

COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS EM FADIGA AXIAL DO AÇO MARAGING 300 E 300 M SOLDADOS A LASER E NITRETADOS A PLASMA

¹F. R. O. Moraes, ²S. Lombardo, ³F. O. A. Kanak, ³A. S. M. Cardoso, ³M. S. F. de Lima, ³V. H. B. Scheid, ³Antonio Jorge Abdalla*

¹Instituto de Aeronáutica e Espaço, Divisão de Materiais – AMR/IAE/DCTA

²Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – FEG/UNESP

³Instituto de Estudos Avançados – IEAv/DCTA

* Rodovia dos Tamoios, Km 5,5 - São José dos Campos CEP 12.228-970
email-ajorgeabdalla@gmail.com

RESUMO

Foram comparadas as propriedades mecânicas entre os aços 300 M e Maraging 300, soldados a laser e submetidos aos tratamentos térmicos específicos para recuperação da resistência. O aço Maraging 300, após o processo de soldagem foi submetido ao tratamento de envelhecimento a 480°C e o aço 300 M foi temperado e revenido a 400°C. Ambos apresentaram elevados níveis de resistência indicando que o processo de solda a laser foi eficiente para a soldagem. A solda a laser provocou endurecimento na Zona de Fusão (ZF) e na ZTA do aço 300 M devido a formação de martensita. No aço Maraging este efeito foi inverso. O tratamento térmico posterior foi importante para ambos os aços. Posteriormente, foi aplicado o tratamento de nitretação a plasma como forma de melhorar as suas propriedades de superfície, este tratamento não afetou a microestrutura da solda, mantendo as propriedades de tração e fadiga em níveis elevados.

Palavras chave: aços de alta resistência, propriedades mecânicas, solda a laser, nitretação a plasma, caracterização microestrutural.

INTRODUÇÃO

Os aços 300 M e Maraging são considerados de ultra alta resistência, podendo alcançar limites de escoamento superior a 1.400 MPa, com tratamentos térmicos específicos para esta finalidade (1,2). Estes aços têm aplicações industriais diversas, principalmente para fins estruturais. No setor aeronáutico e o aeroespacial

são de grande significância, pois, devido aos altos níveis de resistência, possibilitam uma boa relação de peso/resistência. (3,4). Estes aços são empregados na indústria aeroespacial em envelopes motores, mísseis, estruturas de trens de pouso e outras aplicações (5).

Há décadas o envelope motor do veículo lançador de satélite é confeccionado com o aço 300 M, porém estudos tem sido desenvolvidos e pretende-se substituí-lo pelo aço Maraging 300, principalmente pelo fator tenacidade e pela maior facilidade de realização de tratamento térmico (4-5). Para o aço 300 M, os tratamentos térmicos são complexo, envolvendo aquecimentos em temperaturas elevadas, resfriamentos controlados, duplo revenimento e tratamentos em banho de sal, com alto consumo de energia e dificuldade de descarte. O aço Maraging necessita apenas de um envelhecimento em temperatura em torno de 500 °C, sem risco de fragilidade (6,7).

O envelope motor é feito a partir de chapas de aço, com cerca de 3 mm de espessura, calandradas e soldadas para formar cilindros com cerca de 1m de diâmetro. O processo de solda é, portanto, um fator crítico, evidenciando a importância deste estudo, esta solda é atualmente realizada por processo a plasma, pretende-se estudar a viabilidade de realizar esta solda pelo processo a laser (7-9).

Neste trabalho foram analisadas e comparadas as características da solda a laser nos aço Maraging 300 e 300 M. Foi também estudado, a partir de resultados de trabalhos anteriores (10,11), a possibilidade de se utilizar um tratamento de superfície de nitretação a plasma que possibilita melhores propriedades de resistência à corrosão, desgaste e fadiga destes aços.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi utilizado dois tipos de aços: o Maraging 300 inicialmente solubilizada, e o aço 300 M com estrutura inicial perlítica. A composição química está discriminada na Tab. 1.

Tabela 1- Composição química do aço Maraging 300 e 300 M.

Aço	C	Si	Mn	Mo	Ni	Co	Ti	Al	Cr	P	S	V
Maraging 300	0,007	0,02	0,01	4,67	18,58	9,35	0,66	0,087	0,06	<0,004	<0,002	-
300 M	0,44	1,83	0,82	0,39	1,68	-	0,037	0,036	0,77	0,008	0,006	0,08

A partir de chapas com 3 mm de espessura foram usinados, em ambos os aços, corpos de prova (CDPs) para os ensaio de tração (ASTM E8M), e fadiga (ASTM E 488). Foram confeccionados CDPs do material como recebido (sem solda) e CDPs do material soldado, e com o material submetido ao tratamento de nitretação a plasma.. Os ensaios de tração foram realizados em uma máquina servo-hidráulica MTS 810.23M.

Após os testes iniciais foi realizada a solda a laser de forma autógena, em cheio, utilizando os seguintes parâmetros: a) Aço Maraging 300 - potência de 1800 W, velocidade de varredura em 30 mm/s; b) Aço 300 M – potência de 1400 W e velocidade de 50 mm/s. Foi utilizado o gás argônio para proteção a uma taxa de 30 litros/min. Estes parâmetros foram escolhidos baseados no trabalho de Fanton e Cardoso et al (8,11).

Baseado em trabalhos anteriores, o envelhecimento do aço Maraging foi realizado a temperatura de 480 °C por 3 horas e o revenimento do aço 300 M foi realizado a 400 °C por 2 horas (6-7,11)

A nitretação ocorreu na temperatura de 480 °C durante 3 horas, num reator a plasma, em uma atmosfera com mistura gasosa contendo 75% de N₂ e 25% de H₂.

Foram realizadas medidas de dureza por microindentação na escala Vickers com o auxílio de um microdurômetro HMV-2T E da marca SHIMADZU.

A microestrutura foi análises por microscopia óptica e eletrônica de varredura para analisar a microestrutura do material na região soldada e na camada formada na superfície devido ao tratamento de nitretação a plasma.

RESULTADOS

A Figura 1a mostra uma imagem da solda no aço 300 M e a Figura 1b, detalhes das regiões formada após a solda, Zona Fundida (ZF), Zona Termicamente Afetada pelo calor (ZTA) e Material Base (MB). Na Figura 2 pode-se observar estas mesmas regiões para o aço Maraging 300 soldado. Na ZF do aço 300 M há a formação de martensita com elevada dureza, esta dureza vai decaindo conforme se caminha em direção ao material base. Devido às características do aço Maraging a ZF tem baixa dureza e só alcançara valores elevados após o tratamento de envelhecimento.

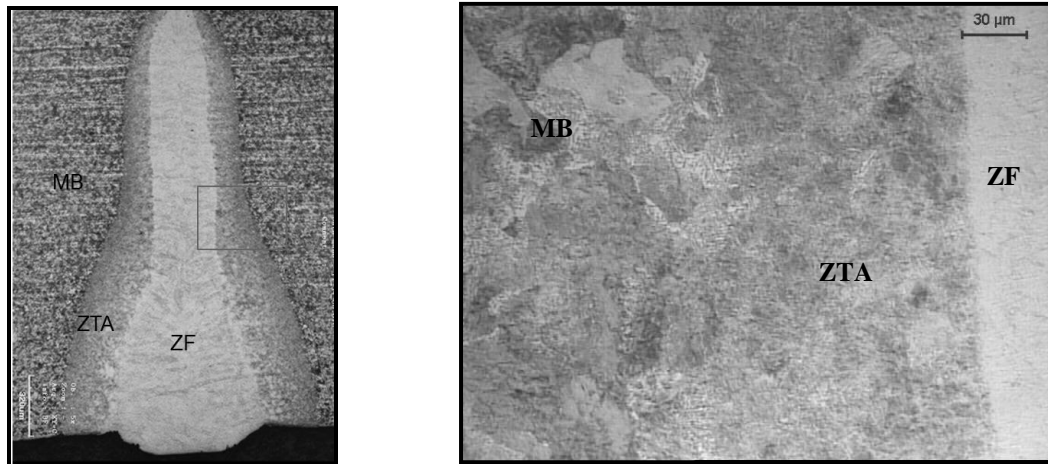


Figura 1 – Microscopia Óptica – Solda a laser no aço 300 M: a) visão geral da solda; b) microestrutura mostrando detalhes da ZF, ZTA e MB. Ataque nital 2%.

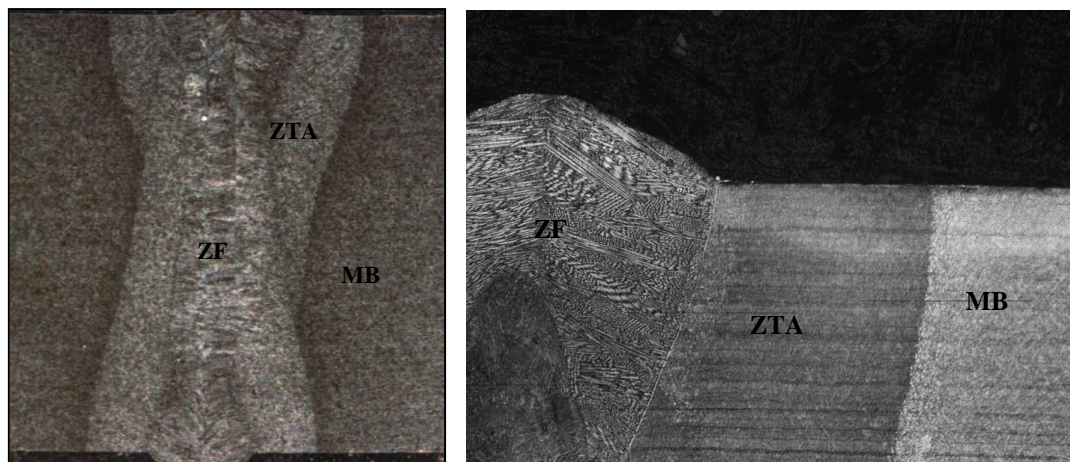


Figura 2 – Microscopia Óptica – Solda a laser no aço Maraging 300: a) visão geral da solda; b) microestrutura mostrando detalhes da ZF, ZTA e MB. Solução de Metabissulfito de Sódio 10 %.

A tabela 2 mostra as durezas médias de cada uma das regiões soldadas, no aço 300 M há a formação de martensita na ZF e ZTA, elevando a dureza e, após o revenimento há uma redução na dureza e nas tensões internas da microestrutura. No aço maraging ocorre o oposto, a ZF tem uma redução na dureza e se recupera com o tratamento de envelhecimento.

A tabela 3 mostra os resultados obtidos nos ensaios de tração para ambos o aço Maraging, nas três condições estudadas neste trabalho, nota-se que as propriedades alcançadas são semelhantes, mostrando que a solda é eficiente e que o tratamento de nitretação a plasma não prejudica as propriedades mecânicas em tração.

Tabela 2 – Dureza média da ZF, ZTA e MB dos aços Maraging 300 e 300 M

Região Analisada	Dureza HV - Antes Tratamento Térmico		Dureza HV - após Tratamento Térmico	
	300 M	Maraging 300	300 M Revenido	Maraging Envelhecido
Metal Base (MB)	327 ± 22	380 ± 13	325 ± 15	660 ± 17
Zona Termicamente Afetada (ZTA)	638 ± 9	367 ± 15	451 ± 9	562 ± 21
Zona Fundida (ZF)	659 ± 53	360 ± 17	504 ± 67	554 ± 25

Tabela 3 –Propriedades Mecânicas em Tração para o aço Maraging 300

Aço Maraging Envelhecido	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Tração (MPa)	Alongamento %
Sem Solda	1672 ± 33	1950 ± 28	9,7 ± 1,2
Com solda	1620 ± 39	1875 ± 47	8,5 ± 1,4
Nitretado a Plasma	1607 ± 35	1891 ± 32	8,8 ± 1,1

Ao comparar as propriedades mecânicas do aço 300 M, apresentadas na Tabela 4, com as do aço Maraging, nota-se que, apesar de não haver uma queda nos níveis de resistência devido ao processo de soldagem a laser, os valores são bem inferior aos apresentados pelo aço Maraging, indicando que seria interessante aplicar um tratamento térmico de têmpera e revenimento, se a intenção é aproximar as propriedades das alcançadas pelo aço Maraging. Outro aspecto que merece destaque é a influência negativa com relação ao alongamento do aço 300 M, ao se aplicar o tratamento de nitretação a plasma, o alongamento diminuiu para cerca de 3 %.

Tabela 4 –Propriedades Mecânicas em Tração para o aço 300 M

Aço 300 M	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Tração (MPa)	Alongamento %
Sem Solda	788 ± 40	974 ± 53	9,0 ± 2
Com solda	765 ± 33	974 ± 10	11,0 ± 1
Nitretado a Plasma	705 ± 20	839 ± 18	3,0 ± 2

Devido a superioridade nas propriedades mecânicas em tração, o aço Maraging 300 foi selecionado para a realização dos testes de fadiga. A Figura 3

indica que a o tratamento de nitretação a plasma tem pouca influência no desempenho em fadiga e que a existência da solda tem uma influência mais marcante, reduzindo a vida em fadiga do material. Estes resultado está em concordância com outros autores (7,10,11).

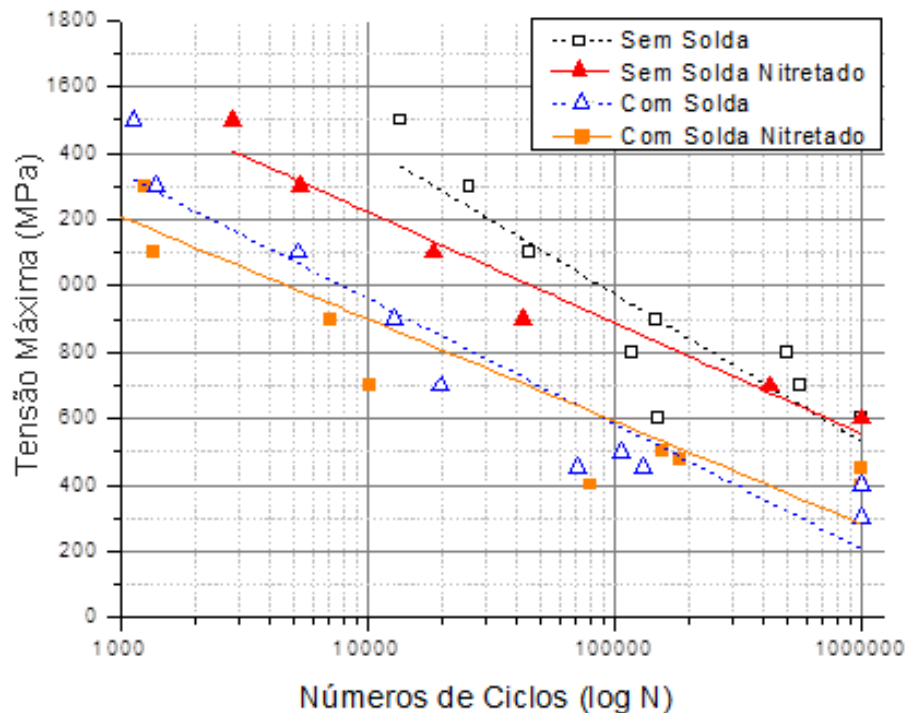


Figura 3 – Curvas de Fadiga para o aço Maraging 300 nas diversas condições estudadas, com e sem solda, antes e após o tratamento de Nitretação a Plasma.

CONCLUSÕES

- Os aços Maraging 300 mostraram melhor desempenho em tração que os aços 300 M, indicando que para chegar a níveis semelhantes de resistência a tração é necessário que o aço 300 M seja submetido a um tratamento de têmpera e revenimento;
- O processo de solda a laser mostrou-se eficiente para soldar ambos os aços, com pouca perda de resistência em tração, quando se compara com o mesmo material sem solda;
- A nitretação a plasma do aço 300 M reduziu a ductilidade a um nível baixo, sugerindo que é aconselhado procurar uma temperatura diferente da utilizada no tratamento termoquímico de modo a evitar a fragilidade deste aço;

- Os ensaios de fadiga para o aço Maraging, indicaram que a nitretação teve pouca influência no desempenho em fadiga, porém a existência da solda já manifesta-se de modo mais notável, devido a presença de heterogeneidades e pequenos defeitos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao ITA, ao Projeto Pró-Defesa CAPES nº014/08 e ao Instituto de Estudos Avançados (IEAv/DCTA).

REFERÊNCIAS

1. ASM HANDBOOK ONLINE. ASM DESK EDITIONS. **Ultrahigh-Strength Steels**. Disponível em <<http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>>. Acesso em: 10 de setembro de 2015.
2. M HANDBOOK. **Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys**, v I, 10. ed. Ohio (EUA): Metals Handbook, 1990, v. 1, 2521p.
3. HE, Y., YANG, K., QU, W., KONG, F., SU, G., Strengthening and toughening of a 2800-MPa grade maraging steel, **Materials Letters** **56**, 763–769, 2002.
4. SILVA, A. L. C.; MEI, P. R. **Aços e Ligas Especiais**, 3. ed. Editora Blucher, 2010. 664p.
5. BOSCOV, J. e DAMANET, P. **Simpósio: "Rocket Motor Cases in 300M Steel – A Pioneer Development Performed in the Brazilian Space Programme"**. Loen Norway : ESA SP-229, 1985.
6. SANTOS, D.R., **Otimização dos parâmetros de tratamento térmico e soldagem do aço maraging 18Ni 300**. 2001. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, FEG/UNESP, Guaratinguetá, 2001.
7. ABDALLA A. J.; LIMA M. S. F.; CARDOSO A.S.M., FANTON L.; BAPTISTA C.A.R.P; **Comparação de soldas realizadas a laser em três tipos de aços de alta resistência: 300M, maraging 300 e 4340**, 20º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECiMat, 2012.
8. FANTON, L. ; ABDALLA, A. J. ; LIMA, M. S. F. **Heat Treatment and Yb- Fiber Laser Welding of a Maraging Steel**. Welding Journal, v. 93, p. 362-368, 2014.

9. CARVALHO S. M.; LIMA, M. S. F. **Laser beam welding tempered 300M ultrahigh mechanical strength steel**. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering (Impresso), v. 34, p. 18-23, 2012.
10. ABDALLA, A. J.; SHEID V. H. B. Tratamentos termoquímicos a plasma em aços carbono, **Revista Corrosão e Proteção de Materiais**, v. 25, p. 92 – 96, 2006.
11. CARDOSO, A. S. M., ABDALLA, A. J., BAPTISTA, C. A. R.P., LIMA, M.S.F.; **Comparison of High Cycle Fatigue in 4340 and 300M Steel Welded with Fiber Laser**, *Advanced Materials Research*, Vols. 891-892 (2014) pp 1507-1512.

COMPARISON OF MECHANICAL PROPERTIES OF MARAGING AND 300 M STEEL WELDED BY LASER AND NITRIDED BY PLASMA

ABSTRACT

Mechanical properties were compared between maraging 300 and 300 M steels, laser welded and subjected to specific heat treatment to recover the resistance. The maraging 300 steel, after the welding process has been subjected to aging treatment at 480 °C and 300 M steel was quenched and tempered at 400 °C. Both showed high resistance levels indicate that the process of laser welding was efficient for the welding. The laser welding hardening caused in the fusion zone (ZF) and the HAZ of the 300 M steel because the formation of martensite. In maraging steel this effect was reversed. The subsequent heat treatment was important for both steels. Subsequently, the plasma nitriding treatment in order to improve their surface properties has been applied, this treatment did not affect the microstructure of the weld, while maintaining the tensile and fatigue properties at high levels.

Keywords: High strength steels, mechanical properties, laser welding, plasma nitriding, microstructural characterization.