

TRATAMENTO TERMOMECÂNICO NA LIGA Cu-Zn-Al COM EFEITO MEMÓRIA DE FORMA (EMF)¹

Francisco Ambrosio Filho²
Adriana Vitório dos Santos³

Resumo

Algumas ligas apresentam a propriedade do efeito de memória de forma, ou seja, têm a capacidade de retornar a uma forma original ao ser submetida a temperaturas estipuladas. Essas ligas vêm sendo cada vez mais utilizadas comercialmente, principalmente na área da medicina, aeronáutica e robótica. Neste trabalho é estudada uma liga com 71,3%Cu - 24,6%Zn - 4,1%Al porcentagem em massa. Amostras da liga são repetidamente tratadas termicamente, a temperaturas específicas de 600°C, 720°C e 750°C, para a determinação e estudo das duas fases – austenita (fase alfa) e martensita (fase beta), analisadas quantitativamente. O objetivo é mostrar a influência das fases na liga realizando laminação a frio no material.

Palavras-chave: Liga Cu-Zn-Al; Memória de forma; Tratamentos térmicos; Laminação a frio.

THERMOMECHANICAL TREATMENT IN A Cu-Zn-Al ALLOY WITH SHAPE MEMORY EFFECT

Abstract

Some alloys exhibits the property of shape memory effect, i.e., have the ability to return to an original shape when subjected to stipulated temperatures. These alloys are increasingly becoming used commercially, especially in medicine, aeronautics and robotics. This work studied an alloy with 71.3% Cu - 24.6% Zn - 4.1% Al by mass percentage. Alloy samples are routinely heat treated to specific temperatures of 600°C, 720°C and 750°C for determination and study of two phases - austenite (alpha phase) and martensite (beta phase), analyzed quantitatively. The goal is to show the influence of alloy phases by cold rolling the material.

Key words: Cu-Zn-Al alloy; Shape memory effect; Heat treatment; Cold rolling.

¹ Contribuição técnica ao 67^o Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Prof. Dr., Depto. Eng. de Materiais, Centro Universitário da FEI, SP, Brasil; ambrosio@fei.edu.br.

³ Graduanda, Eng. de Materiais, Centro Universitário da FEI, SP, Brasil; drica.usp@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Efeito de Memória de Forma (EMF)

A expressão liga com memória de forma (LMF) é aplicada a uma família de materiais metálicos que mesmo após serem deformados, demonstram a habilidade de retornar a uma forma previamente definida, desde que submetidos a um processo termomecânico apropriado, ou seja, tem propriedades termo-elásticas. Estas propriedades são originadas da Transformação Martensítica Termoelástica que é caracterizada por uma transformação sem difusão (primeira ordem), com deformação homogênea da rede cristalina, constituída principalmente por uma tensão de cisalhamento. As LMFs sofrem esta transformação martensítica que pode ser induzida pela imposição de um campo de tensões e/ou temperatura.⁽¹⁻³⁾ A Figura 1 ilustra o mecanismo do efeito memória de forma segundo a definição acima.

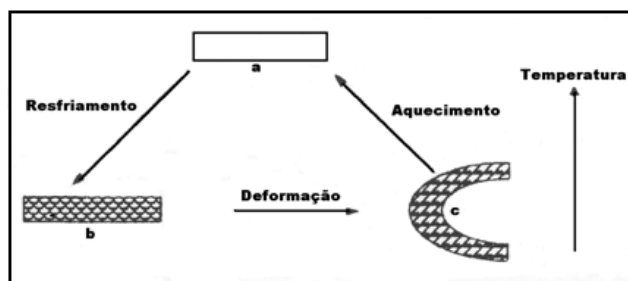


Figura 1. Mecanismo do efeito memória de forma.⁽⁴⁾

No estado martensítico há uma deformação que pode ser recuperada pelo aquecimento e transformação na fase austenítica. Assim, inicialmente, a liga é resfriada da fase austenítica para a fase martensítica, depois a estrutura é deformada pseudo-plasticamente. Em seguida ela é aquecida para restituir sua estrutura inicial e sem deformação (recuperação da forma).

As ligas com memória de forma apresentam dois fenômenos fundamentais: efeito memória de forma e a pseudo-elasticidade. O efeito de memória de forma pode ser dividido em duas modalidades: efeito de memória de forma, propriamente dito (one-way shape memory effect - OWSME) e memória de forma reversível (two-way shape memory effect – TWSME). Este último tem sido largamente estudado nos últimos anos devido a sua grande possibilidade de aplicações tecnológicas. A pseudo-elasticidade é composta pelos fenômenos da super-elasticidade e efeito tipo borracha.⁽²⁻³⁾

1.2 Preparação Metalográfica

A metalografia é uma técnica utilizada para melhorar a análise e a interpretação da estrutura do corpo de prova auxiliando a observação da estrutura do material (morfologia) e assim prevendo as propriedades do material, o seu comportamento e o modo como foi produzido.

A escala da observação pode ser macrográfica (observação de características estruturais de grandes dimensões, discerníveis à vista desarmada ou recorrendo a pequenas ampliações) e micrográfica (observação de aspectos microestruturais de reduzidas dimensões, como os limites de grão ou outros defeitos cristalinos, recorrendo à microscopia óptica ou à eletrônica).⁽⁵⁾

Antes de proceder à observação, é necessário cumprir diversas etapas de preparação da amostra, as quais geralmente são comuns a todos os casos e, devem ser executadas de acordo com o tipo de material e os meios de observação com que efetivamente se irá trabalhar, pois tais fatores condicionam a preparação.

Essas etapas são: a) escolha do local da amostra a observar; b) corte ou desbaste; c) embutimento; d) lixamento; e) polimento; f) ataque químico.

1.3 Análise Quantitativa

Análise quantitativa (ou metalografia quantitativa) é o estudo quantitativo de um componente de uma mistura ou solução. Usado para determinar a concentração, volume ou massa exata da substância, através de técnicas de gravimetria ou volumetria, instrumentais ou outras.⁽⁶⁾

Como a maioria dos materiais é opaca, as medidas de metalografia quantitativa são feitas em superfícies opacas (ou projeções no caso de lâminas finas utilizadas em microscopia de transmissão) e a partir dessas medidas devem ser obtidos parâmetros que caracterizem tridimensionalmente a microestrutura.⁽⁷⁾

1.4 Laminação a Frio

A laminação, que é o processo de deformação mais amplamente utilizado, consiste em se passar uma peça metálica entre dois rolos; uma redução da espessura resulta das tensões de compressão exercidas pelos rolos. A laminação a frio pode ser usada na produção de chapas, de tiras e de folhas, com elevada qualidade de acabamento superficial. Formas circulares, assim como vigas “I” e trilhos de trem, são fabricados usando rolos com ranhuras.⁽⁸⁾

Durante o processo de deformação mecânica, não deformamos apenas o material mas também a sua microestrutura. Durante os processos de conformação a frio, por exemplo, cerca de 2 a 10% da energia é revertida em defeitos cristalinos na microestrutura, que proporcionam um grande aumento na dureza e resistência mecânica do material. A esse fenômeno damos o nome de encruamento.⁽⁹⁾

1.5 Ensaio de Dureza Vickers

A propriedade mecânica denominada dureza é amplamente utilizada em diversas engenharias sendo na área de materiais e metalurgia relacionada à resistência de sofrer deformação plástica.⁽¹⁰⁾

Durante o ensaio, o material a ser estudado sofre a penetração de uma pirâmide de diamante com base quadrada, que por sua vez, está sob efeito de uma determinada carga que a partir da impressão deixada pelo penetrador (que é dependente da resistência oferecida pelo material) obtém-se os resultados de dureza.

A representação do ensaio é dada pelo valor de dureza, seguido do símbolo HV e de um número que indica o valor da carga aplicada. Exemplo: A representação 440 HV 30 indica que o valor da dureza Vickers é 440 e que a carga aplicada foi de 30 kgf.

Algumas considerações devem ser efetuadas neste tipo de ensaio segundo a norma ABNT NBR NM ISO 6507-1 e ASTM.⁽¹¹⁾ O corpo de prova deve ser devidamente preparado com sua superfície limpa, plana e lisa. Nos ensaios em que requerem micro-cargas o material deve passar por uma preparação metalográfica. A espessura do corpo-de-prova deve ser no mínimo 1,5 vezes o comprimento da diagonal da impressão e as impressões devem ser espaçadas de no mínimo 2,5

vezes o diâmetro da impressão. Em geral o ensaio é realizado em temperatura ambiente dentre dos limites de 10°C a 35°C.

Neste trabalho foi estudada uma liga de Cu-Zn-Al que apresenta a propriedade de efeito de memória de forma. Amostras dessa liga foram tratadas termicamente, à temperaturas específicas e resfriadas rapidamente objetivando alterar a microestrutura e conseqüentemente suas propriedades. O objetivo é mostrar a influência das fases austenita e martensita na liga realizando laminação a frio no material.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizados corpos de provas da liga Cu-Zn-Al. Após análise química, amostras foram laminadas a frio até uma espessura pré-determinada e, a seguir, aquecidas a temperaturas de 600°C, 720°C e 750°C durante uma hora e resfriadas rapidamente em água. Utilizando a infraestrutura do Laboratório de Materiais da FEI amostras foram preparadas metalograficamente. Após medidas de dureza, utilizando a escala Vickers, essas amostras foram analisadas no microscópio óptico Leica e os constituintes quantificados através dos softwares Leica Qwin e Metallurgy.

3 RESULTADOS

O resultado de análise química indicou tratar-se de uma liga constituída por 4,1%Al, 24,6%Zn e 71,3%Cu. A análise metalográfica indicou a presença da fase α proeutética e do constituinte martensita, mostrados na Figura 2. Utilizando os recursos citados quantificou-se esses constituintes e o resultado obtido é mostrado na Tabela 1.

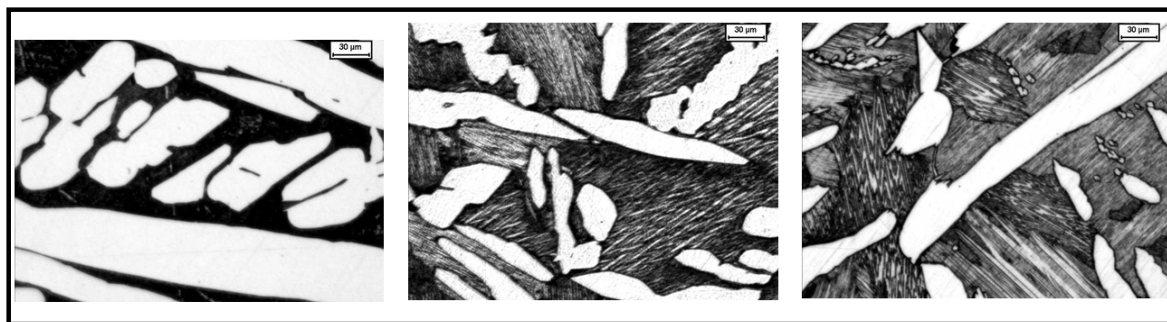


Figura 2. Micrografia da liga após resfriamento rápido a partir de 600 °C, 720 °C e 750°C, respectivamente. Fase α proeutetóide e martensita. Observa-se diminuição da fase α , conforme mostrado na tabela 1 e o conseqüente aumento da porcentagem de martensita.

Tabela 1. Análise Quantitativa - % de fase α (Austenita)

600°C	720°C	750°C
53,76 ± 2,60	27,82 ± 1,43	20,49 ± 2,56

Como esperado teoricamente, o aumento da temperatura do tratamento térmico provocou aumento da quantidade de fase β . Esta fase, num processo de resfriamento rápido sofre transformação martensítica. A estrutura martensítica, quando comparada com a fase α , apresenta maior dureza, o que refletiu em aumento de dureza do material tratado em temperaturas crescentes (Tabela 2.)

Tabela 2. Microdureza (HV) - VICKERS (HV 0,05)- Fase α (Austenita)

	600°C	720°C	750°C
1º Trat. Térmico	90,9 ± 6,61	119,3 ± 5,29	122,2 ± 6,25

Através da Tabela 3, que apresenta os dados de macrodureza realizados após cada fase do tratamento térmico, pode-se verificar a influência da quantidade de fase α na dureza do material.

Tabela 3. Microdureza Vickers após tratamento térmico nas temperaturas indicadas (HV 0,5)

	600°C	720°C	750°C
1º Trat. Térmico	122,0 ± 1,33	136,3 ± 3,86	158,6 ± 7,59
1º Trat. Térmico e laminado	237,0 ± 3,74	233,0 ± 3,56	242,3 ± 6,94
2º Trat. Térmico	109,3 ± 5,44	115,6 ± 2,05	139,6 ± 8,26
2º Trat. Térmico e laminado	224,6 ± 0,94	226,3 ± 8,18	243,3 ± 5,79
3º Trat. Térmico	121,3 ± 3,68	123,3 ± 4,99	142,3 ± 6,60

Nota-se o grande aumento de dureza após laminação devido ao encruamento dos grãos, que proporcionou o aumento da resistência mecânica do material.

4 DISCUSSÃO

Nota-se que após o tratamento térmico na liga Cu–Zn–Al, tem-se a presença de duas fases α e β bem distintas;

Verifica-se que a dureza do material está relacionada com a quantidade das fases presentes, assim quanto maior a quantidade de fase α , o material apresenta maior ductibilidade e menor resistência mecânica;

Após o processo de laminação, o encruamento aumenta consideravelmente a resistência mecânica do material e, após tratamento térmico, a recristalização diminui a mesma.

5 CONCLUSÃO

Com base nas atividades e ensaios realizados conclui-se que:

- Após o processo de laminação a frio, a porcentagem crescente de encruamento aumenta proporcionalmente a dureza do material e, após tratamento térmico, ocorre a recristalização, a dureza diminui.
- Após o tratamento térmico da liga Cu–Zn–Al tem-se a presença dos constituintes α e martensita bem distintos;
- A dureza do material está relacionada com a quantidade dos constituintes presentes;
- Quanto maior a quantidade de martensita, maior a dureza e menor a trabalhabilidade do material.

Agradecimentos

Ao Centro Universitário da FEI pela concessão da bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

- 1 Tsuchiya K. And Harrison, J.D , “The Origins of the Shape Memory Effect”, JOM, pp.26-28, 1989.
- 2 Funakubo, H. Shape Memory Alloys. London. Gordon and Breach Science Publishers, 1987. 270p.ISBN 2-881242136-0 PP-116-117.
- 3 Wayman, C.M and Harrison, J.D., “The Origins of the Shape Memory Effects”, JOM, pp.26-28, 1989.
- 4 Duerig, T.W., Pelton, A. R. “The use of superelasticity in Medicine” in Metall, sonderdruck aus heft 9/96, Metall Verlag-Huthig, Gmbh, Heidelberg, pp 569-574
- 5 COLPAERT, H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4^a Edição. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.
- 6 Autor desconhecido; Análise Quantitativa. Disponível em:
http://pt.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lise_quantitativa. Acesso em: 16 de maio de 2010.
- 7 PADILHA, A. Transformações de fase. São Paulo: Artliber,2007.
- 8 CALLISTER Jr., W. “Ciência de engenharia de materiais uma introdução”. 7^a Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- 9 MACHADO, I. Tratamentos Térmicos e de Superfície. Disponível em:
http://www.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/Tratamento_termico_e_superficial.pdf. Acesso em: 20 de agosto de 2010.
- 10 SOUZA, S. Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos – Fundamentos teóricos e aplicações. Ed. Edgard Blucher Ltda. 5^o Ed.1982
- 11 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6507-1: Aços-determinação e verificação da profundidade de cementação. Rio de Janeiro, 1994.