, the softer the material became due to the reduction of carbides and increased ferrite grain size. Thus, it was possible to control the material hardness microstructure, recovering similar values of the base metal.

**KEYWORDS:** High strength steel. Mechanical properties of metals. Quenching of metals. Microscopy.



## INTRODUÇÃO

O DOMEX 700 é um aço de elevada resistência mecânica e baixa liga (HSLA-*High Strength Low Alloy*), com microestrutura ferrítica de grãos refinados e carbonetos formados a partir de seus elementos de liga. A composição do DOMEX 700 consta na Tabela 1. Aços de sua categoria são utilizados em componentes estruturais, permitindo redução de peso ao mesmo tempo em que se mantém a resistência mecânica necessária, quando comparado ao uso de aços convencionais (AFKHAMI, 2018).

Tabela 1 – composição química do aço HSLA DOMEX 700

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Al [%]	Nb [%]	V [%]	Ti [%]
0,12	0,21	2,10	0,020	0,010	0,015	0,09	0,20	0,15

Fonte: Adaptado de SSAB (2013).

O aquecimento dos aços dos aços HSLA promove redução de propriedades mecânicas como a dureza, pois causa aumento de tamanho de grãos e diluição dos carbonetos. Um exemplo do efeito da elevada temperatura durante processo de soldagem foi mostrada por Forouzan et al. (2017) para o DOMEX 960, que perdeu algumas das suas características mecânicas na região da solda.

Tratamentos térmicos (T.T.) tais como a têmpera, consistem no aquecimento da amostra para posterior resfriamento rápido, de forma a gerar endurecimento. Ao mesmo tempo, pode-se gerar certa fragilidade no material, sendo indicada uma operação de revenimento após a têmpera (CHIAVERINI, 2008).

Para verificar se há recuperação dos valores de dureza do material como recebido do fabricante após aquecimento em elevada temperatura, neste trabalho foram realizados T.T. e foram comparados os resultados de dureza e análise microestrutural, buscando-se a faixa de temperatura para T.T do aço DOMEX 700.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados corpos de prova retificados do aço DOMEX 700, com tamanho de 20 x 20 x 6 mm para realização de tratamentos térmicos em diferentes condições, baseadas em trabalhos da literatura (FOROUZAN et al., 2017; CHEN et al., 2019). Um forno tipo mufla Zezimaq-200C aqueceu as amostras nas temperaturas de T 850, T 900 e T 950°C durante 2 horas. O resfriamento rápido consistiu na imersão das amostras em óleo para têmpera em temperatura ambiente. Depois, foi realizado o reaquecimento nas temperaturas de 350, 400 e 450°C durante 30 minutos, com resfriamento lento, no interior do forno.

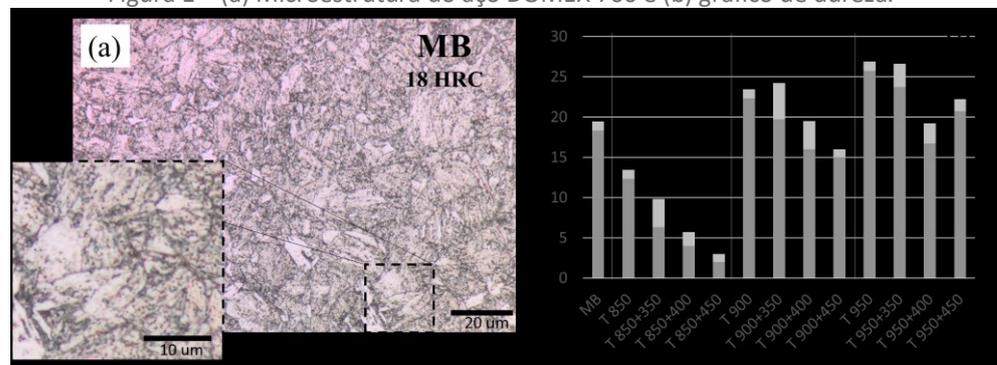
Análises microestruturais foram realizadas nos corpos de prova apenas resfriados rapidamente, resfriados rapidamente e revenidos, bem como no material base (MB), utilizando microscópio óptico OLYMPUS BX51 com câmera UC30. Para isso, a preparação metalográfica consistiu no corte de amostras nas dimensões 6 x 4 x 6 mm, embutimento a quente, lixamento (220, 360, 600 e 1200#), polimento com alumina (1 µm) e ataque químico com Nital 3%.

Medidas de dureza Rockwell C (HRC) foram realizadas com pré-carga de 150 kgf e penetrador de diamante, em 3 regiões diferentes de cada corpo de prova, seguindo recomendações de ABNT (2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A microestrutura do MB pode ser visualizada na Figura 1a, onde há distribuição homogênea de grãos ferríticos de tamanho reduzido e alguns grãos maiores de ferrita distribuídos aleatoriamente. Apesar do aço DOMEX 700 comercial ser laminado a quente (SSAB, 2013), não há indicativo de alongamento dos grãos ferrítico. Possivelmente, ocorreu recristalização durante ou após a laminação a quente. Para o MB, a dureza foi de 18 HRC ( $\pm 1$ ) e também está indicada na Figura 1a.

Figura 1 – (a) Microestrutura do aço DOMEX 700 e (b) gráfico de dureza.



Fonte: Autoria Própria (2020)

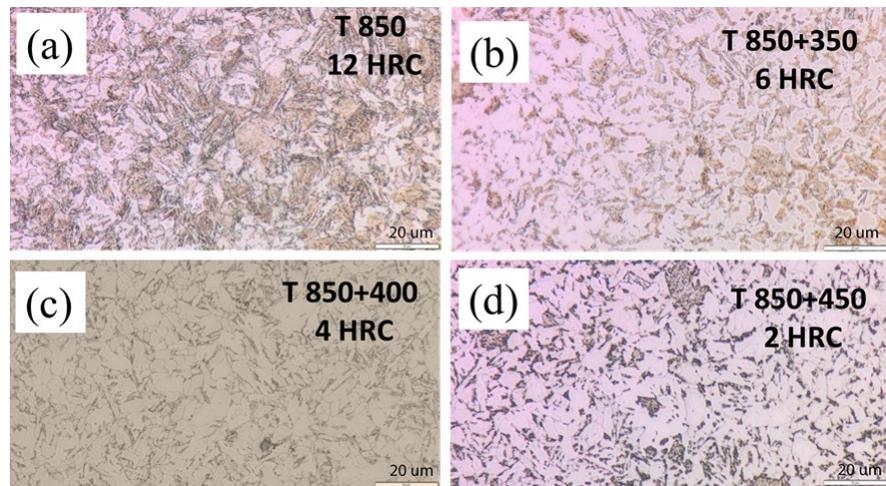
Na Figura 1a é mostrada uma região ampliada, onde é possível notar pontos escuros nos grãos, correspondentes aos carbeto de V, Ti ou Nb, pois estes são elementos de ligas adicionados à liga para aumentar a dureza por precipitação. Também é possível observar que os grãos maiores de ferrita possuem menor quantidade de carbeto.

A dureza medida para todos corpos de prova é mostrado no gráfico que consta na Figura 1b, onde a parte mais clara na parte superior da barra é o desvio padrão. Observa-se que exceto o resfriamento realizado a 850°C, os demais T.T. aumentaram a dureza em relação ao MB. Em todos os casos, quanto maior a temperatura de revenimento, maior a redução da dureza.

## TRATAMENTO TÉRMICO - 850 °C

A Figura 2 mostra a microestrutura dos diferentes T.T. realizados a partir da têmpera a 850°C. Como a dureza da amostra T 850 diminuiu para 12 HRC, quando comparado ao MB com 18 HRC, é possível que a temperatura de austenitização não tenha sido atingida. Dessa forma, o aço apenas perdeu suas propriedades mecânicas pelo aquecimento, causando a segregação dos precipitados e crescimentos dos grãos de ferrita. As regiões onde ainda há grãos de ferrita nas micrografias b, c e d, são as partes mais escuras.

Figura 2 – Comparação entre (a) T 850, (b) T 850+350, (c) T 850+400, (d) T 850+450. O valor médio de dureza está indicado.

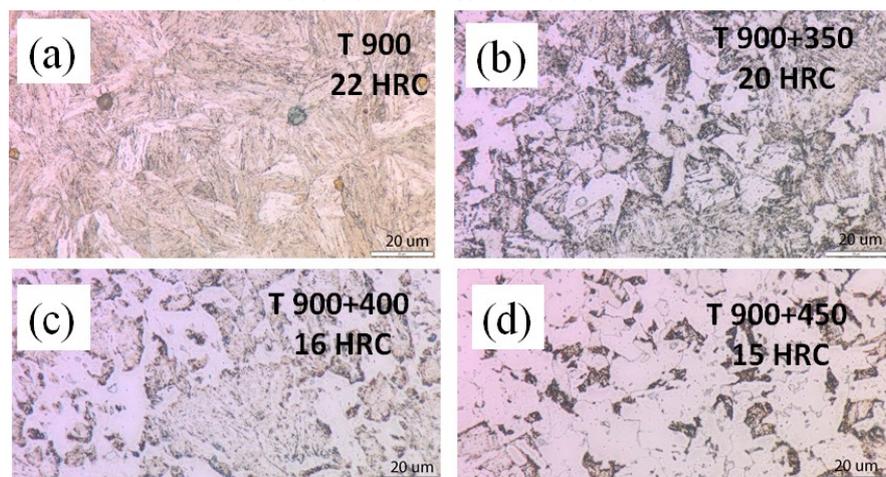


Fonte: Autoria Própria (2020).

### TRATAMENTO TÉRMICO - 900 °C

Durante um aquecimento generalizado, os carbonetos finos se dissolvem acima da temperatura de austenitização. Para que seja possível que se formem novamente, há dependência da taxa de resfriamento. Observa-se na Figura 3a, que nos grãos finos de ferrita há grande quantidade de carbonetos, de forma similar ao MB. A diferença é que nas amostras com T.T. houve a coalescência e crescimento de grãos de ferrita de tamanho acima de 5 μm. Apesar desses grãos maiores de ferrita, a dureza do aço temperado a 900°C foi de 22 HRC, que é maior que o MB com 18 HRC, devido à presença dos carbeto.

Figura 3 – Comparação entre (a) T 900, (b) T 900+350, (c) T 900+400, (d) T 900+450. O valor médio de dureza está indicado.



Fonte: Autoria Própria (2020).

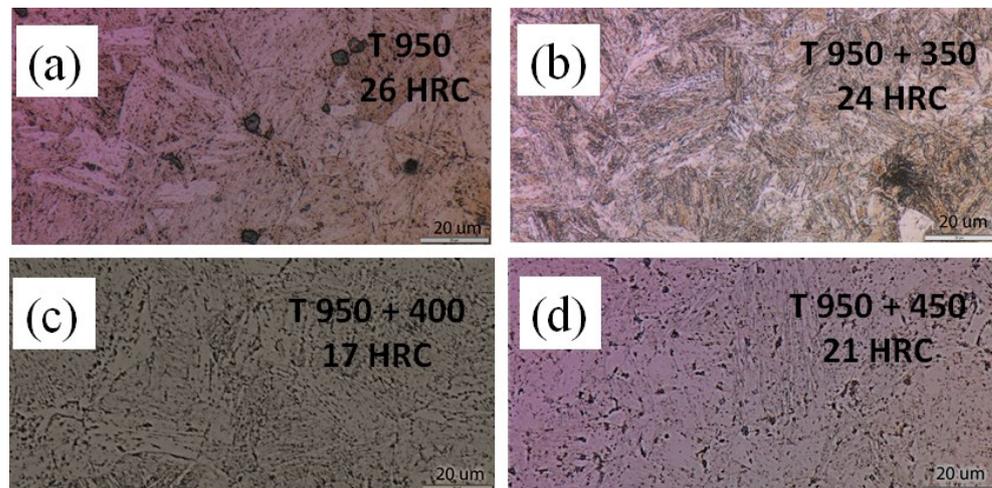
As microestruturas resultantes dos T.T. realizados após o resfriamento rápido de 900°C, são mostradas nas Figuras 3b, c e d. Quanto maior a temperatura de revenimento, maior o tamanho dos grãos de ferrita e menor a quantidade de

carbonetos. Observa-se que os grãos finos provenientes do MB continuam existindo, mas as altas temperaturas de revenimento favorecem a coalescência. Mesmo no material revenido a 450°C ainda é possível se observar grãos refinados, como mostra em maior detalhe a Figura 13, corroborando com Hodgson, Hickson e Gibbs (1999) que afirmam que os grãos ferríticos ultra finos são estáveis e não ocorre facilmente a coalescência, mas essa coalescência é observada para grãos maiores que 5 µm.

### TRATAMENTO TÉRMICO - 950 °C

O aço resfriado a partir de 950°C continua apresentando quantidades significativas de carbeto em sua microestrutura, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 3 – Comparação entre (a) T 950, (b) T 950+350, (c) T 950+400, (d) T 950+450. O valor médio de dureza está indicado.



Fonte: Aatoria Própria (2020).

A presença dos carbeto ocorre em todas as temperaturas de revenimento, mas as micrografias indicam sua redução conforme a temperatura aumenta. A Figura 4d mostra a amostra T 950+450, onde é interessante notar que mesmo nos grãos maiores de ferrita que coalesceram ainda há presença de grande quantidade de carbonetos, o que justifica sua dureza de 21 HRC, comparável ao MB que tem 18 HRC em média.

De acordo com a análise das propriedades mecânicas realizadas por Chen et al. (2019) em aço microligado, mas com elevado teor de carbono, a faixa ótima de temperatura de austenitização é 900 - 950 °C, na qual os carbonetos na matriz estão quase completamente dissolvidos e os poucos carbonetos restantes inibiram o crescimento dos grãos de austenita durante a austenitização. Os resultados deste trabalho sugerem um comportamento similar para o aço DOMEX 700 quando submetido a tratamento térmico.

## CONCLUSÕES

Foi possível recuperar a dureza do aço ferrítico DOMEX 700 com tratamento térmico com aquecimento acima de 900°C, promovendo austenitização e resfriamento rápido, com posterior alívio de tensões. Quanto maior a temperatura de revenimento, mais macio se torna o material devido à redução de carbonetos e aumento do tamanho dos grãos de ferrita. Desta forma, é possível controlar a dureza para que retorne a valores próximos do metal base.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR NM ISO 6508-1:2008. **Materiais metálicos**: Ensaio de dureza Rockwell, 2008.

AFKHAMI, S. **Investigation on the Weldability of Cold-Formed Ultra-High Strength Steels S700MC and S1100**. 2018. Dissertação (Master Thesys - School of Energy Systems) Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta, Finlândia, 2018. Disponível em: <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/157091>. Acesso em: 01 set. 2020.

CHEN, K.; JIANG, Z.; LIU, F.; et al. Effect of quenching and tempering temperature on microstructure and tensile properties of microalloyed ultra-high strength suspension spring steel. **Materials Science and Engineering A**, v. 766, n. August, p. 138272, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.138272>. Acesso em: 01 set. 2020.

CHIAVERINI, V. **Tratamento térmico das ligas metálicas**. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008.

FOROUZAN, F.; VUORINEN, E.; MÜCKLICH, F. Post weld-treatment of laser welded AHSS by application of quenching and partitioning technique. **Materials Science and Engineering A**, v. 698, p. 174–182, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2017.05.053>. Acesso em: 01 set. 2020.

HODGSON, P.D.; HICKSON, M.R.; GIBBS, R.K. Ultrafine ferrite in low carbon steel. **Scripta Materialia**, Vol. 40, No. 10, pp. 1179–1184, 1999.

SSAB. **Welding of Domex**: advanced high strength steels. 2013. Disponível em : [https://ssabwebsitecdn.azureedge.net/-/media/files/en/domex/299-welding-of-domex-advanced-high-strength-steels\\_en.pdf?m=20160225150433](https://ssabwebsitecdn.azureedge.net/-/media/files/en/domex/299-welding-of-domex-advanced-high-strength-steels_en.pdf?m=20160225150433). Acesso em: 01 set. 2020.