

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NAS PROPRIEDADES DE UM AÇO MARAGING 300*

Regina Coeli Araújo Vieira Gunyics Barrio¹

Letícia Rabelo Muniz¹

Stephany Aparecida Santos da Mata¹

Marcelo José Gomes da Silva¹

Hamilton Ferreira Gomes de Abreu¹

Resumo

O entendimento sobre a relação entre propriedades mecânicas e microestrutura de aços de ultra-alta-resistência permanece como um problema-chave em metalurgia com importantes consequências para a indústria, notadamente a indústria de alto desempenho, como nuclear, petroquímica e aeroespacial. Essas aplicações exigem uma associação de elevada resistência mecânica e boa tenacidade, além de uma boa soldabilidade, alta resistência à corrosão, etc. No entanto, muitos mecanismos de endurecimento resultam no dilema do antagonismo entre resistência mecânica e tenacidade, tornando imperativa a busca por uma solução que otimize as duas propriedades, melhorando seu desempenho e aumentando o leque de possibilidades de sua aplicação. Neste trabalho foram avaliados os efeitos da temperatura de solubilização na microestrutura, dureza, transformação martensítica e textura dos aços maraging 300. Foram avaliadas sete temperaturas de solubilização em um tempo de uma hora de tratamento e três temperaturas de envelhecimento em três horas de tratamento. A caracterização microestrutural foi realizada por microscopia ótica para determinação do tamanho de grão da austenita primária e análise da microestrutura, difração de raios-X e difração de elétrons retroespalhados. Os resultados obtidos demonstraram que a temperatura de solubilização acima da convencional teve pouca influência na textura cristalográfica do material. Também foi observado que há um pico de dureza a 1000°C e que existe uma relação entre o tamanho de grão da austenita prévia e a morfologia da martensita. Conclui-se que o tamanho de grão da austenita prévia também influencia a temperatura de início da transformação martensítica.

Palavras-chave: Maraging. Solubilização. Textura. Transformação Martensítica.

EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE PROPERTIES OF A MARAGING 300 STEEL

Abstract

The understanding of the relationship between ultra high strength steels mechanical properties and microstructure remains a key problem in metallurgy with important consequences for the industry, notably the high performance industry such as nuclear, petrochemical and aerospace. These applications require combination of high mechanical strength and good toughness, as well as good weldability, high corrosion resistance, etc. However, many hardening mechanisms result in a dilemma of the antagonism between mechanical strength and toughness, making it indispensable researches for a solution that optimizes the two properties, improving its performance and increasing the range of possibilities of its application. In this work, the effects of the solution annealing temperature on the microstructure, hardness, martensitic transformation and texture of the maraging 300 steels were evaluated. Seven solution annealing temperatures were evaluated for a time of one hour of treatment and three aging temperatures for three hours of treatment. The microstructural characterization was performed by optical microscopy to determine the grain size of the primary austenite and analysis of the microstructure, X-ray diffraction and diffraction of backscattered electrons. The results showed that the solution annealing temperature above the conventional one had little influence on the crystallographic texture of the material. It was also observed that there is a hardness peak at 1000 ° C and that there is a relationship between the grain size of the previous austenite and the martensite morphology. It is concluded that the grain size of the previous austenite also influences the beginning temperature of the martensitic transformation.

Keywords: Maraging. Solution Annealing. Texture. Martensitic Transformation.

¹ *Engenharia Metalúrgica, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará*

1 INTRODUÇÃO

Os aços Maraging são ligas quaternárias (Fe-Ni-Co-Mo) de ultra alta resistência, que tem como uma das aplicações cilindros de ultracentrífugas usados no enriquecimento de urânio, matéria fundamental na fabricação do combustível nuclear [1].

O tratamento térmico desempenha um papel significativo no controle das propriedades mecânicas do aço Maraging 300 [2]. Portanto, foi estudado, nos últimos anos, o efeito do tratamento térmico de solubilização e envelhecimento no comportamento destes aços. Com isso, chegou-se à conclusão sobre o tratamento térmico convencional para o Maraging 300, que é: solubilização a 820°C, por 1h, seguida de envelhecimento a 480°C, por 3h [3].

Ao submeter os referidos aços a tratamentos térmicos de solubilização, observa-se que a microestrutura resultante é puramente martensítica, apresentando-se dúctil e razoavelmente trabalhável a frio [4]. Isso ocorre devido ao baixo teor de carbono e o alto teor de níquel presentes em sua composição química [5]. Como consequência desse tipo de tratamento térmico, pode-se observar ainda o crescimento dos grãos nesse tipo de aço [6]. O crescimento dos grãos nos aços Maraging ocorre de forma bastante complexa, pois sofrem influência do número de elementos de liga presentes, que, por sua vez, interagem de forma diferente com os contornos de grão [7]. Outro fator que pode explicar esse evento é a precipitação de TiC e Ti(CN).

O aço Maraging 300 é um material anisotrópico, isso significa que determinadas propriedades físicas variam com a direção [8]. Portanto, para obter excelentes propriedades mecânicas, é necessário ter atenção às orientações cristalográficas do material. A textura pode aumentar a tenacidade de um material, fornecendo planos de deslizamento para o movimento das discordâncias [9].

A solubilização em temperaturas acima da convencional foi realizada com o objetivo de melhorar a tenacidade à fratura sem perdas significativas da resistência mecânica. A solubilização em temperaturas acima da recomendada pelos fabricantes (820°C) resultou em um crescimento do grão austenítico, que se tornou muito acentuado acima de 1000°C, pois há um crescimento exponencial dos grãos, pois os precipitados já estão se difundindo no material e não impede o crescimento do grão [10]. Além disso, a temperatura de solubilização acima da convencional tem o propósito de aumentar a tenacidade do material [11].

Baseado nisso, o objetivo do presente estudo é analisar a textura em aços Maraging 300 solubilizados em temperatura acima da convencional. Será avaliado também os aspectos microestruturais, bem como o tamanho de grão austenítico resultante.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1. Material e Métodos

Foi recebido um tarugo vazado de Maraging 300, cuja composição química está detalhada na tabela abaixo. Deste material, foram cortadas, utilizando a serra fita, amostras retangulares com 10 mm de espessura. Em seguida, foi realizado o processo de laminação a quente e a frio, com redução de 90% da espessura inicial da amostra. Em seguida, a amostra laminada foi cortada e submetida a diferentes tratamentos térmicos de solubilização, por 1h, nas seguintes temperaturas: 820°C, 860°C, 900°C, 950°C, 1000°C, 1050°C e 1100°C, seguido de resfriamento ao ar.

A textura foi analisada através de difrações de raios-X, que foram realizadas num difratômetro PHILLIPS® modelo X'PERT PRO da Universidade Federal do Ceará (UFC) com fonte de radiação Cok α de comprimento de onda $\lambda=1,7890 \text{ \AA}$ sem monocromador. O intervalo angular 2θ utilizado para a difração em todas as amostras foi de 40° - 115° . As medições foram realizadas a temperatura ambiente no modo contínuo de varredura. O passo angular utilizado foi de $0,02^{\circ}$ e o tempo de contagem foi de 3 segundos. A configuração utilizada tanto para a difração quanto para a análise de textura foi a ATC-3 sendo que somente durante a difração foi aplicado o modo de oscilação linear de 5 mm na amostra. A tensão e corrente utilizadas nas medições foram 40 KV e 45 mA.

Na etapa de caracterização microestrutural, foi realizado o procedimento metalográfico padrão, seguindo as etapas de lixamento e polimento mecânico em pasta de diamante (6, 3 e $1 \mu\text{m}$). Em seguida, foram submetidas ao ataque químico com o objetivo de revelar a microestrutura e o contorno de grão. Dessa forma, foram utilizados dois ataques químicos diferentes, o Persulfato de Amônio e o Nital 2%. Com o objetivo de obter a melhor condição de contraste e revelação da microestrutura e manter a qualidade de preparação da amostra, optou-se por realizar o ataque químico com persulfato de amônio em uma solução composta também por uma sílica coloidal específica para este fim. Para a análise dos resultados e identificação da microestrutura foram utilizadas as técnicas de microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Após a caracterização microestrutural, foram realizadas medições nos grãos das amostras. Essa medição teve por finalidade avaliar a influência das temperaturas de solubilização e envelhecimento utilizadas nos tratamentos. Para isto, utilizou-se a norma ASTM E112 – 12.

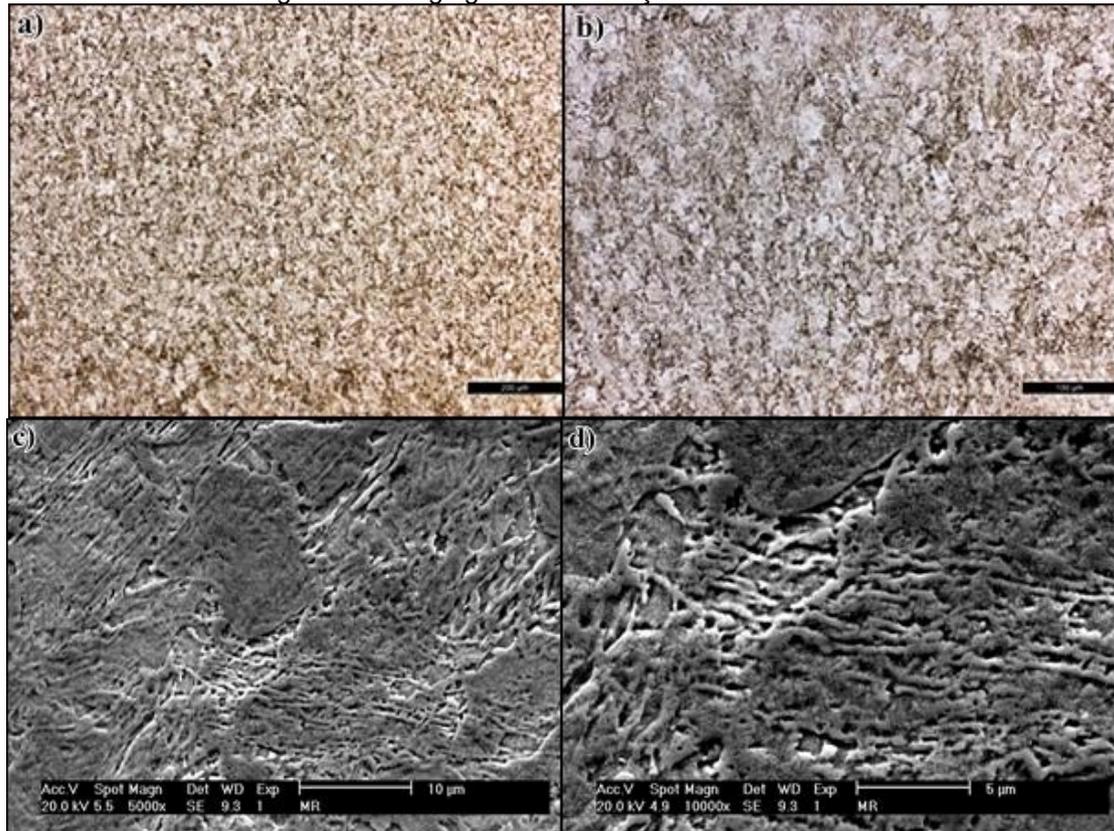
Tabela 1: Composição do aço *maraging* 300

Classe	Ni	Co	Mo	Ti	Al	C	Mn	Fe
M 300	17,86	9,31	4,96	0,79	0,14	0,01	0,01	Bal

2.2. Resultados e Discussões

Com o objetivo de propor um padrão comparativo para a microestrutura presente nas diferentes condições de tratamentos térmicos realizados, foi feito também a análise microestrutural do Maraging 300 na condição como recebido. Observou-se que nessa condição o material é constituído essencialmente por martensita, como pode ser observado na Figura 1.

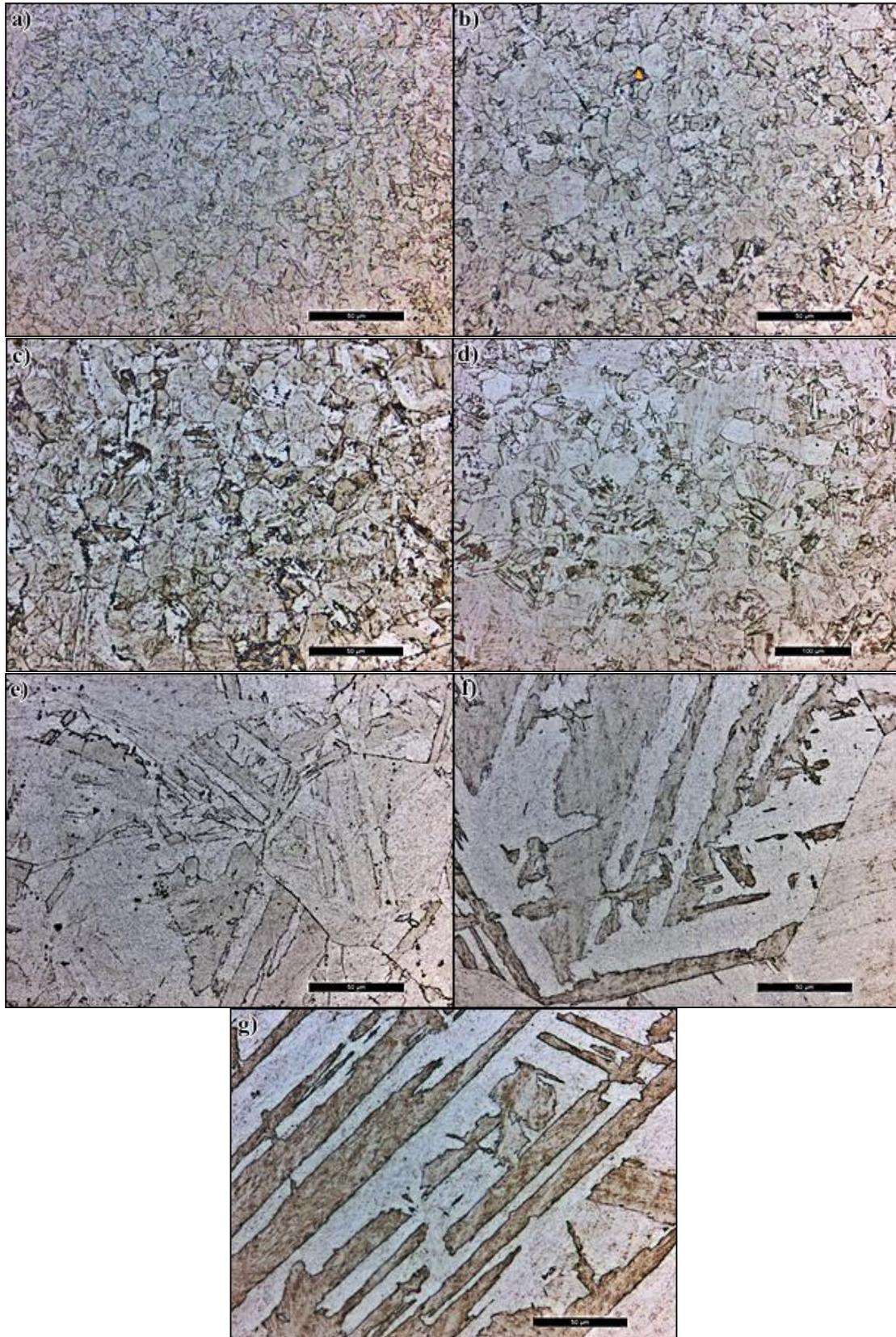
Figura 1. Maraging 300 na condição como recebido.



a) Imagem de MO com aumento de 100x, b) Imagem de MO com aumento de 200x, c) Imagem de MEV com aumento de 5000x e d) Imagem de MEV com aumento de 10000x. (Reagente: Persulfato de amônio e Nital 2%).

Observou-se que ao submeter as amostras ao tratamento térmico de solubilização, os grãos presentes na microestrutura aumentavam proporcionalmente com o aumento da temperatura, conforme ilustrado na Figura 2.

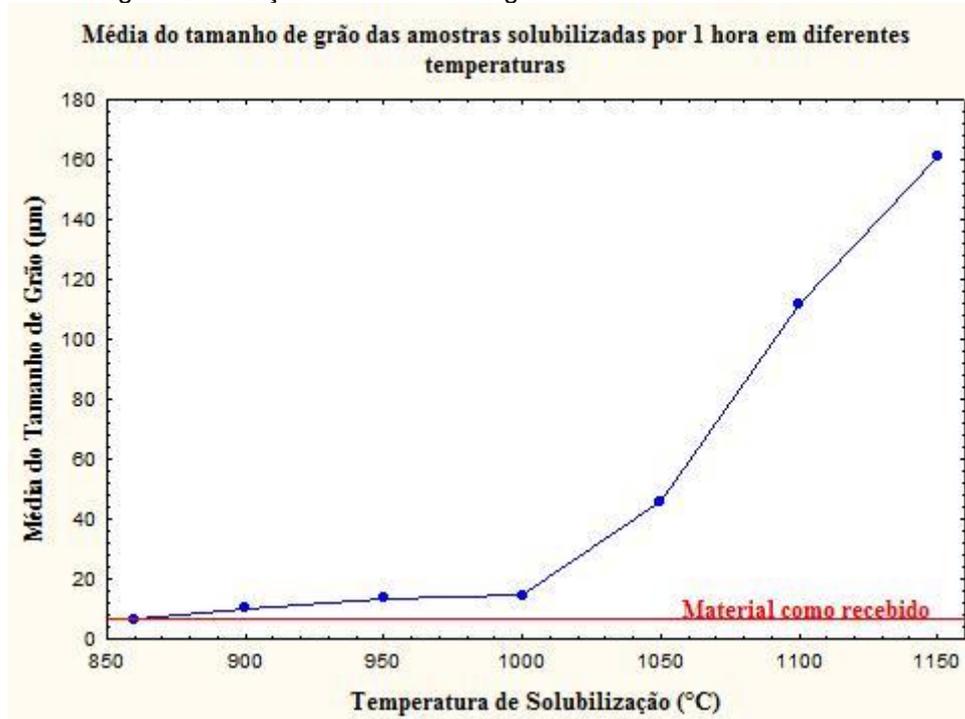
Figura 2. Microestrutura das amostras submetidas ao tratamento térmico de solubilização durante 1 hora.



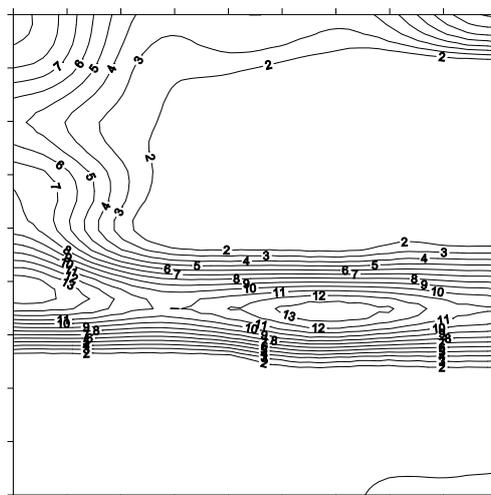
Amostras solubilizadas a a) 860°C, b) 900°C, c) 950°C, d) 1000°C, e) 1050°C, f) 1100°C, g) 1150°C. Aumento de 500x; Reagentes: Persulfato de Amônio e Nital 2%.

A medição do tamanho de grão das amostras apresentadas na Figura 2 mostrou um aumento significativo, variando de aproximadamente 8 μm para as que foram solubilizadas a 860°C a 164 μm para aquelas tratadas a 1150°C. Essa medição pode ser observada na Figura 3, em que é realizado também um comparativo com o tamanho de grão do material na condição como recebido.

Figura 3. Medição do tamanho de grão das amostras solubilizadas.



A Figura de Orientação e Distribuição Cristalográfica da amostra após a laminação abaixo é utilizada de comparativo para as FDOC realizadas com as amostras após as solubilizações em diferentes temperaturas.



As Funções de Orientação e Distribuição Cristalográfica abaixo mostram a variação da textura com a temperatura de solubilização, em seções de $\varphi_2=45^\circ$ para as amostras de maraging 300 com redução de 90%, solubilizadas e resfriadas ao ar.

Figura 4 - 820°C

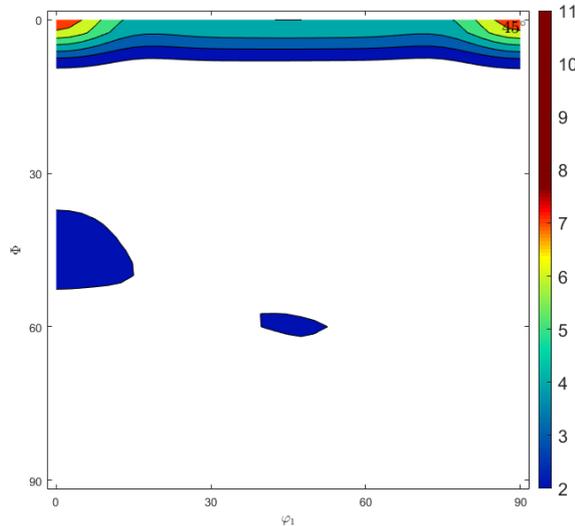


Figura 5 - 860°C

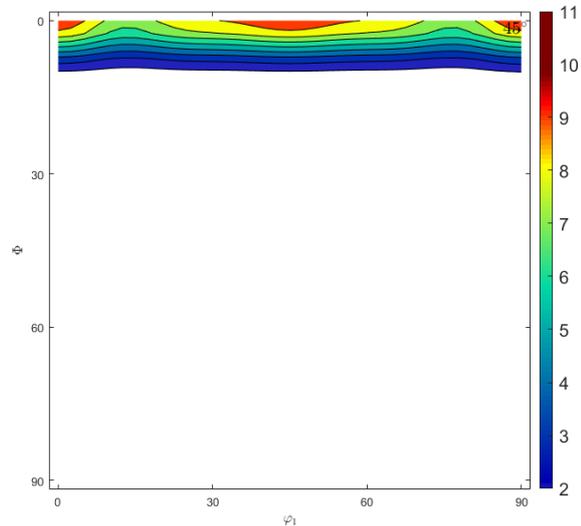


Figura 6 - 900°C

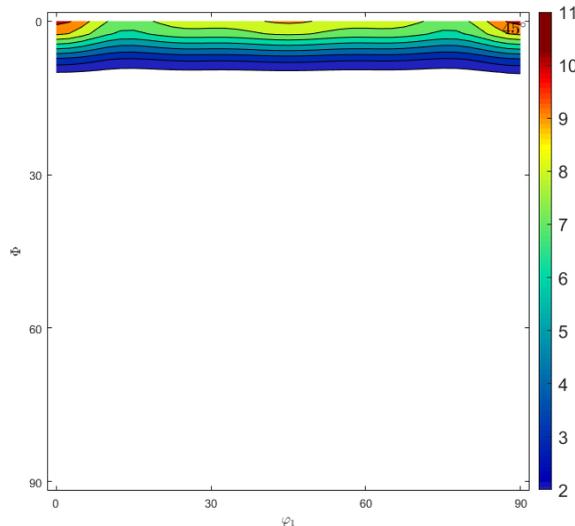


Figura 7 - 950°C

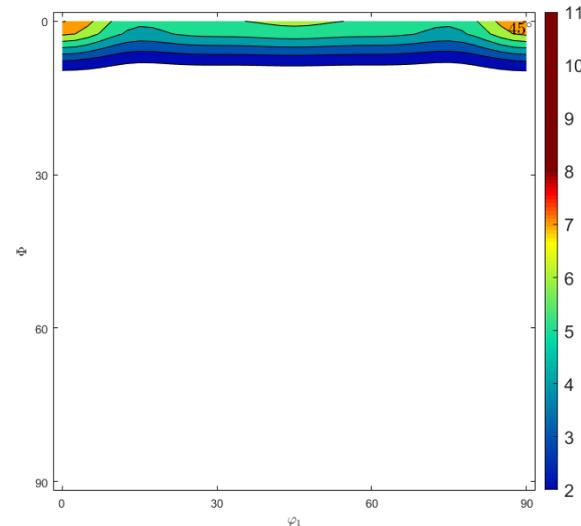


Figura 8 - 1000°C

Figura 9 - 1050°C

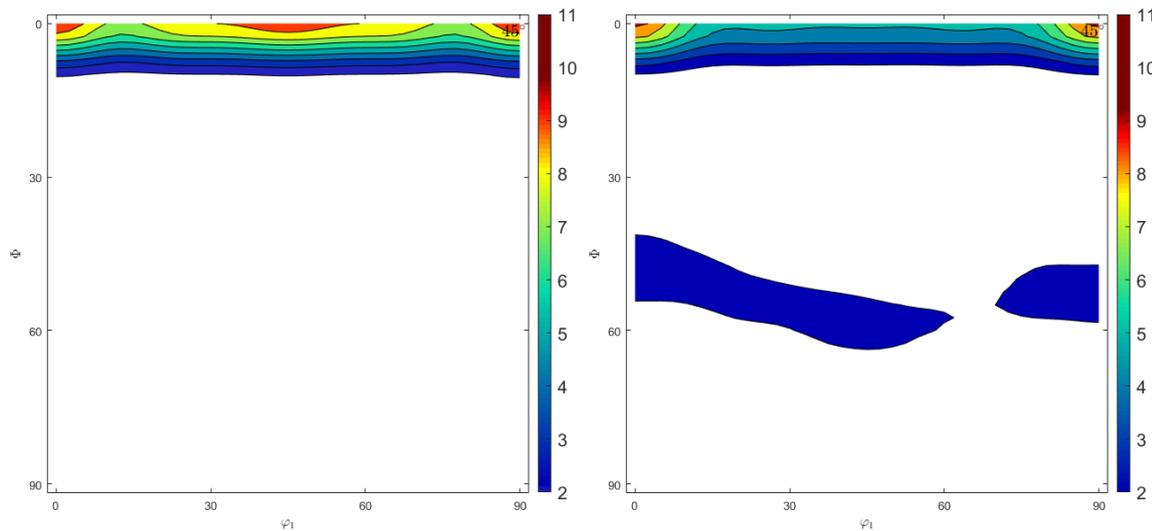
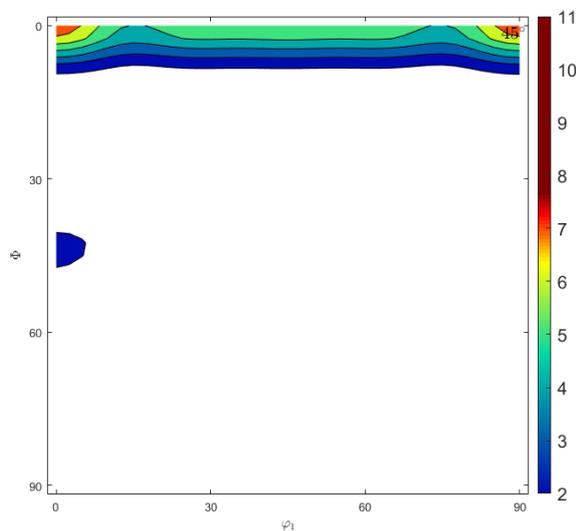


Figura 10 -1100°C



Comparando as FDOC das amostras após a solubilização com a FDOC da amostra após a laminação observa-se que a textura de Cubo Girado (001)[1-10] continua presente em diferentes intensidades. A textura Cubo Girado é característica do processo de laminação.

Já a fibra gama não existe mais em diferentes temperaturas de solubilização.

3 CONCLUSÃO

- Os tratamentos térmicos de solubilização em temperaturas elevadas contribuem para o aumento do tamanho de grão da microestrutura;
- A textura de cubo girado, provenientes da laminação, está presente em todas as FDOC.
- A textura Cubo Girado é característica do processo de laminação.
- Após todas as temperaturas de solubilização, a fibra gama não continua.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal do Ceará e ao Laboratório de Caracterização de Materiais pelo auxílio e incentivo na pesquisa.

Agradecemos à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

REFERÊNCIAS

1. PARDAL, J. M.; TAVARES, S. S. M.; FONSECA, M. P. C.; ABREU, H. F. G.; SILVA, J. J. M. Study of the austenite quantification by X-ray diffraction in the 18Ni-Co-Mo-Ti maraging steel. *Journal of Materials Science*, 2006 v. 41, p. 2301-2307.
2. SINHA, P. P.; SREEKUMAR, K.; NATARAJAN, A.; NAGARAJAN, K. V. Grain growth in 18Ni 1800 MPa maraging steel. *Journal of Materials Science*, 1991 v.26, p. 4155 – 4159.
3. JOHNSON, W. C.; STEIN, D. F. A study of grain boundary segregants in thermally embrittled maraging steel. *Metallurgical Transactions*, 1974 v. 5, p. 549 – 554.
4. ASHBROOK, R. W.; MARDER, A. R. The effect of initial carbide morphology and abnormal grain growth in decarburized low carbon steel. *Metallurgical Transactions*, 1985 v. 16A, p. 897 – 902.
5. BURKE, J.E.; TURNBULL, D. Recrystallization and grain growth. *Progress in Metal Physics*, 1952, v. 3, p. 220-292.
6. PARDAL, J. M.; TAVARES, S. S. M.; TERRA, V. F.; SILVA, M. R.; SANTOS, D. R. Modeling of precipitation hardening during the aging and overaging of 18Ni-Co-Mo-Ti maraging 300 steel. *Journal of Alloys and Compounds*, 2005 v. 393, p. 109-113.
7. MAGNÉE, A.; DRAPIER, J. M.; DUMONT, J.; COUTSOURADIS, D.; HABRAKEN, L. Cobalt-containing high-strength steels. *Centre d'Information du Cobalt, Brussels*, 1974.
8. PETERS, D. T. A study of austenite reversion during aging of maraging steels. *Trans. ASM*, 1968 v. 61, p. 62-74.
9. IL'INA, V. P.; TROITSKAYA, V. A. Effect of low – temperature quenching on the

microstructure and capacity for corrosion cracking steel 03Kh11N10M2T – VD. Metal Science and Heat Treatment, 2000 v.42, p. 53 – 56.

10. HOU, H.; QI, L.; ZHAO, Y. H. Effect of austenitizing temperature on the mechanical properties of high-strength maraging steel. Materials Science & Engineering, 2013 v. 587, p. 209 – 212.

11. SHA, W.; YE, A.; MALINOV, S.; WILSON, E. A. Microstructure and mechanical properties of low nickel maraging steel. Materials Science & Engineering, 2012 v. 536, p. 129 – 135..