



ESTUDO DA EVOLUÇÃO MICROESTRUTURAL DA LIGA Fe18Mn3Ti PROCESSADA POR LAMINAÇÃO A FRIO E TRATAMENTOS TÉRMICOS

Gustavo L. Walchaki^{1*}, Marcio F. Hupalo¹ e Alisson K. da Silva²

1 - Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Ponta Grossa, PR. Av. General Carlos Cavalcanti, 4748, Uvaranas, Ponta Grossa, CEP 84030-900, PR.

2 – Max-Planck-Intitut für Eisenforschung GmbH (MPIE), Düsseldorf, Germany.

Autor: gwalchaki94@gmail.com

RESUMO

No presente trabalho foi averiguado o comportamento microestrutural de um aço alto manganês denominado Fe18Mn3Ti. As ligas FeMn com elevados teores deste elemento representam um desenvolvimento recente de aços austeníticos. Associar os benefícios de aços TRIP e TWIP em um mesmo material pode representar um ganho considerável nas propriedades mecânicas, combinando as vantagens da alta dureza característica da transformação martensítica com a elevada ductilidade da maclação mecânica. A liga é susceptível a decomposição de fase homogênea e acompanhada por segregação, apresentando uma certa instabilidade em flutuações de composição próximas a temperatura de envelhecimento estabelecida (450°C). Diante disso, realizou-se estudo da evolução microestrutural da liga laminada a frio em diferentes graus de redução, e caracterizada após tratamento térmico de solubilização, afim de averiguar o comportamento do material na deformação com e sem a presença de partículas de segunda fase. Inicialmente o material apresentou partículas de segunda fase em sua microestrutura e durante a laminação as amostras comportaram-se de maneiras distintas, devido o bandejamento microestrutural. Onde, regiões com enriquecimento de titânio ocorre um empobrecimento de manganês e ferro, caracterizando a presença de fase de Laves. Mesmo após tratamento térmico de solubilização em diferentes tempos, verificou-se a presença destas partículas na microestrutura do material.

Palavras-chave: Aço Manganês, TRIP, TWIP, Fase de Laves.

INTRODUÇÃO

As ligas com alto teor de manganês surgiram como alternativa devido ao seu menor custo, podendo ser de 4 a 6 vezes menor, em relação aos aços que utilizam o níquel como elemento de liga, onde o manganês substitui o níquel como elemento estabilizador da austenita, elevando a tenacidade do material. As ligas FeMn com elevados teores de manganês, entre 15 e 30%, representam um desenvolvimento recente de aços austeníticos, que, através dos seus mecanismos de deformação que variam entre a transformação martensítica induzida por deformação (TRIP) e a maclação mecânica (TWIP), também reúnem elevada resistência mecânica com grandes ductilidades^(1,2). Nestes aços, após serem submetidos à deformação, irá ocorrer transformação martensítica, formação de maclas, bandas de cisalhamento ou micro

bandas a partir da austenita, dependendo de fatores tais como a temperatura e composição química. Ambos os efeitos podem coexistir num mesmo material e contribuem simultaneamente para o aumento da resistência mecânica como também na plasticidade do material, no entanto, com o aumento do teor de Mn o efeito TWIP tende a ser mais dominante^(3, 4). A liga Fe18Mn3Ti é susceptível à decomposição de fase homogênea e assistida por segregação, composta pelos três metais de transição mais abundantes. Essa composição caracteriza-se por apresentar instabilidade contra flutuações de composição em temperaturas de envelhecimento (em torno de 450°C). Estas flutuações agem como precursoras para nucleação de uma inesperada fase nano precipitada α -Mn, a qual diminui a mobilidade de discordâncias na matriz. A adição de titânio como elemento de liga, permite que ocorra transformação de austenita para martensita- α durante a têmpera e laminação a frio, evitando uma alta fração de austenita retida e martensita épsilon depois da laminação, além de estabilizar os precipitados de segunda fase α -Mn⁽⁵⁻⁷⁾. Devido a baixa comercialização desses aços, o estudo em escala laboratorial destas ligas torna-se necessário, onde pesquisas sobre propriedades e processamento de aços alto manganês com efeito TWIP/TRIP seguem algumas rotas tradicionais de fabricação de outras classes de materiais, como por exemplo aços inoxidáveis austeníticos, método utilizado por pesquisadores de diversos lugares^(8, 9).

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

A liga Fe18Mn3Ti utilizada neste trabalho foi recebida após laminação a quente, em pequenos lingotes nas dimensões de 50x20x10 mm (CxLxA) aproximadamente, fornecidas pelo professor Dr. Alisson Kwiatkowski da Silva, juntamente ao Instituto Max-Planck na Alemanha. A composição química do material, analisada por EDS, foi de 17,6% Mn e 2,84% Ti.

Métodos

As amostras passaram pela caracterização inicial utilizando análises de microscopia óptica e eletrônica (MO, MEV/EDS, EBSD), onde a preparação das amostras ocorreu de maneira tradicional (lixamento, polimento em pasta de diamante e sílica coloidal, e ataque químico com diferentes reagentes como Beraha, Vilela e Nital), e também difração de raio-X. Posteriormente as amostras foram laminadas a frio até 50% de redução, e também foram caracterizadas afim de avaliar a evolução microestrutural. Os parâmetros de tratamento térmico de solubilização foram decididos com base em análises no software Thermo-Calc®, e utilizou-se a temperatura de 1200°C durante tempos de 1, 2 e 3 horas. Para este procedimento as amostras foram encapsuladas, juntamente com cavacos de titânio puro, em tubos de quartzo para obter uma proteção da atmosfera de tratamento, evitando assim o contato com o oxigênio e nitrogênio. Em seguida ao tratamento térmico, as amostras também foram caracterizadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a caracterização inicial da liga e análise microestrutural, verificou-se a presença de partículas intermetálicas ricas em titânio (conforme figura 1), bem como martensita e também maclas, características comuns de aços austeníticos. Essa formação martensítica provavelmente ocorreu durante a laminação à quente, ou seja, martensita induzida por deformação. Com auxílio da figura 1, é possível verificar, além das regiões citadas, locais onde ocorre o enriquecimento de titânio (regiões com coloração azul mais intensa), caracterizando a fase de Laves distribuída ao longo da microestrutura do material. O titânio segrega mais

intensamente em regiões que apresentam maior heterogeneidade na microestrutura, onde possuem partículas arredondadas. Conseqüentemente, têm-se um empobrecimento de ferro e manganês nestas regiões.

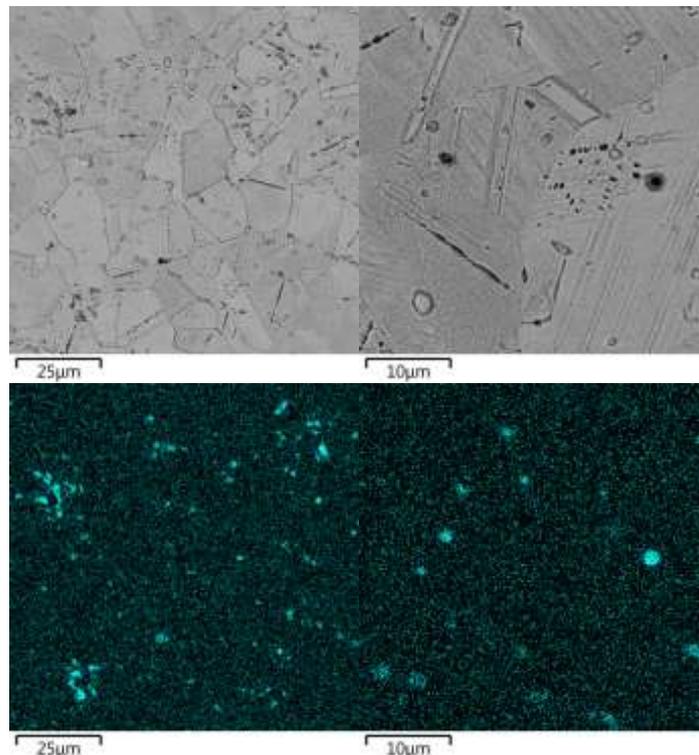


Figura 1: Análise de MEV/EDS da amostra inicial revelando, a matriz austenítica, martensita, maclas e também regiões ricas em titânio (Laves).

Analisando a evolução microestrutural da liga após diferentes níveis de redução por laminação a frio, nota-se que com 10% (figura 2a) de redução a amostra não apresentou sinais de bandejamento e as partículas estão bem dispersas pela microestrutura. Percebe-se que com o decorrer da laminação, ocorre um alongamento dos grãos e também um refino do grão austenítico devido a movimentação de discordâncias imposta pelo processamento. Na amostra com 20% de redução (figura 2b) é possível notar regiões onde o grão austenítico está maior, restringindo o movimento da microestrutura, e revelando um certo bandejamento. Para 30% de redução (figura 2c) a microestrutura começa a ficar mais heterogênea, aparecendo com mais evidência as regiões martensíticas. Com 40% e 50% de redução (figuras 2d e 2e), nota-se que as partículas intermetálicas estão mais concentradas em grãos menores.



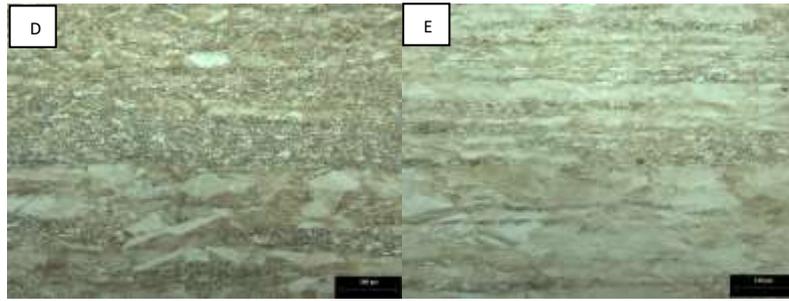


Figura 2: Evolução microestrutural das amostras laminadas de Fe18Mn3Ti, com redução de a) 10%, b) 20%, c) 30%, d) 40% e e) 50%.

A figura 3 mostra o comportamento do material após a realização de tratamento térmico de solubilização, com o intuito de homogeneizar a microestrutura e minimizar o efeito da presença de partículas intermetálicas no bandeamento.

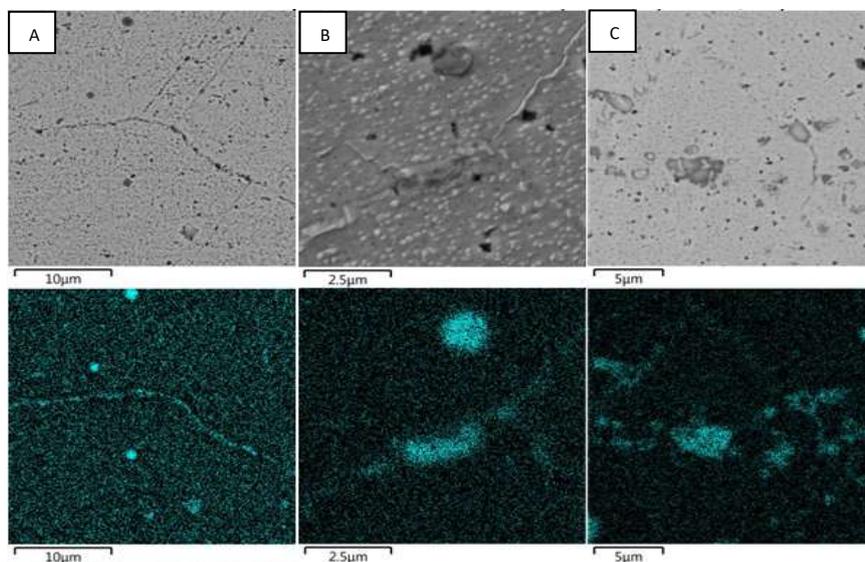


Figura 3: Análise de MEV/EDS das amostras solubilizadas revelando a distribuição e presença de regiões ricas em titânio (Laves), ao longo da microestrutura. Em a) 1 hora, b) 2 horas e c) 3 horas.

Através da distribuição dos elementos de liga, foi notado a presença de Laves nos três tempos de solubilização, porém atuando de maneiras distintas. Para as amostras de 1 e 2 horas, o titânio segregou em determinadas partículas arredondadas na microestrutura (com tamanhos entre 500 nm e 1,2 μm) e também nos contornos de grão de maneira clara. Já para a amostra com 3 horas de tratamento, a partição do titânio predomina em partículas ao longo da microestrutura (com tamanhos médios de 2,2 μm).

CONCLUSÕES

De acordo com as análises realizadas observou-se a presença de partículas de segunda fase na microestrutura do material, as quais influenciam diretamente no comportamento da evolução microestrutural na forma de bandeamento e também diferentes distribuições ao longo da microestrutura. Mesmo após tratamento térmico de solubilização em diferentes tempos, tomando como base análises feitas no ThermoCalc®, as partículas de fase de Laves continuaram presentes. Análises subsequentes serão realizadas para aprofundamento do efeito

destas partículas e bandeamento microestrutural na transformação martensítica γ - ϵ - α' , bem como de precipitados α -Mn.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores Marcio Ferreira Hupalo e Alisson Kwiatkowski da Silva pela orientação e coorientação, respectivamente. A UEPG pela estrutura e suporte na realização do estudo. Ao CNPq pela bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS

1. CURTZE, S.; KUOKKALA, V. Dependence of tensile deformation behavior of TWIP steels on stacking fault energy, temperature and strain rate. **Acta Materialia**, v. 58, n. 15, p. 5129-5141, 2010.
2. COOMAN, B. C. DE. High Mn TWIP steel and médium Mn steel. **Automotive Steels**, p. 317-385, 2017.
3. SATO, A., SOMA, K., MORI, T. Hardening due pre-existing ϵ -Martensite in na Fe-30Mn-1Si alloy single Crystal. **Acta Metallurgica**, v. 30, n. 10, p. 1901-1907, 1982.
4. DING, H. et al. Formability of TRIP/TWIP steel containing manganese of 18.8%. **Journal of Iron and Steel Research International**, v. 18, n. 1, p. 36-40, 2011.
5. WALNSCH, A. et al. Experimental Investigations of the Fe-Mn-Ti System in the Concentration Range of up to 30 at.% Ti. **Journal of Phase Equilibria and Diffusion**, v. 41, p. 457-467, 2020.
6. PADUANI, C. et al. Mössbauer effect and magnetization studies of α -FeMn alloys. **Journal of Applied Physics**, v. 70, n. 12, p. 7524-7531, 1991.
7. KWIATKOWSKI da SILVA, A. et al. A sustainable ultra-high strength Fe18Mn3Ti maraging steel through controlled solute segregation and α -Mn nanoprecipitation. **Nature Comunications**, v. 13, n. 2330, 2020.
8. RAABE, D. et al. **Steel – ab-initio: quantum-mechanics guided of new Fe-based materials**. Dusseldorf: Max-Planck Institut für Eisenforschung; GmbH, (Scientific Report 2007/2008), 2008.
9. MI, Z., L. et al. Effects of annealing temperature on the microstructure and properties of 25Mn-3Si-3Al TWIP steel. **International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials**, v. 16, n. 2, p. 154-158, 2009.

STUDY OF THE MICROSTRUCTURAL EVOLUTION Fe18Mn3Ti ALLOY PROCESSED BY COLD-ROLLED AND HEAT TREATMENTS

ABSTRACT

In the present work, the microstructural evolution of a manganese steel called Fe18Mn3Ti wt.(%) was investigated. The FeMn alloys with high levels of this element represent a recent development of austenitic steels. Associating the benefits of TRIP and TWIP steels in the same material can represent a considerable gain in mechanical properties, combining the advantages of the high hardness characteristic of the martensitic transformation with the high ductility of mechanical twinning. The alloy in particular is susceptible to homogeneous phase decomposition and assisted by segregation, presenting a certain instability in composition fluctuations close to the established aging temperature (723 K). Thus, a study of the microstructural evolution of the cold-rolled Fe18Mn3Ti wt.(%) alloy was carried out in different degrees of reduction, and characterized after heat treatment of solubilization, in order

to investigate the behavior of the material in the deformation with and without the presence of second phase particles. Initially the material presented second phase particles in its microstructure and during rolling the samples behaved in different ways, due to microstructural banding. Where, regions with titanium enrichment occurs a depletion of manganese and iron, characterizing the presence of Laves phase. Even after heat treatment of solubilization in different times, the presence of these particles in the microstructure of the material was verified.

Keywords: *Manganese Steel, TRIP, TWIP, Laves phase.*