

Caracterização de um aço SAE/AISI 4340 com diferentes microestruturas.

Characterization of a SAE/AISI 4340 steel with different microstructures

Renato Araujo Barros¹, Antonio Jorge Abdalla^{1,2}, Humberto Lopes Rodrigues^{1,3}, Marcelo dos Santos Pereira¹

RESUMO

Os aços AISI/SAE 4340 são classificados como aços de ultra-alta resistência e são utilizados pela indústria aeronáutica e aeroespacial em aplicações como trens de pouso de aeronaves e em outras aplicações estruturais. São normalmente utilizados na condição temperada e revenida. Em aplicações que exijam altos níveis de resistência (como em trens de pouso) há redução de tenacidade. Tem-se, então, estudado a formação de estruturas bainíticas ou multifásicas de forma a manter altos níveis de resistência, sem perda acentuada de tenacidade. Neste trabalho foram comparadas, através de diferentes roteiros de tratamentos térmicos, três tipos de estruturas: ferrítica-perlítica, bainítica e martensítica. Através da técnica de tríplex ataque (Nital, LePera e solução de Metabissulfito de Sódio) foram analisadas as diferentes fases. Os resultados mostram a utilidade dos ataques químicos propostos para revelar as fases presentes e a influência das diferentes condições das variáveis envolvidas no processo dos ataques químicos.

Palavras-chave: AISI/SAE 4340; Caracterização microestrutural; Microscopia óptica.

ABSTRACT

The AISI 4340 alloy steel has ultra-high strength. It is applied by the aviation and aerospace industry in aircraft landing gears and other structural applications. They are normally used in the quenched and tempered conditions. On applications requiring high level of resistance (such as landing gears) there is reduction of toughness. It has been studied the formation of multiphase and bainitic structures, in order to maintain high levels of resistance without significant loss of toughness. In this work three types of structures were compared by different routes of heat treatments: ferritic-pearlitic, bainitic and martensitic. By means of the triple etching technique (Nital, LePera and Sodium Metabisulfite) the different phases were analyzed. The results showed the utility of the proposed etchings to reveal the different phases and the influence of the etching process conditions.

Keywords: AISI/SAE 4340; Microstructural characterization; Optical microscopy.

¹Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Guaratinguetá (SP) – Brasil

²Instituto de Estudos Avançados – São José dos Campos (SP) – Brasil

³Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba – Pindamonhangaba (SP) – Brasil

Autor correspondente: Renato Araujo Barros – FEG/UNESP – Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333 – CEP: 12516-000 – Guaratinguetá (SP) – Brasil
E-mail: greensleeves@uol.com.br

Recebido: 03/10/2012 **Aprovado:** 08/06/2015

INTRODUÇÃO

O aço AISI/SAE 4340 (SAE – *Society of Automotive Engineers*) é usado comercialmente desde 1955 como um aço de alta resistência. Atualmente, esse material é empregado em aplicações estruturais críticas, nas indústrias: aeroespacial e de energia nuclear⁽¹⁾. É um material que combina profundo endurecimento (alta temperabilidade) com alta ductilidade, elevada resistência e razoável tenacidade, além de apresentar boa soldabilidade. Possui alta resistência à fadiga, e é frequentemente empregado em severas condições de trabalho, sujeitas a cargas altas^(2,3). Também é aplicado onde é requerida alta resistência em peças de grandes dimensões. Este aço ultra-resistente pode atingir valores de resistência na ordem de 1900 MPa, quando devidamente temperado e revenido a 200-230°C. Na Tabela 1 estão representadas as propriedades mecânicas típicas de um aço AISI/SAE 4340 temperado e submetido a diferentes temperaturas de revenimento.

A microestrutura resultante da transformação de fase tem um papel fundamental na obtenção das propriedades mecânicas dos aços, principalmente aços com alta resistência tratados termicamente, na maior parte das vezes, por têmpera e revenimento^(5,6). Os vários constituintes dos aços já são conhecidos, como a ferrita, perlita, bainita, martensita e austenita. Na prática, a microestrutura resultante dessa transformação pode ter uma só fase, como por exemplo, martensita ou bainita, ou pode ser mista, contendo duas ou mais fases. Combinações destas estruturas são responsáveis por atribuir diferentes características ao material⁽⁷⁾.

Com a finalidade de se caracterizar essas microestruturas são empregadas várias técnicas de ataque químico. Neste trabalho foi utilizada a técnica de tríplex ataque (cada amostra de material foi submetida aos ataques com Nital, o ataque LePera e o ataque com Metabissulfito de Sódio).

O ataque químico convencional utilizado na análise metalográfica de aços ao carbono é realizado normalmente com o reagente Nital (solução de ácido nítrico em álcool etílico). Normalmente usado em solução de concentração desde 2 até 10%, o Nital revela os contornos de grão da ferrita⁽⁴⁾. Neste tipo de ataque identificam-se os tons de cinza, sendo que a tonalidade

cinza clara caracteriza a presença de ferrita e de austenita retida, enquanto a cor cinza escura identifica a martensita e a bainita.

O ataque químico LePera é composto da mistura, em partes iguais, de duas soluções: Metabissulfito de Sódio com concentração de 1% diluído em água e ácido pícrico em concentração de 4% diluído em álcool, para revelar alguns constituintes em aços multifásicos de alta resistência. Este ataque tem a finalidade de revelar a ferrita com tonalidade castanho-amarelada, a bainita preta ou marrom escura e a martensita junto com a austenita retida, na cor branca.

Reagentes à base de Metabissulfito de Sódio são enquadrados dentro do conceito de reagentes Tint Etchings, os quais formam um fino filme químico sobre a superfície da amostra, que revela diferentes colorações entre as fases sob a interferência da luz branca do microscópio óptico. O ataque químico com reagente Metabissulfito de Sódio 10 % tem por finalidade identificar a austenita retida presente na microestrutura⁽¹⁾. Nesta técnica metalográfica, o ataque químico com solução aquosa de 10% de metabissulfito é utilizado para revelar a austenita retida em tonalidade clara ou branca, enquanto as demais fases apareceram em tonalidade escura.

MATERIAIS E METODOS

O material utilizado neste trabalho foi o aço AISI 4340, cuja composição química está indicada na Tabela 2.

O material submetido aos ataques encontrava-se em três distintas condições microestruturais: em um grupo, as amostras do aço AISI/SAE 4340 como fornecido; no segundo grupo, amostras do material submetido ao tratamento de têmpera e revenimento (aquecimento a 850°C durante 30 minutos e resfriamento brusco em óleo, seguido de revenimento a 300°C por 2 horas, sendo resfriado ao ar), e no o último grupo amostras de material submetido ao tratamento bainítico: austenitização até a temperatura de 850°C realizada em um forno mufla e transformação isotérmica correspondente à temperatura 338°C, com posterior utilização de um forno banho de sal, de maneira a se obter um resfriamento controlado a partir da temperatura

Tabela 1: Propriedades mecânicas típicas de um aço AISI/SAE 4340 (temperado em óleo na temperatura de 845°C).⁽⁴⁾

Temperatura revenimento (°C)	Resistência à tração (MPa)	Tensão de escoamento (MPa)	Alongamento em 50 mm (%)	Redução de área (%)	Dureza HB	Dureza HRC
205	1.980	1.860	11	39	520	53
315	1.760	1.620	12	44	490	50
425	1.500	1.365	14	48	440	46
540	1.240	1.160	17	53	360	39
650	1.020	860	20	60	290	31
705	860	740	23	63	250	24

Tabela 2: Composição Química (% massa) do aço AISI/SAE 4340.

C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
0,39	0,01	0,08	0,23	0,67	0,83	1,73	0,26

de austenitização e uma eficiente manutenção na faixa de temperatura isotérmica.

O tempo de exposição do Nital na superfície da amostra esteve entre 10 e 12 segundos. A forma de aplicação deste reagente foi através de um chumaço de algodão, embebido na solução, que foi friccionado contra a superfície. Para a interrupção do ataque químico utilizou-se água corrente. Para a secagem a amostra foi submetida a um jato de ar frio.

A aplicação do reagente LePera foi realizada por imersão da amostra na solução, durante um tempo de aproximadamente 20 segundos. A interrupção do ataque químico foi feita com água corrente e secagem com jato de ar frio.

A aplicação do reagente Metabissulfito de Sódio foi feita através de imersão durante tempos entre 15 e 20 segundos, com secagem através de ar frio forçado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta primeira etapa são apresentados e discutidos os resultados obtidos no trabalho experimental de metalografia, sob um aspecto qualitativo, referente à identificação das fases constituintes do material e observações morfológicas dessas estruturas, através dos ataques químicos realizados.

Foi constatado que o processo de preparação de amostras para análise metalográfica e os procedimentos de ataques químicos são extremamente sensíveis às diversas variáveis, tais como: a temperatura de realização do ataque, a proporção dos reagentes químicos utilizados, período de armazenagem dos reagentes químicos, o tempo de ataque e o modo como a amostra foi atacada. Dessa forma, também são discutidos parâmetros metalográficos e técnicas de ataques químicos utilizados, viabilizando a reprodutibilidade do experimento em outros laboratórios.

O ataque químico com reagente Nital 2% revelou as tonalidades preta, marrom claro e branca. Entretanto, as imagens foram capturadas em tons de cinza, para uma melhor visualização dos contrastes. Na Fig. 1 são apresentadas fotomicrografias ópticas ilustrando a microestrutura das amostras nas três condições de tratamento térmico: (A) material como fornecido, (B) material após austenitização a 850°C, durante 480 s e posterior tratamento isotérmico na temperatura de 338°C, durante 35 minutos e (c) Austenitização a 850°C com têmpera em óleo e revenimento a 400°C.

A microestrutura do material como fornecido (Fig. 1A) apresenta nas áreas escuras uma mistura de fases mais resistentes e enriquecidas de carbono (perlita, bainita e martensita), as áreas claras constituem a ferrita e a austenita. Na Fig. 1B, a área escura apresenta predomínio de bainita, devido ao tratamento isotérmico a 338°C e na Fig. 1C predomina na fase escura a martensita, com consequente acréscimo de dureza.

O ataque com reagente LePera mostrou-se eficiente para a identificação da fase bainita, revelada na coloração marrom escuro e do constituinte formado pelas fases martensita e austenita

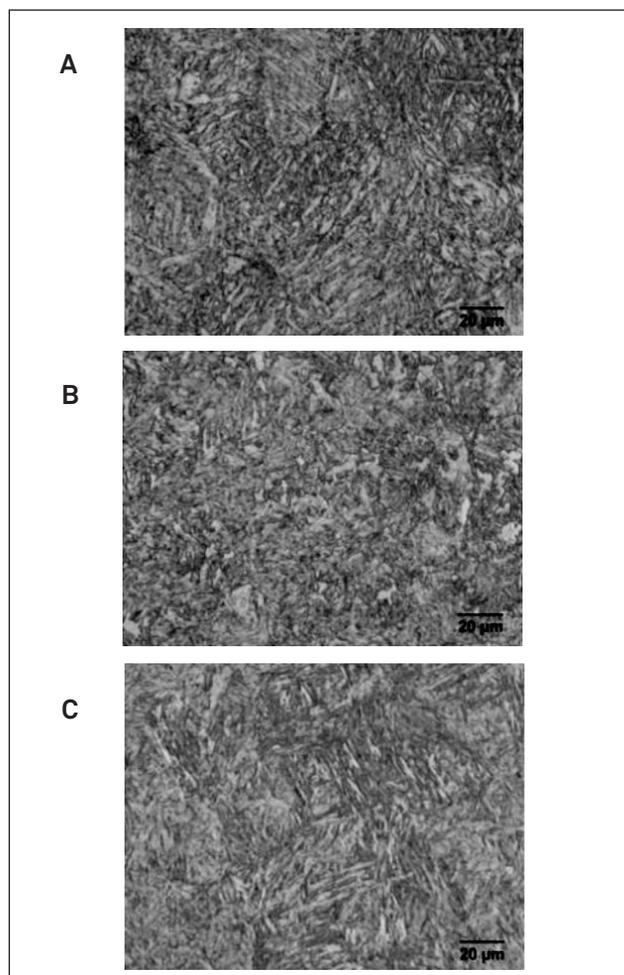


Figura 1: Fotomicrografia. (A) Aço AISI 4340 como fornecido, (B) Aço AISI 4340 bainítico, (C) Aço AISI 4340 martensítico submetidos ao ataque com Nital. (Ampliação 500 x).

retida, observadas em tonalidade clara. Comparando as três condições, observa-se que na micrografia do aço como recebido (Fig. 2A) há a presença de bainita (marrom escuro), em menor proporção. Na Fig. 2B há um aumento da área com essa tonalidade, indicando aumento acentuado da bainita. A Fig. 2C mostra que houve um grande aumento do constituinte M.A. (martensita + austenita), tornando a imagem generalizadamente mais clara.

O reagente LePera apresentou-se extremamente sensível as variações que envolvem o processo de ataque químico e, portanto, difícil de se reproduzir.

Na Fig. 3 estão representadas as fotomicrografias dos ataques com Metabissulfito de Sódio 10% das amostras do material nas três condições. Observa-se a austenita retida para os aços AISI 4340 com morfologia poligonal caracterizada pelas regiões brancas. Em comparação com a Fig. 3A, é possível perceber, tanto para o material submetido ao tratamento bainítico da Fig. 3B e o material que sofreu tratamento de têmpera da Fig. 3C, a diferença na morfologia da fase martensítica do material, apresentando-se em forma acicular, como consequência do efeito cisalhamento que caracteriza essa transformação.

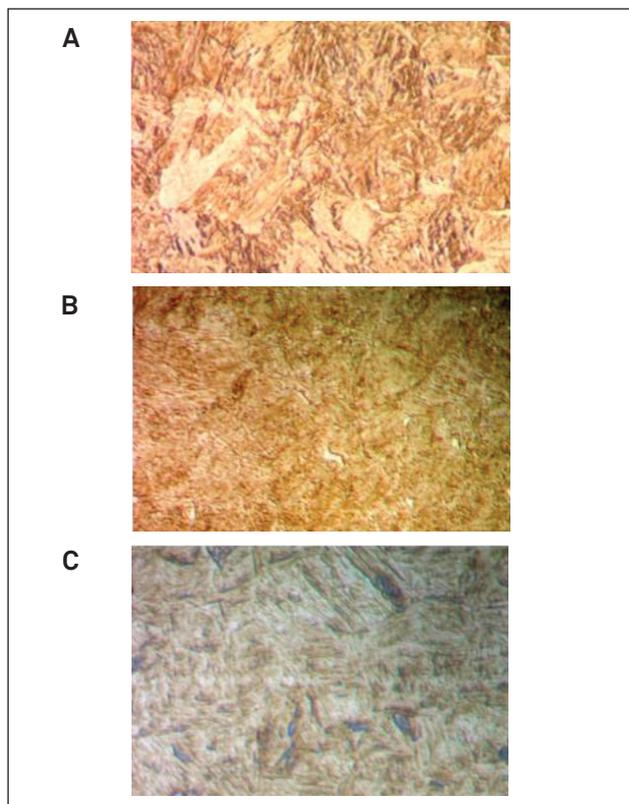


Figura 2: Fotomicrografia. (A) Aço AISI 4340 como fornecido, (B) Aço AISI 4340 bainítico, (C) Aço AISI 4340 martensítico submetidos ao ataque LePera. (Ampliação 1000 x).

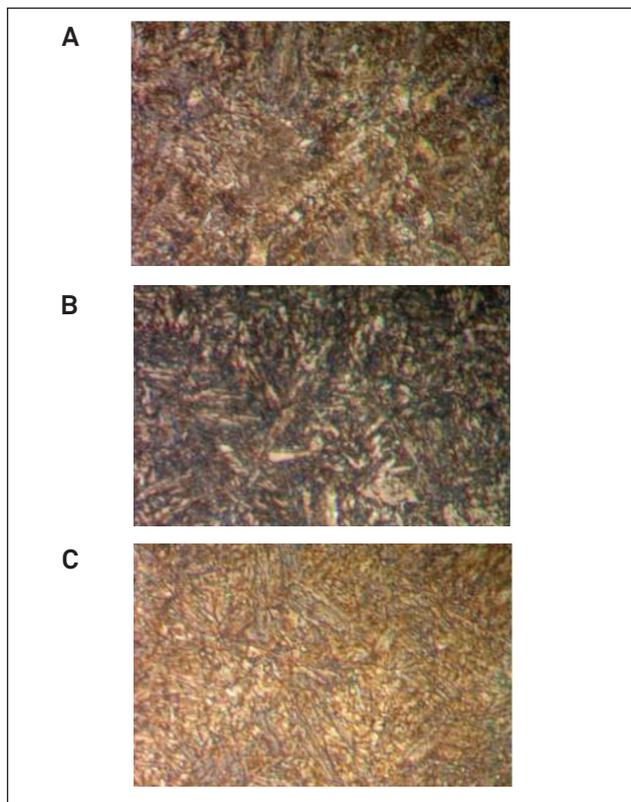


Figura 3: Fotomicrografia. (A) Aço AISI 4340 como fornecido, (B) Aço AISI 4340 bainítico, (C) Aço AISI 4340 martensítico submetidos ao ataque com Metabissulfito de Sódio 10%. (Ampliação 1000 x).

CONCLUSÕES

Com relação à caracterização microestrutural via microscopia óptica do aço AISI/SAE 4340, seja para a condição do material fornecido, como para o material submetido aos tratamentos térmicos, observa-se que as técnicas de ataque químico com o reagente Nital permitiram identificar as fases duras (martensita, bainita ou perlita) com tonalidade escura e a ferrita e austenita retida com tonalidade clara. O reagente LePera mostraram-se eficientes para a identificação da fase bainita (marrom mais escuro) e do constituinte MA(tons claros), formado pelas fases martensita e austenita retida.

O reagente Metabissulfito de Sódio 10% possibilitou a identificação da austenita retida de forma isolada, aparecendo nas imagens com tonalidade branca.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, ao CTA/IEAv, à FATEC de Pindamonhangaba e ao Departamento de Materiais da FEG/UNESP.

REFERÊNCIAS

1. ABDALLA, A. J.; ANAZAWA, R. M.; PEREIRA, M. S.; HASHIMOTO, T. M. Efeitos dos Tratamentos Intercríticos e Isotérmicos sobre as Propriedades Mecânicas e a Microestrutura do aço 300M. 2006, p. 93-97, Bauru – SP. Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo.
2. SOUZA, R. C. Estudo do comportamento em fadiga do aço ABNT 4340 revestido com carbeto de tungstênio pelo sistema HVOF/HP. 1998, 158p, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, FEG/UNESP, Guaratinguetá.
3. PRADO, J. S. A., Tratamento térmico e tenacidade de aços 300M e Maraging 300. 1990, Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA/CTA, São José dos Campos.
4. SOUZA, G. A. Caracterização microestrutural de um aço médio carbono e baixa liga (com estrutura bainítica/martensítica) via microscopia óptica. 2008, 161p, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, FEG/UNESP, Guaratinguetá.
5. CABALLERO, I.G., BHADSHIA, H.K.D.H., Design of novel high strength bainite steel. Materials Science Forum. Switzerland, v.426, p. 1337-1342, 2003.
6. CRETTEUR, L., KONUK, A.I. Heat treatments to improve weldability of new multiphase high strength steels. Materials Science Forum, v.426, p. 1225-1230, 2003.
7. MONDAL, D.K., DEY, R.M. Effect of grain size on the microstructure and mechanical properties of C-Mn-V dual-phase steel. Material Science and Engineering, A, n°149, p.173-181, 1992.