

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO RECOZIMENTO DE TUBOS DE COBRE EM FORNOS TIPO POÇO¹

Mauro Roberto de Souza²

Resumo

Este trabalho procura relacionar a melhor condição para o recozimento de tubos de cobre liga UNS C-12200, evitando-se um problema conhecido como “colamento” da bobina, que é verificado durante o desbobinamento do material após o recozimento. Este problema é causado pela difusão do material devido à temperatura do forno e ao tempo de recozimento. Foram realizados alguns testes, relacionando-se seus valores com o objetivo de determinar a melhor condição de recozimento, definindo-se a temperatura e o tempo ideal de recozimento, procurando minimizar o “colamento” das bobinas, sem afetar as demais propriedades mecânicas e estruturais dos tubos.

Palavras-chave: Cobre UNS C-12200; Tubo; Recozimento; Difusão.

ANNEALING TEMPERATURE INFLUENCE ON THE COPPER TUBE IN A FURNACE SHAFT

Abstract

This paper attempts to relate the best condition for the annealing of copper alloy tubes UNS C-12200, avoiding a problem known as "sticking", which is verified during the unwind of the material after annealing. This problem is caused by diffusion of the material due to the furnace temperature and time of annealing. Some tests were conducted, linking up their values in order to determine the best condition of annealing, setting up the ideal temperature and time of annealing, trying to minimize the "sticking" of the coils, without affecting the other mechanical properties and structural tubes.

Key words: Copper UNS C-122; Tube; Annealing; Diffusion.

¹ *Contribuição técnica ao 11º Seminário de Metais Não Ferrosos, 1 a 3 de setembro de 2009, São Paulo, SP*

² *Engenheiro de Produção Mecânica; Setor de Engenharia de Processos da Termomecânica São Paulo SA; São Bernardo do Campo, SP.*

1 INTRODUÇÃO

Durante o desbobinamento de alguns rolos de tubos de cobre recozidos observa-se o “colamento” dos tubos, causando defeitos superficiais no material, gerando reprova de grande parte do lote ou até do lote inteiro em alguns casos.

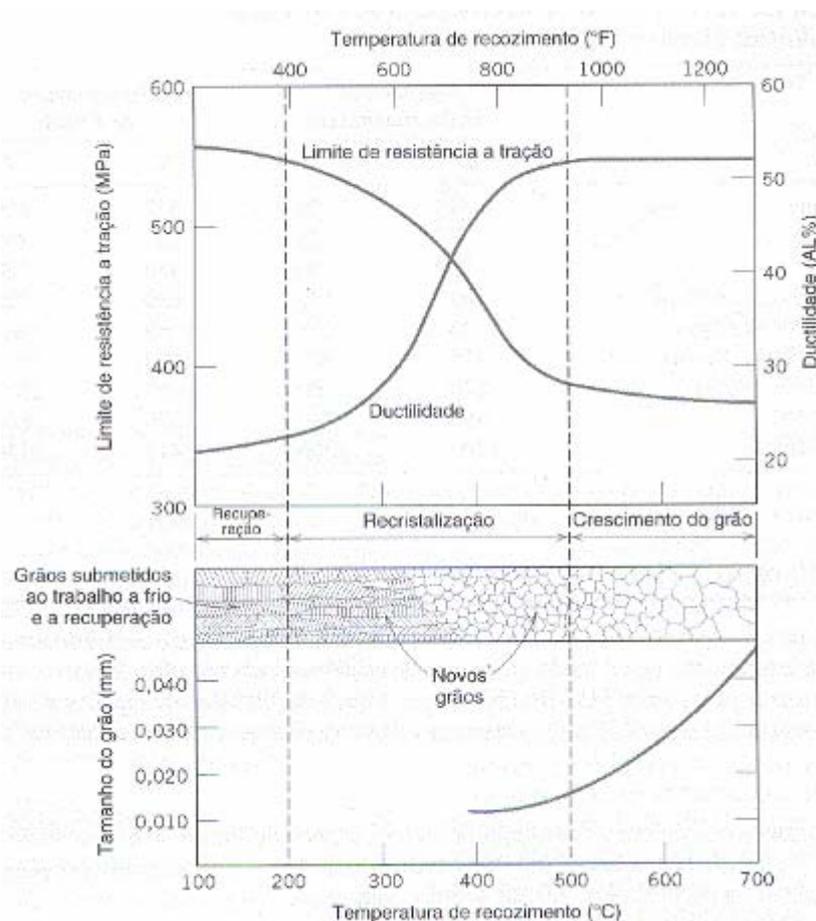
Durante a fase preliminar de estudo desse defeito, verificou-se as seguintes possibilidades para ocorrência do “colamento”:

- tração de embobinamento;
- resfriamento brusco da carga;
- elevada rugosidade da superfície do material;
- alta temperatura de recozimento; e
- limpeza da superfície do material.

Após algumas análises realizadas, verificou-se que o fator que apresenta maior variação no processo dentro dos mencionados acima, é o tempo e a temperatura de recozimento.

Este defeito ocorre devido ao favorecimento da difusão pela temperatura do forno. Através de testes práticos, procurou-se encontrar a temperatura “ideal” onde ocorre a recristalização do cobre, evitando-se a difusão superficial no contato entre os tubos.

Conforme Callister Junior,⁽¹⁾ a temperatura de recristalização é aquela em que o ciclo de recristalização se completa em uma hora.



Fonte: Callister, 2001.

Figura 1 – Curva de recristalização para ligas de cobre (latão).

O crescimento de grão se dá pela migração de contornos de grãos, os grãos maiores crescem à custa dos grãos menores que encolhem, desta forma o tamanho médio dos grãos aumenta ao longo do tempo, a cada momento existirá uma faixa de tamanho de grão.⁽²⁾

O crescimento de grão acontece mais rapidamente com o aumento da temperatura, isso pode ser explicado pela melhoria da taxa de difusão em função do aumento da temperatura.

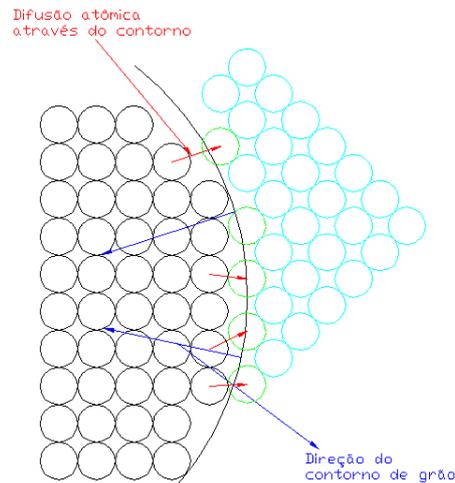


Figura 2 – Representação esquemática do crescimento dos grãos através de difusão atômica.

Para ocorrer à difusão em primeiro lugar deve existir um sitio adjacente vazio e em segundo lugar o átomo deve possuir energia suficiente para romper as ligações atômicas que o une aos seus vizinhos e assim causar alguma distorção na rede cristalina durante o seu deslocamento.⁽³⁾

Conforme citado anteriormente o problema do colamento possui como causa mais provável a difusão entre os grãos de camadas diferentes do material, esta é gerada devido à necessidade que os grãos têm de crescerem com o aumento da temperatura.



Figura 3 – Exemplo de forno tipo poço.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização deste estudo foram utilizados tubos de cobre da liga UNS C-12200, recozidos com bitolas variadas.

O recozimento foi realizado em fornos tipo poço com a carga instrumentada através de termopares tipo “k”. As medições de temperatura foram realizadas com termopares localizados nas partes superior, central e inferior da carga montada no forno.



Figura 4 – Exemplo da bobina de tubo de cobre e da carga preparada para recozimento.

A seguir, composição química da liga utilizada.

Tabela 1 – Composição química conforme norma ASTM B-152

ELEMENTO	(%)
Cobre	99,90 mínimo
Fósforo	0,015 - 0,040

Para realização dos ensaios foram utilizadas temperaturas próximas a 500°C (apresentaram colamento), e temperaturas menores entre 390 e 450°C, divididos em dois testes que serão apresentados a seguir.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os primeiros testes foram utilizados tubos sem costura de bitola 6,35 x 0,60 mm.

Abaixo segue tabela de monitoramento da temperatura do forno para a temperatura menor.

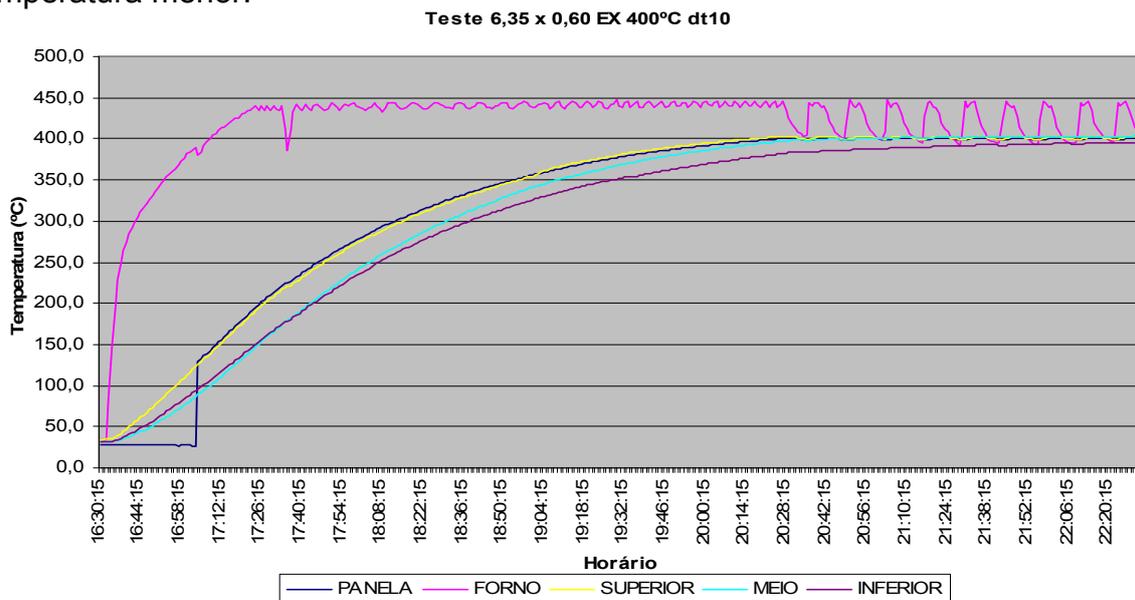


Figura 5 – Monitoramento da temperatura do forno (tubo extrudado).

Foram recozidas cargas com as duas temperaturas (~500°C e da faixa de 400°C a 450°C) e após o recozimento, foram realizados alguns ensaios e verificado o “colamento” das bobinas.

Seguem abaixo os dados obtidos:

Tabela 2 – Propriedades encontradas nas amostras (tubo 6,35x0,60mm)

Temperatura de recozimento	Resistência Tração (Mpa)	Dureza (R15T)	Tamanho de grão (mm)
400°	249	57	0,015
500°	256	57	0,025

Verificamos que as bobinas recozidas próximo a 500°C apresentaram “colamento” enquanto as bobinas recozidas próximo a 400°C - 450°C estavam em condições normais (sem “colamento”).

Abaixo seguem fotos das estruturas após o recozimento.

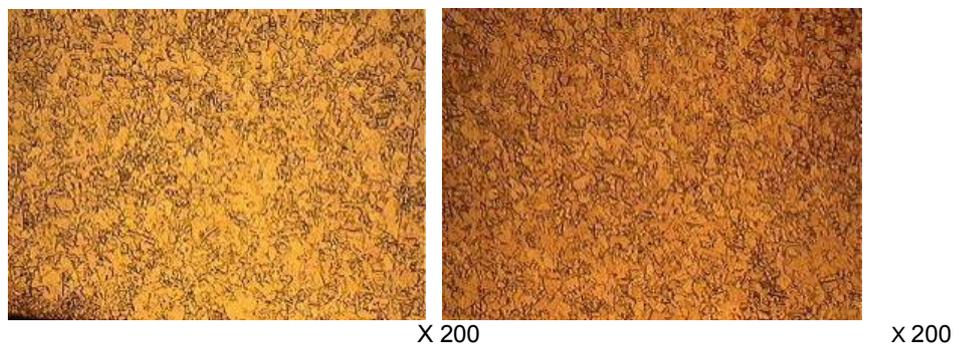


Figura 6 – Micrografia das cargas recozidas a 400 - 450° e a ~500°C respectivamente.

Estes testes também foram realizados em tubos soldados por alta frequência (HF) com bitola 9,52x0,40mm, afim de verificar-se o efeito do colamento neste tipo de tubo também.

Os testes foram reproduzidos em condições de temperatura semelhantes aos testes realizados anteriormente, alterando-se a faixa da temperatura menor para 390 a 430°C.

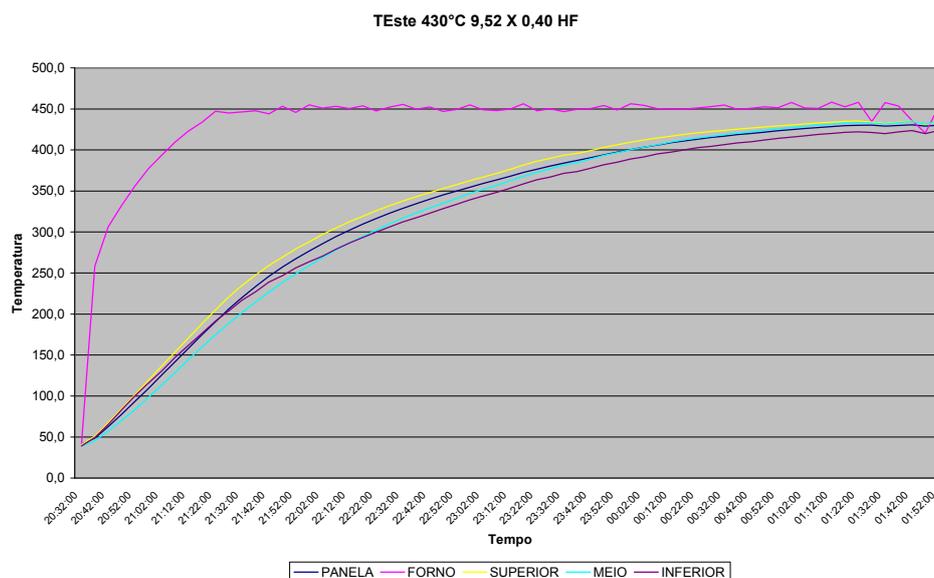


Figura 7 – Monitoramento da temperatura do forno (tubo soldado).

A faixa de temperatura menor foi alterada devido à observância de que o material consumido para fabricação do tubo soldado, que é uma fita laminada, já possuía certa estrutura formada, isto é, não estava totalmente encruada (Figura 8).



Figura 8 – Estrutura da fita laminada utilizada no tubo soldado

Após o recozimento das cargas, foram realizados os ensaios para obtenção das propriedades mecânicas das amostras conforme tabela a seguir:

Tabela 3 - Propriedades encontradas nas amostras (tubo 9,52x0,40mm)

Temperatura de recozimento	Resistência Tração (Mpa)	Dureza (R15T)	Tamanho de grão (mm)
400-450°	249 - 252	50 - 52	0,015 - 0,030
500°	242 - 247	52 - 56	0,040

Abaixo também as fotos das micrografias:

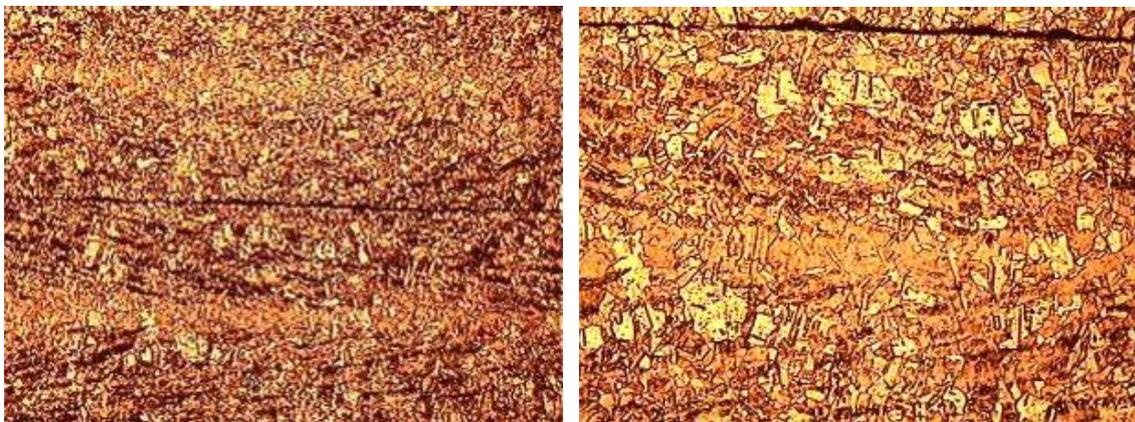


Figura 9 - Micrografia das cargas recozidas a 390°C-430°C e a ~500°C respectivamente.

Verificou-se que para as bobinas recozidas na faixa de 390°C a 430°C também não apresentaram “colamento” do material.

Verificamos⁽⁴⁾ que existe grande variação na faixa da temperatura de recozimento do cobre variando de 375°C a 650°C, sendo que para Bisi⁽⁵⁾ a faixa mencionada é de 320°C a 380°C.

Pode-se atribuir estas faixas diferenciadas devido às variáveis existentes no processo como:

- tipo de forno utilizado;
- potência e capacidade do forno;

- processo anterior de conformação e recozimento (histórico do processo); e
- estado anterior da estrutura do material.

Com isto, pode existir uma grande diferença de processo, mesmo tratando-se de materiais semelhantes, onde cada fabricante procura ajustar seus parâmetros conforme resultados obtidos na prática.

Verificou-se, durante os testes, que mesmo com a alteração da temperatura de recozimento, todas as propriedades do material continuaram a atender os valores normativos conforme tabelas a seguir:

Tabela 4 – Valores comparativos para o tubo 6,35 x 0,60mm (ASTM B 743-06)

	Resistência a tração (MPa)	Limite de escoamento (MPa)	Dureza (R15T)	alongamento (%)	Tamanho de grão (mm)
Norma	205 min	62 min	65 max	40 min	0,040 max
Amostra testada	249	94	57	49	0,015

Tabela 5 – Valores comparativos para o tubo 9,52 x 0,40mm (ASTM B 640-00 (2006))

	Resistência a tração (MPa)	alongamento (%)
Norma	205 min	40 min
Amostra testada	249 - 252	45

4 CONCLUSÃO

Sabendo-se que o processo de recozimento não é capaz de corrigir uma estrutura heterogênea, dado que durante o processo de recozimento ocorre a recristalização e o crescimento dos grãos na estrutura do material, se no material já existir uma estrutura cristalina formada (homogênea ou heterogênea) esta estrutura continuará crescendo, e após o processo de recozimento poderemos ter uma estrutura cristalina formada por grãos maiores que o desejado.

Em relação ao tamanho de grão os materiais extrudados apresentaram um desempenho plenamente satisfatório quando recozidos com a nova temperatura (faixa menor).

Os materiais utilizados para a fabricação de tubos soldados por alta frequência não sofrem redução suficiente para tornar a sua estrutura totalmente encruada, por este motivo a estrutura existente na fita exerce uma grande influência no resultado do recozimento, mesmo com esta influência conseguimos atingir um resultado satisfatório com os estudos realizados. Por este motivo foi adotado uma temperatura de recozimento inferior a temperatura adotada para os materiais extrudados (tubo sem costura), com o objetivo evitar que os materiais que já possuem em sua estrutura formação de grãos antes do processo de recozimento, venham a ter uma estrutura formada por grãos muito grandes após o recozimento, mantendo assim a sua estrutura o mais próxima possível da ideal, evitando-se assim a difusão dos materiais em contato.

REFERÊNCIAS

- 1 CALLISTER JUNIOR, W. D, **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5° ed. Rio de Janeiro:LTC, 2002. 589 p.
- 2 PADILHA, A. F. ; SICILIANO JR, Fulvio . **Encruamento, recristalização, crescimento de grão e textura**. 3. ed. São Paulo: ABM, 2005.191 p.
- 3 PADILHA, A. F. . **Materiais de Engenharia: Microestrutura e Propriedades**. São Paulo: Hemus, Edição Eletrônica, 2000. v. 01. 343 p.
- 4 ASM handbook: Heat Treating. 9th ed. Ohio:[s.n], 1981. 4v. p 823 – 879.
- 5 BISI, J. R, **Cobre e ligas trabalháveis de cobre: Processos e instruções práticas**. São Paulo: [s.n.], 2003. 425 p.