

ESTUDO DA RECUPERAÇÃO MICROESTRUTURAL ATRAVÉS DE TRATAMENTO TÉRMICO DE REJUVENESCIMENTO DE UMA SUPERLIGA DE NÍQUEL GTD-111

Torrens Lischka, Fernanda, f.torrens.l@gmail.com¹
Silva de Oliveira, Carlos Augusto, carlos.a@emc.ufsc.br¹
Zimmermann, Thais thais2303@hotmail.com¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário – Bloco A do Depto de EMC, C.x. Postal 476, CEP: 88040-900

Resumo: Neste trabalho foi estudado a recuperação microestrutural da superliga de níquel GTD-111, material utilizado na fabricação de pás de turbinas termoeletricas a gás, através do tratamento térmico de rejuvenescimento. Através de ensaio de fluência, foi possível observar o nível de dano causado pela temperatura de 950 °C sob tensão de 90 MPa por um período de 200 horas. Na superliga de níquel GTD-111 submetida ao ensaio de fluência, foi possível observar que os precipitados γ' cresceram e perderam a coerência com a matriz γ , o que afeta negativamente as propriedades do material. O efeito da fluência pôde ser observado comparando-se as microestruturas inicial e após o ensaio de fluência com os resultados de tamanho médio dos precipitados γ' , da sua fração volumétrica por área e dureza Vickers. O tratamento térmico de recuperação, que é a combinação de ciclos térmicos de solubilização e precipitação, mostrou-se eficiente, pois reestabeleceu a microestrutura para uma condição próxima à condição inicial da superliga de níquel GTD-111, que apresenta precipitados γ' de morfologia cuboide e coerente com a matriz γ . A recuperação do material ainda é observada com o aumento da dureza Vickers após o tratamento térmico de rejuvenescimento.

Palavras-chave: Superligas, fluência, recuperação microestrutural

1. INTRODUÇÃO

Materiais para emprego em altas temperaturas são capazes de suportar esforços perto de seu ponto de fusão e resistir à degradação mecânica durante longos períodos de tempo, ou seja, são resistentes à fluência, e também à corrosão (REED, 2006; MEYERS; CHAWLA, 2008). Um exemplo de aplicação desses materiais são as pás de turbinas de termoeletricas a gás, que sofrem a interação entre tensão-temperatura-corrosão durante serviço. Superligas de níquel, que possuem excelentes propriedades em altas temperaturas, vêm sendo desenvolvidas para essas aplicações. O uso de superligas tem aumentado significativamente ao longo dos anos na utilização de componentes de superligas nas turbinas a gás (DONACHIE, 2002).

As pás de turbinas, apesar de suportarem altas temperaturas em condições de serviço mantendo suas propriedades, não apresentam equilíbrio microestrutural. Com o tempo prolongado de exposição em temperaturas e tensões elevadas, partículas de segunda fase, que são as responsáveis pela alta resistência a fluência das superligas de níquel, coalescem, diminuindo seu tempo de vida em serviço e até uma possível ruptura dos componentes. Tratamentos térmicos intermediários de recuperação, onde se realiza a solubilização e reprecipitação da segunda fase com forma e distribuição semelhantes ao material original vem sendo empregado a fim de recuperar os danos acumulados em serviço. Estes tratamentos de recuperação já foram estudados por Turazi (2015) e Cortez (2014).

O objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento em fluência da superliga de níquel GTD-111 em pás de turbina a gás através de ensaios de fluência e, posteriormente, sua recuperação microestrutural através de tratamentos térmicos de rejuvenescimento e, finalmente, analisar o efeito do tratamento térmico na recuperação das propriedades através da análise de microdureza Vickers.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Material

Neste trabalho foi estudada a superliga a base de níquel GTD-111, cuja composição é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química da superliga a base de níquel GTD-111 (% em peso).

Ni	Cr	Co	Mo	W	Ti	Al	Ta	C	Outros
60	14	9,5	1,5	3,8	4,8	3	2,7	0,1	0,01B/ 0,05Zr

A superliga a base de níquel GTD-111 é utilizada em turbinas para geração de energia, onde se atingem as maiores temperaturas de serviço, podendo alcançar 1000°C e, além da alta temperatura, também são submetidas a grandes esforços devido à alta velocidade de rotação das turbinas.

2.2. Tratamento Térmico de Rejuvenescimento

Para a realização do estudo acerca do efeito do tratamento térmico de rejuvenescimento das superligas à base de níquel GTD-111, o corpo de prova foi submetido a um ensaio de fluência de 201,05 horas, a uma tensão de 90 MPa e temperatura de 950°C. A Figura 1 mostra o fluxograma que descreve as etapas realizadas no tratamento de recuperação.



Figura 1. Fluxograma das etapas realizadas do tratamento térmico de rejuvenescimento.

As condições utilizadas para cada fase estão descritas na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2. Ciclos térmicos para o tratamento térmico de rejuvenescimento.

Solubilização I	Solubilização II	Precipitação I	Precipitação II
1190°C / 2 h	1190°C / 2 h	1120°C / 2 h	845°C / 24 h

Todo o tratamento de recuperação microestrutural da superliga de níquel GDT-111 foi realizado em forno laboratorial tipo “mufla” do Laboratório de Conformação Mecânica (Labconf/ UFSC).

Ao término de cada etapa, o corpo de prova passou pelo procedimento padrão de preparação metalográfica e análise microestrutural em microscópio óptico. Após o ensaio de fluência e a segunda precipitação, o corpo de prova foi submetido também à análise de microdureza Vickers.

2.3. Métodos

2.3.1. Microscopia Óptica

Para a análise microestrutural da amostra do material submetido ao ensaio de fluência e ao rejuvenescimento de microestrutura utilizou-se microscópio óptico Olympus - modelo BX 60M com câmera acoplada Leica EC3 e software para obtenção de imagens LasEZ, no Laboratório de Conformação Mecânica (LabConf/UFSC).

A preparação da amostra para a análise deu-se no Laboratório de Conformação Mecânica, passando pelo procedimento metalográfico de embutimento e lixamento manual em granulometria 80, 120, 220, 320, 400, 600 e 1200 mesh. Em seguida, polimento com Alumina de 1µm e ataque com reagente obtido da norma ASTM E407-170 modificado, cuja composição é 9,15ml de ácido láctico, 5,4ml de HNO₃ e 0,45ml de HF.

Esta análise teve como principal objetivo a avaliação da fase precipitada e sua morfologia. A análise permitiu também a avaliação dos parâmetros de tratamentos térmicos de rejuvenescimento utilizados, através do qual buscou-se resultado mais semelhante possível à microestrutura original.

2.3.2. Ensaio de Microdureza Vickers

A amostra de superliga de níquel GTD-111 foi submetida a ensaios de dureza Vickers, em um microdurômetro SHIMADZU – mod. HMV (Labconf/UFSC). Foram feitas cinco endentações com uma carga de 1kgf (HV1), segundo a norma ASTM A370, após ensaio de fluência e após a segunda etapa de precipitação, com o objetivo de avaliar se as propriedades para serviço em altas temperaturas foram recuperadas após o tratamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Fluência

A Figura 2 mostra o resultado da análise de microscopia óptica após ensaio de fluência, nas condições de 201, 05 horas, 90 MPa, a 950°C da superliga de níquel GTD-111.

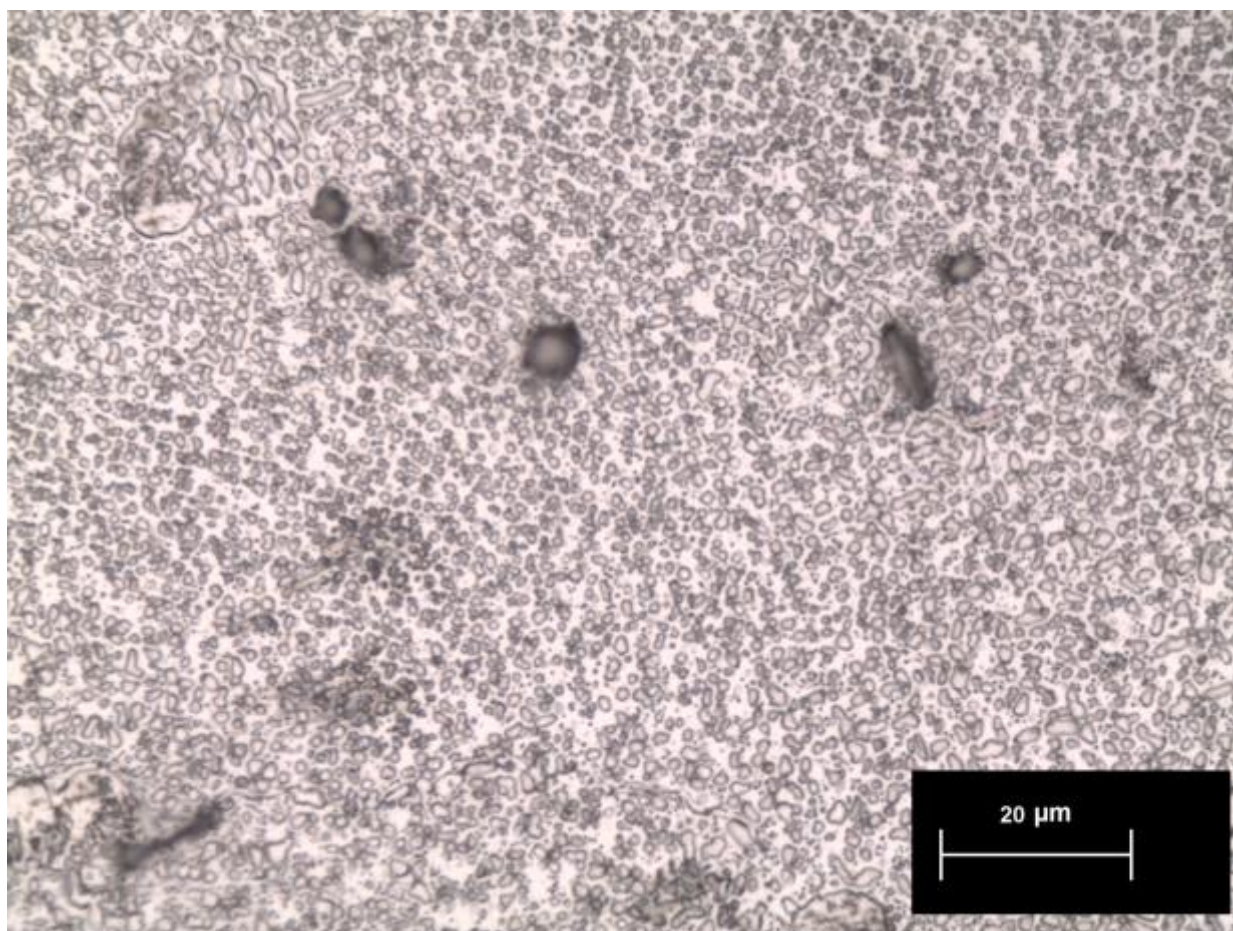


Figura 2. Superliga de níquel submetida a ensaio de fluência a 950°C, 90 MPa, 201,05 horas.

Observa-se através da micrografia a presença dos precipitados coalescidos e a falta de coerência com a matriz austenítica. Sem a coerência dos precipitados, o contorno de grão fica mais suscetível a movimentações, resultando em menor desempenho em serviço das pás em altas temperaturas.

O ensaio de dureza Vickers na amostra nestas condições obteve uma média de 354 HV.

3.2. Solubilização I

A Figura 3 mostra a microestrutura da superliga de níquel GTD-111 após a primeira solubilização a 1190°C por 2 horas. De acordo com a análise das imagens, percebe-se o efeito na dissolução dos precipitados na matriz. A fase austenítica é predominante da microestrutura, uma vez que os precipitados já não se encontram distribuídos por esta. O que se observa na imagem, junto à matriz, são morfologias características de fases interdentríticas (γ' eutética). Estes são precipitados na região do contorno de grão apresentando o formato alongado indicando o último líquido a solidificar no material durante a solidificação.

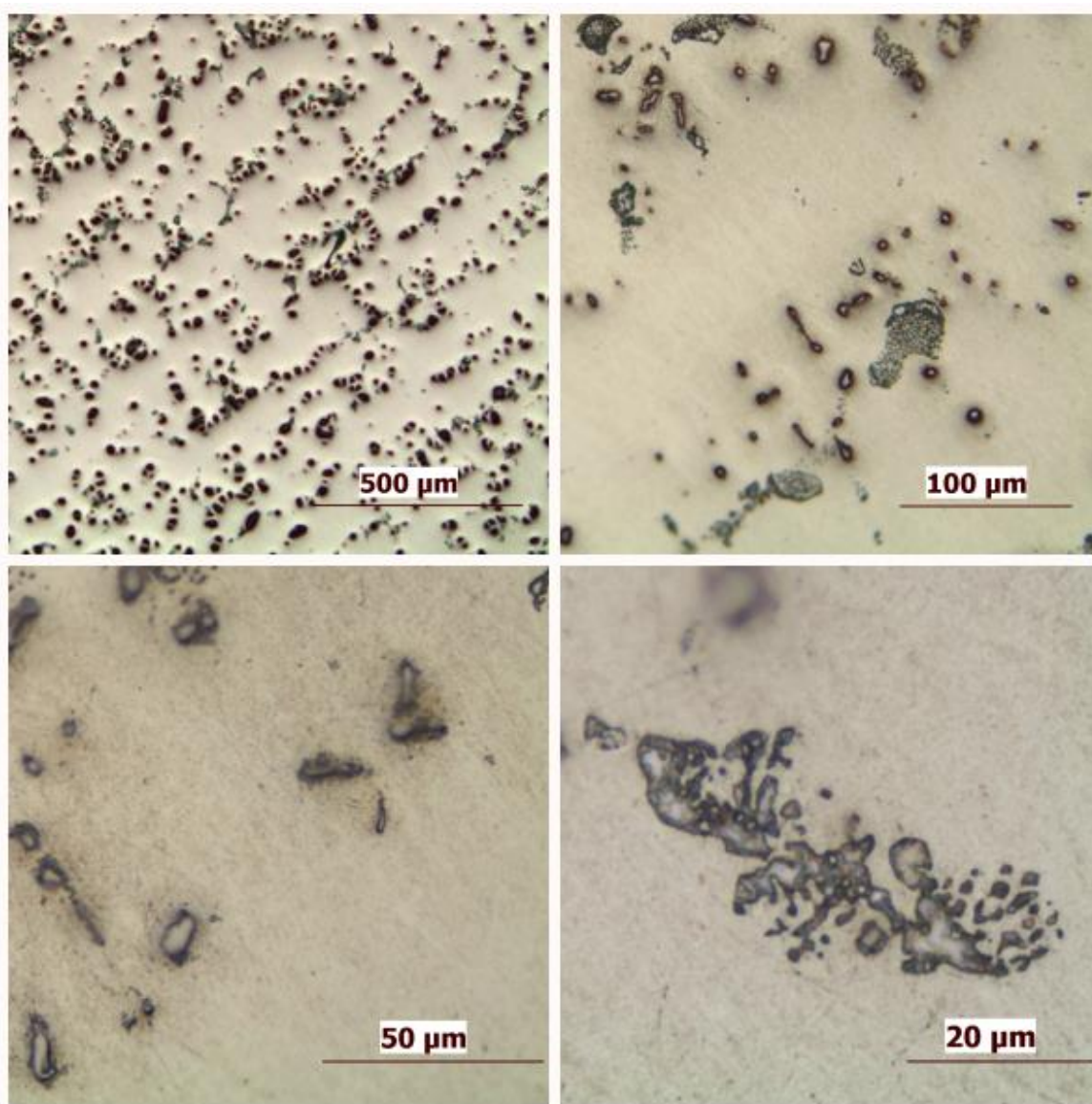


Figura 3. Superliga de níquel GTD-111, submetida a solubilização a 1190°C por 2 horas em diferentes aumentos.

3.3. Solubilização II

Pode-se observar na Figura 4, após a segunda solubilização realizada na amostra, também a 1190°C por 2 horas, a matriz austenítica sem a distribuição de precipitados. Este segundo tratamento de solubilização teve como objetivo

dissolver os precipitados ainda presentes na microestrutura. Deste modo, os resultados mostram a fase austenítica e a presença de carbonetos no material.

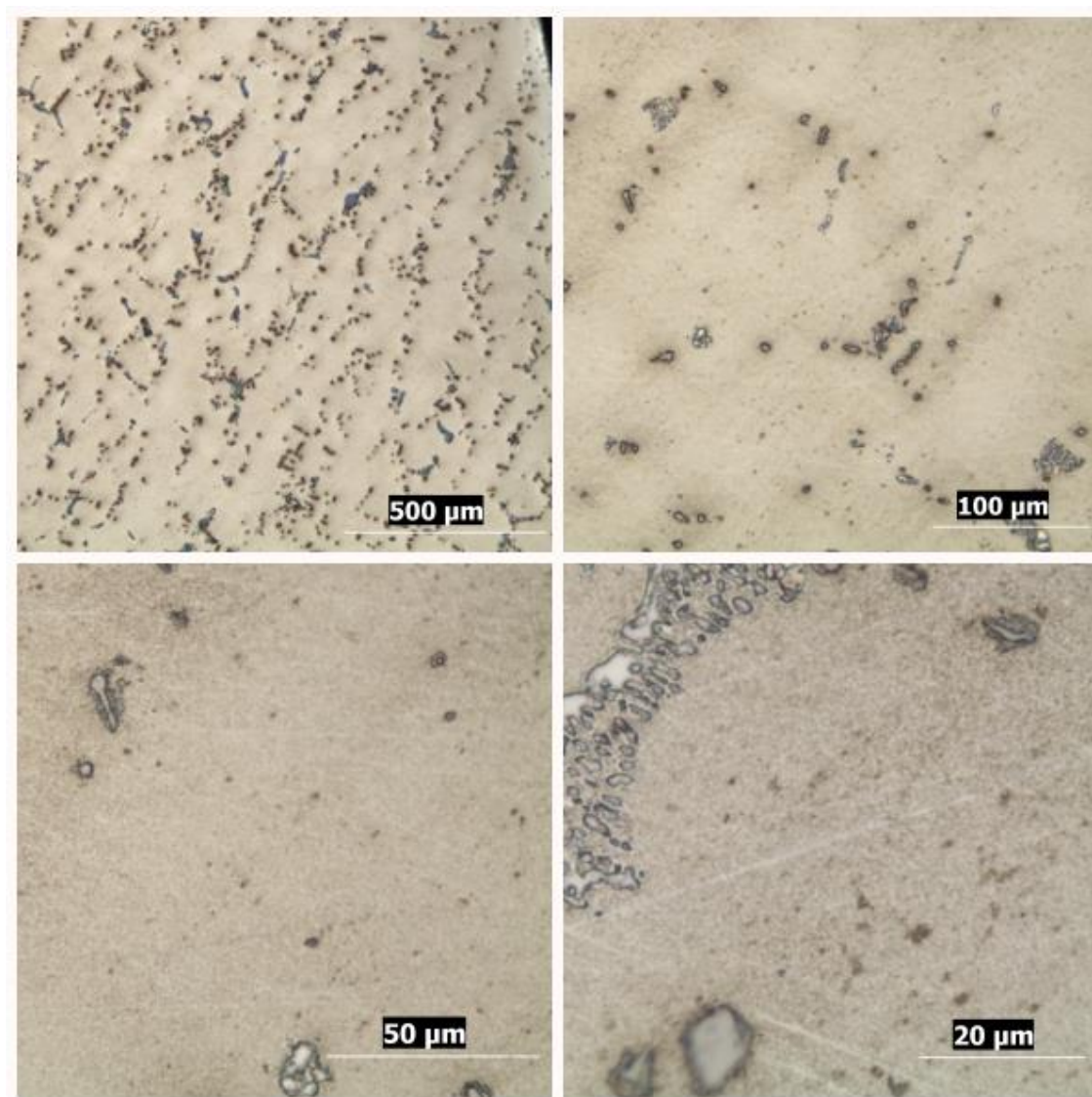


Figura 4. Superliga de níquel GTD-111, submetida a solubilização a 1190°C por 2 horas em diferentes aumentos.

3.4. Precipitação I

Dando continuidade ao tratamento térmico na superliga de níquel GTD-111, após a primeira e a segunda solubilização, a amostra foi submetida à primeira etapa da precipitação, a 1120°C por 2 horas, conforme as imagens mostradas na Figura 5.

Observa-se nas imagens precipitados distribuídos por toda a matriz. Diferentemente dos precipitados analisados na Figura 4, estes encontram-se coerentes quanto à sua distribuição pela matriz austenítica e de morfologia cubóide, ainda que em escala muito pequena.

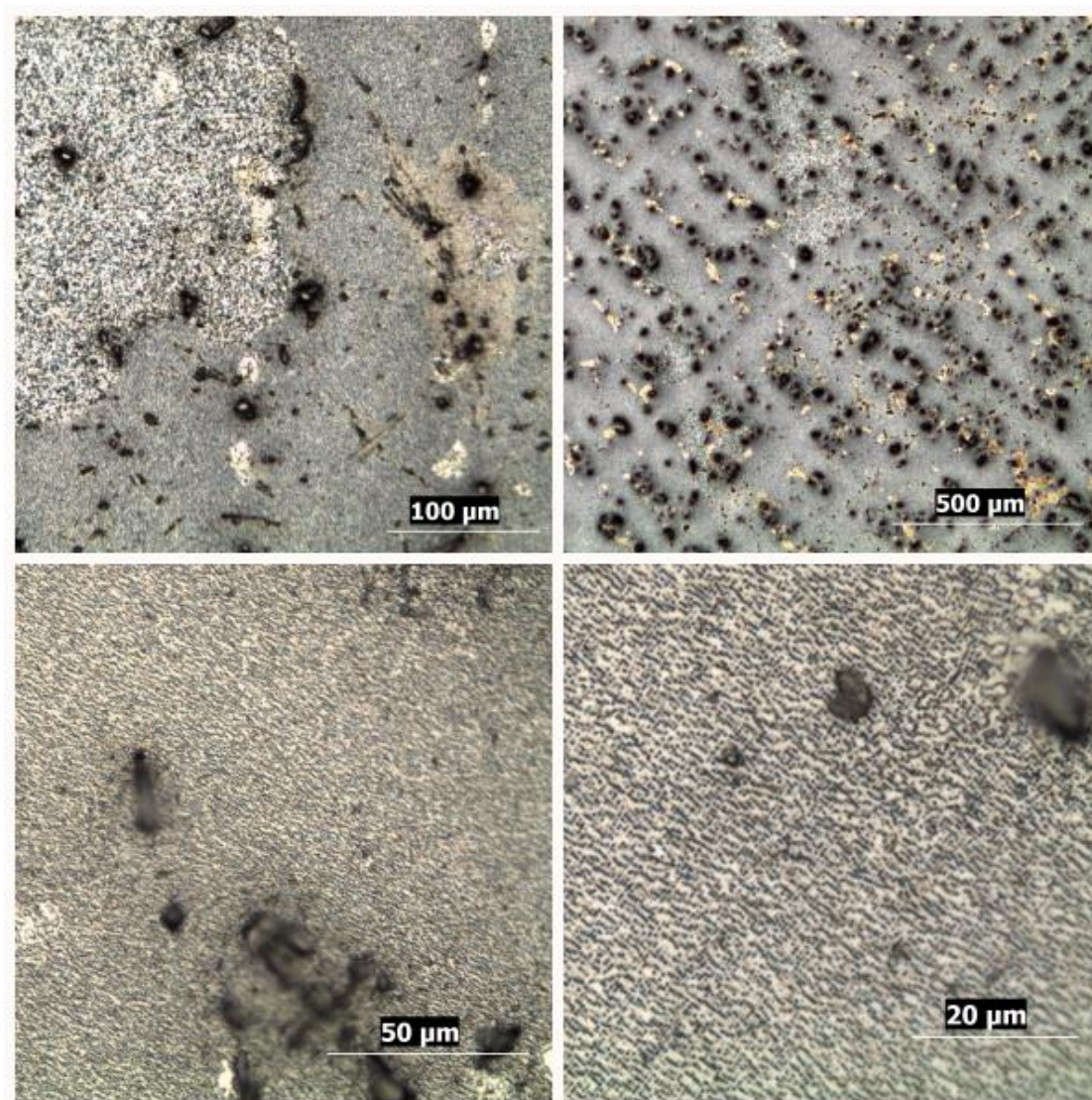


Figura 5. Superliga de níquel GTD-111, submetida à precipitação a 1120°C por 2 horas em diferentes aumentos.

3.5. Precipitação II

Como última etapa do tratamento, após a primeira e a segunda solubilização e também a primeira precipitação, a amostra foi submetida à segunda e última etapa da precipitação, a 845 °C por 24 horas. As imagens podem ser observadas na Figura 6.

Observou-se nas imagens a coerência dos precipitados em relação à matriz e a morfologia cuboide próxima à original, conforme o esperado desde o início do tratamento térmico de recuperação microestrutural.

Os resultados de microdureza apresentaram uma média de valores de 436HV. Este valor, 23% acima do valor obtido após o ensaio de fluência, no qual a microestrutura encontrava-se degradada pela tensão, tempo e temperatura, o que indica uma restauração das propriedades próxima à original do material.

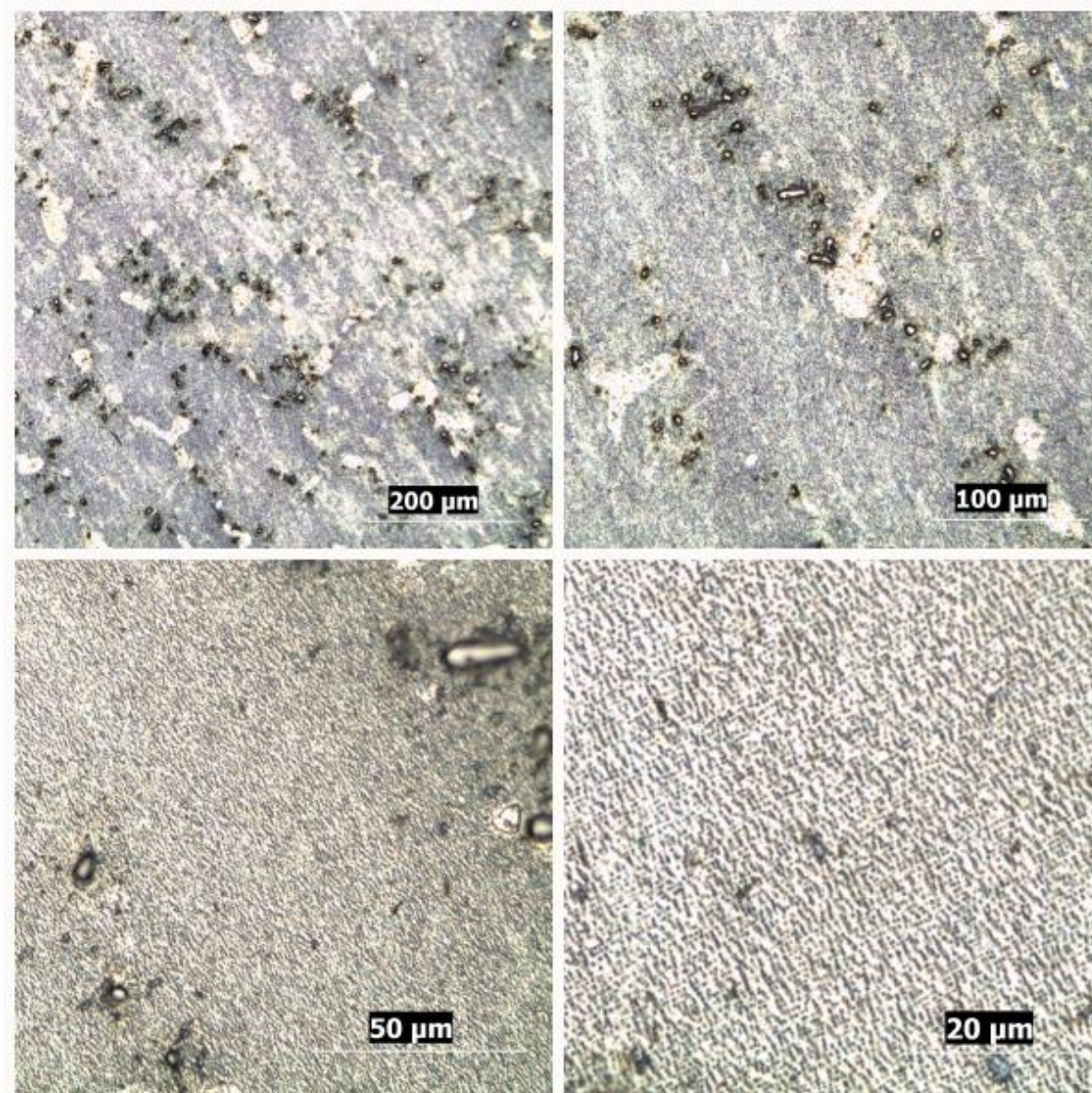


Figura 6. Superliga de níquel GTD-111, submetida à precipitação a 850°C por 24 horas em diferentes aumentos.

4. CONCLUSÃO

O tratamento térmico de rejuvenescimento nas condições avaliadas para a superliga de níquel GTD-111 mostrou-se eficiente, pois reestabeleceu a microestrutura quase que como a condição inicial, onde a mesma apresenta precipitados γ' de morfologia cuboide e coerente com a matriz γ . A recuperação do material ainda é confirmada através do aumento da dureza Vickers após o tratamento térmico de rejuvenescimento.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa concedida e à empresa Tractebel Energia pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- Cortez, P.M.A., 2014, “Estudo microestrutural da superliga de níquel GTD-111 durante o seu envelhecimento e após tratamentos térmicos de rejuvenescimento”, Dissertação de Mestrado. Engenharia Mecânica. FEUP.
Donatchie Jr., M. J.; Donatchie, J. Superalloys: A technical guide. 2nd ed. Materials Park. OH. ASM International, 2002.

- Meyers, M. A.; Chawla, K. K. Mechanical Behavior of Materials. New York: Cambridge University Press, 2008. p. 856.
- Reed, R. C., The superalloys: fundamentals and applications. Cambridge University press, 2006.
- Turazi, A., 2011, “Estudo da evolução microestrutural da superliga de níquel GTD-111 durante tratamento térmico de recuperação de pás de turbinas a gás”, Exame de Qualificação de Doutorado. Engenharia Mecânica. UFSC.
- Turazi, A.; Oliveira, C.A.; Bohórquez, C.N. *et al.*, 2015, “Study of GTD-111 Superalloy Microstructural Evolution During High-Temperature Aging and After Rejuvenation Treatments”, Metallogr. Microstruct. Anal.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

8. ABSTRACT

STUDY OF THE CREEP BEHAVIOR OF THE NI-BASED SUPERALLOY GTD-111 AND ITS MICROSTRUCTURAL RECOVERY OBTAINED BY REJUVENATION TREATMENT

Torrens Lischka, Fernanda, f.torrens.l@gmail.com¹
Silva de Oliveira, Carlos Augusto, carlos.a@emc.ufsc.br¹
Zimmermann, Thaís thais2303@hotmail.com¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário – Bloco A do Depto de EMC, C.x. Postal 476, CEP: 88040-900

Abstract: In this work was studied the microstructural recovery of the nickel-based superalloy GTD-111, a material used in thermoelectric gas turbine blades, by rejuvenation treatment. Through the creep test it was possible to observe the level of damage caused by the 950 °C temperature and 90 MPa tension for a period of 200 hours. In the nickel superalloy GTD-111 subjected to the creep test, it was possible to observe that γ' -precipitates increased in size and lost coherence with the γ -matrix, which negatively affects the properties of the material. The creep effect could be observed by comparing the initial and post-creep microstructures with the mean size results of γ' precipitates, their volumetric fraction by area and Vickers hardness. The recovery obtained by rejuvenation treatment, which is the combination of thermal cycles of γ' -dissolution and reprecipitation, proved to be efficient, since it reestablished the microstructure almost as the initial condition of the nickel-base superalloy GTD-111, which presents γ' -precipitates with cuboid morphology and coherent with the γ -matrix. The recovery of the material was also observed with the increase of the Vickers hardness after the thermal treatment of rejuvenation.

Palavras-chave: superalloy, creep, microstructural recovery.

9. DIREITOS AUTORAIS

The authors Fernanda Torrens Lischka, Carlos Augusto Silva de Oliveira and Thaís Zimmermann are solely responsible for the content of the printed material included in their work.