ISSN 1516-392X

ESTRUTURA E PROPRIEDADES DAS LIGAS DE Ti-Mo TEMPERADAS[1]

Márcia Almeida Silva [2]
Lioudmila Aleksandrovna Matlakhova [3]
Anatoliy Nikolaevich Matlakhov [3]
Herval Ramos Paes Junior [4]
Boris Andreevich Goncharenko [5]

Resumo

O objetivo deste trabalho é o estudo de ligas de Ti–Mo, recozidas e temperadas a partir de 800ºC, cujo teor de Mo varia entre 6 e 15% (% peso). A análise estrutural e química das ligas foi realizada através de microscopia ótica, difração de raios X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Como propriedades, foram avaliadas a resistividade elétrica e a microdureza Vickers. A fim de verificar as mudanças na estrutura das ligas após a deformação, foi efetuado um teste de compressão, com redução de 10%. Com aumento do teor de Mo, a participação da fase β metaestável aumenta e, nas ligas com 10 e 15%Mo, esta fase revela-se como a majoritária, com traços das fases α, α”/α’ e da fase ω. Além disso, este aumento do teor de Mo e a conseqüente estabilização da fase β causam um aumento nos valores de resistividade elétrica e microdureza das ligas. Foi observada a presença de segregações nas regiões próximas aos contornos de grão da fase β, identificadas como precipitados da fase α. Devido à sua estabilidade estrutural, as ligas com 6 e 10%Mo não são adequadas a revelar efeitos não elásticos.

Palavras-chave: Ligas de Ti-Mo; Análise estrutural; Resistividade elétrica; Compressão.

STRUCTURE AND PROPERTIES OF QUENCHED Ti-Mo ALLOYS

Abstract

The present work aims to study Ti-Mo alloys, annealed and quenched from 800°C, with Mo content between 6 and 15% (weight %). Structural and chemical alloy analyses were done by optical microscopy, X ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). As properties were measured electrical resistivity and Vickers microhardness. In order to verify the changes in the structure alloys after deformation, a compression test was carried out by 10%. As the Mo content of alloys increase, the metaestable β phase participation increases and in the alloys with 10 and 15%Mo this phase is main, with traces of α”/α’ and ω phases. Moreover, the Mo content increase and the consequent β phase stabilization increase both electrical resistivity and microhardness values of the alloys. Was observed the presence of segregations next to the β phase boundaries, identified as α phase precipitates. Due to their structural stability, the alloys with 6 and 8%Mo are not suitable to show the inelastic effects.

Key words: Ti-Mo alloys; Structural analysis; Electrical resistivity; Compression.

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

[2] *Aluna de Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, LAMAV/CCT/UENF. Av. Alberto Lamego 2000, Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes, RJ, CEP: 28015-620, marcia.asilva@hotmail.com*

[3] *Eng.º Metalúrgico M.Sc., Ph.D., Professor Associado, LAMAV/CCT/UENF. lioudmila@uenf.br anatoli@uenf.br*

[4] *Eng.º Elétrico M.Sc., Ph.D., Professor Associado, LAMAV/CCT/UENF. herval@uenf.br*

[5] *Ph.D., Senior Researcher, IMET, Russian Academy of Science, Moscow, Russia. palii@ultra.imet.ac.ru*

ISSN 1516-392X

1 INTRODUÇÃO

As ligas de Ti contendo elementos β-estabilizadores isomórficos, como Nb, Ta e Mo, entre outros, podem revelar efeitos não elásticos (ENE), como o efeito de memória de forma (EMF), alta capacidade de amortecimento e superelasticidade (SE), sendo todos estes efeitos correlacionados com as transformações martensíticas reversíveis.[1-8]

Entretanto, estas ligas ainda estão em fase de pesquisa e desenvolvimento, o que justifica a importância deste trabalho, visando a possível aplicação destas ligas em várias áreas, incluindo indústria química, eletrônica, medicina e equipamentos especiais. Além das características já citadas, estas ligas possuem uma elevada resistência a corrosão, o que torna o seu uso atrativo para o setor *off-shore* e em vários equipamentos submersos. Isto ressalta a relevância do presente trabalho, já que a Região Norte Fluminense possui uma das maiores bacias petrolíferas do Brasil.

Sendo assim, o objetivo deste estudo é a avaliação da estrutura, propriedades e das mudanças estruturais sofridas devido à deformação de ligas de titânio contendo o molibdênio como elemento β-estabilizador, cujo teor varia entre 6-15% (% peso).

2 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta pesquisa, foram utilizadas as ligas do sistema Ti-Mo, onde o teor de Mo varia entre 6-15% (% peso). Todas as ligas foram fabricadas pela técnica de cinco fusões em forno elétrico a arco, homogeneizadas em ampolas de quartzo evacuadas a 1.200ºC, forjadas a quente em atmosfera protetora, recozidas, temperadas e laminadas a frio, com deformação de 20%-30%, no Instituto de Metalurgia e de Materiais (IMET) em Moscou. Na etapa final de preparação, as ligas foram recozidas à 800ºC em ampolas de quartzo evacuadas, por um tempo de cerca de oito horas e, em seguida, foram temperadas com resfriamento em água fria, para obter as ligas no estado metaestável.

A análise estrutural das ligas foi realizada utilizando os microscópios Olympus BX41M e Neophot 32. As observações foram feitas utilizando aumentos entre 50x e 500x em dois regimes de observação: luz polarizada e interferência diferencial.

A difração de raios X foi realizada utilizando um difratômetro SHIMADZU modelo XRD-7000, com passo de varredura ($\Delta\theta$) de 0,03 s e tempo de 3 s, usando radiação de Cu-Kα. A identificação das fases presentes nas ligas analisadas foi realizada através da comparação entre os valores das distâncias interplanares obtidas, referente aos planos cristalográficos das fases α', α'', ω e β, apresentados na literatura.[4-5] A composição química destas ligas foi verificada através de microanálise pontual, utilizando o microscópio SHIMADZU modelo SSX-550, operado com 15 kV.

As medidas da resistividade elétrica das ligas foram realizadas através do método das quatro pontas, onde duas destas pontas são usadas para transportar a corrente (i) e as outras duas para monitorar a tensão (V).[9] Para tal, foi utilizada uma fonte de tensão Tectronix PS2520G, um multímetro Agilent 3458A e uma ponteira de quatro pontas Cascade C4S. O cálculo da resistividade elétrica (ρ) é feito através da Equação 25 apresentada no trabalho de Girotto e Santos.[9]

Os ensaios de microdureza em escala Vickers (HV) foram realizados em um microdurômetro modelo MHP-100 acoplado ao microscópico Jenavert, aplicando

ISSN 1516-392X

uma carga de 35 g. Foram feitas 15 medidas em cada amostra, cinco em cada região, permitindo o cálculo da microdureza média da liga.

Com o objetivo de avaliar as mudanças estruturais sofridas pelas ligas após a deformação, foi feito um teste de compressão nas amostras, a fim de promover uma redução de 10% em relação à sua altura inicial (L_0). O ensaio de compressão foi feito utilizando a máquina INSTRON-5582, com uma velocidade de deformação de 0,2mm/min, fornecendo os valores de (ΔL) e força (N) aplicada durante o carregamento e descarregamento controlados. Através destes dados, foram calculados os valores de tensão (MPa) e deformação, total e residual (%), acumuladas pelas amostras nos ensaios.

3 RESULTADOS

3.1 Análise Estrutural

3.1.1 Liga Ti-6%Mo

A Figura 1 apresenta o difratograma da liga Ti-6%Mo. Determinou-se que a estrutura desta liga é composta pelas fases principais β (CCC) e α/α' (HC), além de traços da martensita α" e da fase ω (HCC). A fase β foi identificada pelo pico característico de alta intensidade $(110)_\beta$ e pelos picos $(220)_\beta$ e $(310)_\beta$. A fase martensítica α' e a fase α estável foram identificadas pelos seguintes picos característicos: $(100)_{\alpha/\alpha'}$, $(002)_{\alpha/\alpha'}$, $(101)_{\alpha'}$, $(110)_{\alpha'}$, $(103)_\alpha$ $(112)_{\alpha/\alpha'}$ e $(201)_{\alpha/\alpha'}$. Notou-se também a presença da fase α", identificada nos picos característicos $(112)_{\alpha''}$, $(113)_{\alpha''}$ e $(041)_{\alpha''}$. A presença da fase ômega ω foi comprovada pelo pico característico $(021)_\omega$.

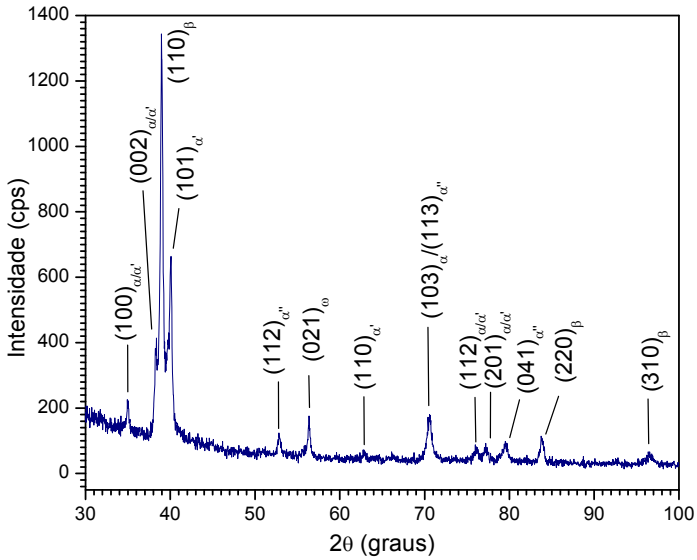


Figura 1. Difratograma da liga Ti-6%Mo.

A microestrutura da liga Ti-6%Mo é apresentada na Figura 2. É possível observar regiões com relevo martensítico, sendo esta morfologia característica da martensita α'. Nota-se também a existência de regiões sem agulhas martensíticas, identificadas como grãos da fase β, o que está de acordo com o resultado da difração de raios X mostrado anteriormente.

ISSN 1516-392X

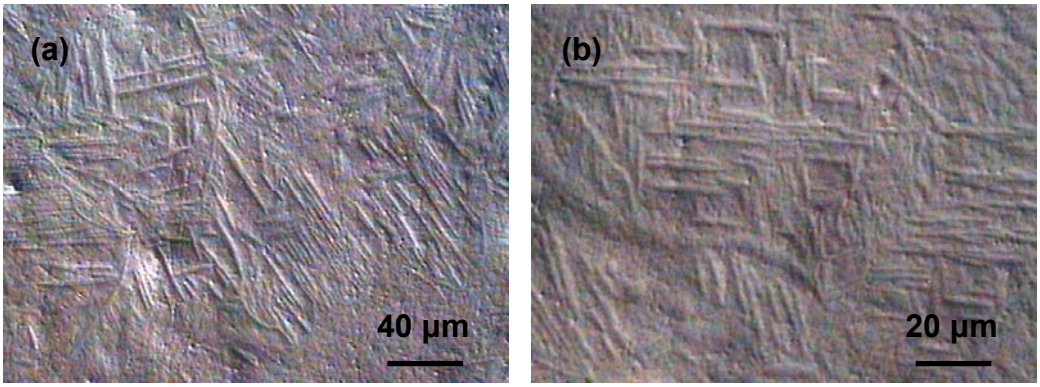


Figura 2. Aspecto morfológico da liga Ti-6%Mo, com aumentos de (a) 200x e (b) 400x em interferência diferencial.

3.1.2 Liga Ti-8%Mo

O difratograma da liga Ti-8%Mo é apresentado na Figura 3. Determinou-se que a estrutura desta liga é composta pelas fases principais β (CCC) e α /α' (HC), além de apresentar traços das fases martensita α" e da fase ω (HCC). A fase β foi identificada por seus picos característicos $(110)_{\beta}$, $(220)_{\beta}$ e pelo pico $(310)_{\beta}$. Já a fase martensítica α' e a fase α foram identificadas por seus picos característicos $(100)_{\alpha/\alpha'}$, $(002)_{\alpha/\alpha'}$, $(101)_{\alpha'}$, $(110)_{\alpha'}$, $(103)_{\alpha}$ $(112)_{\alpha/\alpha'}$ e $(004)_{\alpha'}$. Notou-se também a presença da fase α", identificada nos picos característicos $(113)_{\alpha''}$ e $(132)_{\alpha''}$. A presença da fase ômega ω foi comprovada pelos picos característicos $(021)_{\omega}$ e $(122)/(131)_{\omega}$.

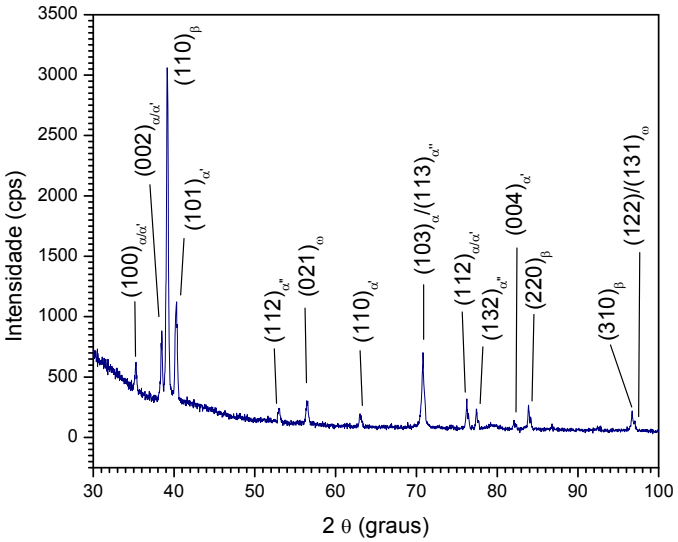


Figura 3. Difratograma da liga Ti-6%Mo.

O aspecto morfológico da liga Ti-8%Mo é apresentado na Figura 4. Esta liga, diferentemente de todas as outras, sofreu um processo corrosivo intenso quando atacada quimicamente, utilizando-se a mesma solução. Por isso, esta liga foi polida após o ataque químico para que o excesso de óxido formado fosse removido.

As micrografias revelaram que esta liga apresenta uma estrutura composta pelos grãos da fase β e regiões com relevo martensítico característico da fase α', como previsto pela difração de raios X. Também notou-se a presença de segregações em alguns contornos de grão, o que pode ser visto com maior clareza na Figura 4 (b).

ISSN 1516-392X

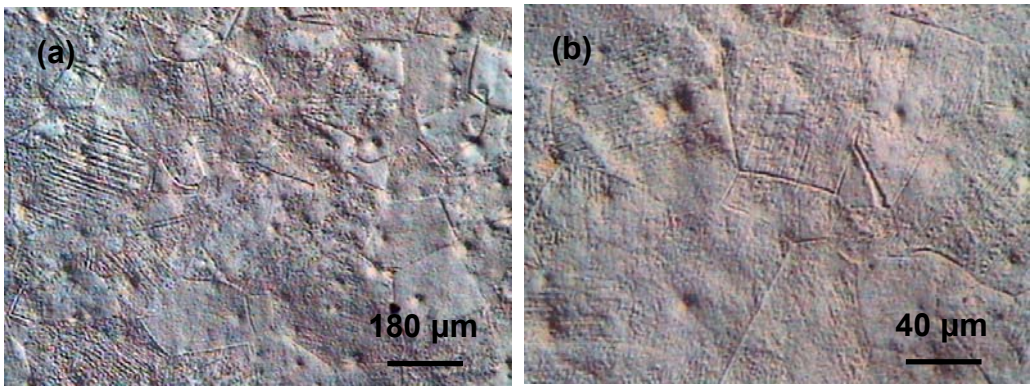


Figura 4. Aspecto morfológico da liga Ti-8%Mo com aumentos de (a) 50x e (b) 200x em interferência diferencial.

3.1.3 Liga Ti-10%Mo

A Figura 5 apresenta o difratograma da liga Ti-10%Mo. Observou-se que esta liga apresenta uma estrutura composta predominantemente pela fase β (CCC), que foi identificada pelo pico característico de alta intensidade $(110)_{\beta}$ e pelo pico $(220)_{\beta}$. Além da fase principal β, também foram identificadas, em menor quantidade, a fase α (HC), as fases martensíticas α'/α" e a fase ω (HCC). A fase martensítica α' e a fase α foram identificadas por seus picos característicos $(100)_{\alpha/\alpha'}$, $(002)_{\alpha/\alpha'}$, $(101)_{\alpha/\alpha'}$ e $(103)_{\alpha}$, enquanto a fase martensítica α'' foi identificada pelo pico $(023)_{\alpha''}$. Já em relação à fase ω, foi identificado o pico característico $(021)_{\omega}$.

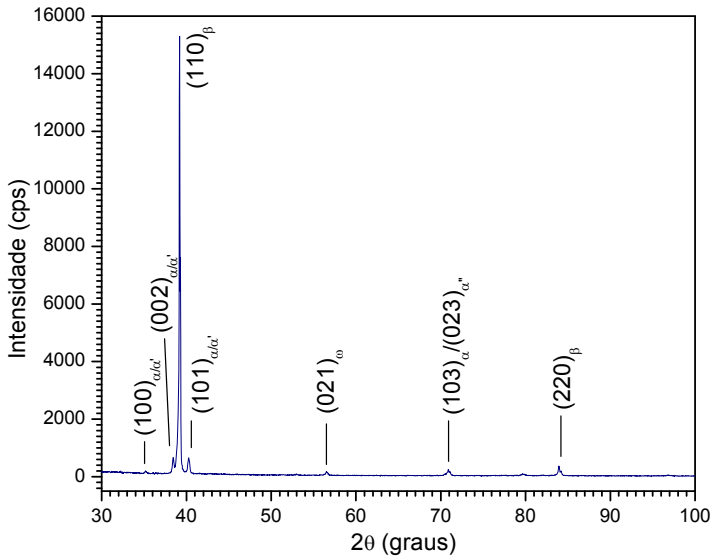


Figura 5. Difratograma da liga Ti-10%Mo.

O aspecto morfológico da liga Ti-10%Mo é apresentado na Figura 6. É possível observar que esta liga tem sua estrutura composta em grande parte por grãos da fase β, o que está de acordo com o resultado da difração de raios X. Notou-se, em alguns grãos, a presença de segregações próximas aos contornos e nos contornos, o que pode ser observado com maiores detalhes na Figura 6 (b).

ISSN 1516-392X

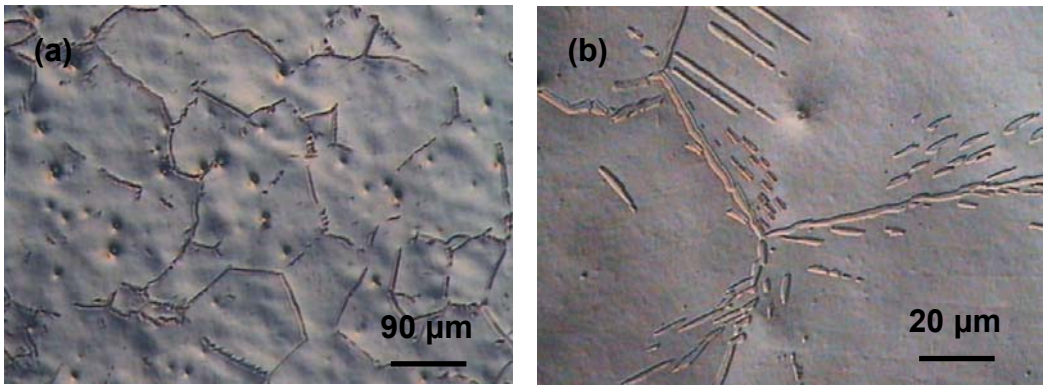


Figura 6. Aspecto morfológico da liga Ti-10%Mo, com aumentos de (a) 100x e (b) 400x em interferência diferencial.

3.1.4 Liga Ti-15%Mo

O difratograma da liga Ti-15%Mo é apresentado na Figura 7. Notou-se que esta liga possui uma estrutura composta pela fase β (CCC) majoritária, que foi identificada pelos picos característicos $(110)_{\beta}$, de alta intensidade, e pelos picos $(220)_{\beta}$ e $(310)_{\beta}$. Além da fase principal, também notou-se a presença da fase martensítica α", que foi identificada pelos picos característicos $(020)_{\alpha''}$, $(111)_{\alpha''}$, $(021)_{\alpha''}$ e $(023)_{\alpha''}$. Também foram identificados traços da fase α (HC) e da fase ω (HCC), que foram identificadas, respectivamente, pelos picos característicos $(103)_{\alpha}$, $(021)_{\omega}$ e $(122)/(131)_{\omega}$.

A microestrutura da liga Ti-15%Mo é apresentada na Figura 8. Esta liga apresenta uma estrutura composta principalmente por grãos da fase β, o que está de acordo com o resultado da difração de raios X apresentado. Assim como na liga contendo 10% Mo, é possível observar nesta liga a presença de segregações em alguns contornos dos grãos, entretanto, em menor quantidade.

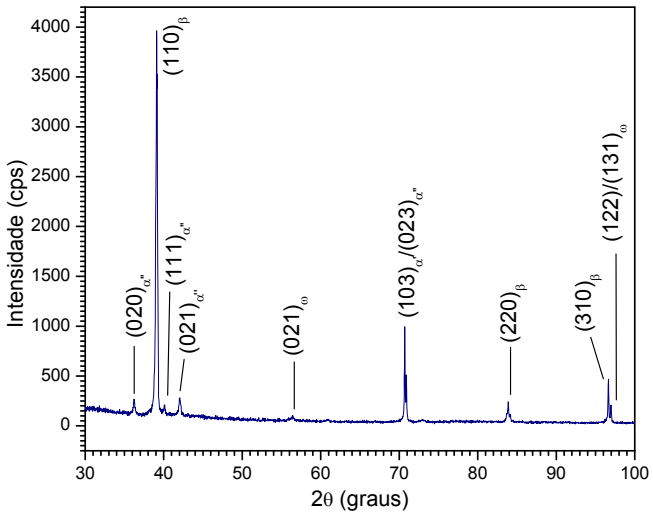


Figura 7. Difratograma da liga Ti-15%Mo.

ISSN 1516-392X

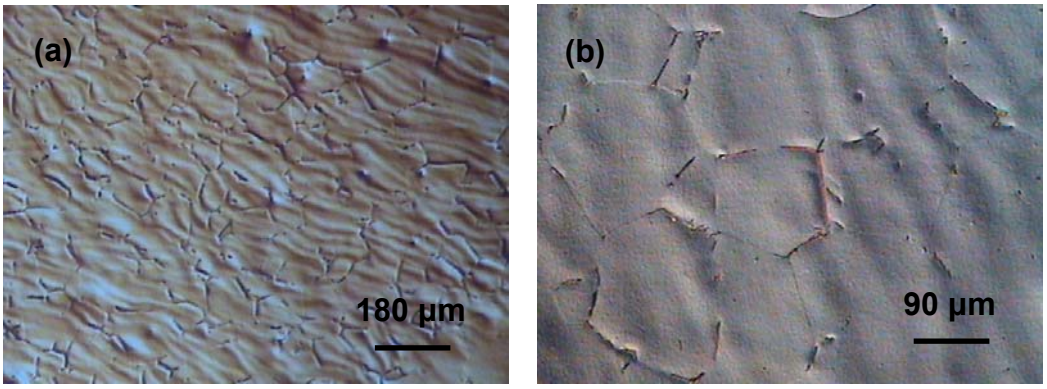


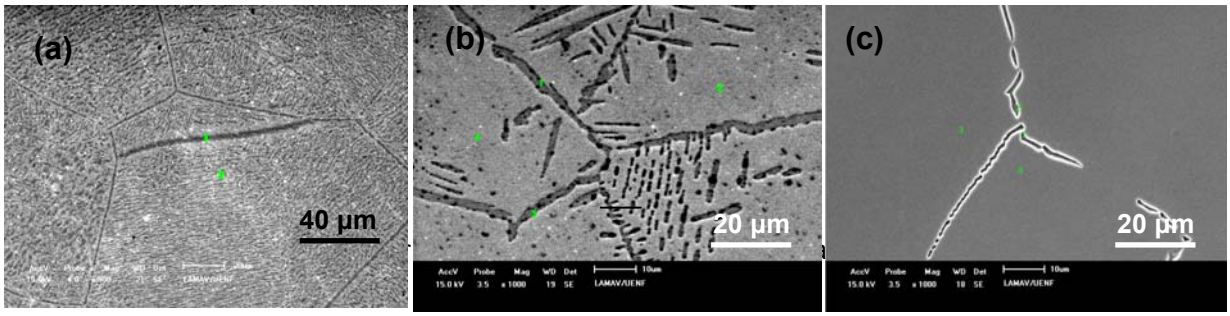
Figura 8. Aspecto morfológico da liga Ti-15%Mo, com aumentos de (a) 50x e (b) 200x, em interferência diferencial.

3.2 Microanálise

A Tabela 1 apresenta o teor de Mo (% peso) nas ligas investigadas, obtido através da microanálise pontual de suas composições químicas, realizada no MEV. A análise foi feita em pontos sobre as segregações, nos contornos de grão, e em pontos dentro dos grãos. A Figura 9 apresenta micrografias obtidas por elétrons secundários (ES) para cada uma das ligas investigadas, indicando os respectivos pontos de microanálise.

Tabela 1. Teor de molibdênio nas ligas, verificado por microanálise em pontos

Composição nominal da liga	Teor de Mo (% peso)			
	ponto 1	ponto 2	ponto 3	ponto 4
Ti-8%Mo	7,275	8,295	--	--
Ti-10%Mo	não identificado	9,055	não identificado	9,431
Ti-15%Mo	7,394	3,166	13,308	15,087



3.3 Resistividade Elétrica

A Tabela 2 apresenta os valores de resistividade elétrica (ρ) obtidos para cada uma das ligas analisadas, bem como suas respectivas composições nominais.

ISSN 1516-392X

Tabela 2. Valores da resistividade elétrica das ligas do sistema Ti-Mo

Composição nominal da liga	Composição fásica	ρ (x10^{-6}) Ωm	σ (x10^{-6}) Ωm	ε (x10^{-6}) Ωm
Ti-6%Mo	β + α/α´ + (α´´) + ((ω))	1,3111	0,0145	0,0239
Ti-8%Mo	β + α/α´ + (α´´+ω)	1,3425	0,0202	0,0332
Ti-10%Mo	β + ((α/α´ + α´´ + ω))	1,5436	0,0409	0,0673
Ti-15%Mo	β + ((α´ + α´´ + ω))	1,6357	0,0101	0,0166

Através da análise dos resultados de resistividade elétrica obtidos, nota-se que esta propriedade tem seu valor aumentado com o aumento do teor de Mo presente na liga. Na liga Ti-6%Mo, o valor de resistividade encontrado foi de 1,3111±0,0239x10^{-6}Ω.m, aumentando para 1,6357±0,0166x10^{-6}Ω.m na liga Ti-15%Mo.

3.4 Microdureza

A Tabela 3 apresenta os resultados do ensaio de microdureza (HV) obtidos para cada liga, assim como o desvio padrão (σ) e o erro absoluto (ε) das medidas.

Tabela 3. Resultados das medidas de microdureza das ligas do sistema Ti-Mo

Composição nominal da liga	HV (kgf/mm²)	σ (kgf/mm^2)	ε (kgf/mm^2)
Ti-6%Mo	159,85	8,35	13,73
Ti-8%Mo	191,57	8,17	13,44
Ti-10%Mo	203,92	8,72	14,34
Ti-15%Mo	238,76	11,97	19,69

Os resultados do ensaio de microdureza das ligas revelam um aumento da desta propriedade com o aumento do teor de Mo na composição das ligas. Para a liga contendo 6%Mo, a microdureza obtida foi de 159,85±13,73kgf/mm², enquanto que, para a liga com 15%Mo, a microdureza obtida foi de 238,76±19,69kgf/mm². Além disso, o valor da microdureza nessas ligas também está relacionado com a fase ω, que, quando presente, endurece as ligas de Ti.

3.5 Ensaio de Compressão

Os gráficos tensão *versus* deformação, obtidos nos ensaios de compressão, são mostrados na Figura 10. A Figura 11 apresenta os valores dos módulos de elasticidade das ligas (E), determinados a partir das curvas.

ISSN 1516-392X

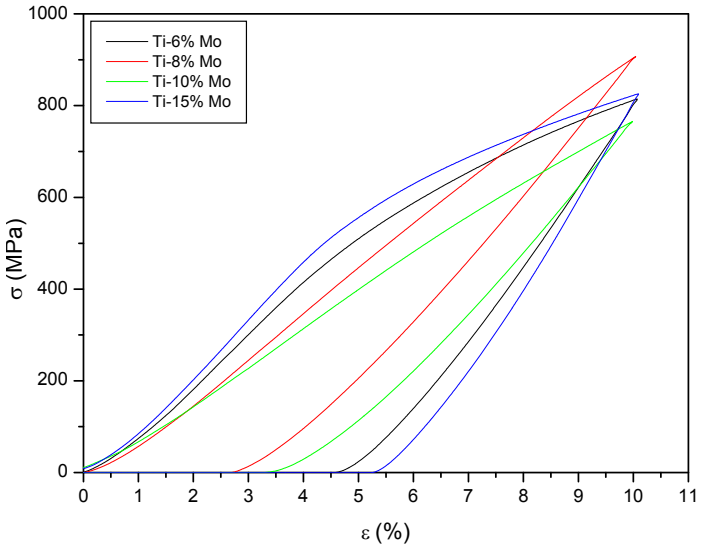


Figura 10. Curvas de deformação por compressão das ligas.

Os resultados dos ensaios de compressão revelaram que, até uma deformação total de 10%, as ligas com 6 e 15%Mo apresentam um comportamento mecânico similar, tanto em relação a sua resistência quanto ao acúmulo de deformação plástica. Essas ligas apresentam maiores valores dos módulos de elasticidade, 111 e 125MPa, respectivamente, e acumularam de 4,5 a 5,5% de deformação residual. Ao contrário, as ligas com 8 e10%Mo, apresentaram menores valores de E, (100MPa e 83MPa) e se comportaram de modo mais elástico. Entre as ligas investigadas, destacou-se a com 8%Mo, com deformação residual inferior a 2,8%.

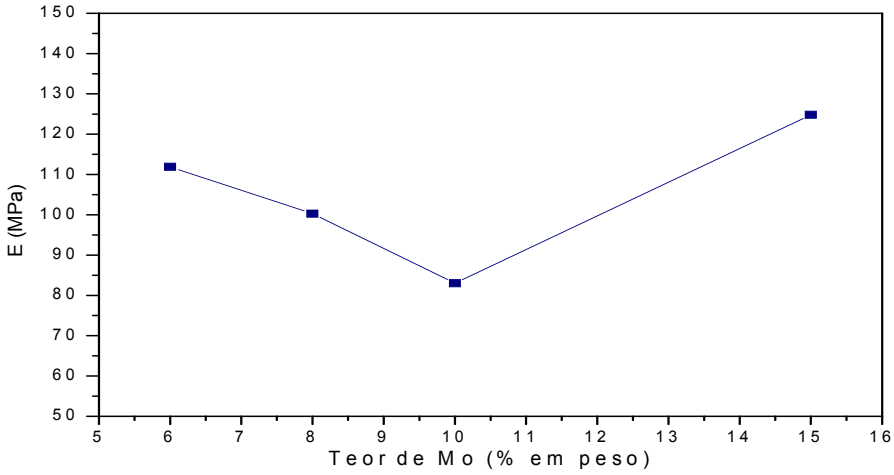


Figura 11. Módulo de elasticidade das ligas em função do teor de Mo.

4 DISCUSSÃO

Os resultados da difração de raios X revelam que a estrutura das ligas do sistema Ti-Mo é composta pela fase β (CCC), apresentando também, em menor participação, a fase α (HC), martensitas α' (HC) e α" (ortorrômbica), além da fase ω (HCC). A presença da fase α estável foi atribuída às condições de recozimento aplicado às ligas. Com base no diagrama de fase Ti-Mo,[10] é possível observar que

ISSN 1516-392X

o recozimento e a têmpera realizada a partir de 800ºC têm seu ponto de início dentro do campo bifásico α+β, o que justifica a presença da fase α nas ligas analisadas. Na têmpera, somente a fase β sofre transformação pelo mecanismo martensítico. Com aumento do teor de Mo, as temperaturas críticas diminuem drasticamente[3] contribuindo na estabilização da fase β metaestável. Isso explica o fato de a fase β ter se mostrado como majoritária nas ligas com maiores teores de Mo (10% e 15%), o que foi comprovado pela analise estrutural realizada por várias técnicas.

Chen et al.[11] e Ho, Ju e Lin[12] avaliaram a estrutura das ligas de Ti-Mo no estado após sua fundição, cujos teores de Mo selecionados para seus estudos foram 5%-20% e 6%-20%, respectivamente. Estes autores determinaram que, quando o teor de Mo aumenta a partir de 6%Mo, a fase β se torna principal até que, com 15%Mo, apenas grãos desta fase são observados na estrutura da liga. Contudo a presença das fases metaestáveis e da fase α na estrutura das ligas analisadas neste trabalho é atribuída à têmpera realizada a partir do campo α+β do diagrama de fases, o que permite considerar que os resultados obtidos estão de acordo com a literatura.

A análise das micrografias das ligas analisadas permite observar que elas apresentam uma estrutura composta principalmente por grãos da fase β, que sofreram ou não a transformação martensítica, o que está de acordo com o resultado da difração de raios X apresentado para cada liga. É possível observar também segregações no interior de alguns grãos e em alguns contornos de grão da fase β, que foram notadas com mais clareza nas ligas com maior teor de Mo (10% e 15%). A análise química das ligas permitiu observar que estas segregações, em comparação com outras regiões no interior dos grãos, são mais ricas no elemento Ti, o que é característico para a fase α estável. Com o aumento do teor de Mo na composição das ligas, embora a participação da fase α diminua, de acordo com o diagrama de fase Ti-Mo,[10] esta aparece com maior clareza nas ligas com a fase β metaestável majoritária (10%Mo e 15%Mo). Na liga com 15%Mo, entretanto, a sua participação na estrutura é menor e nem aparece em todos os contornos.

A resistividade elétrica dos elementos que constituem as ligas, de acordo com Smith,[13] é $0{,}427 \times 10^{-6} \Omega.m$ (Ti) e $0{,}0535 \times 10^{-6} \Omega.m$ (Mo). Comparando os resultados de resistividade elétrica das ligas analisadas, com a grandeza ρ dos elementos constituintes, nota-se que há um aumento significativo de ρ nas ligas com o aumento do teor de Mo. Isso pode ser explicado pelo fato que os elementos de liga sendo dissolvidos no metal base, sempre aumentam a resistividade elétrica nas soluções sólidas formadas.[13] Além disso, o aumento de Mo facilita a formação da fase ω, que é responsável, entre outras conseqüências, por aumentar a resistividade elétrica das ligas de Ti contendo β-estabilizadores. Além disso, o valor de ρ do Ti puro foi medido nas condições de Ti-α, enquanto que as ligas analisadas possuem outra modificação alotrópica, β.

Segundo Ivanhko,[14] a microdureza do Ti refinado (iodedado) é de 99 kgf/mm². De acordo com Collings[1] a adição de elementos intersticiais e elementos de liga ao Ti elevam a sua microdureza, devido à formação da solução sólida. Assim como no caso da resistividade elétrica, a presença da fase ω na composição fásica das ligas também contribui com o aumento dos seus valores de microdureza. As medidas de microdureza das ligas analisadas neste trabalho revelaram boa concordância com a literatura, já que os valores obtidos aumentam com o aumento do teor de Mo na composição química das ligas investigadas.

ISSN 1516-392X

5 CONCLUSÃO

1. A liga temperada Ti-6%Mo apresentou sua estrutura composta por fases metaestáveis, como a fase β (CCC), martensitas α' (HC) e α"(ortorrômbica) e fase ω (HCC), além da fase α (HC). Com aumento do teor de Mo de 6% a 15%, a participação da fase β metaestável aumenta e, na liga com 15%, esta fase revela-se como a majoritária, com traços das fases α"/α' e pouca participação das fases α e ω, o que revela a sua capacidade β-estabilizadora.
2. Foi determinado que o aumento do teor de molibdênio, de 6% a 15%, e a conseqüente estabilização da fase β causam um aumento na sua resistividade elétrica e na sua microdureza.
3. Nas ligas com elevado teor de molibdênio (10%Mo e 15%Mo), foi determinada a presença de segregações nas regiões próximas aos contornos de grão da fase β, identificadas como precipitados da fase α, decorrentes da têmpera a partir da temperatura de 800ºC.
4. Baixos valores do módulo de elasticidade (E) e baixa deformação residual foram notados nas ligas cuja estrutura é composta de fases metaestáveis e de baixa estabilidade (8 e 10%Mo). Neste caso, os efeitos não elásticos podem ser esperados. Com maior participação da fase α estável (6%Mo) e/ou com estabilidade da fase β (15%Mo), o comportamento mecânico para materiais é mais típico com estruturas estáveis. Neste caso, o material, não é propício para mostrar efeitos não elásticos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao PIBIC/UENF e à FAPERJ pelo financiamento da pesquisa. Agradecimentos também ao IMET, pelo fornecimento das ligas utilizadas neste trabalho e ao técnico do LAMAV, Carlan Ribeiro Rodrigues, pela realização dos ensaios de compressão.

REFERÊNCIAS

1 COLLINGS, E.W. The Physical Metallurgy of Titanium Alloys. ASM. Ed. Metals Park, 1984.
2 LEYENS, C.; PETERS, M. Titanium and Titanium Alloys. Wiley-VCH GmbH & Co. KGaA. Germany, 2003.
3 FEDOTOV, S.G. As Fases Metaestáveis nas Ligas de Titânio, o Mecanismo e as Condições de Formação. In: Investigações dos Metais dos Estados Líquidos e Sólidos, Moscou, Nauka, p. 207-240, 1964.
4 FEDOTOV, S.G.; KONSTANTINOV, K.M.; KOKNAEV, R.G.; SINODOVA, E.P. Estrutura, Propriedades e Decomposição da Martensita nas Ligas de Titânio - Nióbio. Ligas de Titânio com Propriedades Especiais. Moscou, Nauka, p. 29-32, 1982.
5 FEDOTOV, S.G.; KONSTANTINOV, K.M.; SINODOVA, E.P. Propriedades, Estruturas e Transformações nas Ligas Temperadas de Titânio - Nióbio com Estruturas (α'+ω+β), (ω+β) e β. Ligas de Titânio com Propriedades Especiais. Moscou, Nauka, p. 78 – 82, 1982.
6 TAHARA, M., KIM, HY., HOSODA, H., MIYAZAKI, S. Cyclic deformation behavior of a Ti–26 at.% Nb alloy. Acta Materialia, n. 56, p. 423-433, 2009.
7 YOMEYAMA, T.; ,MIYAZAKI, S. Shape memory alloys for biomedical applications. England, Woodhead Publishing Limited (CRC Press), 2009.

ISSN 1516-392X

8 SCHNEIDER, S. G.; MACEDO, B. Z.; NETTO, N. C.; SCHNEIDER, S. Avaliação da Transformação de Fase Induzida por Tensão na Nova Liga Ti-35Nb-7Zr. 6th Latin American Congress of Artificial Organs and Biomaterials (COLAOB 2010), ago 2010. Disponível em: http://sec.adtevento.com.br/tribecaeventos/cdrom/resumos/TC0127-2.pdf. Acesso em: 07fev. 2011.
9 GIROTTO, E.M., SANTOS, I.A. Medidas de Resistividade Elétrica dc em Sólidos: Como Efetuá-las Corretamente. Quim. Nova, v. 25, n. 4, p. 639-647, 2002.
10 ASM handbook: Alloy phase diagrams. Metals Park: ASM International, v.3, 1992.
11 CHEN, Y.Y., XU, L.J., LIU, Z.G., KONG, F.T., CHEN, Z.Y. Microstructures and properties of titanium alloys Ti-Mo for dental use. Trans. Nonferrous Met. SOC, v. 16, p. 824-828, 2006.
12 HO, W.F., JU, C.P., Lin, J.H. Structure and properties of cast binary Ti-Mo alloys. Biomaterials, v. 20, p.2115-2122, 1999.
13 SMITH, W.F. Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais. 3 Edição. Editora McGgraw-Hill de Portugal. Portugal, 1998.
14 IVANHKO, A.A. Dureza. Naukova Dumka, Kiev, Ucrânia, 1968.