

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DA SUPERLIGA INCONEL 718 A 650°C SOB TENSÃO DE 510 A 625 MPa¹

Fabiana de Souza Neto²
Erika Peterson Gonçalves³
Karina Martinolli⁴
Danieli Aparecida Pereira Reis⁵
Carlos de Moura Neto⁶

Resumo

Durante a operação de um motor aeronáutico, os materiais utilizados são expostos a ambientes hostis devendo apresentar elevada resistência mecânica, boa resistência à fadiga, à fluência e à corrosão e capacidade de operar continuamente em elevadas temperaturas. Para entender o comportamento mecânico desses materiais são necessários ensaios que reproduzam as condições de operação desses motores. Para estudar o comportamento em fluência, a superliga Inconel 718 - material amplamente usado em motores aeronáuticos - foi submetida às tensões de 510 MPa e 625 MPa à temperatura constante de 650°C. Com os resultados dos ensaios, foi determinada a curva com comportamento típico em fluência sendo observada uma dependência direta entre a tensão e a resistência à fluência, assim como o tempo de vida. A liga de Inconel 718 submetida ao ensaio de fluência na condição de menor tensão apresentou uma maior resistência à fluência do que a liga que foi submetida ao ensaio de fluência em uma condição de maior tensão. Pela observação da fratura sofrida pelo material, pode-se notar que o mecanismo de fratura atuante foi a fratura dúctil, com a presença de *dimples* e microcavidades de média profundidade.

Palavra-chave: Inconel 718; Fluência; Temperaturas elevadas.

EVALUATION OF MECHANICAL BEHAVIOR OF INCONEL 718 SUPERALLOY AT 650°C AND 510 AND 625 MPa

Abstract

During the operation of an aeronautical engine, materials are exposed to a hostile environment, for which they must present high mechanical resistance, good fatigue, creep and corrosion performance and capability to sustain continuous operation at high temperatures. To understand the mechanical performance of such materials, tests that emulate engine operational conditions are needed. To study its creep performance, Inconel 718 superalloy – a material largely used in aeronautical engines – was stress tested at 510 and 625 MPa at a constant 650°C temperature. With the test results, a typical creep performance curve was determined, and a direct dependance between stress and creep resistance was observed, as well as lifetime. The Inconel 718 alloy test subject subjected to the creep test in the lower stress condition presented higher creep resistance than the one that was subjected to the higher stress condition. By observing the fracture presented by the material, one can notice that a ductile fracture mechanism occurred, presenting dimples and medium depth microcavities.

Keywords: Inconel 718; Creep; High temperature.

¹ Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Graduação Engenharia Aeronáutica, Universidade do Vale do Paraíba (Univap), São José dos Campos, SP, Brasil.

³ Graduação em Engenharia de Materiais, Universidade do Vale do Paraíba (Univap), São José dos Campos, SP, Brasil.

⁴ Graduação em Engenharia Aeronáutica, Mestra. Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, SP, Brasil.

⁵ Formação em Engenharia Química. Professora Adjunta. Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), Sócia Titular da ABM, São José dos Campos, SP, Brasil.

⁶ Formação em Engenharia Metalúrgica. Professor Associado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Sócio Titular da ABM, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

As turbinas a gás operam em diversas condições de temperatura e tensão. Em algumas regiões, a temperatura passa dos 600°C, devendo ser utilizados materiais especiais, que resistam a essas temperaturas sem falhar. A superliga INCONEL 718 é amplamente utilizada na indústria aeroespacial devido à sua elevada resistência a altas temperaturas. Com o passar dos anos, as turbinas a gás apresentaram um aumento da eficiência e conseqüentemente, um aumento da temperatura de operação, por isso, é necessária a melhoria do comportamento em fluência das superligas usadas.⁽¹⁾

As superligas de Inconel, geralmente apresentam elementos como alumínio, titânio, nióbio, cobalto, cobre e tungstênio, que aumentam a resistência à corrosão, mecânica e influenciam o mecanismo de fluência. A presença de fases, como por exemplo a γ' , proporciona as ligas Inconel 718 propriedades mecânicas interessantes para aplicações onde a resistência à fluência é um fator limitante.⁽²⁾

O efeito do fenômeno de fluência é verificado em componentes rotativos com alta sollicitação mecânica e elevada temperatura, sendo esse fenômeno associado à deformação plástica de sólidos, dependente do tempo, sob condições de tensão ou carga constantes. Erro! Indicador não definido. Trabalhos realizados mencionam que as propriedades mecânicas do Inconel 718, sofrem aumento durante o ensaio devido à permanência em elevadas temperaturas, favorecendo o envelhecimento da liga.⁽³⁾

Neste trabalho estudou-se o comportamento mecânico da liga Inconel 718 na temperatura de 650°C e nas tensões de 510 e 625 MPa, sendo analisados os parâmetros referentes ao estágio II da curva de fluência. Foi determinada a taxa mínima de fluência ($\dot{\epsilon}_m$), por ser um dos parâmetros mais importantes a ser considerado em um projeto de componentes estruturais em temperaturas elevadas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 A Superliga Inconel 718

Para a realização deste trabalho, foi utilizada a superliga de níquel Inconel 718, na forma de barras cilíndricas, adquiridas junto à empresa Villares Metals S.A. O material foi obtido por fusão em forno VIM, refusão em forno VAR, tratamento térmico de homogeneização, forjamento a quente em matriz aberta para desbaste, laminação a quente de desbaste e laminação a quente de acabamento. Os corpos de prova foram confeccionados pela ENEFER Ltda., de acordo com as especificações da norma ASTM E139/06^(4,5) (Figura 1).

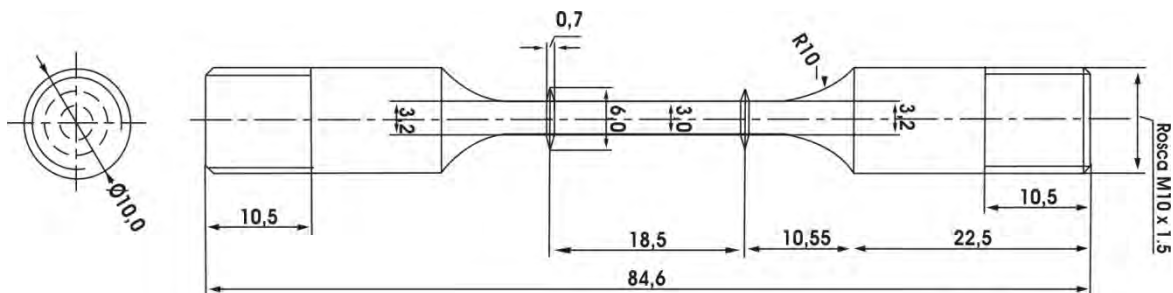


Figura 1. Norma – Corte de especificação técnica do corpo de prova.

De acordo com o fabricante, a liga apresenta a composição química mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do Inconel 718, como recebido (Villares Metals S. A.)

Concentração dos elementos							
Elemento (%peso)	Níquel	Cromo	Ferro	Nióbio	Molibdênio	Alumínio	Titânio
	55,09	17,86	16,85	5,73	2,98	0,82	0,67

2.2 Ensaio de Fluência

Os ensaios de fluência foram realizados no Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, utilizados fornos da marca MAYES. Os sistemas elétricos e controladores foram desenvolvidos pela BSW Tecnologia, Indústria e Comércio Ltda., dentro das exigências da norma ASTM E139/06.^(4,5)

Para se obter os dados do ensaio, foi utilizado o software Antares, desenvolvido em conjunto com a BSW Tecnologia, Indústria e Comércio Ltda. Os dados coletados do ensaio foram o alongamento do corpo de prova, temperatura e tempo do ensaio.

Os corpos de prova foram fixados no extensômetro, acoplado o LVDT (Linear Variable Differential Transformer) para a obtenção de dados do alongamento do corpo de prova. Após o forno atingir a temperatura de 650°C, foi aplicada no corpo de prova uma pré carga correspondente a 10% da carga total do ensaio por uma hora, após uma hora de pré carga, a carga total foi aplicada. O ensaio foi realizado a temperatura constante de 650°C e tensões de 510 e 625 MPa de tensão.



Figura 2. Forno de fluência utilizado.

3 RESULTADOS

3.1 Ensaio de Fluência

A Figura 3 apresenta uma comparação das curvas de fluência obtidas para a liga Inconel 718, como recebido, na temperatura constante de 650°C a tensões de 510 e 625 MPa.

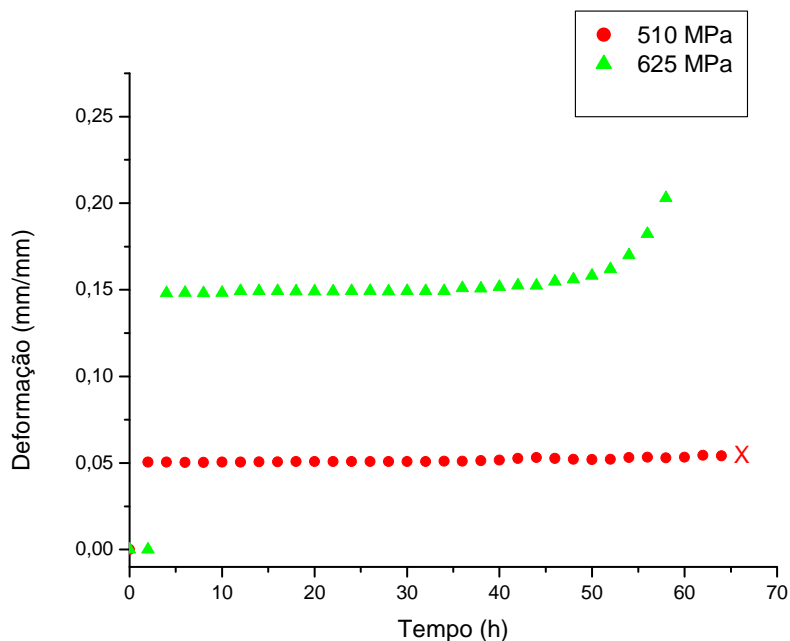


Figura 3. Curva de fluência obtida para a liga Inconel 718, como recebido, em temperatura constante de 650°C e cargas de 510 e 625 MPa.

A Tabela 2 apresenta a relação dos principais parâmetros experimentais obtidos a partir das curvas experimentais. O valor de t_p (tempo primário) corresponde ao tempo constante e é obtido no final do estágio primário e/ou início do estágio secundário, ϵ_s corresponde à taxa de fluência estacionária, obtida a partir da inclinação da região linear na curva de fluência (estágio secundário), o valor t_f é o tempo final de fratura, ϵ_f corresponde à deformação de fratura e RA, a redução percentual em área, na fratura.

Tabela 2. Dados do ensaio de fluência Inconel 718 como recebido

Temp (°C)	Tensão (MPa)	t_p (h)	ϵ_s (1/h)	t_f (h)	ϵ_f (mm/mm)	AR (%)
650	510	231	$5,45 \times 10^{-7}$	--	--	--
	625	48	$8,80 \times 10^{-6}$	480	0,2529	5,33

3.2 Análise Fractográfica

As Figuras 4 e 5 apresentam as imagens da análise fractográfica da superliga Inconel 718 após ensaio de fluência a 650°C e 625 MPa, após a ruptura.



Figura 4. Estudo da fratura em temperatura de 650°C com carga de 625 MPa – Visão geral.

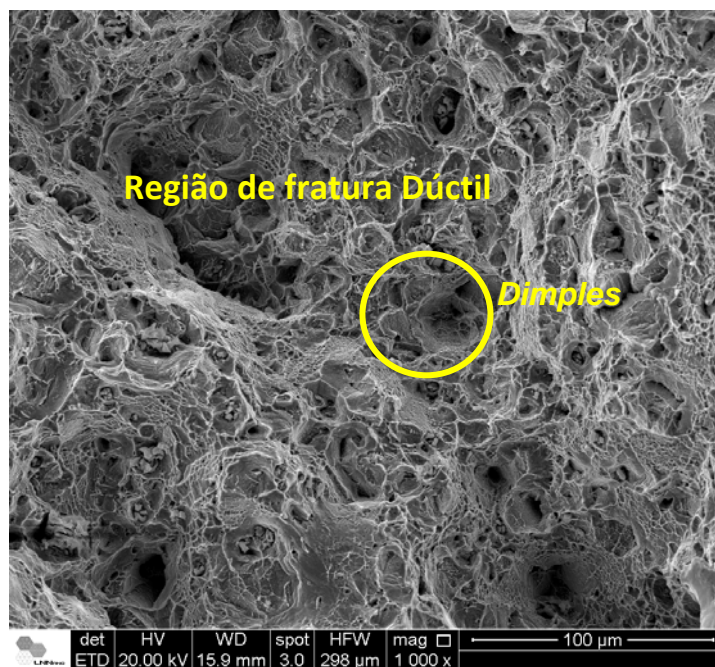


Figura 5. Estudo da fratura em temperatura de 650°C com carga de 625 MPa - Formação de *dimples* – Fratura Dúctil

4 DISCUSSÃO

A liga Inconel 718 apresentou uma curva típica de fluência com três estágios característicos para a condição de 625 MPa, que foi levada à ruptura. Na condição de 510 MPa prevaleceu o estágio secundário de fluência, que possui uma taxa de fluência praticamente constante. Este ensaio foi interrompido antes de sua ruptura. Observou-se uma dependência direta entre a tensão e a resistência à fluência, assim como o tempo de vida. Desta forma, a liga de Inconel 718 submetida ao ensaio de fluência na condição de menor tensão apresentou uma maior resistência à

fluência do que a liga que foi submetida ao ensaio de fluência em uma condição de maior tensão.

Pela observação da fratura sofrida pela liga que foi levada à fratura, pode-se notar que o mecanismo de fratura atuante foi a fratura dúctil, com a presença de *dimples* e microcavidades de média profundidade.

5 CONCLUSÃO

A superliga foi submetida a temperatura constante de 650°C e condições de tensão de 510 e 625 MPa, apresentando uma curva com comportamento típico em fluência. De acordo com a curva, é possível verificar a resistência à fluência, e determinar alguns parâmetros que são utilizados em projeto de novas turbinas a gás, como a taxa de fluência estacionária. Nas curvas de fluência é observada uma dependência direta entre a tensão e a resistência à fluência, assim como o tempo de vida, já que a condição de menor tensão apresentou uma maior resistência à fluência do que a condição de maior.

Através da observação da fratura sofrida pela liga que foi levada à fratura, pode-se notar que o mecanismo de fratura atuante foi a fratura dúctil, com a presença de *dimples* e microcavidades de média profundidade.

A aplicação de superligas de níquel é ampla em turbinas a gás, porém os estudos em fluência de superligas, em sua maioria, são realizados por instituições privadas, sendo escassos na literatura. Este estudo, portanto, contribui com dados experimentais do comportamento mecânico da superliga Inconel 718.

Agradecimento

Ao LNNS – Laboratório Nacional de Luz Sincrotron, pelas análises de microscopia eletrônica de varredura.

REFERÊNCIAS

- 1 Nabarro, F.R.N. Creep at very low rates. Metallurgical and Materials Transactions A, v.33, 2002
- 2 SCHUBERT, F., Temperature and time dependent transformation: application to heat treatment of high temperature alloys, ASM, Metals Park, 1983, p.3.
- 3 SANTOS, Karina Martinolli dos. Estudo do Comportamento em Fluência do Inconel 718 para aplicação em Turbinas a Gás. 2011. Dissertação de Mestrado em Aerodinâmica, Propulsão e Energia – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos
- 4 ASTM E-139/06, American Society For Testing And Materials, 1990, Surface Engineering, v. 5, Philadelphia.
- 5 ASTM E-8, American Association State Highway and Transportation Officials Standard - Annual Book of ASTM Standards.