

ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DA SUPERLIGA INCONEL 713C EM TEMPERATURAS ELEVADAS¹

Roseli Sousa Félix²
Ana Claudia de Oliveira Hirschmann³
Carlos de Moura Neto⁴
Caio Tavares⁵
Maria Margareth da Silva⁶
Danieli Aparecida Pereira Reis⁶
Karina Martinolli dos Santos⁷

Resumo

Superligas são conhecidas desde a década de 1930, e utilizadas principalmente em aplicações aeroespaciais. Essas aplicações requerem um material com elevada resistência mecânica, boa resistência à fadiga e à fluência, boa resistência à corrosão e capacidade de operar continuamente em temperaturas elevadas. O objetivo deste trabalho é a determinação de propriedades mecânicas da superliga Inconel 713C obtidas por meio de ensaios de tração a quente. Propriedades, como limite convencional de escoamento para 0,2% de deformação plástica (σ_e), limite de resistência (σ_r) e alongamento específico uniforme (A), são parâmetros importantes no estudo do comportamento mecânico do material. A superliga foi submetida a ensaios de tração a quente nas condições de temperatura de 600, 650, 700 e 750°C. e taxa de deformação de 1,0 mm/min seguindo as recomendações da norma ASTM E-8.

Palavras-chaves: Inconel 713C; Tração a quente; Temperaturas elevadas.

STUDY OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF INCONEL 713C SUPERALLOY AT HIGH TEMPERATURES

Abstract

Superalloys are known since the 1930, and used primarily in aerospace applications. These applications require a material with high strength, good resistance to fatigue and creep, good corrosion resistance and ability to operate continuously at elevated temperatures. The aim of this study is to determine some mechanical properties of a superalloy Inconel 713C obtained from hot tensile testing. These properties, as the conventional limit flow to 0.2% plastic strain (σ_e), tensile strength (σ_r) and specific uniform elongation (A), are important parameters in studying the mechanical behavior of the material. The superalloy was subjected to hot tensile tests at 600, 650, 700 e 750°C. and a strain rate of 1.0 mm/min according to ASTM E-8.

Key words: Inconel 713C; Hot tensile test; High temperatures.

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

² Aluna de Iniciação Científica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA.

³ Doutora – Vale Soluções em Energia (VSE)

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

⁵ Mestre, Empresa Açotécnica S.A.

⁶ Professora Doutora, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA.

⁷ Mestranda, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das superligas teve seu início devido às necessidades de se obter um material resistente a temperaturas elevadas em meios agressivos. O interesse começou principalmente para aplicações aeronáuticas, onde já se conhecia toda a teoria em torno dos mecanismos e de parâmetros de projeto para os componentes utilizados em turbinas de aviões a jato. A indústria automotiva também manifestou interesse no desenvolvimento de tais ligas e, atualmente as emprega em componentes automotivos que trabalham nessas temperaturas.⁽¹⁾

As superligas de níquel constituem uma família de ligas destinadas a aplicações em temperaturas elevadas, já que mantêm boas propriedades mecânicas e resistência à corrosão até temperatura próximas do ponto de fusão. Isto é conseguido graças à combinação de uma matriz austenítica endurecida por solução sólida-fase γ com elevadas frações volumétricas de precipitados coerentes do tipo $\text{Ni}(\text{Ti}, \text{Nb}, \text{Ta})_3 \text{Al}$ – fase γ' .

Dentre as categorias de superligas, o Inconel 713C destaca-se devido as suas propriedades como: elevada resistência mecânica, boa resistência à fadiga e fluência, boa resistência à corrosão e capacidade de operar continuamente em temperaturas elevadas.^(2,3) Deste modo, o conhecimento de como se comportam os materiais submetidos às condições de resistência e alta temperatura é indispensável para a excelência da operação e segurança do projeto, podendo assim prevenir e evitar falhas catastróficas. Os ensaios de tração é uma importante ferramenta que fornecem informações para tal conhecimento

O ensaio de tração a quente determina propriedades como limite convencional de escoamento para 0,2% de deformação plástica (σ_e), limite de resistência (σ_r) e o alongamento específico uniforme (ϵ_u), que são parâmetros importantes no estudo do comportamento mecânico de um material. Este trabalho tem como objetivo a determinação de propriedades mecânicas da superliga Inconel 713C obtidas por meio dos ensaios de tração a quente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foi utilizada a superliga Inconel 713C doada pela empresa Açotécnica S.A., na condição microfundido. Os moldes cerâmicos na fundição convencional da superliga Inconel 713C foram produzidos pelo processo de fundição de precisão. Após o recebimento das amostras, os corpos-de-prova foram usinados na empresa Equitecs Ind. Equip. Lab. Ltda. (São Carlos-SP).

A composição da superliga Inconel 713C está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química da superliga Inconel 713C (fornecida pelo fabricante)

C (%p)	S (%p)	Mn (%p)	Co (%p)	Cr (%p)	Ni (%p)	Nb (%p)	Al (%p)	Ti (%p)	Mo (%p)
0,20	0,015	0,25	1,00	14,00	balance	2,80	6,50	1,00	5,20

Para a análise metalográfica, as amostras da liga de Inconel 713C, foram preparadas por meio de procedimentos convencionais. Para o embutimento a quente, utilizou-se uma resina fenólica fornecida pela Struers. Em seguida as amostras foram lixadas de acordo com a seguinte sequência de granas: 220, 500, 800, 1.200. O polimento final foi realizado com OP-A diluído 50% em volume em água destilada.

Para revelação da microestrutura, as amostras foram atacadas com uma solução na proporção de: 50 mL de HNO_3 , 50 mL de HCl e 50 mL de H_2O_2 de 2 V a 4 V e tempo de 5 segundos.

Após a preparação metalográfica, as amostras foram caracterizadas com o auxílio de microscopia óptica (MO).

Na Figura 1 pode ser observado que a microestrutura da liga de Inconel 713C (como recebido) é uma estrutura dendrítica.



Figura 1. Microestrutura da liga de Inconel 713C, como recebido.

2.1 Ensaio de Tração a Quente

A superliga foi submetida a ensaios de tração a quente nas condições de temperatura de 600°C, 650°C, 700°C e 750°C e taxa de deformação de 1 mm/min seguindo a norma ASTM E-8.⁽⁴⁾ Os corpos-de-prova foram confeccionados de acordo com a Figura 2. A tração a quente foi realizada na empresa Vale Soluções em Energia (VSE) por meio dos seguintes equipamentos: máquina TMS – capacidade 10kN; Forno MTS, com máximo de temperatura de 1.400°C com três zonas de temperatura; controlador de forno computadorizado; e software MTS, para aquisição de dados. Os ensaios foram conduzidos com velocidade de deslocamento do travessão fixadas em 1,0 mm/min até o rompimento do corpo-de-prova.

Foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura (MEV) para a obtenção de imagens da superfície de fratura dos corpos-de-prova.

O aumento da temperatura de trabalho resultou na diminuição do limite de escoamento do material. As imagens da superfície de fratura foram analisadas a fim de se relacionar a temperatura do ensaio com o tipo de mecanismo de fratura.

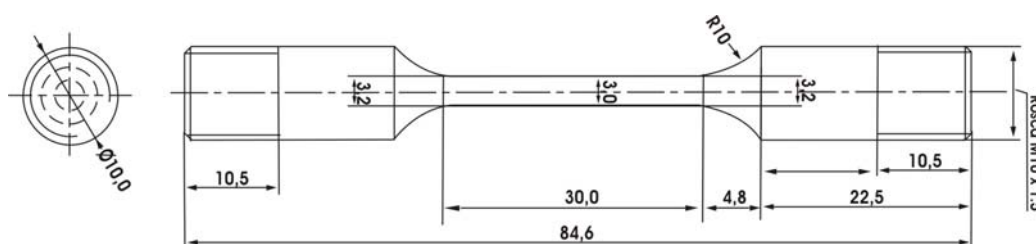


Figura 2. Corpo-de-prova para teste de tração a quente.

3 RESULTADOS

3.1 Ensaio de Dureza

A Tabela 2 apresenta o valor de dureza para a liga de Inconel 713C, que já era esperado, e que está próxima ao fornecido pela Açotécnica S.A..

Tabela 2. Ensaio de dureza na escala de microdureza Vickers do Inconel 713C (como recebido)

Superfície analisada	Dureza (HB)
Inconel 713C	260

3.2 Ensaio de Tração a Quente

Após realizada a tração a quente na liga obtiveram-se as curvas Tensão x Temperatura, como mostra a Figura 3.

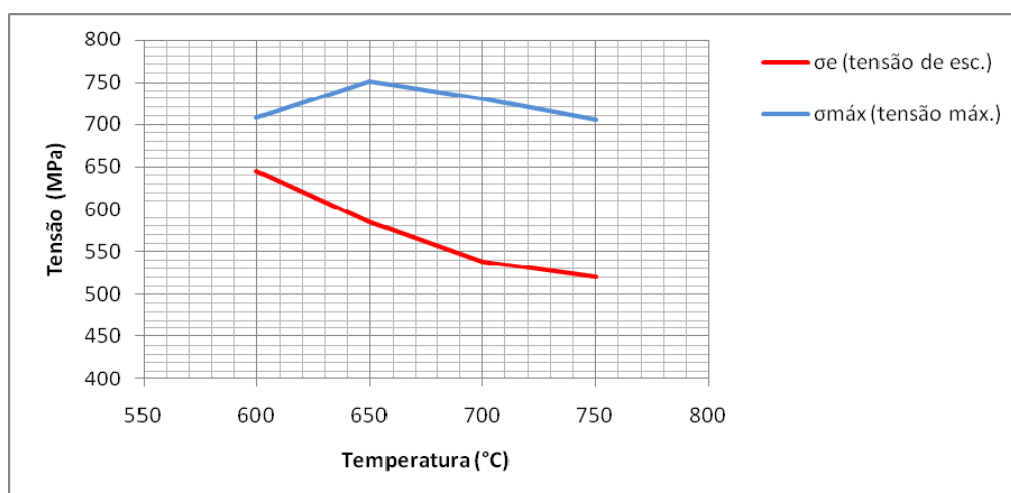


Figura 3. Curvas de Tensão x Temperatura, obtida para a liga Inconel 713C em temperaturas de 600°C, 650°C, 700°C e 750°C.

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

Tabela 3. Ensaio de tração a quente da liga de Inconel 713C como recebido

Temperatura (°C)	σ_e (MPa)	$\sigma_{máx}$ (MPa)
600	644,7	708,8
650	585,6	750,6
700	538,6	730,0
750	520,6	705,0

3.2 Análise Fractográfica

A análise fractográfica da superliga Inconel 713C, após ensaio de tração quente a 600°C e velocidade de 1,0 mm/min, é apresentada na Figura 4, obtida pela técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura.

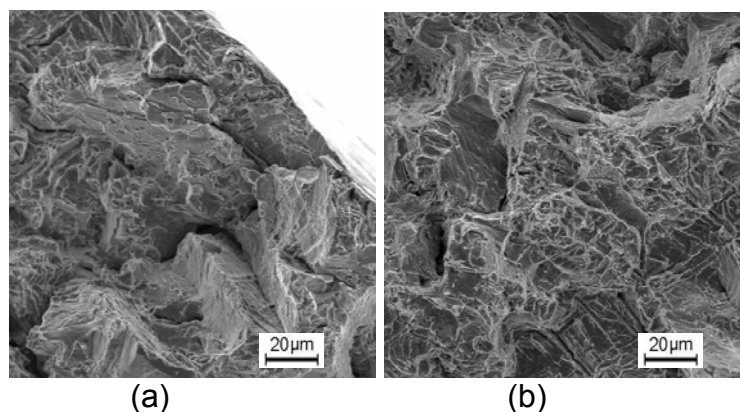


Figura 4 – Micrografia da superliga Inconel 713C (aumento de 500X) após ensaio de tração a quente a 600°C: a) região da borda; b) região central.

A análise fractográfica da superliga Inconel 713C, após ensaio de tração quente a 650°C e velocidade de 1,0 mm/min, é apresentada na Figura 5, e obtida pela técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura.

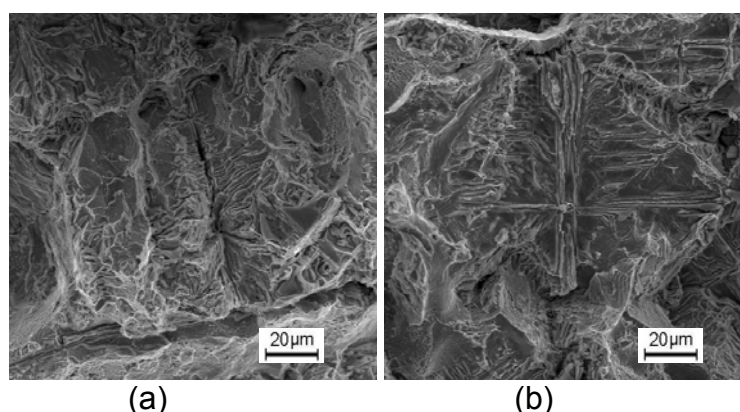


Figura 5 – Micrografia da superliga Inconel 713C (aumento de 500X) após ensaio de tração a quente a 650°C: a) região da borda; b) região central.

A análise fractográfica da superliga Inconel 713C, após ensaio de tração a quente a 700°C e velocidade de 1,0 mm/min, é apresentada na Figura 6, obtida pela técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura.

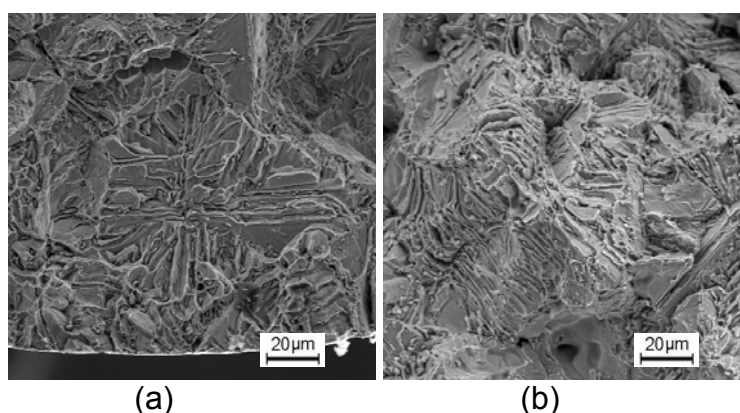


Figura 6 – Micrografia da superliga Inconel 713C (aumento de 500X) após ensaio de tração à quente a 700°C: a) região da borda; b) região central.

4 DISCUSSÃO

Na Figura 3, observam-se os limites de escoamento e tensão máxima. A partir deste gráfico pode-se verificar uma diminuição significativa do limite de escoamento conforme o aumento da temperatura, o que já era esperado. Pela Tab. 3 pode-se observar que o limite de resistência diminui conforme a temperatura.

Em todas as curvas tensão-temperatura determinadas no ensaio de tração a quente, a superliga Inconel 713C apresentou um comportamento típico de materiais metálicos.

As Figuras 4, 5 e 6 apresentam detalhes da superfície de fratura, evidenciando a presença de fratura dúctil e de fratura por clivagem (transgranular e intergranular).

5 CONCLUSÃO

O limite de resistência da liga Inconel 713C diminui com o aumento da temperatura; este comportamento já era esperado devido à degradação dos carbonetos.

A análise das superfícies de fratura dos corpos-de-prova próximas à superfície de fratura evidenciam uma região com fratura interdendrítica e microporosidade resultantes do processo de fundição.

Várias aplicações tecnológicas demandam o uso de materiais capazes de ter um bom comportamento mecânico em temperaturas altas. Este desempenho deve se manter constante durante longos períodos em temperaturas elevadas.

A liga Inconel 713C pode ser usada para temperaturas de até 800°C.

Agradecimentos

Ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica, (ITA), pelo apoio institucional e de infraestrutura.

À Vale Soluções em Energia, VSE, pelos ensaios de tração a quente.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa e suporte financeiro para realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 SIMS, T.S., STOLOFF, N., HAGEL, W.C. Superalloys II High Temperature Materials for Aerospace and Industrial Power, ed. *John Wiley*, New York, 1987.
- 2 KIM, D.H., KIM, J.H., SA, J.W, LEE, Y.S., PARK, C.K., MOON, S.I. Stress rupture characteristics of Inconel 718 alloy for ramjet combustor, *Materials Science and Engineering A*, 483-484, 262-265, 2008.
- 3 EZUGWU, E.O., WANG, Z.M., MACHADO, A.R. - The machinability of nickel-based alloys: a review. - *Journal of Materials Processing Technology* v. 86, p.1-16, 1999
- 4 ASTM E-8, American Association State Highway and Transportation Officials Standard - Annual Book of ASTM Standard, 1990.