

# ESTUDO DE FLUÊNCIA EM AÇO SAE 4340<sup>1</sup>

Fernando José Scarparo<sup>2</sup>  
Danieli Aparecida Pereira Reis<sup>3</sup>  
Carlos de Moura Neto<sup>4</sup>

## Resumo

Aços constituem a categoria de material metálico mais utilizada industrialmente. Sua grande aplicação deve-se a diversos fatores, como produção em larga escala, baixo custo e, em especial, por possuírem uma vasta faixa de propriedades mecânicas. O aço SAE 4340 é tratável termicamente, baixa liga, contendo níquel, cromo e molibdênio, combina excelente temperabilidade com alta ductilidade, tenacidade e resistência, possui alta resistência à fadiga e à fluência. Com o objetivo de compreender o mecanismo de fluência do aço SAE4340 a 550°C, confeccionou-se corpos-de-prova de seção cilíndrica para execução de ensaios de fluência a 550°C com tensões de 200 MPa, 250 MPa e 300 MPa, a partir de uma barra de aço laminado SAE4340, na condição como recebido. Foram traçadas as curvas de fluência e determinadas as taxas de fluência  $\dot{\epsilon}$  para tais condições. O expoente de tensão,  $n$ , encontrado foi de 8,02, que é um indicativo que o mecanismo de fluência se dá por discordâncias. O aumento da temperatura e o aumento da tensão causam aumento exponencial da taxa e fluência.

**Palavras-chave:** SAE4340; Fluência; Aços.

## STUDY OF CREEP IN STEEL SAE4340

### Abstract

Steels constitute the most industrially utilized category of metallic material. Its larger application dues many factors, as large scale production, low cost, and for its large range of mechanical properties, among others. SAE4340 steels are heat treated, low alloy, with nickel, chrome and molybdenum. They combine excellent hardenability with high ductility, toughness and strength, is resistant to fatigue and creep. To understand the creep mechanism of SAE4340 steel at 550°C, test specimens were fabricated with cylindrical section for creep tests with 550°C and stresses of 200 MPa, 250 MPa and 300 MPa, obtained from a rolled bar in the “as received” condition. Creep curves were plotted, in order to evaluate the creep rate  $\dot{\epsilon}$  for the test conditions. The stress exponent,  $n$ , found was 8,02 and shows that the creep mechanism is through dislocations. Increasing temperatures and stresses cause the exponential increase of creep rate.

**Key words:** SAE4340; Creep; Steels.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Aluno de mestrado do ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

<sup>3</sup> Pós-doutora da Divisão de Engenharia Mecânica - Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

<sup>4</sup> Professor Associado da Divisão de Engenharia Mecânica - Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

## 1 INTRODUÇÃO

Aços são aplicados em vários componentes de uma aeronave. O MIG-25 é um exemplo de aeronave com todos os componentes estruturais feitos em aço. Atualmente, a aplicação dos aços na construção de aeronaves é limitada devido a seu alto peso específico, mas ainda são utilizados em componentes altamente solicitados, como trilhos das superfícies de controle, trens-de-pouso, prendedores, parafusos e fixação das asas e cauda com a fuselagem.<sup>(1)</sup> São considerados aços de ultra-alta resistência mecânica devido aos elevados valores dos limites de escoamento e resistência à tração. O aço 4340 apresenta boa forjabilidade e usinabilidade, facilidade para tratamento térmico e baixa susceptibilidade à fragilização por hidrogênio, além de resistência à fadiga, corrosão, corrosão sob tensão, nucleação e propagação de trincas.<sup>(2)</sup>

A importância técnica do fenômeno de fratura por fluência tornou-se evidente a partir da metade do século passado, sendo reconhecida como um dos maiores problemas da área industrial, devido ao crescente nível de exigência das condições de operação empregadas em usinas de geração de energia, instalações químicas e em componentes estruturais desenvolvidos junto às indústrias aeroespaciais.<sup>(3,4)</sup>

Nos últimos anos, os requisitos dos clientes de aeronaves comerciais têm conduzido à necessidade de obtenção de baixos custos de produção e também alto desempenho. *Creep Age Forming* é um dos processos de fabricação de revestimentos de partes como asas e fuselagens de jatos executivos com melhor custo efetivo. Esse processo utiliza a deformação por fluência em ligas de alumínio durante seu tratamento térmico.<sup>(5)</sup>

A fluência, tanto em metais como em não-metais, pode ser verificada diretamente por uma curva representando graficamente a relação entre a deformação e o tempo. O ensaio de fluência consiste em submeter um corpo-de-prova a uma carga (ou tensão) constante<sup>(6)</sup> e temperatura elevada. Devido à grande utilização do aço nas mais diversas indústrias e à escassez de resultados práticos de fluência na literatura, justifica-se o conteúdo deste trabalho, cujo objetivo é a compreensão do mecanismo de fluência e caracterização mecânica por meio de ensaios de fluência do aço SAE4340, conforme recebido.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para confecção dos corpos-de-prova foi utilizada uma barra redonda laminada de aço SAE4340 de 12,70 mm de diâmetro fornecida pela empresa GGD (Grupo Gonçalves Dias S/A), com tamanho de grão ASTM 8, 216 HB de dureza e composição química apresentada na Tabela 1. O material foi fornecido com certificado de qualidade número 024860 emitido em 15/10/2009.

**Tabela 1.** Composição química do aço 4340, conforme recebido

%	%	%	%	%	%	%	%	%
C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Cu
0,390	0,680	0,015	0,007	0,230	1,670	0,780	0,210	0,160

Os corpos-de-prova foram usinados pela empresa Enifer Usinagem e Indústria Ltda. EPP, com seção útil de 3,0 mm de diâmetro e 18,5 mm de comprimento. A Figura 1 ilustra um corpo-de-prova utilizado para os ensaios de fluência.

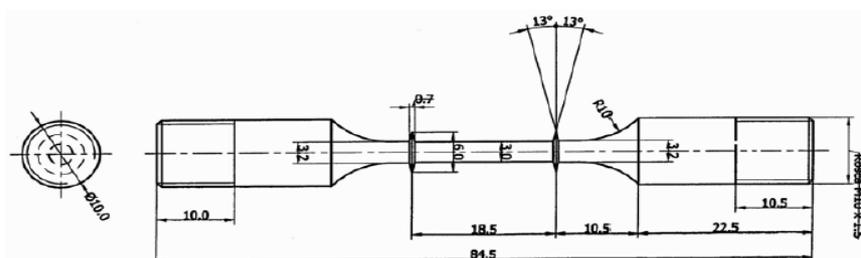


Figura. 1. Exemplo de corpo-de-prova para ensaio de fluência.

Para realização dos ensaios de fluência foram utilizados os fornos pertencentes ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA/CTA, da marca Mayes (Figura 2). Nos fornos foram adaptados sistemas elétricos e controladores, desenvolvidos segundo as exigências da norma ASTM E139/83.<sup>(7)</sup>

Foi utilizado o Software Antares III para a coleta de dados relativos ao alongamento dos corpos-de-prova e às medidas de temperatura em períodos de tempo pré-determinados. Para a obtenção das medidas de alongamento, foi utilizado um transdutor do tipo LVDT e o controle de temperatura foi feito através de termopar. O sinal de saída do LVDT foi enviado a uma unidade de processamento, que convertia os sinais em medidas de alongamento por períodos de tempo pré-definidos pelo operador e alimentava o Software Antares III.



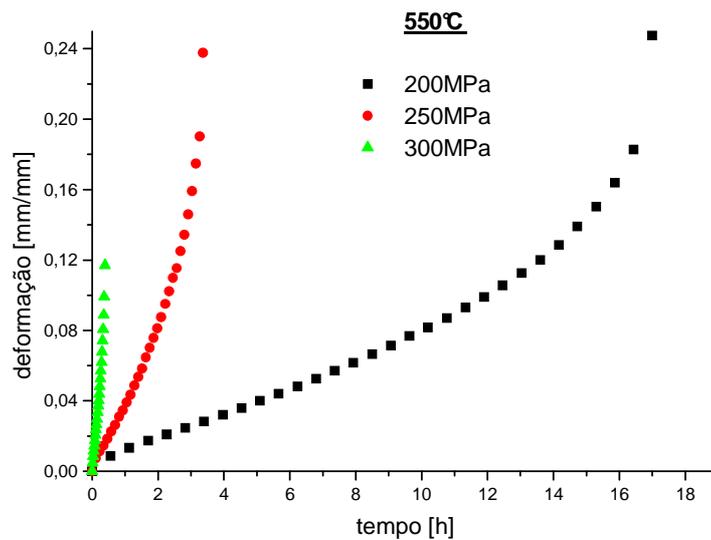
Figura.2. Forno de fluência utilizado nos ensaios.

### 3 RESULTADOS

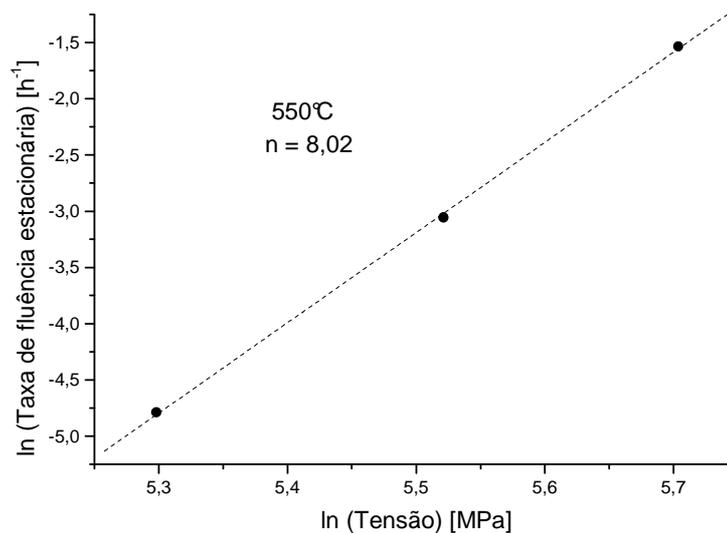
As curvas de fluência obtidas com os ensaios de fluência do aço SAE4340 estão representadas na Figura 3 para as condições de 550°C e 200 MPa a 300 MPa.

A curva representando a dependência da taxa de fluência estacionária com a tensão aplicada para 550°C é apresentada na Figura 4.

Os parâmetros experimentais obtidos dos ensaios realizados estão mostrados na Tabela 2.



**Figura 3.** Curvas deformação verdadeira x tempo a 550°C e 200 MPa a 300 MPa.



**Figura 4.** Dependência da taxa de fluência estacionária com a tensão aplicada para 550°C.

**Tabela 2.** Parâmetros experimentais de fluência para T=550°C

Tensão [MPa]	$t_p$ [h]	$\dot{\epsilon}_s$ [ $h^{-1}$ ]	$t_f$ [h]	$\epsilon_f$ [mm/mm]	RA (%)
200	2,83	0,0083	17,00	0,2476	49,6
250	0,58	0,0470	3,37	0,2378	51,9
300	0,07	0,2155	0,38	0,1169	49,3

#### 4 DISCUSSÃO

As curvas de fluência (Figura 3) para o aço SAE 4340 apresentaram os estágios primário, secundário e terciário bem definidos.



A Tabela 2 apresenta a relação dos principais parâmetros experimentais obtidos a 550°C, a partir das curvas experimentais, em que  $\sigma$  é a tensão aplicada,  $\dot{\epsilon}_s$  corresponde à taxa de fluência estacionária, obtida a partir da inclinação da região linear na curva de fluência (estágio secundário). O valor de  $t_p$  corresponde ao tempo primário, é obtido no final do estágio primário e/ou início do estágio secundário. O valor  $t_f$  é o tempo final de fratura,  $\epsilon_f$  corresponde à deformação de fratura e RA a redução em área. Observando-se os valores das taxas de fluência apresentados na Tabela 2, nota-se que, para maiores valores de tensão há um aumento da taxa de fluência ( $\dot{\epsilon}_s$ ), pois aumento da temperatura e/ou aumento da tensão causam aumento exponencial da taxa de fluência.

O expoente de tensão,  $n$ , encontrado na Figura 4, foi de 8,02, que é um indicativo que o mecanismo de fluência se dá por discordâncias.

## 5 CONCLUSÃO

As curvas de fluência para o aço SAE 4340 consistiram dos estágios primário, secundário e terciário bem definidos. Observando-se os valores das taxas de fluência obtidos, nota-se que, para maiores valores de tensão há um aumento da taxa de fluência ( $\dot{\epsilon}_s$ ), pois o aumento da tensão causa um aumento na taxa de fluência.

O expoente de tensão,  $n$ , encontrado foi de 8,02, sendo um indicativo que o mecanismo de fluência se dá por discordâncias.

## Agradecimentos

Instituto tecnológico de Aeronáutica, pelas instalações e equipamentos utilizados na execução dos ensaios de fluência.

## REFERÊNCIAS

- 1 LOPES, J. C. O., Material Selection for Aeronautical Structural Application. Ciência & Tecnologia dos Materiais, v. 20, n°3/4, 2008.
- 2 P. R. N. Pivato, A. J. Abdalla, C. A. R. P. Baptista, T. M. Hashimoto, M. S. Pereira, R. M. Anazawa: Estudo Comparativo do Comportamento Mecânico em Tração e Fadiga de Aços com Microestruturas Multifásicas. 17º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.
- 3 D. A. P. Reis, C. R. M. da Silva, M. C. A. Nono, M. J. R. Barboza, F. Piorino Neto, G. V. Martins: Sistema para ensaio de fluência em atmosfera controlada. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.
- 4 Reis, D. A.P., 2005, Efeito do recobrimento cerâmico e da atmosfera de ensaio na fluência de liga metálica refratária de titânio, Tese de Doutorado, INPE - São José dos Campos, 2005.
- 5 T. Adachi, S. Kimura, T. Nagayama, H. Takehisa, M. Shimanuki: Age Forming Technology for Aircraft Wing Skin. Materials Fórum, v. 28, Japan, 2004.
- 6 Shibuya, N. H., Fluência de Nitreto de Silício, Tese de Mestrado, Curso de Engenharia Aeronáutica e Mecânica – ITA, São José dos Campos – SP, 1998.
- 7 American Society for Testing and Materials (ASTM). E139-83. Standard practice for conducting creep, creep-rupture and stress-rupture tests of metallic materials. Philadelphia, 1995.