



ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DA SUPERLIGA INCONEL 718 COMO RECEBIDO A 650°C

Karina Martinolli dos Santos²
Danieli Aparecida Pereira Reis³
Carlos de Moura Neto⁴
Ana Claudia de Oliveira Hirschmann⁵
Francisco Piorino Neto⁶
Roseli Sousa Felix⁷

Resumo

O ambiente hostil dos primeiros estágios das turbinas sugerem a utilização de materiais capazes de resistir a temperaturas elevadas. O objetivo do trabalho é determinar propriedades mecânicas da superliga Inconel 718 obtidas por meio de ensaio de tração a quente e ensaio de fluência. A superliga foi submetida a ensaios de tração a quente em 650°C e taxa de deformação de 0,5 mm/min ($2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$) seguindo a norma ASTM E-8. Foi obtida a curva de fluência e os parâmetros experimentais da região primária, secundária e terciária para a temperatura de 650°C.

Palavras-chaves: Inconel 718; Tração à quente; Fluência; Temperaturas elevadas.

STUDY OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF INCONEL 718 SUPERALLOY AS RECEIVED AT 650°C

Abstract

The hostile environmental of first turbine blades suggests the use of materials capable to resist in high temperatures. The aim of this study is to determine some mechanical properties of Inconel 718 superalloy obtained through hot tensile and creep tests. The superalloy was subjected to hot tensile and creep tests at 650°C and a strain rate of 0.5 mm/min ($2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$) according to ASTM E-8. It was obtained "creep curve" and the experimental parameters in the primarily, secondary and tertiary regions for 650°C

Key words: Inconel 718; Hot tensile test; Creep; High temperatures.

¹ *Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.*

² *Mestranda, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA*

³ *Doutora, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, Sócia Titular da ABM*

⁴ *Professor Associado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, Sócio Titular da ABM.*

⁵ *Doutora, Vale Soluções em Energia, VSE*

⁶ *Doutor, Instituto de Aeronáutica e Espaço - Divisão de Materiais, IAE-AMR*

⁷ *Aluna de Iniciação Científica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA*

1 INTRODUÇÃO

A busca por soluções energéticas mais eficientes e, em alguns casos, capazes de gerar autonomia nos diversos tipos de setores industriais, é uma tendência mundial na atualidade. Neste cenário, as turbinas a gás são uma boa alternativa para a geração de energia.⁽¹⁾

Durante a operação da turbina a gás, o material utilizado na turbina é exposto a diversas condições ambientais. O desenvolvimento de materiais estruturais utilizados em turbinas a gás é incentivado pelo desafio de se utilizar materiais inovadores capazes de suportar ambientes hostis sem diminuição do desempenho. Turbinas a gás são frequentemente sujeitas a danos por corrosão, condições de oxidação e erosão e, em algumas partes, a temperaturas demasiadamente elevadas.⁽²⁾ A escolha do material utilizado na turbina teve ter, como primeiro requisito a ser cumprido, uma elevada resistência à fluência em temperaturas elevadas.⁽¹⁾

As superligas de níquel foram desenvolvidas para resistir a temperaturas elevadas sem perder a resistência mecânica. O estudo sobre o comportamento do Inconel durante deformação em altas temperaturas é complexo, pois há mudanças dos parâmetros de processamento termomecânicos e com as condições de trabalho.

2 MATERIAL E MÉTODOS

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. (Sumaré-SP). O material foi obtido por fusão em forno VIM, refusão em VAR, tratamento térmico de homogeneização, forjamento a quente em matriz aberta para desbaste, laminação a quente de desbaste e laminação a quente de acabamento.

A caracterização quanto à composição química dos principais elementos (%p), atende aos requisitos da norma ASTM B265-89,⁽³⁾ conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química da superliga Inconel 718

Elementos Químicos	Ni	Cr	Fe	Nb	Mo	Al	Ti
(% p)	55,09	17,86	16,85	5,73	2,98	0,82	0,67

Foi realizado um ensaio de dureza na escala de microdureza Brinell, com um penetrador de 2,5 mm e com carga de 62,5 kg durante 15 segundos. O ensaio foi realizado na Vale Soluções em Energia (VSE). A Tabela 2 mostra os dados do ensaio.

Tabela 2. Valores do ensaio de dureza da superliga Inconel 718

		Ensaio 1 Dureza(HV)	Ensaio 2 Dureza(HV)	Ensaio 3 Dureza(HV)	Ensaio 4 Dureza(HV)	Ensaio 5 Dureza(HV)
Transversal	Centro	147,38	143,63	146,59	149,77	151,39
	Borda	168,50	169,60	168,47	169,40	170,13
Longitudinal		252,08	256,19	260,43	256,70	253,13

Realizado o ensaio de tração a quente, o corpo de prova foi preparado através de procedimentos convencionais de metalografia. Para a obtenção de imagens da

superfície do Inconel 718 foi utilizado um microscópio ótico. Para a fratura dos corpos-de-prova foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura (MEV). Foram utilizados um microscópio ótico Leica modelo DMRXP (VSE) e um microscópio eletrônico de varredura da marca LEO modelo 435 VPI.

2.1. Ensaio de Tração a Quente

A superliga Inconel 718 foi analisada em corpos de prova sob condições de tração a quente em temperaturas de 650°C e taxa de deformação de 0,5 mm/min ($2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$) seguindo a norma ASTM E-8,⁽⁴⁾ na empresa Vale Soluções em Energia (VSE) localizada em São José dos Campos (SP). A geometria e dimensão são mostradas na Figura 1.

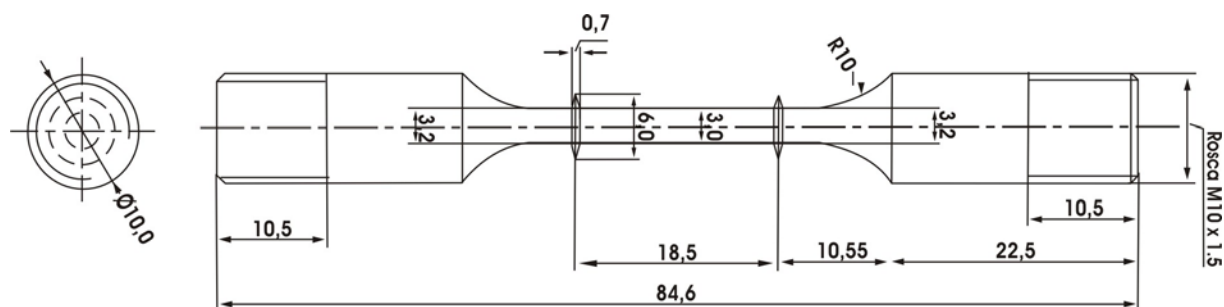


Figura 1. Corpo-de-prova para teste de tração a quente.

Os corpos de prova foram fixados através de suas roscas em uma máquina estática MTS de 200 kN de capacidade. Após o forno atingir a temperatura de 650°C, o corpo de prova foi tracionado até ruptura.

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., segundo as exigências da norma ASTM E139/83.⁽⁵⁾

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

O corpo de prova utilizado no ensaio de fluência foi o mesmo utilizado no ensaio de tração a quente. Os corpos de prova foram fixados através de suas roscas na máquina de fluência. Foi fixado um extensômetro nas abas do corpo de prova. Após o forno atingir a temperatura de 650°C, o corpo de prova foi tracionado com 10% da carga total do ensaio, durante uma hora. Após uma hora de ensaio, a carga total foi colocada, para atingir a tensão do ensaio.

3 RESULTADOS

3.1 Microscopia óptica

Foi realizada a microscopia óptica da superliga Inconel 718 para o centro e a borda da amostra. Para a revelação da microestrutura, as amostras foram atacadas com uma solução (reagente Glycerégia) na proporção de 3: HCL, 2: Glicerol, 1: HNO₃, com tempos de imersão em torno de 15 s. A Microscopia óptica foi realizada na Vale Soluções em Energia (VSE).

A Figura 2 apresenta a microscopia óptica da superliga Inconel 718 como recebido (centro).

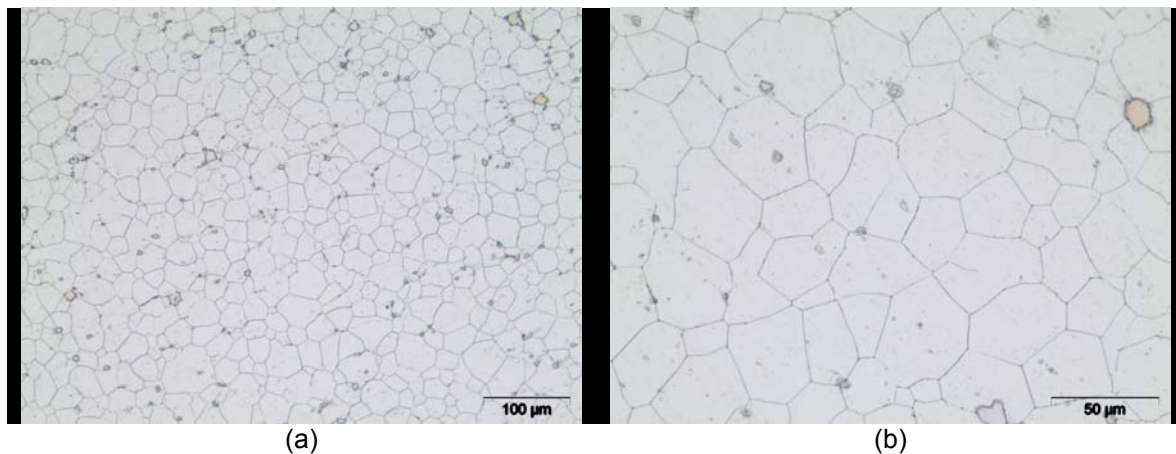


Figura 2. Microestrutura da superliga de Inconel 718, como recebido (centro).

A Figura 3 apresenta a microscopia óptica da superliga Inconel 718 como recebido (borda).

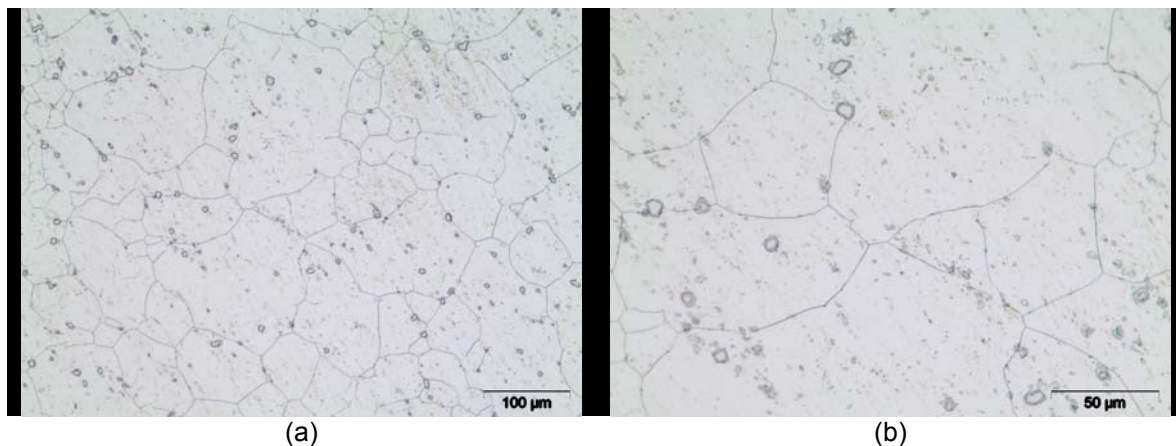


Figura 3. Microestrutura da superliga de Inconel 718, como recebido (borda).

3.2. Ensaio de Tração à Quente

A Figura 4 apresenta a curva Tensão x Deformação obtida para a superliga Inconel 718.

Ensaio de Tração a Quente - 650°C

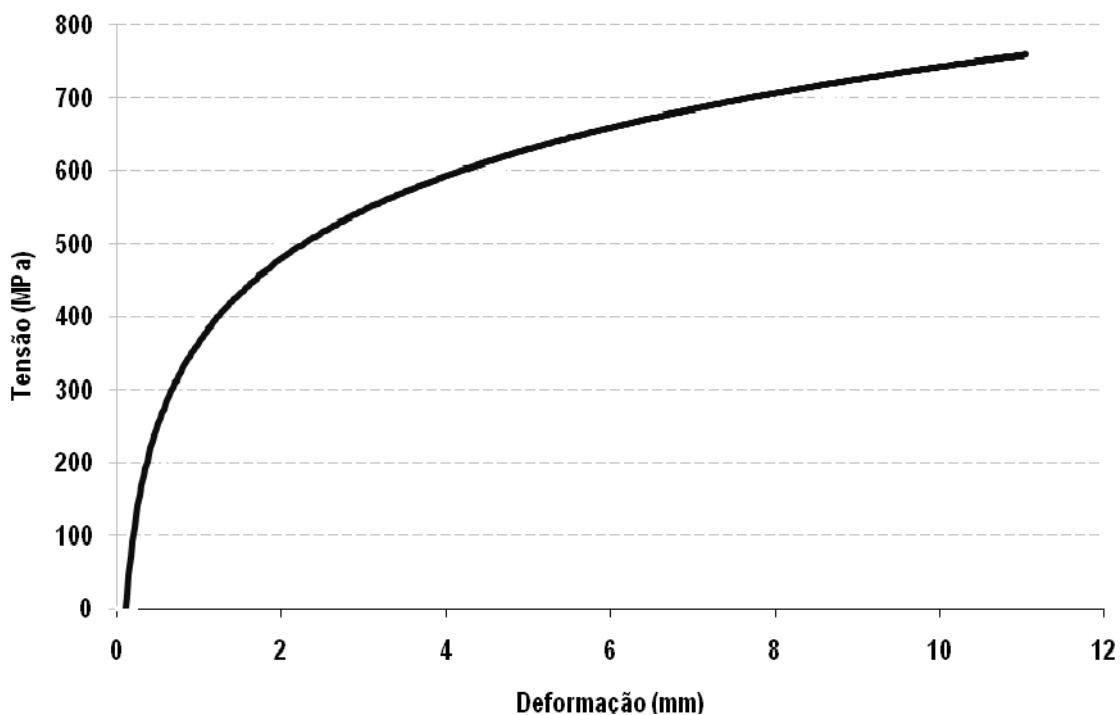


Figura 4. Curva tensão x deformação obtida para a liga Inconel 718 a 650°C.

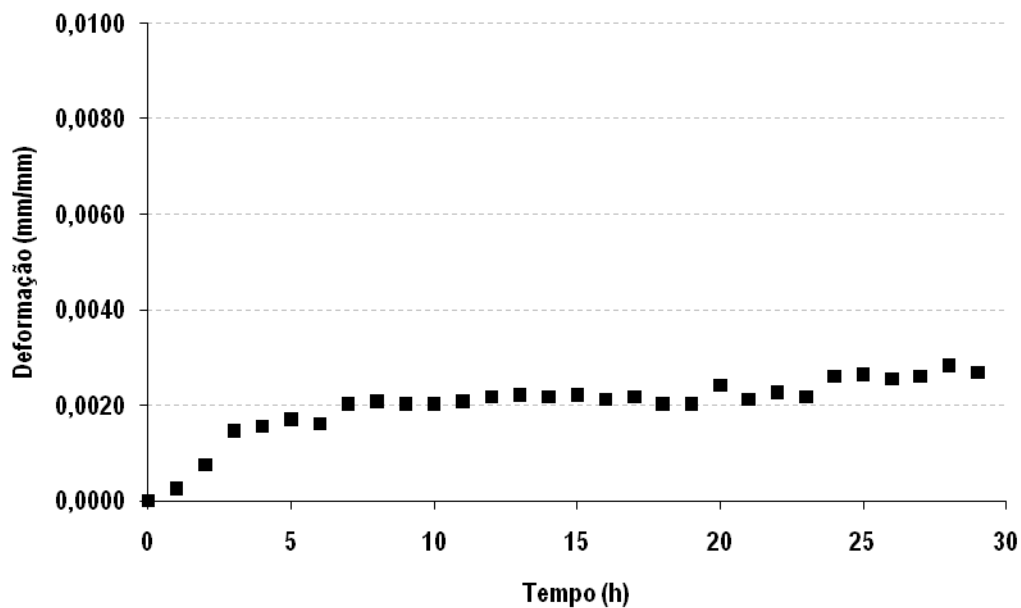
A Tabela 3 apresenta os valores relativos ao limite de escoamento (σ_{ε}) e limite de resistência ($\sigma_{\text{máx}}$).

Tabela 3. Ensaio de tração a quente da superliga Inconel 718, como recebido

Temperatura (°C)	σ_{ε} (MPa)	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)
650	300	760

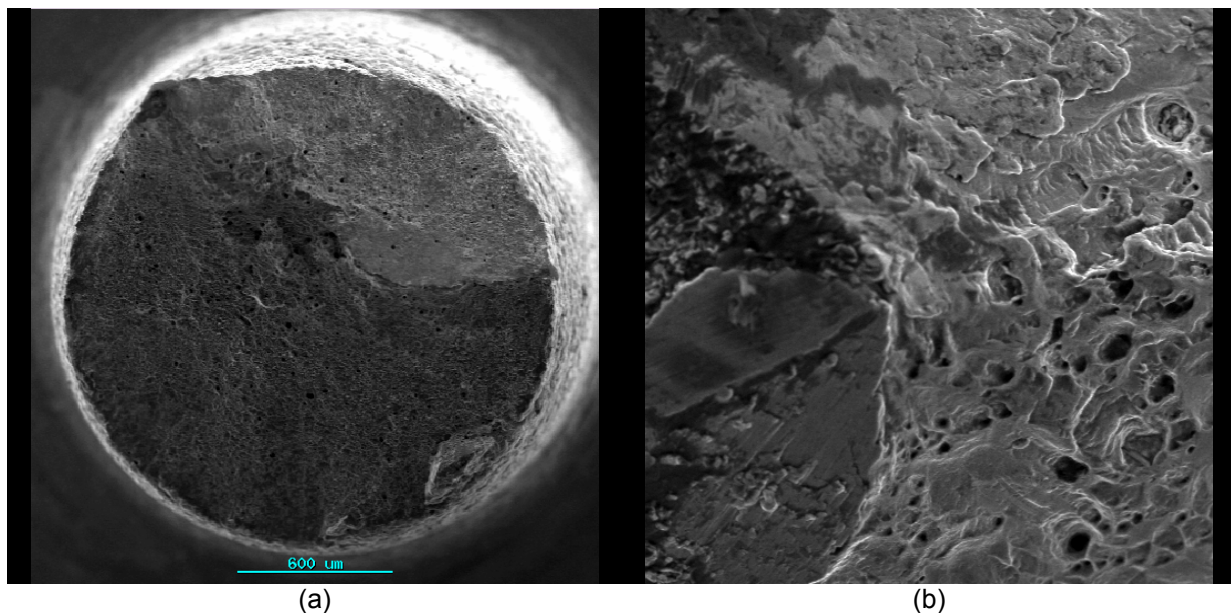
3.3 Ensaio de Fluência

A Figura 5 apresenta a curva de fluência para 650°C da superliga Inconel 718.

Curva de Fluência do Inconel 718 - 650°C

Figura 5. Curva de fluência para 650°C da superliga Inconel 718.

3.4 Microscopia Eletrônica de Varredura - Tração a Quente a 650°C

A Figura 6 apresenta a microscopia eletrônica e varredura da superliga Inconel 718 como recebido (a) visão geral e (b) borda.


Figura 6. Microestrutura da liga de Inconel 718, como recebido (a) visão geral e (b) borda.

A Figura 7 apresenta a microscopia eletrônica e varredura da superliga Inconel 718 como recebido (a) centro e (b) borda.

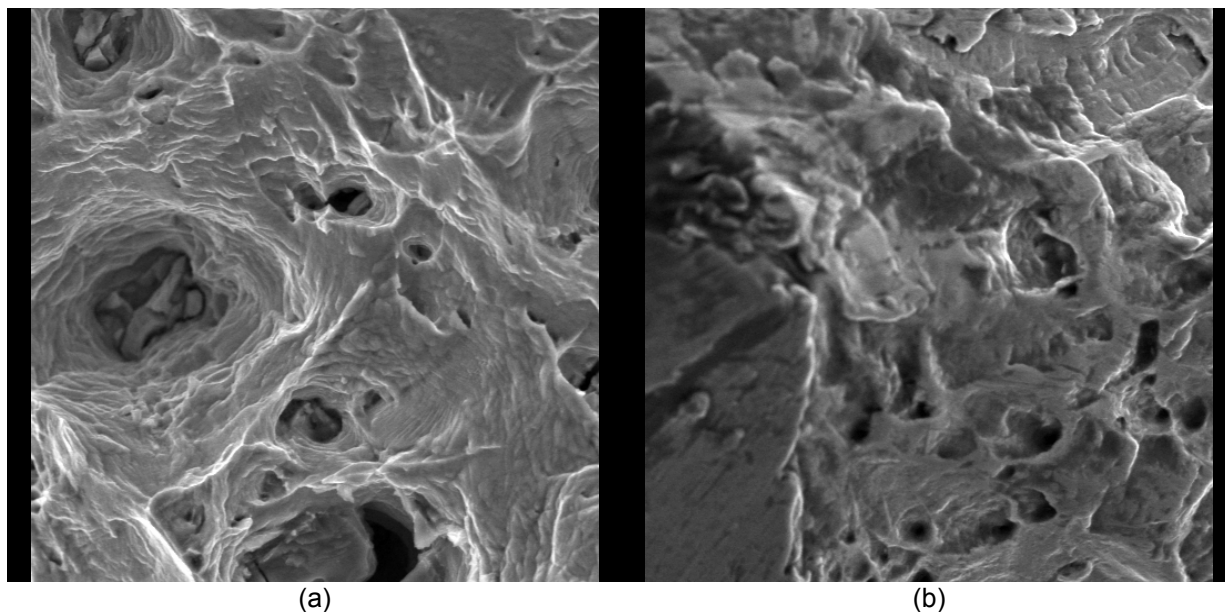


Figura 7. Microestrutura da liga de Inconel 718, como recebido (a) centro e (b) borda.

4 DISCUSSÃO

Na microscopia óptica realizada (Figura 2 e 3), foi possível observar na superfície do Inconel 718 grãos heterogêneos e alguns precipitados. Pode-se notar uma pequena fração de partículas de carbonetos distribuídas de maneira não uniforme pela matriz. A fase γ aparece mais clara nas micrografias em relação à fase γ' (em pequena quantidade, porque não houve um tratamento térmico de envelhecimento).⁽⁶⁾

Na curva Tensão x Deformação obtida a 650°C (Figura 4) durante o ensaio de tração a quente, pode ser verificado uma curva típica para os metais. O baixo limite de escoamento do material se deve ao fato de que o material não apresenta nenhum tipo de tratamento térmico, tornando o material menos resistente à fratura quando tracionado. Na Tabela 3 observa-se o limite de escoamento obtido de 300 MPa.

O comportamento de fluência apresentado na Figura 5 a temperatura de 650°C mostra uma alta resistência do material a fluência, apresentando baixa deformação.

Nas Figuras 6 e 7, o exame das superfícies de fratura por microscopia eletrônica de varredura dos corpos-de-prova de tração evidencia o mecanismo de fratura intergranular.

5 CONCLUSÃO

A liga Inconel 718 apresentou microestrutura com grãos heterogêneos e alguns precipitados. A liga apresentou um limite de escoamento a 650°C de 300 MPa, com uma curva típica para metais e uma alta resistência do material a fluência, apresentando baixa deformação. O exame das superfícies de fratura por microscopia eletrônica de varredura dos corpos-de-prova de tração evidenciou o mecanismo de fratura intergranular.

Agradecimentos

À Vale Soluções em Energia pelo apoio financeiro.
Ao INPE pela microscopia eletrônica de varredura.



Ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica, pela infraestrutura e suporte acadêmico.

REFERÊNCIAS

- 1 GIAMPAOLO, T. " The gas turbine handbook: Principles and practices "2. ed., Marcel Dekker, Inc. 2002.
- 2 BACKMAN, D.G., JAMES C. WILLIAMS, J. C., Advanced Materials for Aircraft Engine Applications, SCIENCE VOL. 255, 1082-1087, 1992
- 3 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Philadelphia. B 265-89. Standard specification, sheet and plate. Philadelphia, 1990.
- 4 ASTM E-8, American Association State Highway and Transportation Officials Standard - Annual Book of ASTM Standards.
- 5 ASTM E-139/83, American Society For Testing And Materials, 1990, Surface Engineering, v. 5, Philadelphia.
- 6 SUGAHARA, T., MOURA NETO, C., REIS, D.A.P, HIRSCHMANN, A.O., PIORINO NETO, F. Estudo do comportamento em fluência da superliga Inconel 718, ENCITA 2009, São José dos Campos.