

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ACADÊMICO: TOBIAS POZZA TONINI

INIBIR A OXIDAÇÃO NO RECOZIMENTO DE COBRE

**LAGES
2018**

TOBIAS POZZA TONINI

INIBIR A OXIDAÇÃO NO RECOZIMENTO DE COBRE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro universitário UNIFACVEST, como parte dos requisitos para obtenção do grau de bacharel em engenharia Mecânica.

Prof. Alisson Ribeiro de Oliveira

**LAGES
2018**

TOBIAS POZZA TONINI

INIBIR A OXIDAÇÃO NO RECOZIMENTO DE COBRE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro universitário UNIFACVEST, como parte dos requisitos para obtenção do grau de bacharel em engenharia Mecânica.

Prof. Alisson Ribeiro de Oliveira

Lages, SC , ___ de _____ de 2018. Nota _____

Prof. Alisson Ribeiro de Oliveira

Prof. Rodrigo Botan, Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

LAGES

Tobias Pozza Tonini¹
Alisson R. de Oliveira²

RESUMO

No presente trabalho será abordado uma análise do processo de recozimento de cobre e uma possível melhoria na indústria de refrigeração, com parceria com a empresa Copperal Indústria de Componentes de Refrigeração, onde são fabricados componentes de cobre, localizada na cidade de Vacaria-RS, onde pude prestar estágio e verificar algumas melhorias no processo de recozimento, afim de garantir a qualidade do produto e um processo eficaz com a garantia de constância no processo, apresentando o processo e suas atividades

O estudo abordara formas e parâmetros que no processo de recozimento do cobre é utilizado, com base em testes práticos e teoria para as abordagens, no processo de recozimento de cobre a maior problemática presente é a oxidação, através de meios de atmosfera protetora e melhorias no processo percebe-se a inibição da problemática, onde será abordada as técnicas empregadas e a performance das melhorias apresentadas.

A importância dos tratamentos térmicos utilizados para adequar a estrutura do material, exigida para as aplicações mecânicas do material, afim de satisfazer as exigências específicas das operações, com base em conhecimento teórico e prático, visando a rentabilidade e a economia do processo.

Em um grupo de operações que inclui a manipulação de aquecimento e, por conseguinte, resfriamento com determinados requisitos para o material podendo assim modificar sua estrutura. Nesse sentido o objetivo deste trabalho será determinar o uso do recozimento do cobre na indústria de refrigeração, buscando as melhores etapas para prevenir a oxidação e consequentemente a redução dos custos para a microempresa.

Palavras-chave: Recozimento, Processo, Qualidade.

¹ Acadêmico da 10ª fase do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNIFACVEST. E-mail: ttobiastonini@gmail.com

² Professor de Engenharia Mecânica Do Centro Universitário UNIFACVEST

ABSTRACT

In the present work, an analysis of the copper annealing process and a possible improvement in the refrigeration industry will be approached, in partnership with Copperal Industry of Components of Refrigeration, where copper components are manufactured, located in the city of Vacaria-RS, where I was able to give an internship and check some improvements in the annealing process in order to guarantee the quality of the product and an effective process with the guarantee of constancy in the process, presenting the process and its activities

The study will address forms and parameters that in the copper annealing process is used, based on practical tests and theory for the approaches, in the process of copper annealing the biggest problem present is the oxidation, through means of protective atmosphere and improvements in the process is perceived to inhibit the problematic, where the techniques employed and the performance of the presented improvements will be approached.

The importance of the thermal treatments used to adapt the material structure, required for the mechanical applications of the material, in order to satisfy the specific requirements of the operations, based on theoretical and practical knowledge, aiming at the profitability and economy of the process.

In a group of operations that includes the manipulation of heating and, therefore, cooling with certain requirements for the material can modify its structure. In this sense the objective of this work will be to determine the use of copper annealing in the refrigeration industry, searching for the best steps to prevent oxidation and consequently the reduction of costs for the microenterprise.

Keywords: Annealing, Process, Quality.

Lista de Figuras

FIGURA 1- Especificação Cobre C12200.....	18
FIGURA 2- Alteração dos grãos em função da temperatura.....	22
FIGURA 3- Representação esquemática do crescimento de grão.....	24
FIGURA 4- Ilustração do crescimento de Grão.....	24
FIGURA 5- Componentes de cisalhamento de tensões normais.....	25
FIGURA 6- Grãos após a deformação Plástica.....	26
FIGURA 7- Limite de resistência a tração.....	27
FIGURA 8- Deformação Plástica trabalho a frio.....	28
FIGURA 9- Documento de controle, antes da melhoria.....	30
FIGURA 10- Forno utilizado no processo.....	31
FIGURA 11- Recipiente de atmosfera protetora.....	32
FIGURA 12- Vazão do nitrogênio.....	32
FIGURA 13- Material oxidado.....	33
FIGURA 14- Produto acabado Oxidado.....	33
FIGURA 15- Retrabalho do cobre recozido.....	34
FIGURA 16- Secagem Cobre recozido.....	34
FIGURA 17- Controle de Processo Atual.....	36
FIGURA 18- Melhoria no forno.....	36
FIGURA 19- Melhoria do recipiente de atmosfera protetora.....	37
FIGURA 20- Melhoria na Tampa.....	38
FIGURA 21- Resfriamento.....	38
FIGURA 22- Amostra metalografia 1.....	39
FIGURA 23- Amostra metalografia 2.....	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	09
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
2.1 Tratamento Térmico.....	11
2.2 Aquecimento.....	11
2.3 Temperatura de Aquecimento.....	12
2.4 Tempo de Permanência à Temperatura.....	12
2.5 Ambiente de Aquecimento.....	12
2.6 Resfriamento.....	13
3 COBRE E SUAS LIGAS.....	14
3.1 Tipos de Cobre.....	14
3.2 Propriedades Mecânicas.....	15
3.3 Aplicação dos tipos de Cobre.....	16
3.4 Tratamentos térmicos utilizados no Cobre.....	17
3.4.1 Reozimento.....	17
3.4.2 Tratamento Térmico por alívio de Tensões.....	17
3.4.3 Homogenização.....	17
3.4.4 Tratamento de Solubilização e endurecimento por precipitação.....	17
3.4.5 Norma ASTM B75.....	18
4 RECOZIMENTO.....	18
4.1 Reozimento Total ou Pleno.....	19

	15
4.2 Recozimento em Caixa.....	19
4.3 Recozimento para Alívio de Tensões.....	19
4.4 Recozimento Intermediário.....	20
4.5 Recozimento Subcrítico	20
5 RECUPERAÇÃO, RECRISTALIZAÇÃO E TAMANHO DE GRÃO.....	20
5.1 Recuperação.....	20
5.2 Recristalização.....	21
5.3 Crescimento do Grão.....	23
6 DEFORMAÇÃO PLÁSTICA.....	25
6.1 Encruamento.....	26
7 OXIDAÇÃO.....	28
7.1 Oxidação em altas temperaturas.....	29
8 MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
8.1 Processo antes da intervenção.....	30
8.2 Processo após a intervenção.....	36
9 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
10 CONCLUSÃO.....	42
11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

1. INTRODUÇÃO

A possibilidade de alterar a estrutura de um material permite ao engenheiro definir a combinação das propriedades mais adequadas de um material em relação a sua aplicação, a fim de tornar este material o mais rentável como produto final.

Evidenciar o melhor método em busca de uma matéria final que não oxide, gerando diminuição dos custos, na produção e conseqüentemente no produto final.

Este trabalho está sendo realizado em estreita colaboração com empresa COPPERAL, que se disponibiliza no fornecimento do material necessário para a sua execução. Este estudo compreenderá o levantamento bibliográfico, e a pesquisa exploratória a fim de realizar a avaliação destes no processo de recozimento do cobre.

Serão explicitadas neste trabalho as vantagens dos tratamentos térmicos com cobre, para a pequena indústria de refrigeração como a COPPERAL, ainda serão expostas as vantagens econômicas e sustentabilidade com o uso deste metal, uma vez que a refrigeração exige peças de cobre dentro de determinados requisitos e propriedades mecânicas, estrutura e composição química, de modo a torná-las aptas a suportar satisfatoriamente as condições de serviço a que estão sujeitos.

Tratamento térmico, um processo onde consiste em etapas de aquecimento, tempo e permanência de aquecimento, ambiente de aquecimento e resfriamento, afim de alterar as propriedades mecânicas do material e definir uma estrutura específica do material, para suportar as exigências dos materiais.

Recozimento, afim de minimizar o efeito do trabalho a frio, um método onde consiste em combinar as etapas de aquecimento, tempo e temperatura e resfriamento afim de garantir uma estrutura específica do material, resultando em alívio de tensões internas, melhor a usinabilidade, tamanho de grão específico e a ductibilidade do material. Os principais tipos de são recozimento total ou pleno, recozimento em caixa, recozimento por alívio de tensões, recozimento intermediário e recozimento subcrítico.

Deformação plástica, deformação plástica é quando o material sofre uma deformação permanente, onde sua estrutura se deforma e não volta a sua geometria original, acarretando

em uma densidade de discordâncias maiores fazendo com que o mesmo fique ocorra tensões internas e o material se torne mais duro e com maior dificuldade de maleabilidade e conformação.

Recuperação, etapa no aquecimento onde o material começa a ser recuperar das deformações na estrutura, de forma, bastante sutil porém é suficiente para diminuir a concentração de defeitos pontuais dentro dos grãos e, em alguns casos, permitir que as discordâncias se movam para posições de energia mais baixas

Recristalização após o processo de recuperação ainda os grãos apresentam energia de deformação elevado, a recristalização forma novos grãos com baixas densidades de discordâncias, que são as discordâncias do trabalho a frio.

Tamanho de grão ocorre pela migração de contornos de grão. Obviamente, nem todos os grãos podem aumentar de tamanho, porém os grãos maiores crescem à custa dos grãos menores, que encolhem. Desta forma o tamanho médio do grão aumenta ao longo do tempo.

Oxidação para os materiais metálicos, o processo de corrosão é normalmente um processo eletroquímico, isto é, uma reação química em que existe uma transferência de elétrons de um componente químico para outro.

O principal objetivo do presente trabalho é a diminuição da oxidação que resultara em redução de custos na operação, fabricação e logística do produto, aumentar a satisfação dos clientes em relação a empresa, empregar a melhor técnica no processo para que se mantenha uma constância no processo e adquirir experiência.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TRATAMENTOS TÉRMICOS.

Como o tratamento térmico envolve um ciclo de aquecimento-temperatura, os fatores a considerar são os seguintes: aquecimento, tempo de permanência à temperatura, ambiente de aquecimento e resfriamento, que produzem mudanças de estado de tensões ou alterações microestruturas significativas, que resultam em mudança de propriedades físicas em geral e mecânicas em particular, as quais definem o campo de aplicação do material

2.2 AQUECIMENTO

Aquecimento, considerando que o objetivo fundamental do tratamento térmico é a modificação das propriedades mecânicas do material verificasse que isso só é conseguido mediante uma alteração na estrutura, para o que é necessário que a liga considerada seja aquecida a uma temperatura que possibilite aquela modificação.

Essa temperatura corresponde geralmente à temperatura acima da de recristalização do material; no caso dos aços é a “temperatura crítica”. O resfriamento subsequente completa as alterações estruturais e confere ao material as propriedades mecânicas desejadas **(CHIAVERINI, 1986)**

Verifica-se ainda que as diversas ligas metálicas apresentem temperaturas de recristalização muito diferentes, desde relativamente baixas até muito elevadas, próximas ao ponto de fusão do material. **(CALLISTER, 2002)**

Neste último caso, no aquecimento deve ser considerado o fator velocidade de aquecimento, esta não pode ser muito lenta, ao contrário haverá crescimento de grão, por outro lado, materiais em elevado estado de tensões internas não podem ser aquecidos muito

rapidamente, o que poderá provocar empenamento ou mesmo aparecimento de fissuras. **(CHIAVERINI,1986)**

Em certos casos, portanto, de temperaturas finais muito elevadas, é comum subdividir o aquecimento em duas ou três etapas, quer para evitar tempo muito longo de aquecimento, com excessivo crescimento de grão, quer para evitar choque térmico, na hipótese de colocar o material diretamente da temperatura ambiente à temperatura elevada. **(CALLISTER,2002)**

2.3 TEMPERATURA DE AQUECIMENTO

Temperatura de aquecimento depende da composição da liga metálica. Quanto mais alta esta temperatura acima da de recristalização ou crítica, maior segurança se tem na obtenção das modificações estruturais desejadas; mas por outro lado, tanto maior será o tamanho do grão final, fato esse que, como se sabe, pode prejudicar as qualidades do material. **(CALLISTER, 2002)**

O conhecimento dos diagramas de equilíbrio das ligas é fundamental, junto a prática do tratamento térmico, para que não haja aquecimento insuficiente ou excessivo. Isso significa que há necessidade de dispor-se de equipamento ou “fornos” e instrumentação adequados para o aquecimento, o controle e o registro das temperaturas. **(CHIAVERINI, 1986)**

2.4 TEMPO E PERMANÊNCIA A TEMPERATURA

A influência do tempo de permanência à temperatura de aquecimento é mais ou menos idêntica à influência da máxima temperatura de aquecimento, ou seja, o tempo à temperatura deve ser o suficiente para que as peças se aqueçam de modo uniforme, através de toda sua secção. Deve-se evitar tempo além do estritamente necessário, pois pode haver indesejável crescimento de grão, além de, em determinadas ligas, maior possibilidade de oxidação. **(CHIAVERINI, 1986)**

2.5 AMBIENTE DE AQUECIMENTO

A atmosfera comum provoca alguns fenômenos prejudiciais em algumas ligas metálicas. Um exemplo desses fatores são os aços, onde duas reações comuns ocorrem,

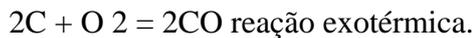
causando sérios problemas: oxidação que resulta na formação de uma película oxidada casca de óxido e a descarbonetação onde se resulta uma camada mais mole na superfície do aço.

As reações de oxidação mais comuns são:



A descarbonetação é um processo simultâneo a oxidação, é considerada uma oxidação do

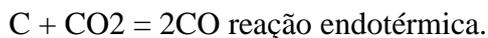
carbono e ocorre geralmente mediante as seguintes reações:



Pode-se evitar esses fenômenos empregando uma atmosfera protetora e controlada no

interior do forno. Os tipos mais comuns de atmosferas protetoras obtidas pela combustão parcial ou total do carvão, óleo ou gás, pelo emprego de hidrogênio, nitrogênio, amônia dissociada e, eventualmente, do vácuo. Banhos de sal consistem em um ambiente protetor.

(CHIAVERINI,1986)



As atmosferas protetoras mais comuns são obtidas pela combustão total ou parcial do carvão, óleo ou gás, pelo emprego de hidrogênio, nitrogênio, amônia dissociada e, eventualmente, do vácuo. Banhos de sal constituem, igualmente, um ambiente protetor.

(CALLISTER, 2002)

2.6 RESFRIAMENTO

Resfriamento, para certas ligas, entre as quais os aços são as mais importantes do ponto de vista de tratamento térmico, é esse o fator mais importante. Nessas ligas, modifica-se a velocidade de resfriamento, após a permanência adequada à temperatura de aquecimento,

podem-se obter mudanças estruturais que promovem o aumento da ductibilidade ou elevação da dureza e da resistência mecânica. **(CHIAVERINI, 1986)**

A escolha do meio de resfriamento é fundamental no processo. Nessas condições, procura-se frequentemente uma nova composição da liga que possa admitir o emprego de um resfriamento menos severo, sem prejudicar a estrutura final do material.

Os meios comumente empregados para o resfriamento, a partir do mais rápido são os seguintes:

- solução aquosa a 10% de NaCl ou NaOH ou Na²CO³
- água
- óleos de várias viscosidades
- ar
- vácuo

3.COBRE E SUAS LIGAS

Os metais não-ferrosos ocupam uma posição em destaque na indústria e representam um campo muito importante na engenharia, principalmente nos setores mecânicos, de transporte e elétricos.

Metal cobre, é um metal vermelho- marrom que apresenta ponto de fusão correspondente a 1.083°C e densidade correspondente a 8,96 g/cm³ (a 20°C), sendo após a prata, o melhor condutor do calor e da eletricidade. Sua resistividade elétrica é de 7×10^{-6} ohm⁰-cm (a 20°C). **(CHIAVERINI, 1986)**

Além disso, o cobre possui boa resistência à corrosão: exposto à ação do ar, ele fica, com tempo, recoberto de um depósito esverdeado.

A oxidação, sob a ação do ar, começa em torno de 500°C. Não é atacado pela água pura por outro lado, ácidos, mesmo fracos, atacam o cobre na presença do ar.

Apresenta, finalmente, resistência mecânica e características de fadiga satisfatórias, além de boa usinabilidade, cor decorativa e pode ser facilmente recoberto por eletrodeposição ou por aplicação de verniz. **(CHIAVERINI, 1986)**

3.1 TIPOS DE COBRE

Segundo classificação ABNT (55), os principais tipos de cobre são os seguintes:

-Cobre eletrolítico tenaz (Cu ETP), fundido a partir de cobre eletrolítico, contendo no mínimo 99,90% de cobre (e prata até 0,1%).

- Cobre refinado a fogo de alta condutibilidade (Cu FRHC), contendo um mínimo de 99,90% de cobre (incluída a prata)

- Cobre refinado a fogo tenaz (Cu FRTP) fundido a partir do tipo anterior, contendo 99,80% a 99,85% no mínimo de cobre (incluída a prata).

- Cobre desoxidado com fósforo, de baixo teor de fósforo (Cu DLP), obtido por vazamento em molde, isento de óxido cuproso por desoxidação com fósforo, com teor mínimo de 99,90% de cobre (e prata) e o teores residuais de fósforo (entre 0,004 e 0,012%);

- Cobre desoxidado com fósforo, de alto teor de fósforo (Cu DHP), obtido como o anterior, com teor mínimo de cobre (e prata) de 99,80% ou 99,90% e teores residuais de fósforo (entre 0,015 e 0,040%):

-Cobre isento de oxigênio (Cu OF), do tipo eletrolítico, de 99,95% a 99,99% de cobre (e prata); processado de modo a não conter óxido cuproso e nem resíduos desoxidantes;

- Cobre refinado (Cu CAST), obtido a partir de cobre secundário e utilizado na fabricação de ligas de cobre; o teor mínimo de cobre (e prata) varia de 99,75% (grau A) a 99,50% (grau B).

3.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Suas propriedades mecânicas variam dentro dos seguintes limites:

- Limite de escoamento	5 a 35 kgf/mm ²
- Limite de resistência á tração	22 a 45 kgf/mm ²
-Dureza Brinell	45 a 105

- Alongamento	48 a 6%
- Módulo de elasticidade	12.000 a 13.500 kgf/mm ²

Alguns tipos apresentam boa resistência ao choque e bom limite de fadiga. Os valores dependem do estado em que se encontra o metal, se recozido ou encruado.

O grau de encruamento ou recozimento é designado pela expressão “têmpera”, a qual não tem nada a ver com o tratamento térmico de têmpera, aplicado nas ligas ferro-carbono. (CHIAVERINI. 1986)

Exemplo das propriedades mecânicas do cobre eletrolítico (Cu ETP).

NO ESTADO RECOZIDO:

- Limite de escoamento	5 a 8 kgf/mm ²
- Limite de resistência á tração	22 a 26 kgf/mm ²
-Dureza Brinell	45 a 50
- Alongamento	48 a 35%
- Módulo de elasticidade	12.000 a 13.500 kgf/mm ²

NO ESTADO ENCRUADO

- Limite de escoamento	18 a 35 kgf/mm ²
- Limite de resistência á tração	27 a 45 kgf/mm ²
-Dureza Brinell	75 a 105
- Alongamento	30 a 6%

3.3 APLICAÇÃO DOS TIPOS DE COBRE

- Cobre eletrolítico tenaz (Cu ETP) é cobre refinado a fogo de alta condutibilidade (Cu FRC)

Aquisições onde se exige alta condutibilidade elétrica e boa resistência á corrosão, tais como: na indústria elétrica, na forma de cabos condutores aéreos, linhas telefônicas, motores geradores, transformadores, fios esmaltados, barras coletoras, contatos, fiação para instalações domésticas e industriais interruptores, terminais, em aparelhos de rádio e em televisores. Na indústria mecânica, na forma de peças, na forma de peças para permutadores de calor, radiadores de automóveis, arruelas, rebites e outros componentes na forma de tiras e fios; na indústria de equipamento químico, em caldeiras, destiladores, alambiques, tanques e recipientes diversos, em equipamentos para o processamento de alimentos; na construção civil e arquitetura, em telhados e fachadas, calhas e condutores de águas pluviais, cumeiras, para-raios, revestimentos artísticos .(CHAVERINI, 1986)

-Cobre Refinado a fogo tenaz (Cu FRTP) embora maior teor de impurezas, as aplicações são semelhantes ás anteriores no campo mecânico, químico e construção civil; na indústria elétrica, esse tipo de cobre pode ser aplicado somente quando a condutibilidade elétrica não exigida for muito elevada

- Cobre isento de oxigênio (Cu OF) devido a sua maior conformabilidade, é particularmente indicado para as operações de extrusão por impacto, aplicações importantes têm-se em equipamento eletro-eletrônico, em peças para radar, anodos e fios de tubos a vácuo, vedações vidro-metal, válvulas de controle termostático, rotores e condutores para geradores e motores de grande porte, antenas e cabos flexíveis e em peças para serviços a altas temperaturas, na presença de atmosferas redutoras.

-Cobre desoxidado com fósforo, de baixo teor em fósforo (Cu DLP) é utilizado principalmente na forma de tubos e chapas, em equipamento que conduz fluídos, tais como evaporadores e permutadores de calor, tubulação de vapor, ar, água fria ou quente e óleo; em tanques e radiadores de automóveis; em destiladores, caldeiras, autoclaves, onde se requer soldagem, em aparelhos de ar condicionado etc;

-Cobre desoxidado com fósforo, de alto teor em fósforo (Cu DHP) aplicações praticamente semelhantes ao tipo anterior.

3.4 TRATAMENTO TÉRMICOS UTILIZADOS NO COBRE

3.4.1 RECOZIMENTO: Com o propósito de amolecer o material encruado como consequência do trabalho mecânico. Além da recuperação inicial, resulta em recristalização, e, em casos de tempo prolongado e temperatura elevada, resulta em crescimento de grão.

3.4.2 TRATAMENTO TÉRMICO DE ALIVIO DE TENSÕES

Para evitar corrosão sob tensão acarretada por tensões residuais. É realizado em temperaturas inferiores à temperatura de recristalização, portanto abaixo da temperatura na qual ocorre significativo amolecimento no material.

3.4.3 HOMOGENIZAÇÃO: Para dissolver segregação de elementos em determinados locais, promover, por difusão, sua distribuição de modo mais uniforme por todo o material. As ligas que exigem esse tipo de tratamento térmico que contém Níquel.

3.4.4 TRATAMENTO DE SOLUBILIZAÇÃO E ENDURECIMENTO POR PRECIPITAÇÃO: Aplica-se a um determinado grupo de ligas de cobre, as ligas cobre berílio (Cu-Be). Estas ligas contêm até 2 % de berílio e podem apresentar também pequenos teores de níquel, cobalto ou cromo.

Solubilização e endurecimento por precipitação: Entre as ligas que são comumente submetidas a esse tratamento térmico situam-se os bronzes ao alumínio e o cobre-berílio.

No caso desta última liga, o tratamento consiste inicialmente em solubilizar-se pelo aquecimento, durante 1 a 3 horas entre 775°C e 1.035°C, conforme o tipo da liga seguindo-se a precipitação, entre 2 a 5 horas, a temperaturas variando de 300°C a 510°C.

Pode ser obter limites de resistência a tração da ordem de 150kgf/mm². As ligas são primeiro solubilizadas e depois conformadas a frio. A seguir são endurecidas por precipitação.

3.5 NORMA ASTM B75

Esta especificação estabelece os requisitos para o tubo de cobre, redondo retangular e quadrado sem costura adequado, para aplicações gerais e engenharia.

Requisitos de tamanho de Grão, os tubos na têmpera recozido deve estar de acordo com o grão tamanho especificado abaixo:

Figura 1 – Especificação do cobre C12200 ASTM

Designação de Têmpera		Diâmetros	Espessura de Parede	Dureza Rockweel		Tamanho do Grão	Resistência à Tração
				Escala	Dureza		
Padrão	Forma	Todos	Todas	30T	30 à 60	-	36 - 47
H55	Leve	Todos	Todas	30T	30 min	-	45 mínimo
H58	Leve geral	Acima de 4"	0.020 à 0.250	30T	55min	0.040 mínimo	30 mínimo
H80	duro	Todos	0.015 à 0.035	15T	60 max	0.040 mínimo	30 mínimo
O60	Recozido Macio	Todos	0.035 acima	F	50 max	0.040 máximo	30 mínimo
O50	Recozido Leve	Todos	0.015 acima	15T e F	60 max	0.040 máximo	30 mínimo

A nomenclatura é definida referente as suas têmperas, onde cada nomenclatura possui um tipo específico de tamanho de grão, dureza e resistência a tração

4 RECOZIMENTO

O recozimento é um tratamento térmico comparável, onde a dureza de uma microestrutura mecanicamente deformada é reduzida em altas temperaturas (SCHACKELFORD, 2008).

O recozimento é um tratamento térmico usado para eliminar alguns ou todos os efeitos do trabalho a frio. O recozimento a baixa temperatura pode ser usado para eliminar as tensões residuais produzido durante o trabalho a frio, sem afetar as propriedades mecânicas da peça. (ASKELAND, 2010)

O recozimento segundo Copaert (1965), “o carbono nos aços comuns forma um carboneto com o ferro”. Este carboneto é extremamente duro. Por este motivo, quanto maior o teor de carbono, maior será a quantidade de carboneto presente e, portanto, mais duro será o aço.

Segundo Callister (2002), “recozimento se refere a um tratamento térmico no qual um material é exposto a uma temperatura elevada por um período de tempo prolongado, sendo ele então resfriado lentamente”

Qualquer processo de recozimento consiste em três estágios: aquecimento até a temperatura desejada, manutenção e encharcamento naquela temperatura e resfriamento, geralmente até a temperatura ambiente. Durante o aquecimento e o resfriamento, existem gradientes de temperatura entre as partes de fora e de dentro da peça; as suas magnitudes dependem do tamanho e geometria da peça, se a taxa de variação de temperatura for muito grande, podem ser induzidos gradientes de temperatura e tensões internas que podem levar ao empenamento ou até mesmo o trincamento.

Ainda o tempo real de recozimento deve ser longo o suficiente para permitir quaisquer reações de transformação necessárias. A temperatura de recozimento também é um importante fator a ser considerado; o recozimento pode ser acelerado pelo o aumento da

temperatura, uma vez que normalmente estão envolvidos processos de difusão. (CALLISTER, 2002)

TIPOS DE RECOZIMENTO.

4.1 RECOZIMENTO TOTAL OU PLENO

Recozimento total ou pleno, em que o material é geralmente aquecido a uma temperatura acima da de recristalização, seguido de resfriamento lento. O tratamento aplica-se a todas as ligas ferrosas e as não ferrosas como o cobre e suas ligas. (CALLISTER, 2002)

4.2 RECOZIMENTO EM CAIXA

Recozimento em caixa, aplicado sob uma atmosfera protetora, para eliminar o efeito do encruamento e proteger a superfície da oxidação. (CALLISTER, 2002)

4.3 RECOZIMENTO DE ALÍVIO DE TENSÕES

Recozimento para alívio de tensões, onde pretende-se atingir a faixa de temperaturas correspondentes à recristalização, tem como objetivo aliviar as tensões originadas durante a solidificação de peças fundidas ou soldagem.

Essas tensões começam a ser aliviadas a temperaturas logo acima do ambiente; entretanto, é aconselhável aquecimento lento até pelo menos 500° C para garantir os melhores resultados. De qualquer modo, a temperatura de aquecimento deve ser a mínima compatível com o tipo e as condições da peça, para que não se modifique sua estrutura interna, assim como não se produzam alterações sensíveis de suas propriedades mecânicas

4.4 RECOZIMENTO INTERMEDIÁRIO

O recozimento intermediário consiste em um tratamento térmico usado para anular os efeitos da deformação plástica a frio, isto é, para amolecer e aumentar a ductilidade de um metal que tenha sido previamente submetido a um processo de encruamento. Ele é utilizado geralmente durante procedimentos de fabricação que exigem uma extensa deformação plástica, de modo a permitir uma continuidade da deformação plástica, de modo a permitir uma continuidade da deformação sem haver ocorrência de processos de recuperação e de recristalização. Normalmente, deseja-se obter uma microestrutura com grãos finos, portanto, o tratamento térmico é encerrado antes que se tenha um crescimento de grão apreciável.

A oxidação da superfície ou escamação pode ser prevenida ou minimizada mediante um processo de recozimento a uma temperatura relativamente baixa (porém acima da temperatura de recristalização) ou em uma atmosfera não oxidante. (CHIAVERINI,1986)

4.5 RECOZIMENTO SUBCRÍTICO

O recozimento subcrítico, consiste em se aquecer a liga até uma temperatura imediatamente abaixo da temperatura eutetóide, ou até aproximadamente 700°. Se a microestrutura original contiver perlita, os tempos de recozimento subcrítico irão ficar, em geral, na faixa entre 15 e 25H. (CHIAVERINI,1986)

5 RECUPERAÇÃO, RECRISTALIZAÇÃO E CRESCIMENTO DE GRÃO

A deformação plástica de uma amostra metálica policristalina a temperaturas que podem ser consideradas baixas em comparação a sua temperatura absoluta de fusão produz alterações microestruturas e mudanças nas propriedades dos materiais, incluindo: uma alteração na forma do grão, endurecimento por deformação plástica a frio e um aumento na densidade das discordâncias. (CALLISTER, 2002)

5.1 RECUPERAÇÃO

O estágio mais sutil do recozimento é a recuperação, nesta ocorre qualquer mudança, micro estrutural visível, a mobilidade atômica, porém, é suficiente para diminuir a concentração de defeitos pontuais dentro dos grãos e, em alguns casos, permitir que as discordâncias se movam para posições de energia mais baixas (SHACKELFORD, 2008)

Quando aquecemos o metal pela primeira vez, a energia térmica permite que os deslocamentos se movam e fornecem as fronteiras de uma estrutura poligonal de sub grão, a densidade de deslocamento, no entanto é virtualmente inalterado

Esse tratamento a baixa temperatura remove as tensões residuais devido ao frio trabalhando sem causar as alterações na densidade de deslocamento e é chamado de recuperação. (ASKELAND, 2010).

Durante a recuperação, uma parte da energia interna de deformação armazenada é liberada em virtude do movimento das discordâncias (na ausência da aplicação de uma tensão externa) como resultado de uma maior difusão atômica a temperatura mais elevada. Além

disso, algumas propriedades e afins são recuperadas aos seus estados que existiam antes do processo de trabalho a frio. (CALLISTER, 2002)

A recuperação restaura a alta condutividade elétrica para o metal, permitindo- nos fabricar fio de cobre ou alumínio para transmissão de energia elétrica que é forte e ainda tem alta condutividade. Finalmente, a recuperação geralmente melhora a resistência á corrosão do material (ASKELAND, 2010).

Existe alguma redução no número de discordâncias e são produzidas configurações de discordância que possuem baixas energias de deformação. Além disso, algumas propriedades físicas como as condutividades elétricas e térmicas e afins são recuperadas aos seus estados que existiam antes do processo de trabalho a frio. (CALLISTER,2002)

5.2 RECRISTALIZAÇÃO

Mesmo após o processo de recuperação estar completo, os grãos ainda se apresentam em estado de energia de deformação relativamente elevado.

A recristalização é o processo de formação de um novo conjunto de grãos livres de deformação e que são equiaxiais (isto é, possuem dimensões aproximadamente iguais em todas as direções), com baixas densidades de discordâncias, e que são características das condições que existem antes do processo de trabalho a frio. (PADILHA, 2005)

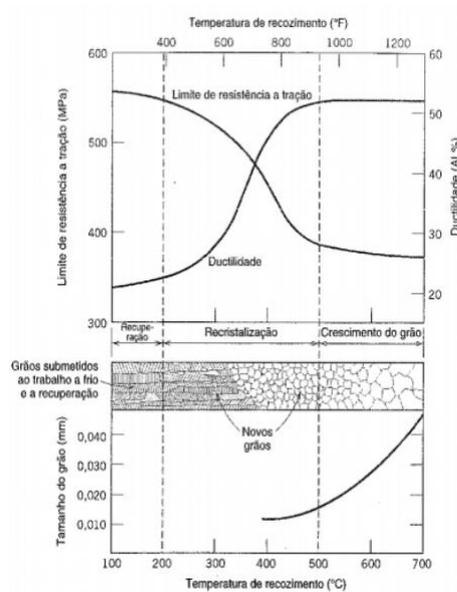
Novos pequenos grãos então nucleavam nos limites das células da estrutura poligonizada, eliminando a maioria das discordâncias, porque o número de deslocamento é muito reduzido, o metal recristalizado tem baixa resistência mas alta ductibilidade (ASKELAND, 2010)

A recristalização é um processo cuja extensão depende tanto do tempo quanto da temperatura. O grau de recristalização aumenta em função do tempo. (CALLISTER,2002)

O comportamento da recristalização de uma liga metálica específica é algumas vezes especificado em termos de uma temperatura de recristalização, que é a temperatura na qual a recristalização atinge o seu término em exatamente 1hr. (SHACKELFORD, 2008)

A recristalização ocorre mais rapidamente em metais puros do que em ligas. Assim, a formação de ligas aumenta a temperatura de recristalização, algumas vezes de maneira bastante substancial (SHACKELFORD, 2008)

Figura 2- Alteração dos grãos em função a temperatura.



Fonte: SHAKELFORD, 2008, pg.244

A influência da temperatura de recozimento sobre o limite de resistência a tração e a ductibilidade de uma liga de latão. O tamanho do grão está indicado em função da temperatura de recozimento. As estruturas dos grãos durante os estágios de recuperação, recristalização e crescimento de grão estão mostradas esquematicamente, (SHACKELFORD, 2008)

O conceito de temperatura de recristalização é muito importante uma vez que também define o limite entre o trabalho a frio e o trabalho a quente de um material metálico. (ASKELAND, 2010)

5.3 CRESCIMENTO DO GRÃO

Após a recristalização estar completa, os grãos livres de deformação continuarão a crescer se a amostra do metal for deixada a temperatura elevada.

Esse fenômeno é chamado de crescimento de grão. Este não precisa ser precedido por processos de recuperação e recristalização, ele pode ocorrer em todos os materiais policristalinos.(ASKELAND, 2010),

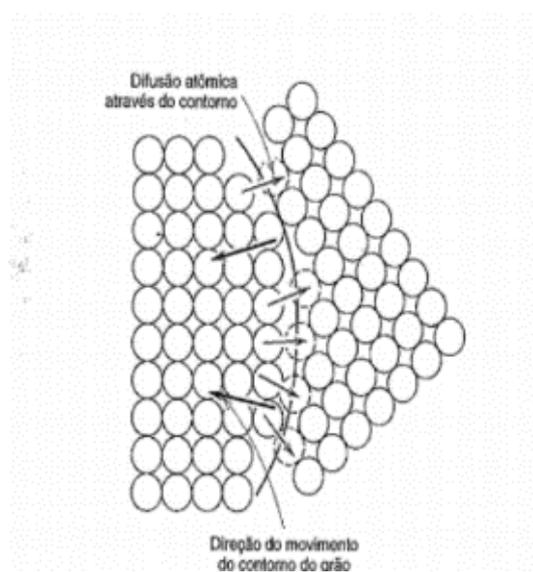
Se a temperatura é alta o suficiente, os grãos começam a crescer, com grãos favorecidos consumindo os grãos menores.

O crescimento do grão ocorre pela migração de contornos de grão. Obviamente, nem todos os grãos podem aumentar de tamanho, porém os grãos maiores crescem à custa dos grãos menores, que encolhem. Desta forma o tamanho médio do grão aumenta ao longo do tempo, e em cada instante de tempo específico existirá uma faixa de tamanhos de grão. O movimento dos contornos consiste simplesmente na difusão dos átomos em pequena escala de um lado de contorno de um grão para o outro. (CALLISTER,2002)

Com um conhecimento da natureza das discordâncias e o papel que eles desempenham no processo de deformação, somos capazes de compreender os mecanismos subjacentes às técnicas usadas para aumentar a resistência e endurecer metais e suas ligas. Dessa forma, torna-se possível projetar e adaptar as propriedades mecânicas dos materiais-por exemplo, a resistência ou a tenacidade de um compósito metal.

Ademais, o crescimento de grão procede mais rapidamente à medida que a temperatura aumenta, isto é, as curvas são deslocadas para cima

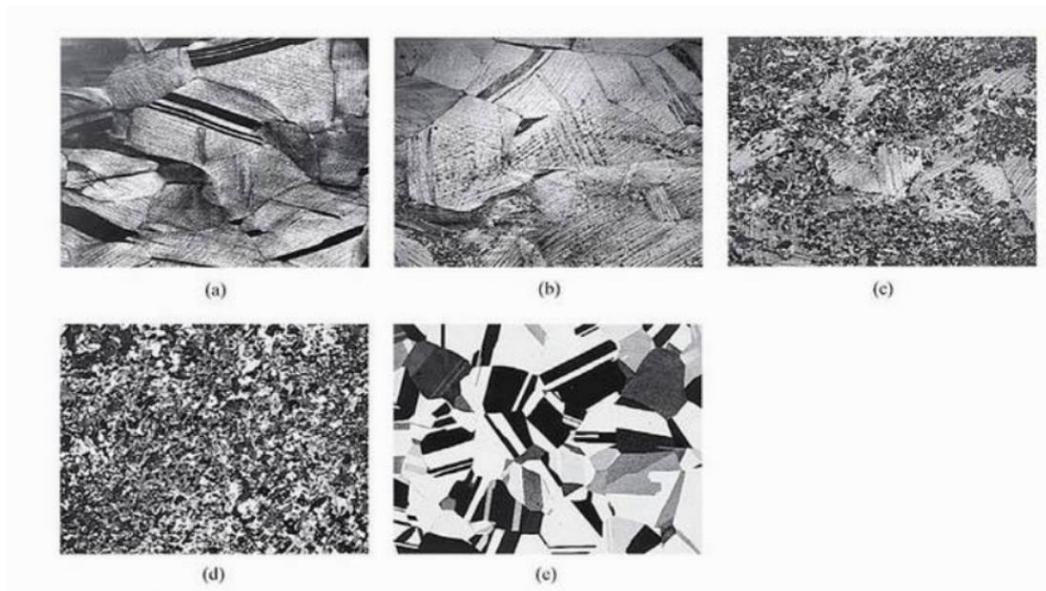
Figura 3- Representação esquemática do crescimento dos grãos através de difusão atômica.



Fonte: CALLSTER, 2002, pg.12

Representação esquemática do crescimento dos grãos através de difusão atômica.

Figura 4- Ilustração do crescimento de grão



Fonte: (SHACKELFORD,2008, p.24)

- a) Bronze trabalhado a frio (deformado por roletes, de modo que a área da seção transversal da peça foi reduzida em um terço.
- b) Após 3s a 380°C, novos grãos aparecem,
- c) Após 4 s a 580°C muito mais grãos novos presentes.
- d) Após 8s a 580°C a recristalização completa ocorreu.
- e) Após 1h a 580°C ocorreu o crescimento de grão substancial.

6 DEFORMAÇÃO PLÁSTICA.

A deformação plástica altera a estrutura interna de um metal, logo, deve-se esperar que a deformação também mude as propriedades do material.

Os metais podem ser solicitados por tensões de tração, de compressão ou de cisalhamento.

Como dois primeiros tipos de podem ser decompostos em componentes de cisalhamento e como a maior parte dos metais é significativamente menos resistente ao cisalhamento que à tração ou à compressão, os metais se deformam pelo cisalhamento plástico ou escorregamento de um plano cristalino em relação aos demais.

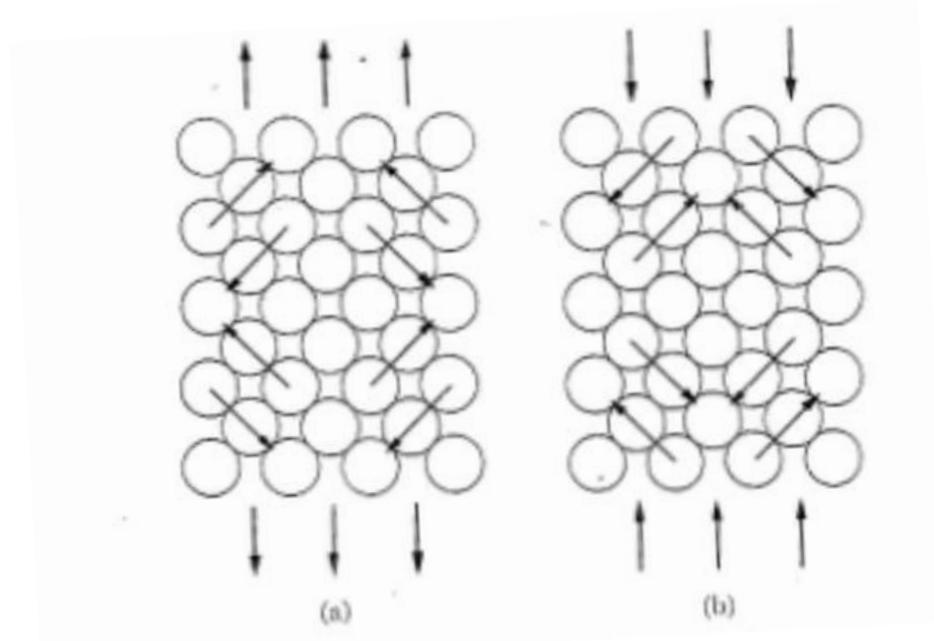
O escorregamento causa um deslocamento permanente; a retirada da tensão não implica no retorno dos planos cristalinos às suas posições originais.

(LAWRENCE H. VAN VLACK, 2000)

Figura -5 Componentes de cisalhamento de tensões normais.

a) Tração.

b) Compressão



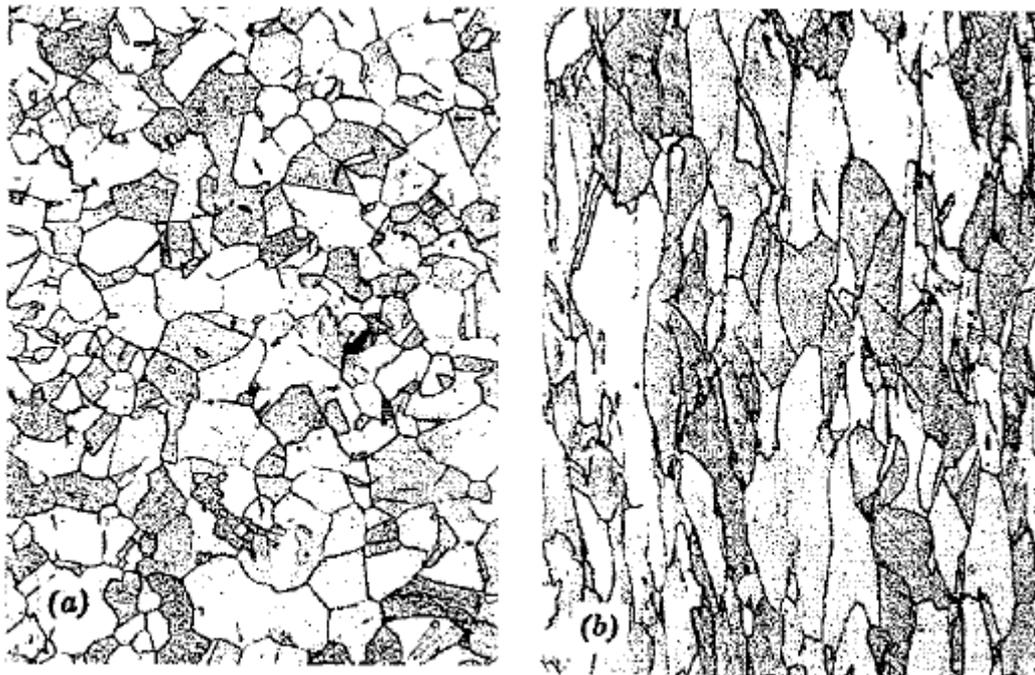
Fonte: LAWRENCE H. VAN VLACK, 2000, pg.139

A deformação plástica generalizada corresponde à distorção comparável dos grãos individuais devido ao escorregamento, durante a deformação, a integridade mecânica e a coesão são mantidas ao longo dos contornos de grão. **(LAWRENCE, 2000)**

Isto é, os contornos dos grãos não se separam ou se abrem, como consequência cada grão individual está restrito, em determinado grau, à forma que ele pode assumir

devido aos grãos vizinhos, a segundo a qual os grãos se distorcem como resultado de uma deformação generalizada. (CALLISTER, 2002).

Figura -6 Grãos após a deformação Plástica.



Fonte: CALLISTER, 2002, pg.115

Alteração da estrutura do grão de um metal policristalino como resultado de uma deformação plástica, a) Antes da deformação os grãos são equiaxiais. b) A deformação produziu grãos alongados.

6.1 ENCRUAMENTO

O encruamento é o fenômeno pelo qual um metal dúctil se torna mais duro e mais resistente quando ele é submetido a uma deformação plástica. Algumas vezes esse fenômeno

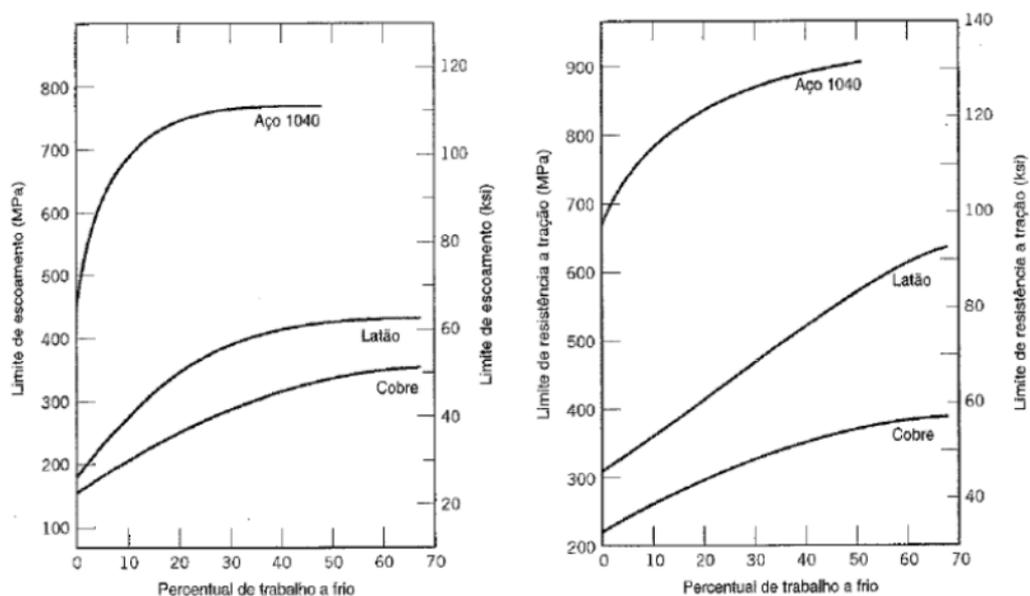
também é chamado de endurecimento por trabalho. Pelo fato de a temperatura em que a deformação é efetuada ser “fria” em relação à temperatura absoluta de fusão do metal, também é chamado de trabalho frio. A maioria dos metais encrua à temperatura ambiente. **(CHIAVERINI, 1986)**

O fenômeno de encruamento é explicado com base em interações entre campos de deformação de discordâncias. A densidade de discordâncias em um metal aumenta com a deformação ou com o encruamento, devido à multiplicação das discordâncias ou à formação de novas discordâncias. **(CHIAVERINI, 1986)**

Consequentemente, a distância média de separação entre as discordâncias diminui, as discordâncias são aproximadas mais próximas umas das outras. Na média, as interações de deformação discordâncias-discordâncias são repulsivas. O resultado líquido ou global é tal que o movimento de uma discordância é dificultado pela presença de outras discordâncias. À medida que a densidade de discordâncias aumenta, essa resistência ao movimento de discordâncias por outras discordâncias torna mais pronunciada. Dessa forma, a tensão imposta, necessária para a deformar um metal, aumenta com o trabalho a frio **(CALLISTER, 2002)**

As figuras abaixo demonstram como o aço, o latão e o cobre aumentam seu limite de resistência a tração com o aumento de trabalho a frio. O preço a ser pago por esse aumento na dureza e na resistência está na ductibilidade do metal

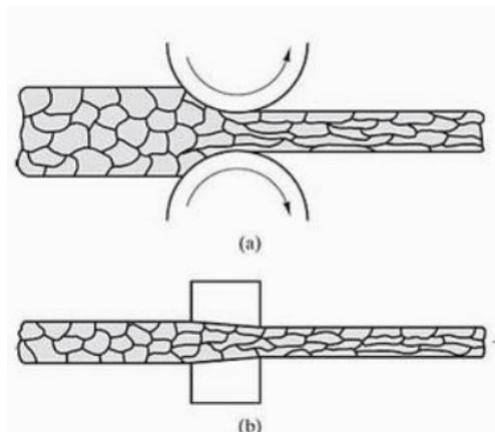
Figura 7- Limite de resistência a tração



Fonte: CALLISTER,2002, p.119

Encruamento, trabalho a frio que significa deformar mecanicamente um metal em temperatura relativamente baixas. A quantidade de trabalho a frio é definida com relação á redução na área transversal da liga de processos como laminação e estiramento. **(SCHACKELFORD, 2008)**

Figura-8 Deformação Plástica trabalho á frio.



Fonte: SCHACKELFORD, 2008, p.242

Imagem exemplo de operação trabalho a frio, estiramento observe nessa ilustração esquemática que a redução na área causada pela operação de trabalho a frio está associada á orientação preferencial dos grãos. **(SCHACKELFORD, 2008)**

O movimento das discordâncias ao longo dos planos de escorregamento e a distorção dos panos das deformações dos grãos adjacentes tornam a estrutura cristalina regular que inicialmente estava presente, portanto se torna mais difícil o escorregamento ulterior e a dureza do metal é aumentada, **(LAWRENCE, 2000)**

7 OXIDAÇÃO

Para os materiais metálicos, o processo de corrosão é normalmente um processo eletroquímico, isto é, uma reação química em que existe uma transferência de elétrons de um componente químico para outro. Os átomos metálicos, caracteristicamente, perdem ou cedem elétrons, no que é chamada reação de oxidação. Por exemplo, o metal hipotético M, que

possui uma valência de n (ou n elétrons de valência), pode experimentar um processo de oxidação de acordo com a reação onde M se torna um íon positivamente carregado $n+$, que nesse processo perde os seus n elétrons de valência. (CHIAVERINI, 1986).

7.1 OXIDAÇÃO EM ALTAS TEMPERTATURAS

É comum em metais ou ligas metálicas que, expostos ao ar em altas temperaturas formem compostos de óxidos. Estes óxidos possuem uma estabilidade química muito alta, que é demonstrada pelos seus pontos de fusão, que são muito elevados em comparação com o ponto de fusão do próprio metal ou liga metálica.

Em alguns casos, pela facilidade de alguns metais reagirem com o oxigênio atmosférico, se oxidam em temperatura ambiente (SHACKELFORD, 2008)

A oxidação em alta temperatura é um tipo de corrosão, na qual não é necessária a presença de um eletrólito líquido para que o metal sofra a oxidação. Esse processo pode fazer com que o metal tenha um acréscimo ou decréscimo em sua espessura original, bem como ganhar ou perder massa, dependendo da volatilidade do óxido formado (CHIAVERINI, 1998).

A oxidação das ligas metálicas também pode ocorrer em atmosferas gasosas, normalmente em presença de ar, onde há uma camada de óxido, ou incrustação, se forma sobre a superfície de metal. (CALLISTER, 2002)

8. MATERIAIS E METÓDOS.

Pesquisa exploratória, que tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o assunto, construir hipóteses, ainda pesquisa de campo, pois será realizado através de observações, registros, análises e interpretação dos dados na empresa, com abordagem de pesquisa combinada, tanto qualitativa quanto quantitativa.

Com fontes de pesquisa bibliográfica foram utilizadas com base livros que tratam o tema de ciência dos materiais, presente na instituição na biblioteca do Centro Universitário Unifacvest, outras fontes da empresa e conhecimento prático.

A realização do trabalho foi baseada nos autores, CALLISTER, Willian, CHIAVERINI, Vicente, SHACKELFORD, James, LAWRENCE, Van Vlack e ASKELAND Donald R.

A análise de dados é realizada através da performance apresentada durante o trabalho, correlacionado com a pesquisa bibliográfica pesquisada.

O material utilizado é o cobre C12200, segunda a norma ASTM B75 -02 o mais indicado para o sistema de refrigeração, onde o mesmo conduz os fluídos refrigerantes.

8.1 PROCESSO ANTES DA INTERVENÇÃO

Permanência a temperatura, a permanência e temperatura era estipulada da seguinte maneira.

Figura 9- Documento de controle de processo

Copperal GQ - 002
APROVADO

Cód. Interno: Reconhecimento 13/04/18
 Cód. Cliente: 22908 0354 (01277)
 Cliente: 120kg + 1000 Pombas
 Quantidade: Refriger

Operação	Data	Nome do operador	Turno
08:45	26°C	Ligado	2000 PSI
09:05	26°C	15L/min	1700 PSI
10:05	329°C	15L/min	1400
11:05	375°C	15L/min	1050
11:12	380°C	15L/min	1000

Fonte: O autor

Etiqueta do processo de fabricação (GQ-002) onde a mesma descrevia as atividades relacionada as etapas para a fabricação de peças e não específico ao recozimento.

Na ficha presente apresentavam o horário, temperatura vazão de nitrogênio e pressão.

FORNO:

Figura 10- Forno utilizado no processo



Fonte: Autor

Forno comercial onde o mesmo possui muito metal no seu interior assim dificultando a elevação da temperatura por troca térmica com as chapas de aço no seu revestimento, acarretando em demora e gasto de energia no processo.

RECIPIENTE DE ATMOSFERA PROTETORA:

Figura 11- Recipiente de atmosfera protetora:



Fonte: Autor

Vedação com fibra de vidro, material prejudicial aos trabalhadores em contato direto com o material ou com seus fragmentos, irritando olhos, pele, nariz e garganta. Altos níveis de exposição a fragmentos de fibra de vidro podem agravar asma e bronquites, prejudicial a saúde.

Além de tudo não fazer a vedação do gás nitrogênio, desperdiçando o gás e oxidando o material ali presente.

Recipiente possuindo um núcleo, onde exigia mais temperatura para aquecer uniformemente o material, ocorrendo troca térmica e acarretando em mais gasto de energia, permanência de temperatura e nitrogênio.

VAZÃO NITROGÊNIO:

Figura 12- Vazão do Nitrogênio



Fonte: Autor

A vazão de nitrogênio estava estabelecida em 15 L/min, onde verificou-se que a vazão utilizada em vários parâmetros apresentou a melhor performance

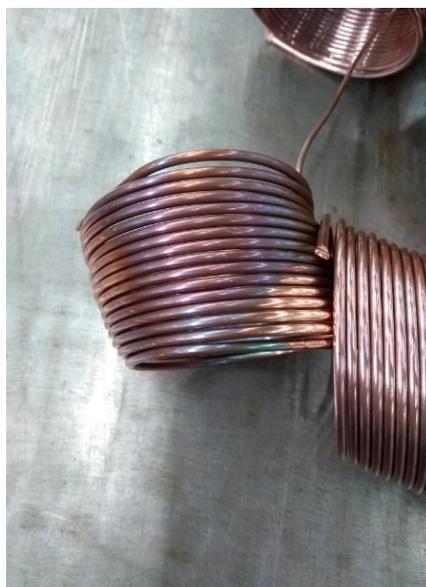
MATERIAL OXIDADO:

Figura 13- Aparência do material após o recozimento:



Fonte: O autor

Figura 14- Produto acabado oxidado.



Fonte: Autor

Material totalmente oxidado, acarretando em retrabalho, devolução custos na fabricação e logística, fazendo com que os indicadores de produção, notas de fornecimento, relatórios de Não conformidades e outros aspectos negativos foram ocorrendo na empresa.

RETRABALHO:**Figura 15-** Retrabalho cobre recozido

Fonte: Autor

O material oxidado mergulhado em solução de água e ácido cítrico, deixando agir por cerca de 10 min, para diminuir a oxidação superficial do material, após isso o material era secado e embalado ao cliente, assim podendo oxidar no caminho por ser um retrabalho e não garantido a qualidade e o aspecto do material.

SECAGEM DO MATERIAL:**Figura 16-** Secagem Cobre recozido

Fonte: O autor

Realizado com soprador, para retirar toda a humidade e a água com a solução para não oxidar novamente.

Parâmetros utilizados no processo:

Temperatura: 380 °C

Tempo de Purga: N/A

Tempo e permanência a temperatura: 4 Horas.

Resfriamento: Até a temperatura ambiente.

Carga do Recipiente: Não controlado.

Rampa de aceleração da temperatura: Não Controlado

Temperatura de saída do material: Não Controlado.

Aspectos Físicos dos materiais: Não Controlado.

8.2 PROCESSO APÓS A INTERVENÇÃO:

Processo:

Figura 17- Controle de Processo Atual

Copperal					
CONTROLE PROCESSO RECOZIMENTO					
Data:	02/02/2017	Código Interno:	W639	Classe:	
Código Cliente:	02002001	Carga Parcela:	15kg	Tamanho da Garrafa:	7 m ³ 10 m ³
Aquecimento:					
Horário	Temperatura	Condição (ON/OFF)	Vazão N2	Pressão do N ^o	
15:40	250°C	Ligado	150 l/min	1,50 kgf/cm ²	
16:10	275°C	Ligado	150 l/min	1,50 kgf/cm ²	
16:40	280°C	Ligado	150 l/min	1,50 kgf/cm ²	
17:05	280°C	Desligado	150 l/min	1,50 kgf/cm ²	
17:20	280°C	Desligado	150 l/min	1,50 kgf/cm ²	
Resfriamento:					
Horário	Temperatura	Condição (ON/OFF)	Vazão N2	Pressão do N ^o	
18:00	250°C	N2 Ligado	150 l/min	1,50 kgf/cm ²	

Copperal					
CONTROLE PROCESSO RECOZIMENTO					
Data:	02/02/2017	Código Interno:	122	Classe:	
Código Cliente:	1194	Carga Parcela:	7,5kg	Tamanho da Garrafa:	7 m ³ 10 m ³
Aquecimento:					
Horário	Temperatura	Condição (ON/OFF)	Vazão N2	Pressão do N ^o	
16:15	250°C	Ligado	150 l/min	1,50 kgf/cm ²	
16:45	275°C	Ligado	150 l/min	1,50 kgf/cm ²	
17:15	280°C	Ligado	150 l/min	1,50 kgf/cm ²	
17:30	280°C	Ligado	150 l/min	1,50 kgf/cm ²	
18:15	280°C	Desligado	150 l/min	1,50 kgf/cm ²	
Resfriamento:					
Horário	Temperatura	Condição (ON/OFF)	Vazão N2	Pressão do N ^o	
18:45	250°C	N2 Ligado	150 l/min	1,50 kgf/cm ²	

Revisão 01

Inserido documento específico para o processo de recozimento de cobre, afim de controlar a temperatura, a rampa de aceleração, a vazão do nitrogênio, quantidade de pressão nos cilindros, e controle de resfriamento.

Figura-18 Melhoria no forno



Fonte: O autor

Retirado todo o metal na parte interior do forno, revestido com lã de rocha afim de garantir o isolamento térmico e economia de energia no processo, evitando a troca térmica e incluído uma resistência para acelerar o aquecimento.

Figura 19- Melhoria recipiente de atmosfera protetora



Fonte: O autor

Alterado a vedação, utilizada gaxeta grafitada onde a melhoria obteve um impacto considerável, reduzindo o consumo de nitrogênio, manuseio dos operadores e ótimo resultado em relação a oxidação. Retirado o núcleo do recipiente onde o mesmo roubava a temperatura e dificultava o aquecimento uniforme no material

Figura 20- Melhoria na Tampa do recipiente:



Foi incluído um tubo para forçar a passagem de nitrogênio e assim fazer com que o oxigênio depositado no mesmo fosse expulso. E realizado furo com vedação para efetuar a purga.

Figura 21- Melhoria no Resfriamento



Fonte: O autor

Resfriamento controlado, onde se controla a temperatura de entrada, vazão de nitrogênio e temperatura de saída do material, certificando que o material não seja aberto ou

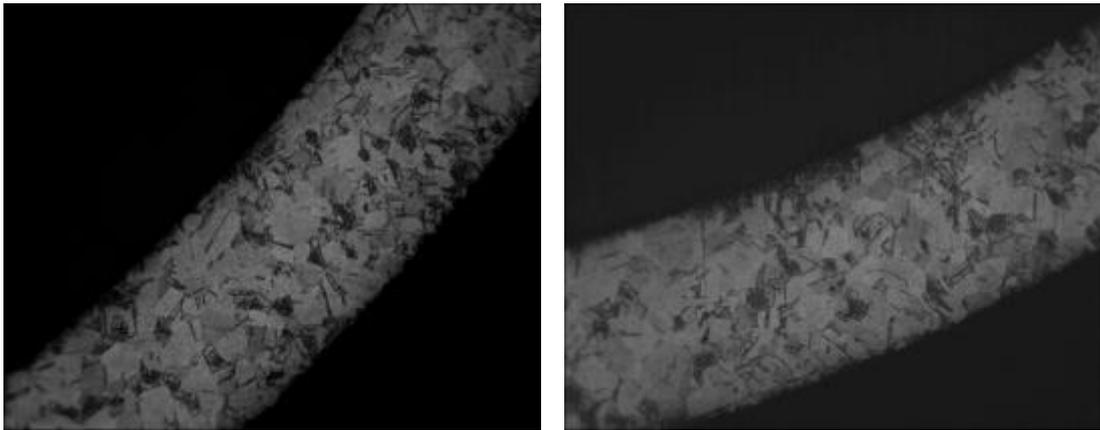
entre em contato com o oxigênio em temperatura alta e assim podendo ocorrer oxidação, evitando o desperdício de nitrogênio quando o material já está pronto para o uso.

Aspectos físicos do material realizado em laboratório: Através de ensaio de metalografia.

Relatório de ensaios de metalografia: Por comparação segunda a norma ASTM

Figura 22- Amostra em metalografia.

Figura 23- Amostra em metalografia 2



Fonte: Cobresul Metais LTDA.

Tamanho de Grão por Comparação

ASTM E-112

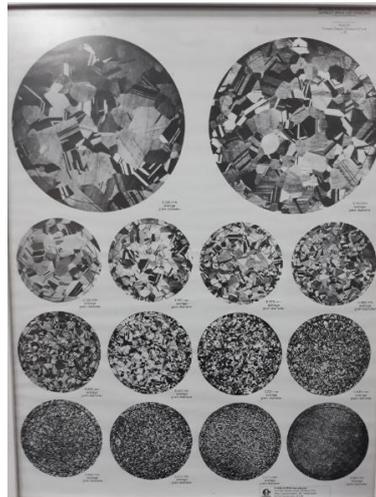
Tipo de Grão: Cobre (ou Ligas)

Campo	Tamanho
1	d = 0,025 mm
2	d = 0,025 mm

Observações:

Segunda a norma B-75 onde especifica os tamanhos de grãos referentes a tempera do material, as amostras estão dentro do especificado recozido mole O50, onde o resultado do recozimento foi de um tamanho de grão de 0,025mm, a norma especifica no máximo 0,040 desta forma o produto aprovado e não oxidado.

Figura-22 Padrão ASTM de tamanho de Grão.



Fonte: Cobresul Metais LTDA.

Tabela com os padrões de tamanho de Grão por comparação ao encontrado assim resultando na tempera.

9 RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Foram alterados primeiramente a temperatura, de 380°C para 280°C onde percebeu-se que a temperatura não alterou as propriedades do material, deixando em um estado de recozido mas não com a estrutura necessária para fornecer e conformar as peças.

Após realizar as alterações de temperatura, foi alterado o tempo de permanência, realizando a alteração das variáveis uma de cada vez afim de certificar o impacto de cada uma no processo, mantivemos a temperatura de 380°C, já que a de 280°C não alterou o de forma uniforme a estrutura e alteramos o tempo de permanência de 4 horas para 3 horas, o resultado foi positivo porém muito tempo de permanência de temperatura o que acarretava em gasto de nitrogênio e luz elétrica, onde foram baixados o tempo até verificarmos que o tempo de 1h e 30 minutos alterava-se as propriedades mecânicas do material, logo realizamos mais teste à 1 hora de tempo e permanência onde verificou-se a dureza do material ainda estava alta, com essas análise foi decretado o tempo de permanência de 1h 30 minutos para garantir a uniformidade e a alteração no cobre.

Foi verificado as vedações do recipiente onde o material era inserido estava não conforme podia se notar o vazamento e o desperdício do nitrogênio e até mesmo a presença de oxigênio, onde resultava em oxidação no material, trocamos a vedação de fibra de vidro por uma gaxeta grafitada, onde percebeu-se na primeira recozida uma melhora significativa em relação ao consumo de nitrogênio, aspecto físico do material e a oxidação foi inibida totalmente.

Foi realizado um furo na tampa do recipiente afim de realizar uma purga, injetar o nitrogênio com pressão e vazão altas para retirar do recipiente o oxigênio ali presente, deixando por um período de 5 minutos para a garantia do processo.

No processo a demora da temperatura chegar ao estipulado era mais demorado, foi retirado os excessos de chapa de aço e a temperatura alcança-la em um período mais curto resultando em um consumo de energia satisfatório.

Diante dessas melhorias as reclamações dos clientes em relação a oxidação, têmpera do material caíram em 100%, além de retrabalhos, devolução do material, relatórios de não conformidades, hora x homem e outros aspectos onde foram totalmente sanados, acredito que esses aspectos foram de grande valia no processo

Parâmetros melhorados após a intervenção:

Temperatura: 380 °C (mantido)

Tempo de Purga: 5 minutos com vazão de nitrogênio de 15 l/min

Permanência a Temperatura: 1h e 30 a cada 100kg do material. (menos tempo ao anterior)

Carga do recipiente: Carga do recipiente controlado para determinação da permanência a temperatura.

Rampa de aceleração à temperatura: Controlada de hora em hora.

Temperatura de saída do material: Controlado em 70°C, após resfriamento

Aspectos físicos do material realizado em laboratório: Através de ensaio de metalografia fornecido pela Cobresul Metais LTDA.

Relatório de ensaios de metalografia: Por comparação segunda a norma ASTM

10. CONCLUSÃO:

A partir do estudo percebe-se a importância do recozimento de cobre, onde o mesmo altera as suas propriedades físicas e mecânicas possibilitando atividades específicas.

O maior objetivo de realizar o procedimento é facilitar em dobras nos tubos afim de não ocorrer amassamentos e reduzir o diâmetro interno, realizar espiras e conformações essas possibilidades só são possíveis através do processo de recozimento.

Com a análise possibilitou a melhoria no processo de recozimento de cobre, relatando a importância do tratamento térmico no meio da refrigeração, onde foi obtido uma melhoria no desempenho da empresa em relação a qualidade do produto, e cerca de uma diminuição de 30% do consumo de nitrogênio com as melhorias implantadas, a partir do trabalho caiu a ocorrência em 100% em oxidação do produto onde todas as bobinas de cobre e os tubos não

saíram mais com a problemática de oxidação, aperfeiçoando o processo e com redução de reclamações dos clientes e disputando concorrência com grandes empresas.

Além de possuir recursos limitado porém produto com a qualidade necessária para fornecer aos clientes as suas exigências e especificações.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. <https://www.infomet.com.br/site/metais-e-ligas-conteudo-ler.php?codAssunto=69>
2. CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma Introdução**. 5. ed. São Paulo: LTC, 2002.
3. CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia mecânica**. 2. ed. São Paulo: Makron: Pearson Education do Brasil, 1986.v.2.
4. OLIVEIRA, A. R. **Tratamento térmico**. Pará: IFPA, 2007
5. PADILHA, A.F, SICILIANO Jr., F. **“Encruamento, recristalização, crescimento de grão e textura”**. P.10-59. Ed.ABM, São Paulo-SP, 2005.
6. PORTER, Michael. **Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior**. 15. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1989.

7. **Instituto Brasileiro do Cobre**, Disponível em: www.procobre.org/pt/wp-content/uploads/sites/4/2018/03/ee02-contribuicoes-do-cobre-combate-mudancas-climaticas.pdf, acessado em 27/06/2018 às 13:31Hs
8. JAMES SHACKELFORD, **Ciência dos materiais**, 6. ed Person, São Paulo. 2008.
9. <http://www.spectru.com.br/Metalurgia/diversos/tratamento.pdf>
10. <https://www.infomet.com.br/site/metais-e-ligas-conteudo-ler.php?codAssunto=69>