

ESTUDOS ESTRUTURAIS EM AÇO DE ALTA LIGA

Jessica de Melo (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Aline Alves Oliveira (Coorientador),
Reginaldo Barco (Orientador), e-mail: ra115937@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Ciências Exatas/Maringá, PR.

Ciências Exatas e da Terra / Física – Física da Matéria Condensada

Palavras-chave: Maraging, Difração de Raios-X.

Resumo:

Os objetivos deste trabalho foram de produzir aços de alta liga com características compatíveis aos comerciais, utilizando-se técnicas metalúrgicas de preparação e cristalográficas de identificação estrutural. A necessidade dessa classe de aços reside no emprego na indústria: ultracentrífugas de separação de materiais. Melhorar as características desses aços sempre se mostra relevante, seja em relação ao custo, ou em relação a propriedades intrínsecas estruturais. O processo de produção das amostras segue protocolos da metalurgia: fusão dos elementos formadores do aço, como ferro, cobalto, níquel, molibdênio e titânio; formatação das amostras; tratamentos térmicos específicos de solubilização e envelhecimento. As caracterizações estruturais foram realizadas com auxílio da difratometria de raios-X, e, quando as amostras produzidas foram comparadas com amostras comerciais, tratadas nas mesmas condições, apontam para a validade do protocolo de preparação adotado para as amostras produzidas no LABMATESP.

Introdução

Aços de alta liga, em geral, apresentam dois tipos de estrutura cristalina: uma martensítica, identificada como cúbica de corpo centrado (bcc), chamada de fase α ; e outra austenítica, identificada como cúbica de face centrada (fcc), chamada de fase γ (FLOREEN, S.). Enquanto o aço martensítico, ou martensita, apresenta propriedades magnéticas importantes, mas baixa dureza, o aço austenítico, ou austenita, apresenta alta dureza, mas sem comportamento magnético relevante. Diante da necessidade de unir as duas características, a magnética e de dureza, foram apresentados, na década de 1970, os aços conhecidos como *MARAGING* (*martensite aging induced*) (SAN MARTIN, D., *et al.*). Esta classe de aço possui como característica primordial a ultra-alta resistência mecânica; é composto essencialmente pelos metais: ferro, cobalto, níquel, molibdênio e titânio; e é utilizado como equipamentos aeronáuticos, esportivos e industriais (como na confecção de ultracentrífuga de separação de materiais). A adoção da classificação desses aços é realizada de acordo com o limite de escoamento, de modo que, os exemplares amplamente empregados são: M200, M250, M300 e M350, por conter 18%, em massa, de níquel na liga. Enquanto os aços convencionais apresentam limite de escoamento abaixo de 1380 MPa, os aços *Maraging* possuem limites de

escoamento da ordem de 2400 MPa, além de poderem ser empregados em ambientes com temperaturas de até 400 °C sem alterações significativas em suas características estruturais e magnéticas (CHIAVERINI, V.). Vários trabalhos científicos publicados atestam as características e a utilidade desses aços, contrapondo aços comuns, como o aço-carbono, de modo a garantir que os aços *Maraging* são superiores, não só em características mecânicas, mas também magnéticas. Trabalhos precursores, do LAB-MATESP-UEM, atestam o conhecimento adquirido quanto ao processamento de amostras por metalurgia, ou seja, fusão e tratamento térmico, incluindo investigações em aços do tipo *Maraging*, nas séries 300, 350 comerciais e 400 produzido (ALVES, T.J.B.).

Ainda que muito já tenha sido realizado no Brasil, e no exterior, a respeito dessa classe de aços, a busca por melhorias, seja em relação ao custo final do produto, seja em relação às condições específicas decorrentes do processo de produção, ou aplicação, é um campo a ser explorado. Neste sentido, foi escolhido para este trabalho, produzir exemplares de ligas às quais foram nominadas M200, M250 e M300, com a finalidade de verificar diferentes protocolos na produção das amostras, além de escolher a amostra M300 para tratamentos de envelhecimento, comparando com exemplares de um aço comercial com essa denominação, a título de comparação com um material produzido em escala industrial.

Materiais e Métodos

As amostras foram produzidas no LAB-MATESP-UEM, utilizando-se, para a fusão, um forno a arco voltaico, a partir dos elementos precursores. As quantidades, em massa, dos precursores utilizados seguiu informações contidas na literatura, bem como os elementos de liga formadores do aço, a saber: Fe (99,97 %), Ni (99,9 %), Co (99,90 %), Mo (99,95 %), Ti (99,99 %) e Al (99,999 %). Os valores informados refere-se ao grau de pureza de cada metal; enquanto que, as quantidades em massa, são mostradas na tabela 01. Após a fusão individual dos elementos de liga, seguiu-se o protocolo de união dos metais, em 5 etapas: 1) Fe+Ti; 2) FeTi+Al; 3) FeTiAl+Co e Ni+Mo; 4) a liga completa (FeNiCoMoTiAl); e 5) 3 refusões, para melhor homogeneidade da amostra final.

Tabela 01 – Porcentagens em massa dos precursores das ligas produzidas.

	Al	Ti	Mo	Co	Ni	Fe
M200	0,10	0,20	3,45	8,00	17,85	70,40
M250	0,10	0,50	4,85	8,15	17,85	68,55
M300	0,12	0,53	4,85	9,15	18,45	66,90

Concluída a etapa de produção, as amostras possuíam formato esferoide, então foram divididas em porções com duas técnicas distintas: laminação a frio; e corte em cortadeira metalográfica. A próxima etapa do processo foi submeter as porções à solubilização de 1000 °C, durante 1 h, seguido de resfriamento rápido. A amostra M300, assim como porções de um aço comercial (M300c), existente no LABMATESP, foram submetidas a processos de envelhecimento nas temperaturas

de 450 °C, 500 °C e 550 °C, durante 2 horas; identificados, respectivamente, como e1, e2 e e3. Após o porcionamento, assim como após os tratamentos térmicos de solubilização e envelhecimento, as amostras foram submetidas ao processo de caracterização estrutural a partir da técnica de Difração de Raios-X, com a finalidade de identificar a(s) fase(s) formada(s).

Resultados e Discussão

A difratometria de raios-X empregada respeitou as considerações da geometria Bragg-Brentano, ou seja, varreduras $\theta - 2\theta$, desde 45° até 130°, com passo de 0,02°. Os resultados, antes e após os tratamentos, são mostrados na figura 01. As amostras laminadas, identificadas como (1), mostraram diferença relativa na intensidade dos picos, indicando uma forte orientação preferencial imposta pela laminação, enquanto que, as amostras cortadas, (2), a relação de intensidades tende a apresentar o comportamento padrão: primeiro pico mais intenso, com redução das intensidades com o aumento do ângulo de leitura, 2θ , como mostrado no difratograma da amostra M300c. Após a solubilização, os difratogramas das amostras, como apresentados na figura 01b, foi suficiente para manter a estrutura martensítica, já formada após a fusão, mas não foi suficiente para superar as tensões impostas na laminação.

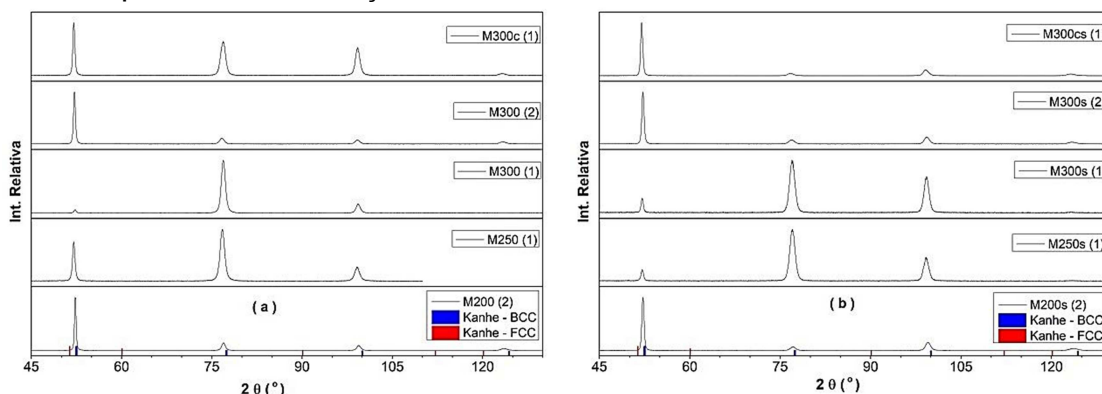


Figura 01 – Difratogramas das amostras estudadas neste trabalho. a) Antes da solubilização; b) Após a solubilização. As barras indicam as estruturas martensita (azul) e austenita (vermelho) da literatura (Kanhe, N., et al.).

Apesar de diferenças relativas nas intensidades dos picos de difração, é notório a ausência de estruturas secundárias em todas as amostras, o que assegura o processo de produção da liga, entretanto, o processo de porcionamento produz alterações significativas e, a melhor maneira de reproduzir um aço comercial seria o corte, e não a laminação, como é possível perceber nas figuras 01.

Os difratogramas após os tratamentos térmicos de envelhecimento nas amostras M300s e M300cs, são mostrados nas figuras 02. Em ambas amostras, o tratamento de 450 °C não foi suficiente para perceber a retenção da austenita (FCC); fato verificado nas temperaturas superiores. Enquanto a amostra produzida (M300s) aparenta a retenção da austenita no envelhecimento de 500 °C, a amostra (M300cs) não aparenta a austenita, entretanto, um aumento na figura (não mostrado) permite assegurar a existência dessa fase. O fato de a intensidade relativa da austenita ser

muito menor que da martensita, indica que a fração da fase austenita é significativamente menor, podendo assegurar que é menor que 10 %.

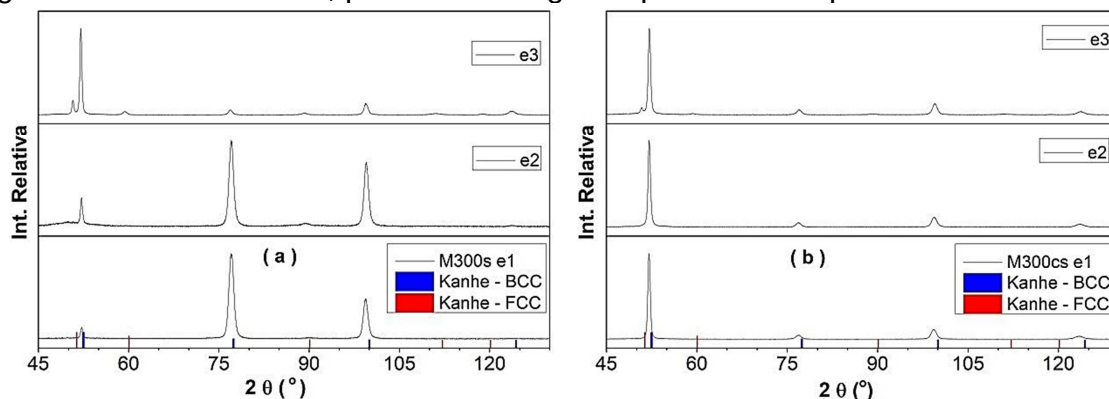


Figura 02 – Difração de raios-X das amostras: a) M300s e b) M300cs, após envelhecimento nas temperaturas de 450 °C (e1); 500 °C (e2); e 550 °C (e3). As barras em azul, martensita; em vermelho, austenita (Kanhe, N., et al.).

Conclusões

Conclui-se que o protocolo de preparação de aços por meio de fusão em forno a arco é eficiente para produzir aços 100 % martensíticos, entretanto, o processo de laminação, ou corte, interfere em condições estruturais que podem ser relevantes, a depender da aplicação do aço. As temperaturas de envelhecimento escolhidas, de 500 e 550 °C, provocam a retenção de estrutura austenita minoritária, como desejado, enquanto que o envelhecimento de 450 °C não foi suficiente, por outro lado, pode-se afirmar que, para o aço M300, é possível utilizá-lo em sistemas que atinjam tal temperatura sem alterações significativas em sua estrutura fundamental.

Agradecimentos

Nossos cordiais agradecimentos à UEM, ao CNPq, e à Fundação Araucária.

Referências

- FLOREEN, S. The physical metallurgy of maraging steel. *Metallurgical Reviews*, p. 115-128, 1968.
- SAN MARTIN, D. et.al. The isothermal martensite formation in a maraging steel: A magnetic study. *Materials Science and Engineering A*, v. 4881-482, p. 757-761, 2008.
- CHIAVERINI, V. Aços e Ferros Fundidos. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM, nº 7, 2002.
- ALVES, T. J. B. Síntese e Caracterização do aço maraging-400 envelhecido sob diferentes condições de tratamento térmico. 2018. 134f. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018
- KANHE, N. et. al. Understanding the crystalline phase formation in Fe-Ni and Al-Ni binary alloy-nanoparticles produced by thermal plasma assisted gas phase condensation method. *Material & Design*, v. 112, n. 15, p. 495-504, 2016.