

ESFEROIDIZAÇÃO A PARTIR DO RECOZIMENTO INTERCRÍTICO COM TAXA DE RESFRIAMENTO ELEVADA ASSOCIADO COM DEFORMAÇÃO A FRIO E POSTERIOR RECOZIMENTO SUBCRÍTICO NO AÇO SAE 52100*

Mirelle Oliveira Spindola¹
Vicente Tadeu Lopes Bueno²

Resumo

Diante do alto custo associado com o tratamento térmico de esferoidização dos aços para rolamentos, se faz necessário estudar alternativas para reduzir o tempo de tratamento térmico. O objetivo desse trabalho foi desenvolver uma nova rota de produção para se obter uma microestrutura completamente esferoidizada. Avaliou-se a microestrutura do aço e suas propriedades mecânicas após recozimento intercrítico com maior taxa de resfriamento que o usual, seguido de conformação a frio em diferentes reduções de área e, por fim, após recozimentos subcríticos em que os tempos de encharque foram variados. Foi observado que a rota considerando o recozimento intercrítico com taxa de resfriamento 8 vezes maior que a convencional, seguido de alta redução a frio e recozimento subcrítico com tempo de encharque de 1 hora viabiliza a completa esferoidização do aço SAE 52100. Para baixas reduções a frio, mesmo após o recozimento subcrítico durante 3 horas de encharque, as amostras apresentaram carbonetos lamelares.

Palavras-chave: Esferoidização; recozimento subcrítico após deformação a frio, aço SAE 52100.

SPHEROIDIZATION FROM AN INTERCRITICAL ANNEALING WITH HIGH COOLING RATE ASSOCIATED WITH COLD DEFORMATION AND SUBSEQUENT SUBCRITICAL ANNEALING IN SAE 52100 STEEL

Abstract

Considering the high cost associated with the spheroidization heat treatment of bearing steels, it is necessary to study alternatives to decrease the annealing heat treatment time. This work aimed to develop a new manufacturing route in order to obtain a completely spheroidized microstructure. The microstructure and mechanical properties of the steel were evaluated after intercritical annealing with higher cooling rate than the conventional one, followed by cold deformation with different reductions in area, and subcritical annealings with different soaking times. It has been observed that the route considering the intercritical annealing with cooling rate 8 times higher than the conventional one, followed by a high cold reduction and subcritical annealing for 1 hour turns feasible the complete spheroidization of the SAE 52100 steel. For low cold reductions, even with subcritical annealing during 3 hours, the samples showed lamellar carbides.

Keywords: Spheroidization; subcritical annealing after cold forming; SAE 52100 steel.

¹ Engenheira Metalurgista pela UFMG, Engenheira do Setor de Qualidade de Tubos Trefilados e Forjados, Vallourec Soluções Tubulares do Brasil, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Minas pela UFMG, Professor Titular do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (DEMET), UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os rolamentos devem apresentar boa resistência ao desgaste e à fadiga, além de estabilidade microestrutural em temperaturas extremas. Grande parte dos rolamentos são produzidos a partir de tubos sem costura em aço SAE 52100 trefilados a frio.

No laminado a quente, esse aço apresenta uma microestrutura constituída por perlita e cementita proeutetóide, que é formada nos contornos de grãos da austenita prévia. Para facilitar a trefilação dos tubos e posterior usinabilidade dos rolamentos, realiza-se o recozimento de esferoidização, visando obter uma microestrutura constituída por carbonetos globulares dispersos em matriz ferrítica [2]. A usinagem do aço esferoidizado pode aumentar a vida útil das ferramentas de usinagem em até 5 vezes em relação ao material não esferoidizado [3].

A força motriz para a esferoidização da cementita é a redução da energia interfacial ferrita/carbonetos pela formação de partículas esféricas de cementita, visto que essas possuem a menor relação área superficial/volume [4].

A literatura [5] indica que, para uma completa esferoidização, o aço SAE 52100 deve ser aquecido a uma temperatura de cerca de 795 °C, ser rapidamente resfriado a 750 °C e posteriormente resfriado até 675 °C a uma taxa que não exceda 6 °C/h, o que representa no mínimo 12,5 horas para o resfriamento final. Outra possibilidade é o aquecimento do material a 795 °C, seguido de resfriamento rápido para 690 °C e manutenção nessa temperatura por 16 horas.

Para aumentar a produtividade e reduzir o consumo energético associado ao longo tratamento térmico, faz-se necessário estudar alternativas para reduzir o tempo de esferoidização dos aços para rolamentos. Sabe-se que a aplicação de deformação plástica antes do recozimento subcrítico tem efeito significativo na cinética de esferoidização e tal observação já foi realizada para aços baixo e médio carbono [6]. Entretanto, não foram identificados trabalhos que verificassem o efeito da deformação a frio no aço SAE 52100 antes do tratamento térmico de esferoidização, possivelmente por tratar-se de um aço de elevada resistência mecânica quando não esferoidizado.

Diante desse contexto, o objetivo desse trabalho foi buscar uma nova rota de produção para se obter uma microestrutura completamente esferoidizada, porém com menor tempo de tratamento térmico. Assim, pretendeu-se avaliar a microestrutura e as propriedades mecânicas do aço após recozimento intercrítico com maior taxa de resfriamento que o usual, seguido de conformação a frio em diferentes reduções de área e, por fim, nova avaliação após recozimento subcrítico em diferentes tempos de encharque.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Métodos

Foram utilizados tubos laminados, em aço SAE 52100, na Vallourec Soluções Tubulares do Brasil. A composição nominal desse aço é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do aço SAE 52100 [1]

%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cr
0,93 – 1,05	0,25 – 0,45	máx 0,025	máx 0,025	0,15 – 0,35	1,35 – 1,60

Realizou-se a caracterização mecânica a partir de ensaios de tração e medidas de dureza Brinell (HB) do material no estado laminado.

Posteriormente, amostras foram submetidas a tratamentos térmicos de recozimento intercrítico em forno mufla. A primeira amostra foi resfriada com uma taxa equivalente ao dobro do convencional e a segunda com uma taxa em torno de 8 vezes superior a taxa de resfriamento convencional. Essas amostras também foram caracterizadas via ensaio de tração, ensaio de dureza HB e microscopia eletrônica de varredura.

Diante dos resultados obtidos no recozimento intercrítico, optou-se por reproduzir em escala industrial o tratamento térmico com maior taxa de resfriamento para que posteriormente os tubos fossem submetidos a conformação a frio em duas reduções distintas, sendo uma nomeada como baixa e a outra alta e equivalente a duas vezes a redução baixa.

Por fim, novas amostras foram submetidas ao recozimento subcrítico com tempo de encharque de 1 h, 2 h e 3 h para nova caracterização mecânica e microestrutural.

A Figura 1 apresenta de maneira esquemática os tratamentos térmicos e conformação a frio aplicados no material laminado.

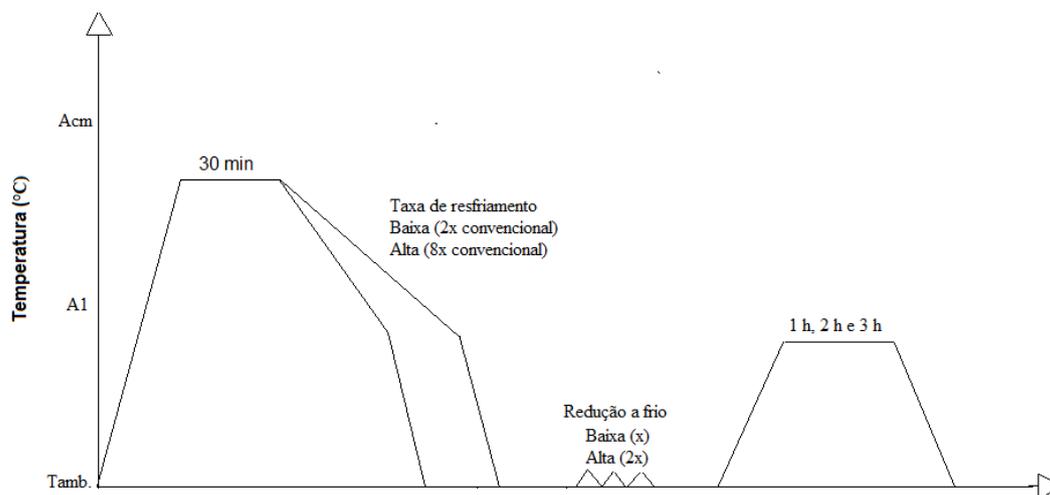


Figura 1. Representação esquemática dos tratamentos térmicos e conformação submetidos no material laminado.

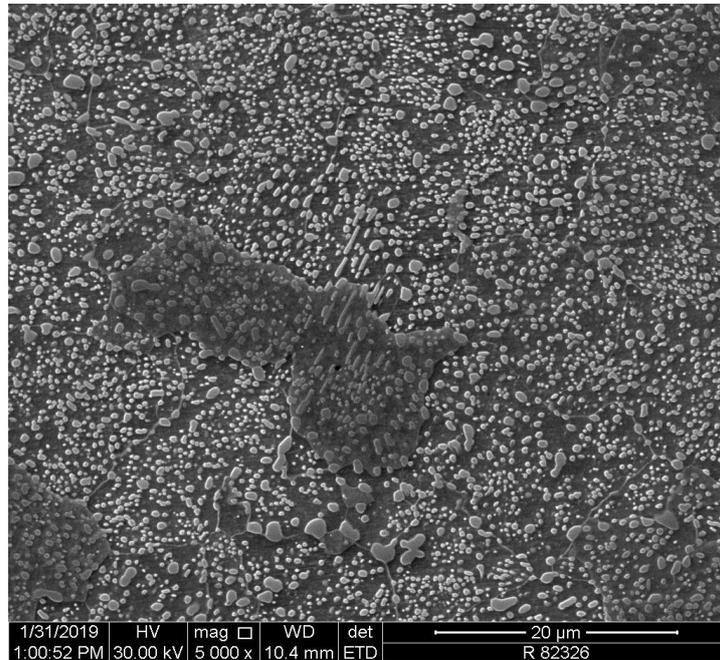
2.2 Resultados

A Tabela 2 apresenta as propriedades mecânicas do tubo após laminação a quente.

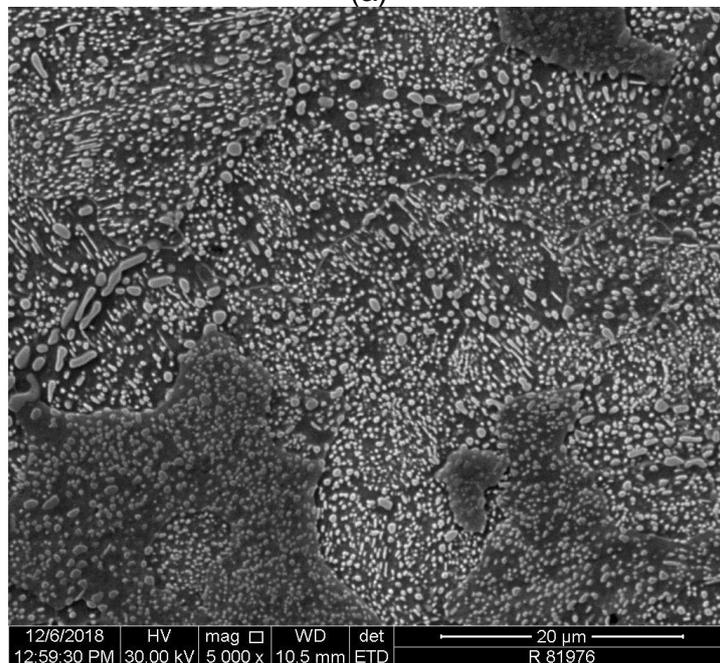
Tabela 2. Propriedades mecânicas após laminação a quente

Limite de escoamento (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)	Dureza HB
622	1121	10	320

A Figura 2 apresenta as microestruturas e a Tabela 3 as propriedades mecânicas após tratamento térmico de recozimento intercrítico para as duas condições de taxa de resfriamento avaliadas.



(a)



(b)

Figura 2. Microestrutura do aço SAE 52100 após recozimento intercrítico com taxa de resfriamento (a) 2 vezes e (b) 8 vezes superior a taxa de resfriamento convencional.

Tabela 3. Propriedades mecânicas após recozimento intercrítico

Taxa de resfriamento	Limite de escoamento (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)	Dureza HB
2x maior convencional	405	648	39	196
8x maior convencional	410	696	31	196

A Figura 3 apresenta as microestruturas após tratamento térmico de recozimento subcrítico em diferentes tempos de encharque para o material submetido a baixa redução a frio e a Figura 4 para o material submetido a alta redução a frio.

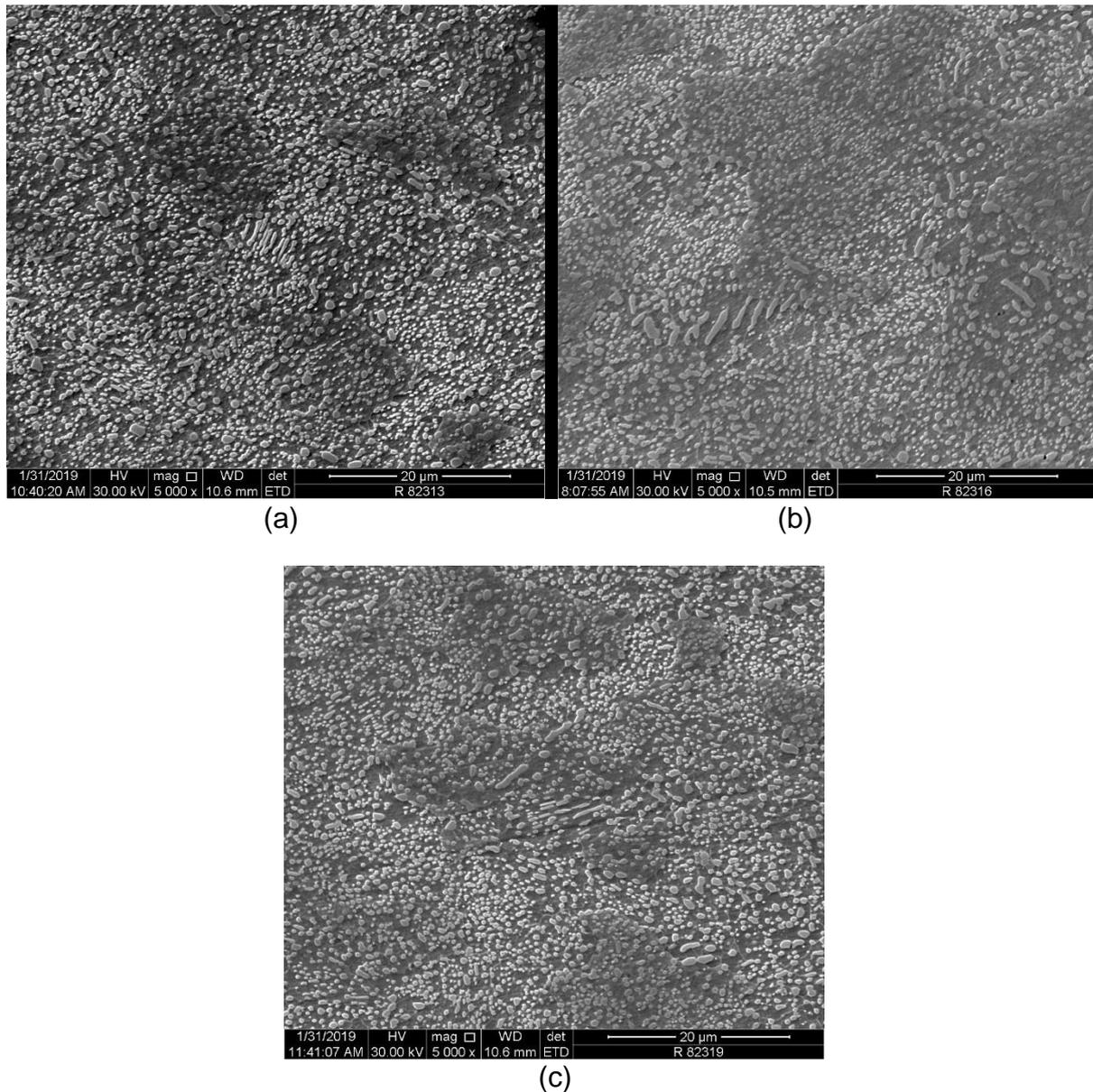


Figura 3. Microestrutura após recozimento intercrítico com alta taxa de resfriamento, seguido de baixa redução a frio e por fim recozimento subcrítico por (a) 1 h, (b) 2 h e (c) 3 h.

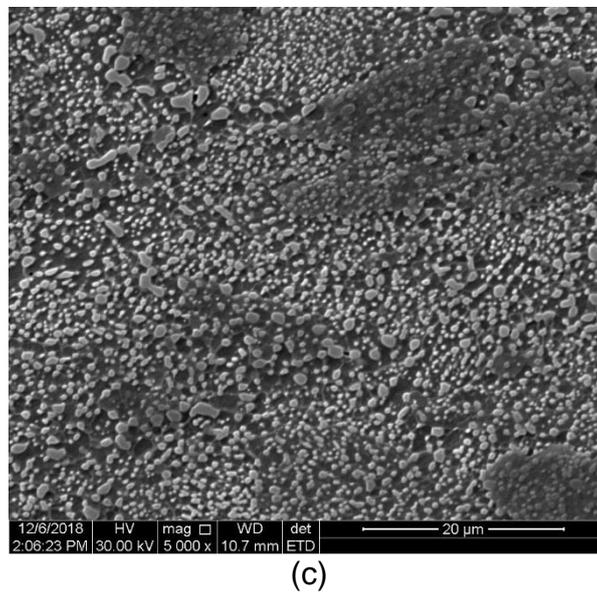
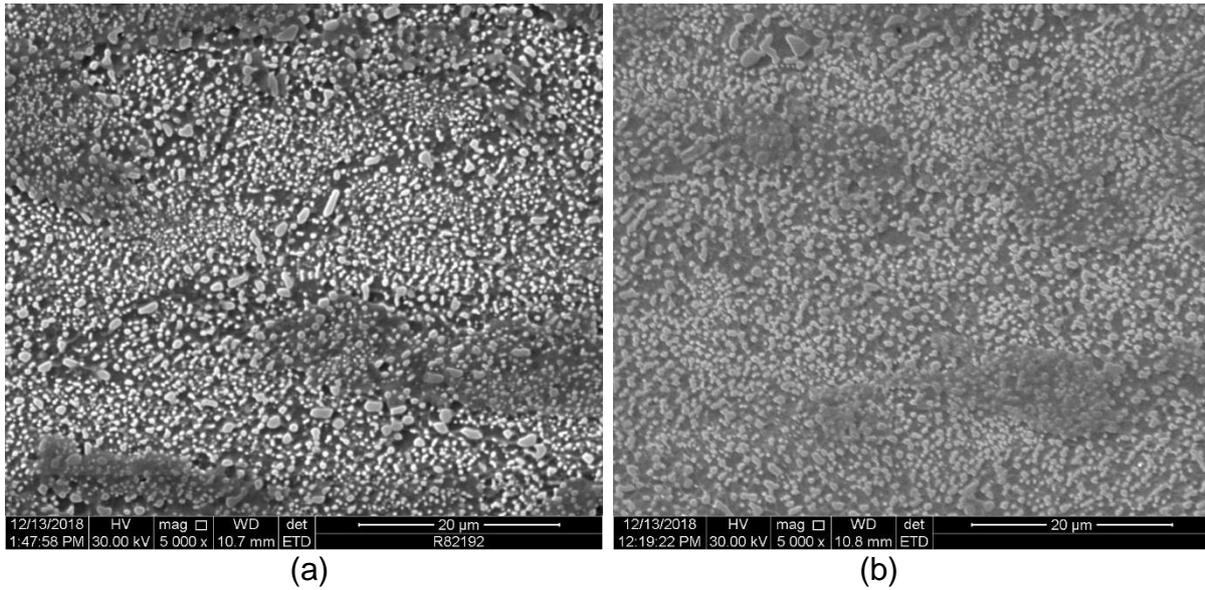
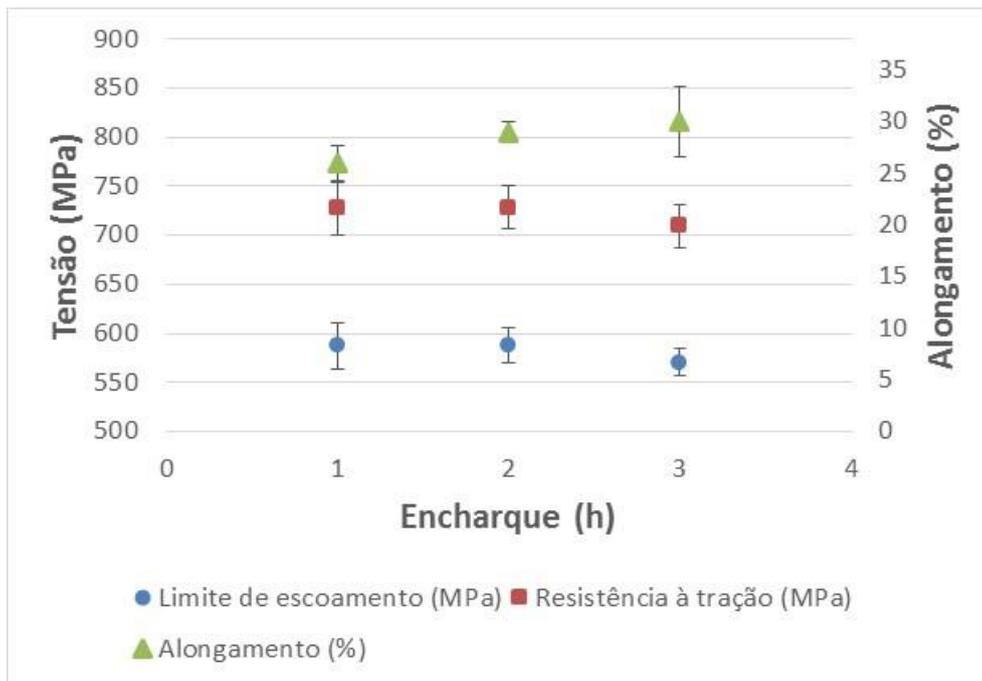
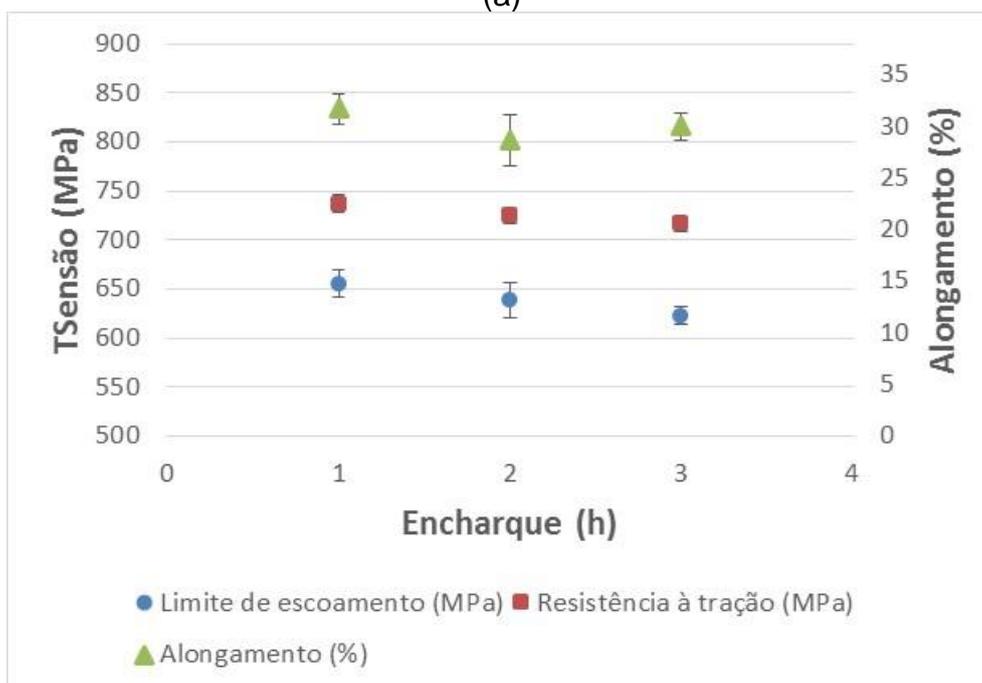


Figura 4. Microestrutura após recozimento intercrítico com alta taxa de resfriamento, seguido de alta redução a frio e por fim recozimento subcrítico por (a) 1 h, (b) 2 h e (c) 3 h.

Na Figura 5 estão indicadas as propriedades mecânicas após tratamento térmico de recozimento subcrítico em diferentes tempos de encharque para as duas reduções avaliadas.



(a)



(b)

Figura 5. Propriedades mecânicas após recozimento intercrítico, seguido de redução a frio com (a) baixa e (b) alta redução e recozimento subcrítico.

A Figura 6 apresenta os resultados de dureza HB após tratamento térmico de recozimento subcrítico em diferentes tempos de encharque para as duas reduções avaliadas.

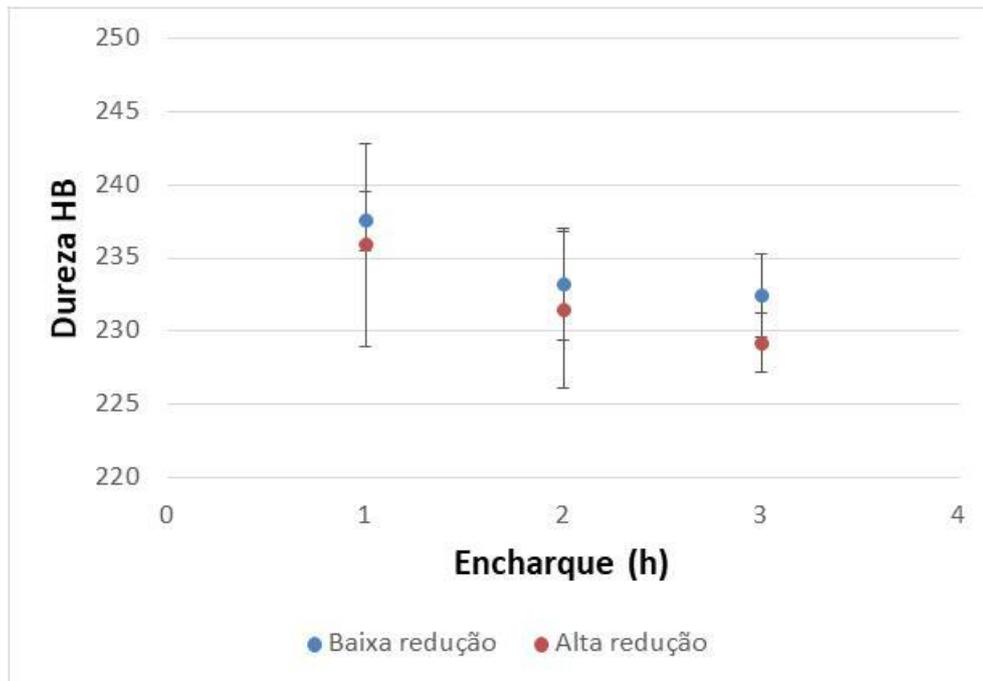


Figura 6. Resultados de dureza HB após recozimento intercrítico, seguido de redução a frio e recozimento subcrítico.

2.3 Discussão

Após recozimento intercrítico, pode-se constatar, comparando os dados mostrados nas Tabelas 2 e 3, que os limites de escoamento e resistência à tração diminuem em média 215 MPa e 450 MPa, respectivamente, ao passo que há um aumento médio de 25% no alongamento. Observa-se ainda que, para o material submetido a maior taxa de resfriamento, a diminuição da resistência à tração foi menos acentuada se comparada com o material submetido à menor taxa de resfriamento.

Analisando as microestruturas após recozimento intercrítico, pode-se verificar na Figura 2 que a microestrutura é constituída por carbonetos majoritariamente esferoidizados dispersos em matriz ferrítica. Para ambas as taxas de resfriamento avaliadas, foram identificados carbonetos alongados. Entretanto, a amostra que foi submetida à maior taxa de resfriamento apresentou maior heterogeneidade na morfologia dos carbonetos e maior quantidade de carbonetos alongados.

Diante dos resultados obtidos a partir do recozimento intercrítico, pode-se afirmar que as duas condições avaliadas são aptas para viabilizar a trefilação a frio do material. Entretanto, optou-se por utilizar a rota com maior taxa de resfriamento, por se apresentar economicamente mais vantajosa.

A rota com baixa redução a frio apresentou carbonetos alongados (Figura 3) mesmo após o recozimento subcrítico com tempo de encharque igual a 3 h. Já a rota com alta redução a frio apresentou uma microestrutura com carbonetos completamente esferoidizados (Figura 4) para tempo de encharque de 1 h ou superior. Sabe-se que a deformação plástica favorece a esferoidização, uma vez que ela reduz o espaçamento interlamelar da perlita e aumenta a densidade de deslocações na ferrita, favorecendo a esferoidização dos carbonetos [6].

Na Figura 5 verifica-se que, para uma mesma redução a frio, não há diferença significativa nos limites de escoamento e resistência à tração com o aumento do tempo de encharque durante recozimento subcrítico. GUO *et al.* [6] também observaram em aço 50CrV4 que, com o aumento do tempo de encharque, não ocorrem mudanças significativas nas propriedades mecânicas após recozimento subcrítico com tempo de encharque entre 2 h e 8 h. Entretanto, no presente trabalho identificou-se que o limite de escoamento das amostras submetidas a maior redução a frio é, em média, superior ao limite de escoamento das amostras submetidas a menor redução a frio. Tal comportamento não foi observado no limite de resistência à tração.

Por fim, não foram identificadas diferenças significativas na dureza HB do material nas condições avaliadas, conforme mostrado na Figura 6. GUO *et al.* [6] obtiveram resultados semelhantes para o aço 50CrV4, tendo concluído que o grau de esferoidização, o tamanho e distribuição dos glóbulos de cementita tem pouco efeito na dureza e na resistência do material.

3 CONCLUSÃO

Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que:

- o recozimento intercrítico com taxa de resfriamento 8 vezes maior que a convencional proporcionou o início da esferoidização dos carbonetos e uma redução significativa das propriedades mecânicas do aço SAE 52100;
- a submissão de baixa deformação a frio e posterior recozimento subcrítico com tempo de encharque variando de 1 h até 3 h não viabiliza a completa esferoidização dos carbonetos, ou seja, ainda são identificados alguns carbonetos alongados;
- a submissão de alta deformação a frio e posterior recozimento subcrítico com tempo de encharque a partir de 1 h já viabiliza a completa esferoidização dos carbonetos;
- para uma mesma redução a frio, não é perceptível diferença significativa para as características limite de escoamento, resistência à tração e dureza com o aumento do tempo de encharque durante recozimento subcrítico;
- o limite de escoamento para as amostras submetidas a maior redução a frio é, em média, superior ao limite de escoamento para as amostras submetidas a menor redução a frio. Entretanto, tal comportamento não foi observado para a resistência à tração.

REFERÊNCIAS

- 1 SAE International. J404 Chemical Compositions of SAE Alloy Steels. 2009; 6.
- 2 Bhadeshia HKDH. Steels for bearings. Progress in Materials Science. 2012; 57:268-435.
- 3 Gupta N, Sen S. Spheroidization Treatment for Steels. Defence Science Journal. 2006; 56(4):665-676.
- 4 Krauss G. Steels: Processing, Structure, and Performance. 3 ed. Colorado: ASM International; 2005.
- 5 Dosset JL, Boyer HE. Practical Heat Treating. 2 ed. Ohio: ASM International, 2006.
- 6 Guo WY, Li J, Jiang XF. Subcritical Spheroidization of Medium-Carbon 50CrV4 Steel. Journal of Materials Engineering and Performance. 2012; 21(6):1003-1007.