

EFEITO DAS CONDIÇÕES DE TRATAMENTO TÉRMICO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO INOXIDÁVEL SAF 2205¹

Mailson Santos de Queiroz²

Alice Gameiro Leonel³

Wellington Lopes⁴

Maria Teresa Paulino Aguiar⁵

Paulo Roberto Cetlin⁶

Elaine Carballo Siqueira Corrêa⁷

Resumo

Os aços inoxidáveis duplex, materiais que apresentam microestrutura bifásica, em quantidades aproximadamente iguais de austenita e ferrita, vêm sendo empregados em aplicações diversas que, em geral, requerem boas propriedades mecânicas e elevada resistência à corrosão. No entanto, algumas situações envolvendo tratamentos térmicos podem levar à precipitação de fases intermetálicas, entre essas a fase sigma, promovendo alterações nas propriedades do aço. Dentro deste contexto, nesse trabalho os efeitos dos parâmetros de tratamento térmico nas propriedades mecânicas de chapas do aço inoxidável austeno-ferrítico SAF 2205 foram analisados e correlacionados com a microestrutura desenvolvida. As análises foram realizadas em amostras submetidas a tratamentos térmicos conduzidos entre 650° e 950°C e tempos de encharque distintos, sendo as propriedades mecânicas avaliadas a partir de ensaios de tração e dureza.

Palavras-chave: Aço inoxidável duplex; Tratamentos térmicos; Propriedades mecânicas.

EFFECT OF THE CONDITIONS OF HEAT TREATMENT IN THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE STAINLESS STEEL SAF 2205

Abstract

The duplex stainless steels, materials that present two phase microstructure, in nearly equal amounts of austenite and ferrite, have been employed in many applications that usually require good mechanical and high corrosion resistance properties. However, some situations involving heat treatments can lead to the precipitation of intermetallic phases, such as the sigma phase, which promotes a change in the properties of the stainless steel. In this paper the effects of heat treatment parameters on the mechanical properties of SAF 2205 austenitic-ferritic stainless steel sheets were analyzed and the results were compared to the microstructure previously investigated. The analyses were performed after heat treatments involving temperatures between 650°C and 950°C and different soaking times. The evaluation of the mechanical properties was performed through tensile and hardness tests.

Key words: Duplex stainless steel; Heat treatment; Mechanical properties.

¹ *Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Químico, Aluno de Mestrado, Depto. de Engenharia de Materiais. Cefet, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

³ *Estudante de Engenharia de materiais. Cefet, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

⁴ *Engenheiro mecânico. Dr., Professor, Depto. de Engenharia de Materiais Cefet, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

⁵ *Engenheira metalurgista. Dra., Professora, Departamento Engenharia de Materiais e da Construção. UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

⁶ *Engenheiro mecânico. Dr., Professor, Depto. Engenharia Mecânica, UFMG, Belo Horizonte MG, Brasil.*

⁷ *Engenheira mecânica. Dra., Professora, Depto. Engenharia de Materiais. Cefet, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis duplex, amplamente utilizados nas indústrias química e petrolífera, combinam propriedades mecânicas e de resistência à corrosão interessantes e requeridas para tais segmentos industriais. A microestrutura desse material apresenta as fases ferrita e austenita em proporções quase equivalentes,⁽¹⁾ o que garante ao aço duplex propriedades superiores quando comparado aos aços puramente ferríticos ou austeníticos.^(2,3) A adição de elementos de liga, como cromo, níquel e molibdênio, melhora as propriedades, enquanto tratamentos térmicos e ou termomecânicos podem alterar a microestrutura inicial do material, favorecendo a formação de fases secundárias, tais como fase sigma, fase chi, fase Laves e outros carbonetos.

Dentre as fases citadas, considera-se a de maior relevância a fase sigma, devido à maior fração volumétrica observada na microestrutura e à influência nas propriedades mecânicas e de resistência à corrosão.^(4,5) Essa precipitação pode acontecer durante tratamentos térmicos ou termomecânicos, abaixo da temperatura de solubilização ou sob altas temperaturas durante processos de resfriamento após solidificação.^(6,7) Dessa forma, uma série de limitações técnicas é observada nos aços austenoferríticos, especialmente considerando ciclos térmicos ou processamento termomecânico durante as eventuais operações de fabricação. Essas limitações estão associadas à possibilidade de desenvolvimento dessas fases secundárias que levariam à depreciação das propriedades, como redução da resistência à corrosão e da tenacidade.

Em um trabalho anterior⁽⁸⁾ foi avaliada a influência do tratamento térmico na formação de fase sigma no aço inoxidável duplex SAF 2205, cujos resultados são exibidos na Figura 1. De maneira geral, observa-se a formação da fase sigma, cuja temperatura de início variou de acordo com o tempo de encharque (temperaturas superiores a 700° para tempos de 60 minutos e 40 minutos e 750° para 20 minutos). Paralelamente, uma queda acentuada na quantidade da fase ferrita também é verificada a partir das temperaturas mencionadas. Esse fenômeno está de acordo com o esperado, uma vez que a formação da fase sigma é associada à decomposição da ferrita.⁽⁶⁾ Por fim, nota-se que o tempo de encharque não afeta apenas a temperatura de início de formação, mas também a quantidade de acordo com a temperatura considerada.

Dentro desse contexto, o objetivo do presente trabalho foi analisar o efeito do tratamento térmico, considerando diferentes temperaturas e tempos de encharque, nas propriedades mecânicas do aço inoxidável SAF 2205, tendo em vista as alterações microestruturais avaliadas anteriormente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Material - O material estudado foi o aço inoxidável duplex SAF 2205, recebido na forma de chapas com 1,8 mm de espessura, cuja composição química (% em peso) é mostrada na Tabela 1.

Tratamentos térmicos – Os corpos de prova a serem submetidos aos ensaios e tração e dureza foram tratados termicamente em um forno da marca *Magnus*, considerando diversas temperaturas (650°C, 700°C, 750°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C) e tempos de encharque (20 minutos, 40 minutos e 60 minutos), com resfriamento lento, dentro do próprio forno.

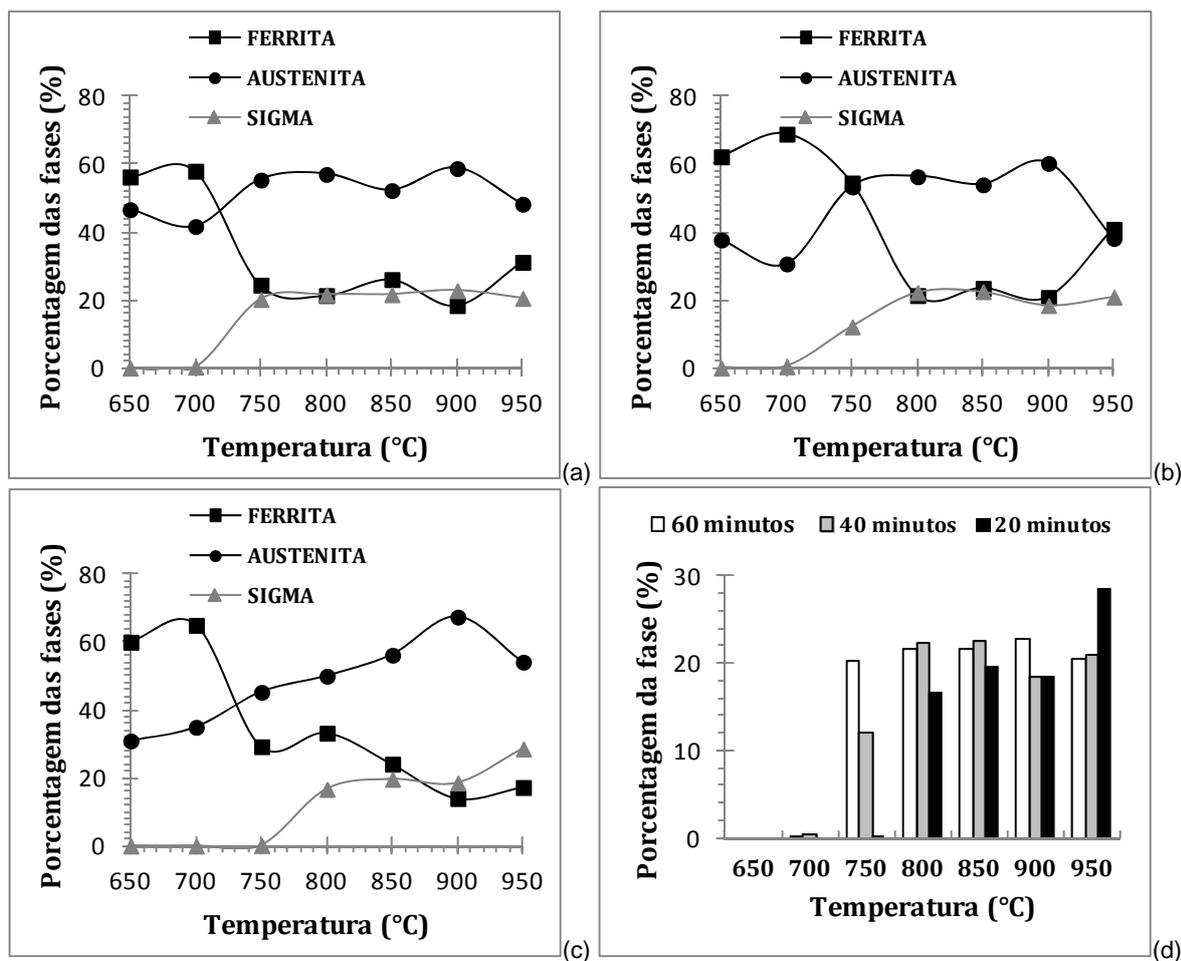


Figura 1. Porcentagens de fases desenvolvidas no aço SAF 2205 tratado termicamente em diferentes temperaturas - tempo de encharque: (a) 60 minutos, (b) 40 minutos, (c) 20 minutos e (d) todos os tempos.⁽⁸⁾

Tabela 1. Composição química do aço inoxidável SAF 2205

(% em peso)	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
	0,26	1,854	0,374	22,673	5,319	3,024

Ensaio de Tração – Os ensaios de tração foram conduzidos em corpos de prova confeccionados com 12,5 mm e 75 mm de largura e comprimento úteis, respectivamente, de acordo com a Norma ASTM E8,⁽⁹⁾ tratados termicamente em todas as 21 condições consideradas no trabalho. Os testes foram realizados em ao menos duas amostras, em uma máquina universal de ensaios *Shimadzu* modelo AGIS 100KN, com velocidade de movimentação da garra de 4,5 mm/min. A partir dos ensaios, os parâmetros de resistência mecânica, tensão limite de escoamento e tensão limite de resistência à tração, e de ductilidade, alongamento uniforme, foram determinados, relacionando-os aos tratamentos térmicos conduzidos nas amostras.

Ensaio de dureza – Os ensaios de dureza Vickers (HV) foram realizados em um microdurômetro *Shimadzu* modelo 2T, com penetrador Vickers, com carga de 300 gf e tempo de aplicação de 15 segundos, também em amostras tratadas termicamente considerando as 21 condições de operação. Após os tratamentos, todas as peças foram preparadas para os testes através de lixamento e polimento com pasta de diamante. Foram realizadas 07 medidas de microdureza para cada amostra, sendo eliminadas a maior e menor medida para cada condição. Similarmente aos ensaios de tração, os experimentos foram conduzidos em ao menos duas amostras distintas.

3 RESULTADOS

Na Figura 2 são exibidos os resultados de dureza Vickers das amostras de aço inoxidável SAF 2205 tratadas termicamente nas diversas temperaturas e três tempos de encharque considerados no trabalho.

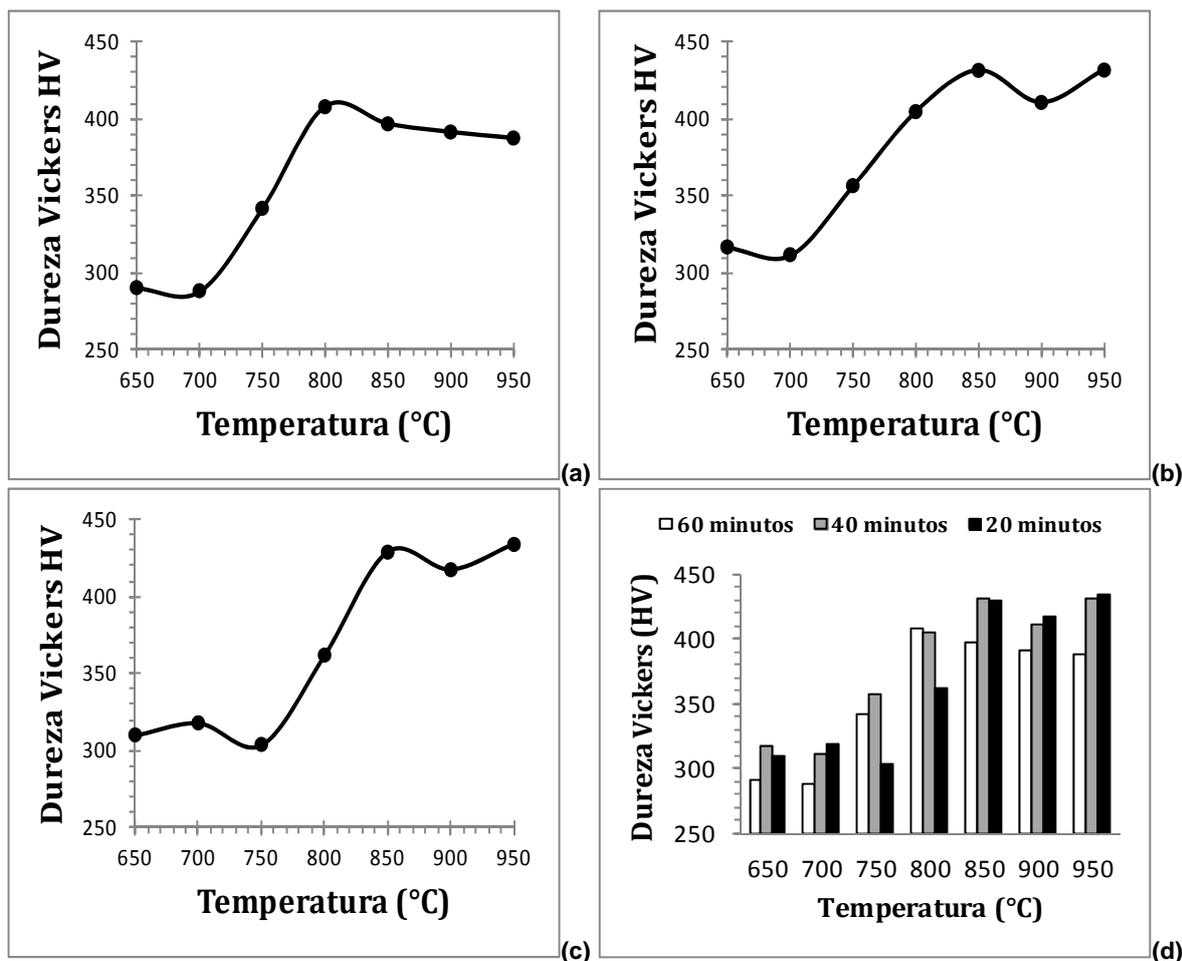


Figura 2. Dureza Vickers (HV) do aço SAF 2205 tratado termicamente em diferentes temperaturas - tempo de encharque: (a) 60 minutos, (b) 40 minutos, (c) 20 minutos e (d) todos os tempos.

A análise do efeito do tratamento térmico na tensão limite de escoamento pode ser vista na Figura 3, enquanto os resultados referentes à tensão limite de resistência à tração são apresentados na Figura 4.

O efeito do tratamento térmico na ductilidade do aço SAF 2205, a partir da análise do alongamento % uniforme (Figura 5).

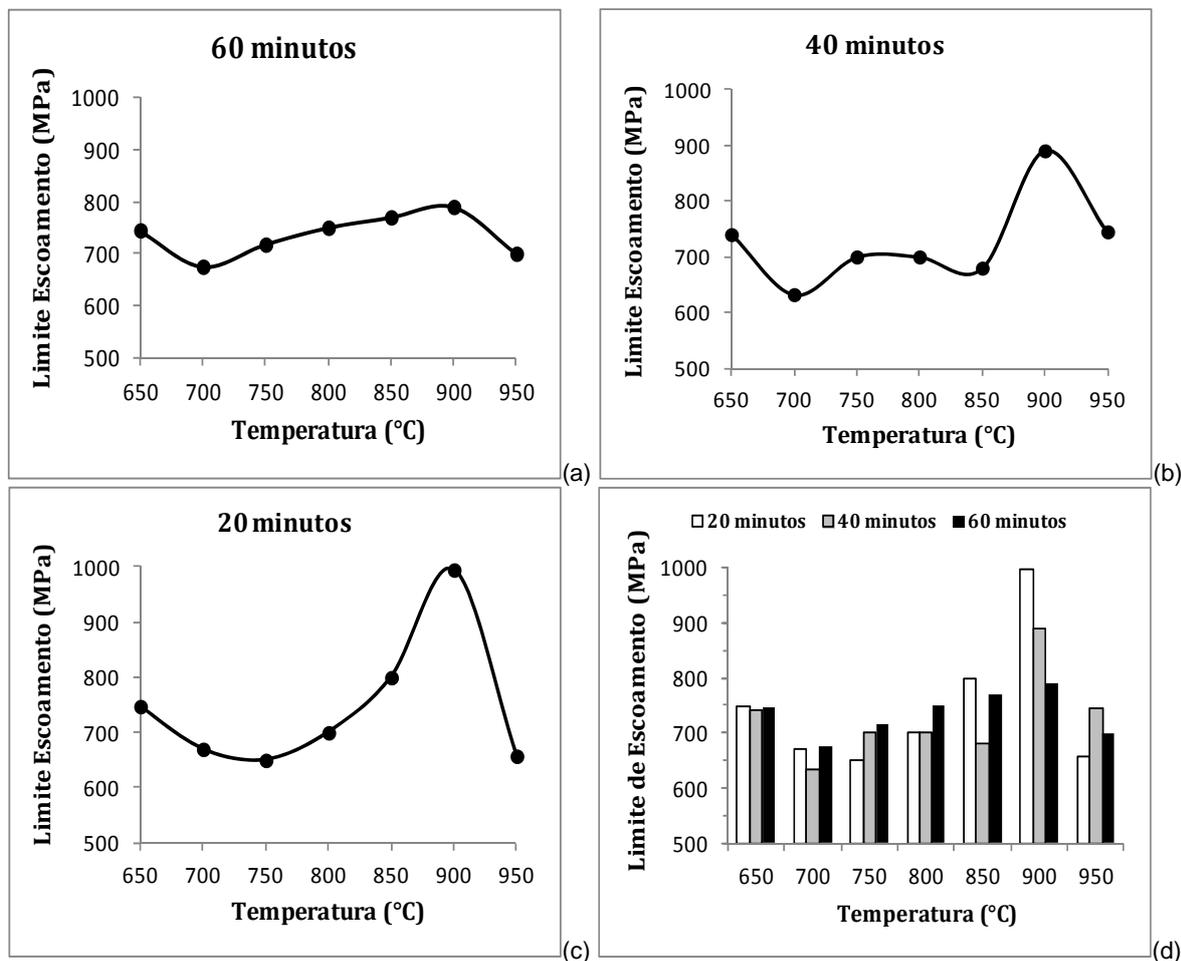


Figura 3. Limite de Escoamento (MPa) do aço SAF 2205 tratado termicamente em diferentes temperaturas - tempo de encharque: (a) 60 minutos, (b) 40 minutos, (c) 20 minutos e (d) todos os tempos.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Considerando inicialmente a Figura 2, a análise dos resultados de dureza das amostras tratadas termicamente com tempo de encharque de 60 minutos (Figura 2a) indica que ocorreu um aumento nos valores após a temperatura de 700°C, sendo observada a maior dureza para o material tratado termicamente a 800°C e uma diminuição nos resultados para tratamentos térmicos realizados a partir dessa temperatura. Para os demais tempos de encharque avaliados (Figuras 2b e 2c), são observadas algumas similaridades de comportamento, como a tendência à elevação na dureza a partir de uma dada temperatura. Relacionando-se a temperatura de tratamento térmico e o tempo de encharque aos valores de dureza, podem ser verificadas na Figura 2.d as condições de maior e menor dureza do material estudado.

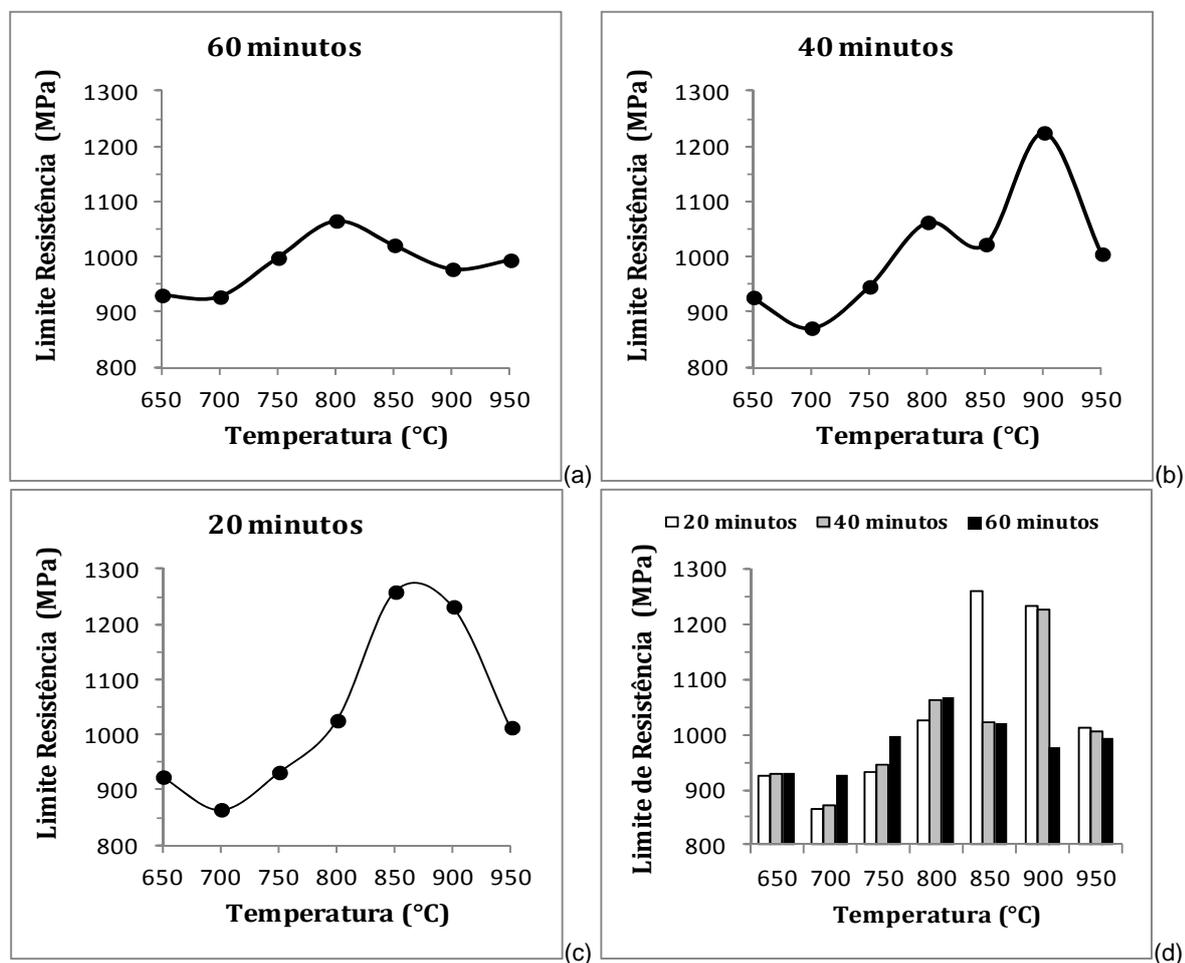


Figura 4. Limite de Resistência (MPa) do aço SAF 2205 tratado termicamente em diferentes temperaturas - tempo de encharque: (a) 20 minutos, (b) 40 minutos, (c) 60 minutos e (d) todos os tempos.

Conforme os resultados apresentados na Figura 3, em termos de tensão limite de escoamento, nota-se uma tendência à queda inicial nos resultados, seguida de um aumento até um valor máximo e diminuição subsequente. Ressalta-se que, neste caso, para os três tempos de encharque abordados no trabalho, a temperatura na qual os resultados mais elevados foram observados foi de 900°C. Observa-se ainda que, para o tempo de 60 minutos, menores diferenças entre os valores de limite de escoamento foram verificadas.

Similarmente aos resultados de limite de escoamento, a análise do efeito do tratamento térmico no valor da tensão limite de resistência à tração mostrou uma queda inicial nos valores seguida de aumento até uma temperatura na qual se observou um resultado máximo. Mais uma vez, o tempo de encharque de 60 minutos levou a uma variação menos acentuada nos resultados.

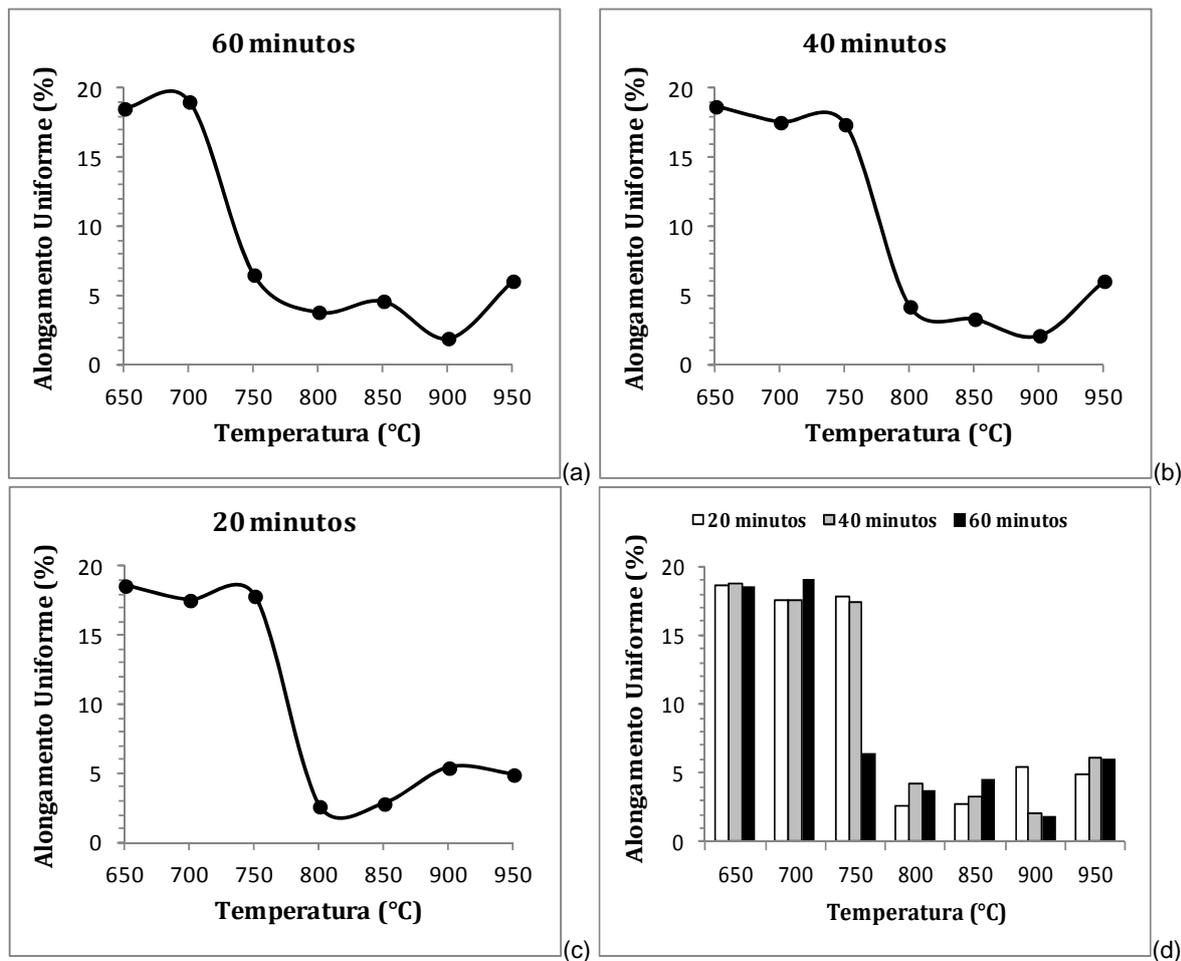


Figura 5. Alongamento Uniforme (%) do aço SAF 2205 tratado termicamente em diferentes temperaturas - tempo de encharque: (a) 20 minutos, (b) 40 minutos, (c) 60 minutos e (d) todos os tempos.

Conforme mostrado anteriormente na Figura 1, a realização de tratamentos térmicos influenciou a microestrutura existente no aço inoxidável SAF 2205, levando inclusive à formação da fase sigma. O desenvolvimento dessa fase acontece devido à decomposição da ferrita, em geral aumentando a fragilidade e a dureza do aço. Ao comparar os três tempos de encharque e as temperaturas consideradas no trabalho, observa-se que diferentes resultados ocorreram de acordo com as condições de operação e que para o maior tempo de encharque, a microestrutura tendeu a uma maior estabilidade a partir de uma dada temperatura. Os resultados apresentados nas Figuras 2, 3 e 4 parecem estar de acordo com o comportamento observado na Figura 1.

Para o caso da dureza, o aumento acentuado a partir de 700°C para os tempos de encharque de 60 minutos e 40 minutos e de 750°C para o tempo de 20 minutos coincide com as condições nas quais é verificado o início da formação da fase sigma e redução na quantidade de ferrita. A partir das temperaturas de 750°C, 800°C e 850°C para os tempos de 60 minutos, 40 minutos e 20 minutos, respectivamente, os valores de dureza variaram, porém de forma menos pronunciada, novamente de acordo com a relativa estabilidade microestrutural observada. Considerando os limites de escoamento e resistência, nota-se que, em geral, o aumento nos valores também se deu a partir de temperaturas nas quais seria iniciada a formação da fase sigma.

Por fim, em relação ao alongamento uniforme (Figura 5), observou-se uma queda acentuada nos valores a partir de 700°C e 750°C, de acordo com o tempo de encharque, refletindo o decréscimo de ductilidade no material tratado termicamente nas condições estabelecidas, fenômeno também está associado ao desenvolvimento da fase intermetálica. Após essa redução pronunciada, alterações nos valores ocorreram, porém de maneira menos significativa, assim como modificações microestruturais exibidas na Figura 1.

Os resultados observados nas Figuras 2 a 5 estão de acordo com os dados apresentados por outros autores.^(3,10)

5 CONCLUSÕES

A combinação das diferentes temperaturas e tempos de encharque aplicados ao aço SAF 2205 indicaram que o tratamento térmico afetou as propriedades mecânicas desse material como descrito a seguir:

- tratamentos térmicos que favoreceram a formação de fase sigma e o desenvolvimento de uma microestrutura com menor quantidade de ferrita levaram a menores valores de alongamento uniforme; e
- a formação de fase sigma favoreceu o aumento nos valores de dureza, de tensão limite de escoamento e de tensão limite de resistência à tração do aço inoxidável SAF 2205.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Aperam South America pela doação do aço SAF 2205.

REFERÊNCIAS

- 1 FONTES, T. F. Efeito da fase alfa linha nas propriedades mecânicas e de resistência à corrosão do aço inoxidável duplex UR 52N+. 2009. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de pesquisas energéticas e nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- 2 POHL, M.; STORZ, O.; GLOGOWSKI, T. Effect of intermetallic precipitations on the properties of duplex stainless steel. *Materials characterization*, v.58, p. 65-71, 2007.
- 3 GHOSH, S.K.; MONDAL, S. High temperature ageing behavior of a duplex stainless steel. *Materials characterization*, v.59, p. 1776-1783, 2008.
- 4 JORGE JÚNIOR, A. M. et al. Influence of the microstructure on the plastic behavior of duplex stainless steels. *Materials science and engineering A*, v.528, p.2259-2264, 2011.
- 5 MARTINS, M.; FORTI, L. R. N. Effect of aging properties of ASTM A890 Grade 1C super duplex stainless steel. *Materials characterization*, v.59, p. 162-166, 2008.
- 6 ESCRIBA, D. M. et al. Chi-phase precipitation in a duplex stainless steel. *Materials characterization*, v.60, p. 1214-1219, 2009.
- 7 RALSTON, K. D; BIRBILIS, N.; DAVIES, C. H. J. Revealing the relationship between grain size and corrosion rate of metals. *Scripta materialia*, v.63, p.1201 - 1204, Aug. 2010.
- 8 QUEIROZ, M. S. et al. Efeito dos parâmetros de tratamento térmico na microestrutura de chapas de aço inoxidável duplex SAF 2205. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 2012, Joinville. Anais... Joinville, 2012.
- 9 American Society for Testing Metals. ASTM E8: standard test method for tension testing of metallic materials. Pennsylvania, 2009.
- 10 FARGAS G.; ANGLADA M.; MATEO A. Effect of the annealing temperature on the mechanical properties, formability and corrosion resistance of hot-rolled duplex stainless steel. *Journal of materials processing technology*. Barcelona, v.209, p.1770-1782, 2009.