

## COMPORTAMENTO MECÂNICO DA LIGA MONOCRISTALINA Cu-Al-Ni SUBMETIDA A TRATAMENTOS TERMO-CÍCLICOS SOB CARGAS

E. C. Pereira, L. A. Matlakhova, A. N. Matlakhov, E. A. Carvalho, R. Toledo, S. N. Monteiro  
Avenida Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes, RJ.  
CEP 2800-602, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).  
Email: <elainecp@uenf.br> <lioudmila@uenf.br>

### RESUMO

*No presente trabalho foi investigada uma liga monocristalina Cu-13,5%Al-4%Ni obtida a partir da tecnologia desenvolvida pelo "Memory Crystals Group", na Rússia. Maior atenção foi dada a alterações no comportamento mecânico e estrutural da liga, no estado inicial e após tratamentos termo-cíclicos (TTC) e, posteriormente submetida à fraturada. Os espécimes foram aquecidos acima da temperatura  $A_f$  e resfriados próximo a  $M_f$ , sob duas diferentes cargas. Para este tratamento um dispositivo especial foi desenvolvido. O ensaio de deformação por compressão da liga foi executado na máquina INSTRON modelo 5582, à temperatura ambiente. Na caracterização estrutural foram evolidas as análises de difração de raios-X, microscopia eletrônica de varredura e microdureza Vickers. Durante TMR a liga sofre alterações tanto na estrutura quanto nas propriedades mecânicas. O aumento das cargas aplicadas durante TTC diminui a tensão de "pseudo-escoamento" em 20-25 MPa, e a tensão máxima até 950 MPa, sem muitas modificações no caráter da deformação.*

**Palavras-Chave:** *Liga monocristalina Cu-Al-Ni; Transformações martensíticas reversíveis; Análise de estrutura, Propriedades Mecânicas.*

### INTRODUÇÃO

As ligas com Efeito de Memória de Forma (EMF) são de grande interesse na área de metalurgia física e metal-mecânica <sup>(1-3)</sup>. O principal obstáculo para sua utilização prática consiste na sensibilidade aos fatores metalúrgicos, tecnológicos e de exploração, que alteram a estrutura, o comportamento mecânico, os parâmetros

de EMF, dentre outras propriedades essenciais. É conhecido que o EMF pode ser exibido em ligas que sofrem Transformações Martensíticas Reversíveis (TMR) <sup>(4)</sup>. Para ocorrer o EMF em regime repetitivo, estas ligas requerem múltiplos ciclos de aquecimento e resfriamento num intervalo de temperatura que abrange as temperaturas críticas de TMR <sup>(4,5)</sup>. Este tratamento promove alterações na estrutura, na composição de fases e em muitas propriedades físico-mecânicas do material <sup>(4-6)</sup>.

Ultimamente, maior atenção têm sido dada às ligas monocristalinas Cu-Al-Ni, por apresentarem maiores parâmetros de EMF, e maior resistência ao acúmulo de deformação plástica, não reversível <sup>(7-10)</sup>. As ligas monocristalinas Cu-Al-Ni, em relação às policristalinas, possuem elevada deformação (até 12%) e tensão de retorno (acima de 600MPa) do EMF e baixo nível de deformação residual <sup>(4,10,17)</sup>.

O objetivo principal deste trabalho é o estudo das alterações no comportamento mecânico e estrutural de uma liga monocristalina Cu-Al-Ni submetida a TTC de 300 ciclos térmicos sob duas diferentes cargas e, posteriormente, submetida a deformações compressivas até atingir a fratura.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

A liga monocristalina Cu-13,5%Al-4%Ni foi desenvolvida pelo "Memory Crystals Group", na Universidade Técnica de São Petersburgo, Rússia <sup>(1)</sup>.

A identificação da composição de fase da liga foi realizada através da análise de difração de raios-X com radiação Cu-K $\alpha$  e Co-K $\alpha$ , nos difratômetros DRON-3M e URD-65, respectivamente, para a faixa 2 $\theta$  entre 25° e 75°, com um passo de varredura de 0,03° por 3s (URD-65) e 0,05° por 3s (DRON-3M) de acumulação, em temperatura ambiente de laboratório.

Para realização de TTC sob cargas estáticas de 0,2 e 0,5 kg um dispositivo especial foi desenvolvido. Os corpos de prova foram cortados, num cortador MINITOM, lixados e polidos com pastas de diamante, sem ataque químico, e submetidos a 300 ciclos de aquecimento acima de A<sub>f</sub> (até 100°C) e resfriamento próximo a M<sub>f</sub> (até 0°C), finalizando o tratamento com ½ ciclo de resfriamento sob a carga (resfriamento até 0°C e aquecimento até a temperatura ambiente) <sup>(7)</sup>.

O ensaio de deformação por compressão da liga foi executado na máquina do tipo INSTRON modelo 5582, com velocidade de 0,1 mm/s, à temperatura ambiente.

A análise de fratura da liga foi realizada através do microscópio eletrônico ZEISS/DSM-962. As imagens foram geradas a partir de elétrons secundários.

Os ensaios de microdureza foram executados com o auxílio de um dispositivo MHP-100 acoplado ao microscópio ótico NEOPHOT-32.

Os corpos de prova, no estado inicial e após 300 ciclos térmicos sob cargas de 0,2 e 0,5 kg, foram caracterizados por difração de raios-x e microdureza. Posteriormente, estes foram submetidos a deformações compressivas e, novamente caracterizados, inclusive o seu aspecto morfológico de fratura.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras 1 e 2 apresentam as análises estruturais da liga Cu-13,5%Al-4%Ni. Os difratogramas relacionam a intensidade dos picos de difração e a distância interplanar (ao invés de ângulo  $2\theta$ ), devido as diferentes radiações utilizadas.

No estado inicial, a liga Cu-13,5%Al-4%Ni apresenta três fases metaestáveis: a fase de alta temperatura  $\beta_1$ , ordenada do tipo  $DO_3$ <sup>(11)</sup>; a fase martensítica  $\gamma'_1$ , ordenada do tipo  $Cu_3Ti$ <sup>(12)</sup>; e a fase com estrutura  $Al_7Cu_4Ni$  ordenada<sup>(13,14)</sup>, do sistema romboédrico, denominada no trabalho como fase R<sup>(7)</sup>, figura 1(a). A fase de alta temperatura  $\beta_1$  apresentou um reflexo intenso  $(331)_{\beta_1}$ , enquanto a fase martensítica  $\gamma'_1$  dois reflexos  $(011)_{\gamma'_1}$  e  $(111)_{\gamma'_1}$ , com menores intensidades. Além destes, verificam-se picos de difração, pertencentes à fase romboédrica R, determinados pelos reflexos  $(107)_R$  e  $(2014)_R$ . Existe um pico desta fase semelhante ao da fase martensítica  $\gamma'_1$ , do tipo  $(111)_{\gamma'_1}|(0015)_R$ <sup>(12-14)</sup>. Trabalhos prévios<sup>(6,7)</sup> revelam por microscopia ótica, que não existe evidências de presença da fase R em forma de inclusões, portanto, esta pode ser interpretada como uma fase coerente às fases  $\beta_1$  e  $\gamma'_1$ , sendo intermediária entre as mesmas e estabilizada na temperatura de análise difratométrica.

Após 300 ciclos térmicos sob carga de 0,2 kg foram observados os picos das fases  $\beta_1$ ,  $\gamma'_1$ , e os de coerência  $\beta_1|R$  e  $\gamma'_1|R$ . A maior participação dos planos de coerência caracteriza maior estabilidade do estado intermediário com o tratamento realizado, figura 1(b).

A liga submetida a 300 ciclos com a carga aplicada de 0,5 kg apresenta em sua estrutura a fase R, com seu pico  $(2014)_R$  intenso e o pico  $(107)_R$  de menor intensidade. A participação da fase martensítica  $\gamma'_1$  diminui e observa-se o pico de coerência  $(111)_{\gamma'_1}|(0015)_R$  de intensidade média. Nota-se que o pico  $(331)_{\beta_1}$  da fase  $\beta_1$  diminuiu em sua intensidade, figura 1(c), quando comparado ao estado inicial.

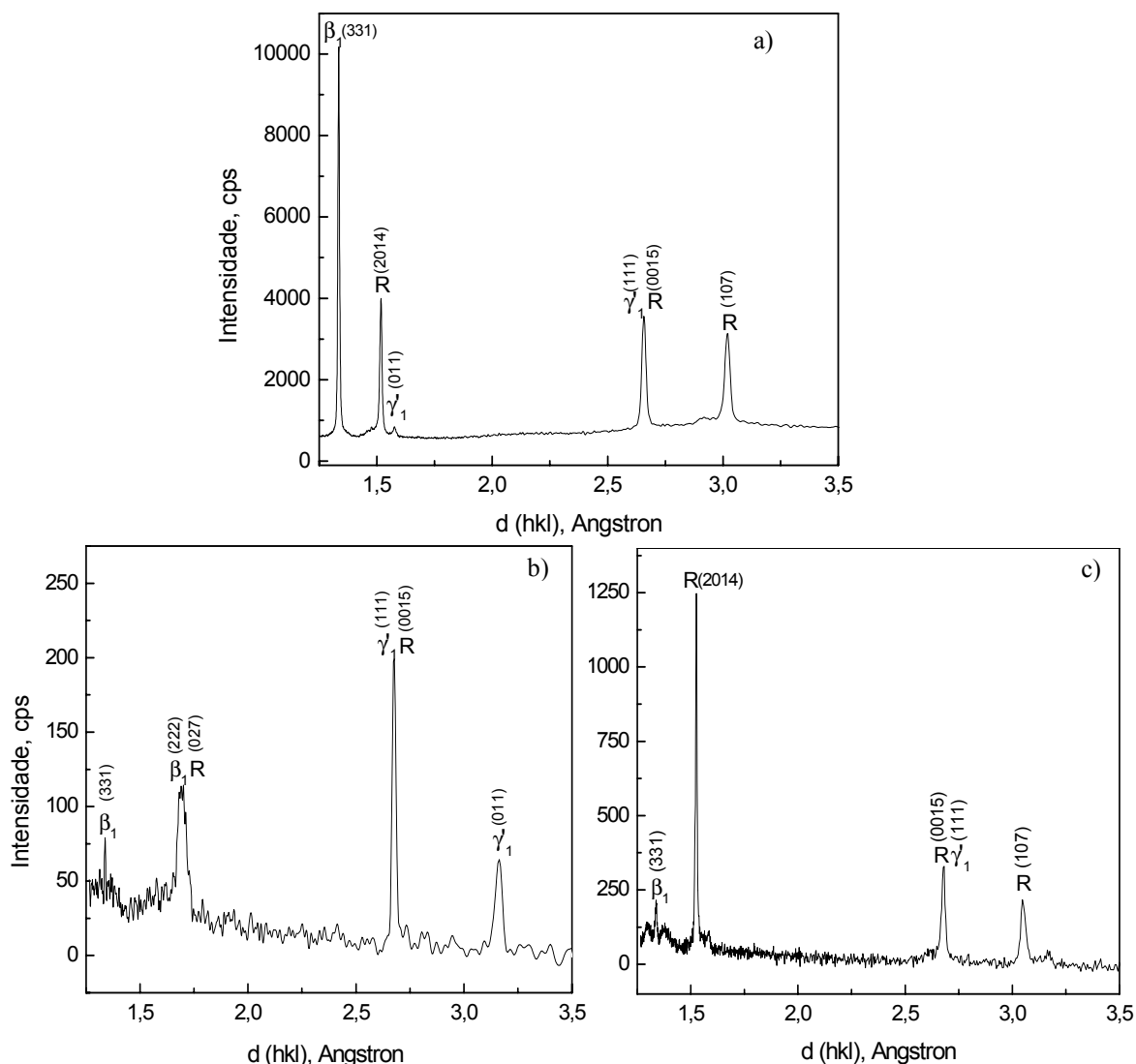


Figura 1 – Difratoogramas da liga Cu-13,5%Al-4%Ni, no estado inicial (a) e após 300 ciclos térmicos sob cargas de 0,2 kg (b) e 0,5 kg (c).

A figura 2 apresenta os difratogramas da liga Cu-13,5%Al-4%Ni após ensaios por compressão até atingir a fratura. A análise difratométrica da liga após a fratura apresenta um reflexo intenso dos planos de coerência  $(111)_{\gamma_1} | (0015)_R$ . A fase  $(331)_{\beta_1}$  se apresenta com menor intensidade, figura 2(a).

Após TTC sob carga de 0,2 kg e ensaio de fratura os mesmos reflexos foram observados, com pequena participação da fase R, reflexo  $(2014)_R$ , figura 2(b).

A liga submetida a 300 ciclos com a carga aplicada de 0,5 kg e submetida à fratura apresenta em sua estrutura maior participação da fase  $\beta_1$  através do pico  $(331)_{\beta_1}$ , enquanto que os picos  $(2014)_R$ ,  $(107)_R$  e  $(111)_{\gamma_1} | (0015)_R$  apresentam-se com menores intensidades, figura 2(c).

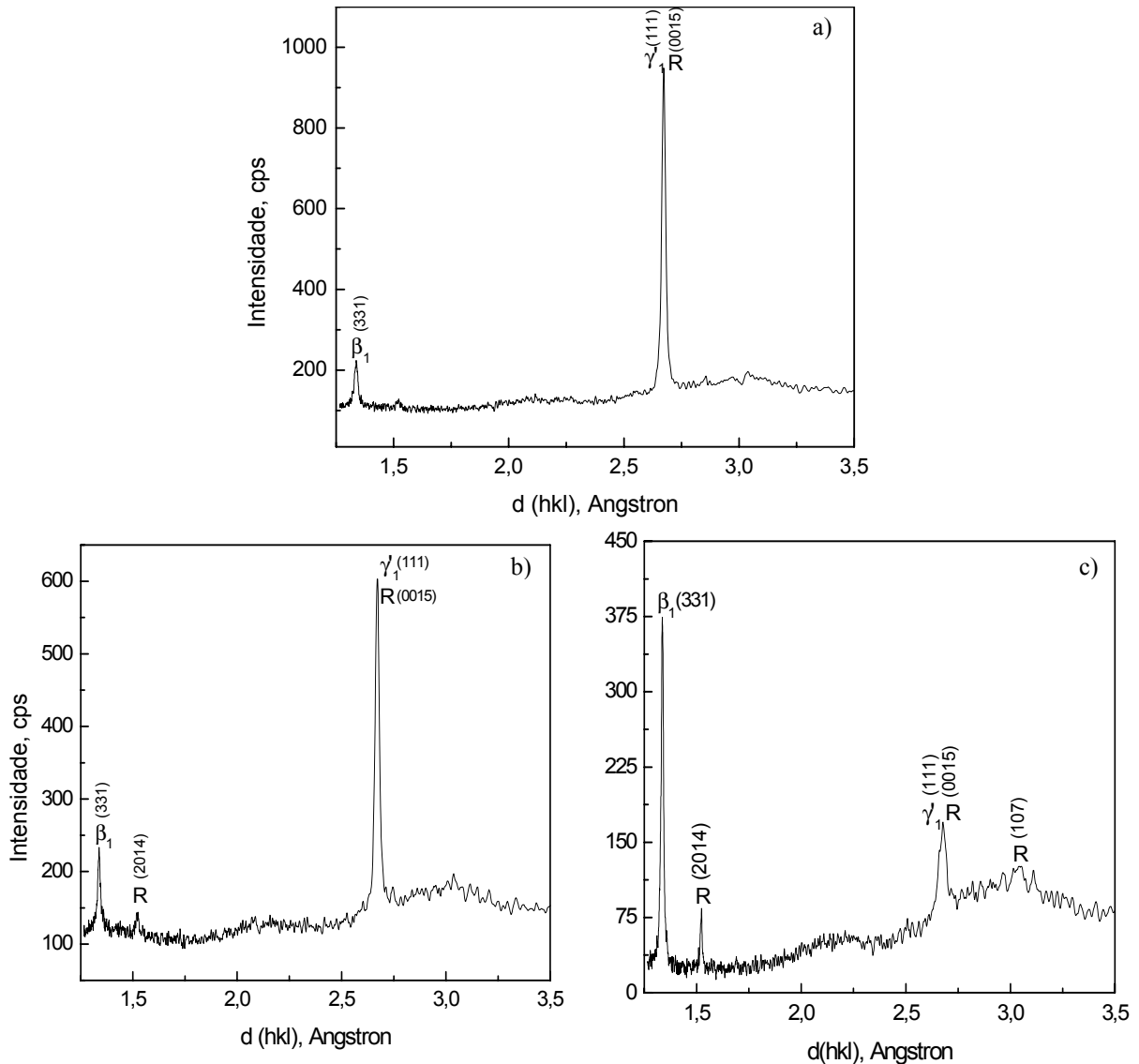


Figura 2 – Difratoogramas da liga Cu-13,5%Al-4%Ni no estado inicial (a) e após 300 ciclos térmicos sob cargas de 0,2 kg (b) e 0,5 kg (c), submetidas à fratura.

O aumento da carga aplicada durante TTC de 300 ciclos favorece a existência das fases R e  $\gamma_1$ |R, figura 1 (c). No aquecimento a partir de 0 °C até a temperatura ambiente, a carga deveria provocar a transformação martensítica reversa  $\gamma_1 \rightarrow R \rightarrow \beta_1$  (7,15,16). Entretanto, com a descarga, a estrutura pode sofrer um processo de relaxamento, acompanhada pela transformação em sentido oposto, pois o estado sob tensão não é estável termodinamicamente. Supõe-se que as imperfeições acumuladas na estrutura durante TTC sob cargas retardam todas as reações de TMR, revelando melhor o estado metaestável (fases R e  $\gamma_1$ ).

Nos corpos de prova submetidos ao mesmo tratamento e posteriormente à fratura observa-se maior participação do estado transitório  $\gamma_1|R$ , figura 2 (b). O acúmulo de deformação plástica após a fratura, do corpo de prova submetido ao TTC sob carga de 0,5 kg, induz a TMR  $\gamma_1 \rightarrow R \rightarrow \beta_1$  sob tensão, figura 2 (c).

Na curva “tensão x deformação”, figura 3, a liga apresenta o comportamento elástico seguido por um patamar de “pseudo-escoamento”, típico para todas as ligas com efeitos não elásticos <sup>(4)</sup>. No estado inicial este patamar apresenta-se com cerca de 8% de extensão em deformação e uma tensão de escoamento variando entre 60-65 MPa, onde ocorre o acúmulo de deformação reversível, correlacionada ao EMF, acompanhado por TMR  $\gamma_1 \leftrightarrow \beta_1$  e reorientação da estrutura inicial. Em maiores tensões, a liga se deforma de modo elástico, até a ruptura, apresentando uma tensão máxima de aproximadamente 1350 MPa e uma deformação total em torno de 18%, revelando sua alta resistência mecânica, figura 3(1). Estes resultados estão de acordo com trabalhos anteriores <sup>(10,17)</sup> onde foram utilizadas ligas monocristalinas Cu-Al-Ni de composições comparáveis.

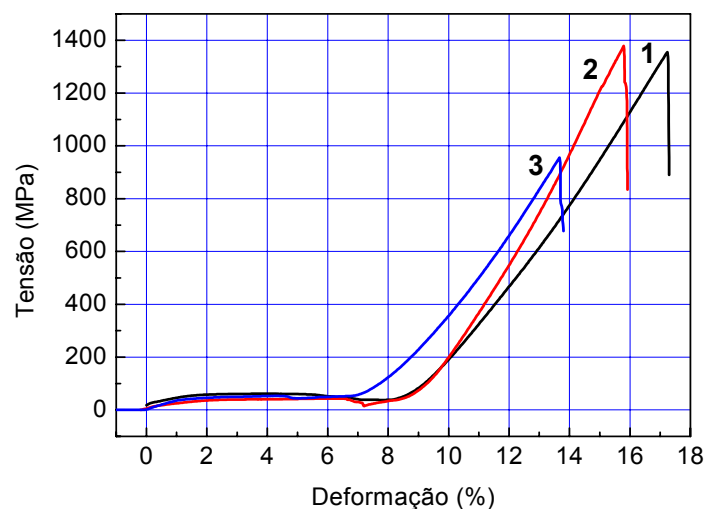


Figura 3 – Diagrama “tensão x deformação” da liga Cu-13,5%Al-4%Ni até a fratura, no estado inicial (1) e após 300 ciclos térmicos sob cargas de 0,2 (2) e 0,5 kg (3).

Observa-se que a liga submetida a 300 ciclos térmicos sob carga de 0,2 kg revela o patamar de pseudo-escoamento e tensão de ruptura próximo ao estado inicial, figura 3(2). A análise difratométrica também apresenta uma estrutura comparável com maior participação do estado transitório  $\gamma_1|R$ , figura 2(a,b).

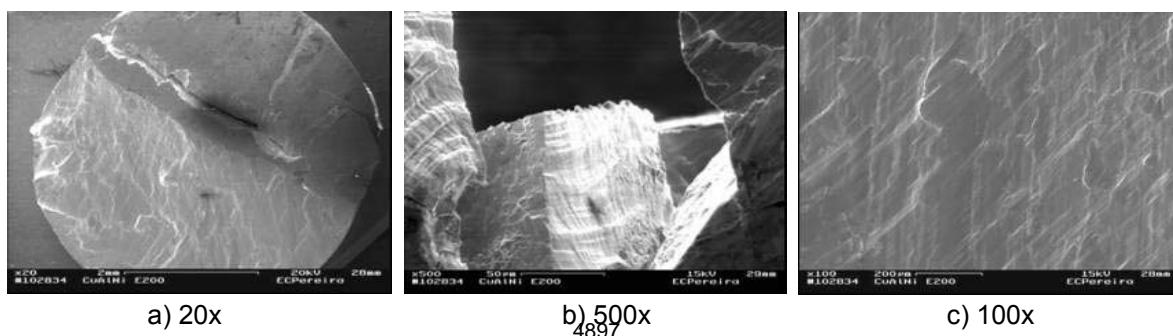
A liga submetida a 300 ciclos térmicos sob carga de 0,5 kg, revelou menor resistência mecânica, apresentando uma diferença na tensão e deformação máxima de 394 MPa e 4,3%, respectivamente, comparado ao estado inicial, figura 3(3).

O aumento das cargas estáticas aplicadas durante o TTC favorece a TMR  $\gamma_1 \leftrightarrow \beta_1$ , evidenciado pela diminuição da tensão de pseudo-escoamento em torno de 20 à 25 MPa e através da análise difratométrica, figura 2(c).

A superfície de fratura da liga Cu-13,5%Al-4%Ni no estado inicial, figura 5(a-c), revela o aspecto de fratura frágil, pelo processo de clivagem, figura 5(a). O mesmo comportamento foi observado na liga Cu-Al-Ni com composição comparável, em nosso trabalho anterior <sup>(10)</sup>. A trinca se desenvolveu na seção transversal da amostra, figura 5(a). Uma parte sofreu um deslizamento parcial, enquanto que, a outra parte se deslocou através dos planos de deslizamento de ~ 45° em relação à direção da carga aplicada. O deslocamento de uma das partes, provavelmente, refere-se a um dos blocos periféricos, conforme observado por microscopia ótica em trabalhos anteriores <sup>(7,9)</sup>. No início de propagação da trinca, figura 5(b), é possível visualizar uma morfologia composta por “nervuras” que compõem toda a estrutura da liga. A figura 5(c), revela linhas de deslizamento cruzadas.

O aspecto morfológico da liga fraturada, após 300 ciclos sob carga de 0,2 kg, é apresentado na figura 5(d-f). A amostra se fraturou dividindo sua superfície em três partes, quase simétricas, figura 5(d). Foi possível caracterizar trincas com planos de deslizamento de ~ 45° em direção à carga aplicada. A estrutura se desprende formando “finas folhas” que possivelmente se deslizariam por seus planos preferenciais, figura 5(e,f).

A liga fraturada após 300 ciclos térmicos sob carga de 0,5 kg, figura 5(g-i), revelou um comportamento de fratura comparável ao estado inicial. O deslizamento das regiões do corpo de prova revela alterações irregulares na textura da superfície, figura 5(g-i). O TTC sob carga promove alterações tanto no comportamento mecânico quanto morfológico da liga monocristalina Cu-13,5%Al-4%Ni.



a) 20x

b) 500x

c) 100x

Figura 5 – Superfície de Fratura da liga Cu-13,5%Al-4%Ni após 300 ciclos térmicos sob carga de 0,5 kg e submetida ao ensaio de compressão.

A liga em estudo, apresenta no estado inicial um valor de microdureza Vickers em torno de  $300,5 \pm 20,4 \text{ kgf/mm}^2$ , figura 6. Com o aumento da carga aplicada durante TTC, os valores de microdureza tendem a aumentar, figura 6(a), enquanto que, após o tratamento e submetidos à fratura, tendem a diminuir, figura 6(b).

Para explicar os resultados é necessário mencionar que, um material com TMR ao ser deformado, comporta-se durante a deformação de maneira diferente ao material convencional <sup>(4)</sup>. Quando o marcador do microdurômetro incide sob uma carga na amostra, provoca uma certa deformação, acompanhada por TMR. Com a descarga, a impressão pode ser diminuída, devido às reações de TMR reversas.

De acordo com pesquisadores <sup>(4-9)</sup>, os efeitos não elásticos mostram melhores parâmetros nos materiais que passam por um “treinamento”, onde a estrutura sofre reorientação, modificação na composição de fases e acúmulo de energia elástica. Por outro lado, a maioria dos trabalhos revela que o acúmulo da deformação plástica dificulta o desenvolvimento dos mesmos.



Figura 6 – Microdureza Vickers em função da carga aplicada (a) acúmulo de 300 ciclos térmicos e (b) acúmulo de 300 ciclos e ensaio de fratura.  
(0,0 kg refere-se ao estado inicial)

Espera-se que a fase  $\beta_1$  se transforme para a fase  $\gamma'_1$  e com a descarga possa sofrer, parcialmente, a transformação ao estado estabilizado após TTC, resultando em diminuição da impressão, figura 6(a). Com o acúmulo de deformação plástica, no material fraturado, este processo de retorno ocorre com maiores dificuldades, deixando a impressão menos alterada após a descarga, o que está coerente com os resultados obtidos, figura 6(b) e figura 2(c).

## CONCLUSÕES

1. A carga aplicada durante TTC promove a transformação martensítica reversa  $\gamma'_1 \rightarrow R \rightarrow \beta_1$ , no aquecimento a partir de 0 °C, re-orientando a estrutura e estabilizando a fase R, coerente a fase  $\gamma'_1$ , com o aumento da carga aplicada.
2. O acúmulo de imperfeições na estrutura da liga após TTC sob carga de 0,5 kg induz a transformação martensítica reversa  $\gamma'_1 \rightarrow R \rightarrow \beta_1$  sob tensão após a fratura.
3. A liga Cu-13,5%Al-4%Ni apresenta um patamar de “pseudo-escoamento” de até 8% de extensão, com limite de escoamento de 60-65 MPa onde ocorrem TMR, reorientação da estrutura e acúmulo de deformação correlacionada ao EMF. Com maiores tensões, ela se deforma de modo elástico, até 1350 MPa, revelando alta resistência mecânica. Com o acúmulo de 300 ciclos sob carga de 0,5 kg, as alterações estruturais e a estabilidade da fase  $\beta_1$  sob tensão, promovem a

diminuição da tensão de pseudo-escoamento até 40-45 MPa e a tensão máxima até 950 MPa, mas não modificam o caráter da deformação.

4. A liga apresenta no estado inicial o valor de microdureza Vickers em torno de  $300,5 \pm 20,4 \text{ kgf/mm}^2$ . As alterações estruturais após TTC e fratura não alteraram a microdureza de modo significativo. Com o aumento da carga aplicada durante TTC nota-se uma tendência ao aumento no valor de microdureza, e após a fratura uma diminuição. Este comportamento pode ser correlacionado com dois processos; melhores parâmetros de EMF após TTC sob cargas e acúmulo de deformação irreversível durante a fratura.

5. A liga participa de um processo complexo que envolve as TMR sob tensão, revelando a fratura do produto de transformação com aspecto morfológico frágil.

### **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos o apoio da UENF, CAPES, CNPQ e FAPERJ pelo financiamento da pesquisa.

### **REFERÊNCIAS**

1. PRIADKO, A., PULNEV, S., VIAHHI, I., VETROV, V., YUDIN, V. In: Proceedings of the Institute of Robotics and Technical Cybernetics. Actuators and Drives Based on Cu-Al-Ni Shape Memory Single Crystals, St-Petersburg, Russia, 21p., 2000.
2. DYNNIKOV, V. I., SANTOS, C. M. L., BRAZ FERNANDES, F. M. Cu-Al-Ni shape memory actuators for anthropomorphic upper limb prostheses. In: Anais do Encontro 1º Biomecânica, Martinchel Abrantes, Portugal. Universidade de Abrantes, v.1. p. 295-299, 2005.
3. KURDIUMOV, G.V., HANDROS, L.G. O equilíbrio termoelástico de fases e transformações martensíticas. Relatórios da Academia de Ciências da SSSR, v. 66, n. 2, p. 211-215, 1949.
4. OTSUKA, K., WAYMAN, C.M. (Ed.). Shape Memory Materials. Cambridge University Press. Cambridge. 285 p., 2000.
5. PERKINS, J. Shape Memory Effects in Alloys. In: Proceedings of the International Symposium on Shape Memory Effects and Applications. Toronto-Ontário, Canada. 470p., 1975.
6. MATLAKHOVA, L. A., DIAS, F. R. M., MATLAKHOV, A. N., RODRIGUEZ, R. S., CASTILLÓ, T. E., TOLEDO, R., LIMA, J. A. P., MIRELLES, L. A. M., PEREIRA, E. C.

Transformações martensíticas em ligas monocristalinas Cu-Al-Ni solicitadas a tratamentos termo-cíclicos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Porto Alegre, RS, Brasil. CD-ROOM. n. 1355. p. 1-7, 2004.

7. PEREIRA, E. C., MATLAKHOVA, L. A., MATLAKHOV, A. N., RODRIGUEZ, R. J. S., CASTILLÓ, T. E., MONTEIRO, S. N. Tratamento Termo-Cíclico Sob Carga da Liga Monocristalina Cu-Al-Ni. In: 61º Congresso da ABM. Rio de Janeiro, 2006.

8. MORIN, M., TRIVERO, F. Influence of thermal cycling on the reversible martensitic transformation in Cu-Al-Ni shape memory alloy. Materials Science and Engineering. A 196, p. 177-181, 1995.

9. MATLAKHOVA, L. A., MATLAKHOV, A. N., RODRIGUEZ, R. S., DIAS, F. R. M., VIAHHI, I., MONTEIRO, L. S. G. Efeito de tratamentos termo-cíclicos na estrutura de ligas monocristalinas Cu-Al-Ni com EMF. 58 Congresso Anual da ABM. Rio de Janeiro, 2003.

10. PEREIRA, E. C., MATLAKHOVA, L. A., MATLAKHOV, A. N., MONTEIRO, S. N., CARVALHO, E. A. (2005). Fracture of a single crystal Cu-Al-Ni alloy. In: XX CSBMM, Águas de Lindóia, SP. Brazilian Journal of Morphological Sciences, Ed. Unicamp. Campinas, SP. p. 349 - 350.

11. FRISKE, H., ANORG. Z. JCPDS 11-0010. Allg. Chem. 258-198, 1949.

12. KARSSON, J. JCPDS 07-0108. Inst. Met. 79, n. 391, 1951.

13. BOWN, M. JCPDS 28-0016. Acta Crystallografica v. 9. n. 70, 1956.

14. JOUNEAU, P. H., STADELMANN, P. Electron Microscopy Image Simulation [on line]. Disponível em: [http:// cecm.insa-lyon.fr/CIOLS/crystal4.pl/](http://cecm.insa-lyon.fr/CIOLS/crystal4.pl/) [capturado em 20 de junho de 2005]. Centre Interdépatermenal de Microscopie Electronique. EPEL, Lausanne, 1998.

15. WASILEWSKI, R. J. On the nature of the martensitic transformation. Metallurgical Transactions A. v.6. p. 1405-1418, 1975.

16. MATLAKHOVA, L. A., KOVNERISTYI, Y. K., FEDOTOV Shape memory and shape reversibility effects in a TiNi alloy as function of deformation. J. Physics. Metallurgical. v. 62. n. 2. p. 344-348, 1986

17. DIAS, F.R.M., MATLAKHOVA, L.A., MATLAKHOV, A.N., CARVALHO, E.A., TOLEDO, R., RODRIGUEZ, R. S. *Comportamento das ligas monocristalinas de Cu-Al-Ni com EMF solicitadas à deformação por compressão*. In: 59º Congresso Anual da ABM, São Paulo, CD-ROOM, p. 3087- 3094, 2004.

## **MECHANICAL BEHAVIOR OF A MONOCRYSTALLINE Cu-Al-Ni ALLOY SUBMITTED THE UNDER LOAD THERMO-CYCLING TREATMENT**

E. C. Pereira, L. A. Matlakhova, A. N. Matlakhov, E. A. Carvalho, R. Toledo, S. N. Monteiro  
Avenida Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes, RJ.  
CEP 2800-602. State University of the Northern Rio de Janeiro, UENF.  
Email: <elaine<sup>c</sup>p@uenf.br> <lioudmila@uenf.br>

### **ABSTRACT**

*In the present work a monocrystalline Cu-13.5%Al-4%Ni alloy, produced at the Memory Crystals Group, in Russia, was investigated. More attention was paid to the mechanical behavior changes and structural of the alloy, in initial and after thermo-cycling treatment (TCT) and fracture. The samples were submitted to TCT under load in interval that covers the critical temperatures associated with reversible martensitic transformations (RMT). A special device was developed to allow for the TCT under load. The compressive deformation tests were performed in specimens at room temperature in a model 5582 INSTRON machine. X-ray diffraction, scanning electronic microscopy and Vickers hardness were used to characterize the alloy structure. During the RMT the alloy suffers changes in structure as well as in mechanical properties. TCT testing under loading reduces the stress of the “pseudo-yielding” plateau in 20-25 MPa and maximal stress up to 950 MPa, without any modifications in the character of deformation.*

**Key Words:** *Cu-Al-Ni monocrystalline alloy; Reversible martensitic transformations; Structural analyze; mechanicals proprieties.*