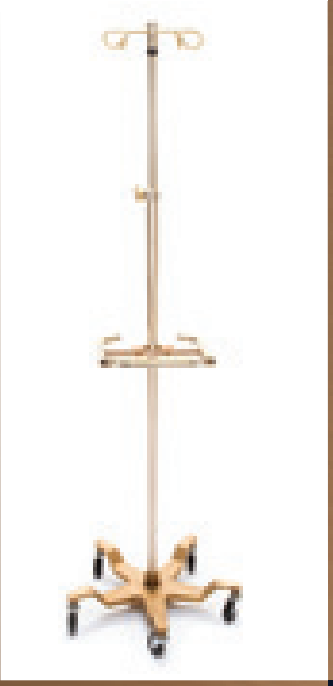
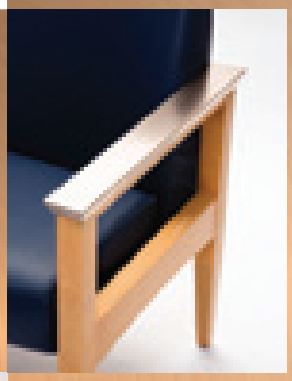




A Vantagem do Cobre

Um Guia para Trabalhar com o Cobre e suas Ligas

Antimicrobial Copper

Cu+™

ÍNDICE

I. Introdução 3
Condutividade 4
Força 4
Formabilidade 4
Junção 4
Corrosão 4
O Cobre é Antimicrobiano 4
Cor 5
Famílias de Ligas de Cobre 5

II. Propriedades Físicas 8
Propriedades 8
Condutividade Elétrica e Térmica 8

III. Propriedades Mecânicas 12
Propriedades de Tensão 12

IV. Propriedades Químicas 15
Importância Biológica 15
Cores e Descolorações 16
Resistência à Corrosão 16
Corrosão por Tensão 17

V. Ação Antimicrobiana 18
Testes EPA 18
Testes Clínicos 19
Condições 19

VI. Trabalhando com Ligas de Cobre 20
Formas de Produtos Comerciais 20
Processos de Conformação a Quente 21
Extrusão 21
Forjados 21
Processos de Conformação a Frio 21

VII. Junções 23
Soldagem e Brasagem 23
Junção sem Chama 24
CuproBraze® 24
Solda 25
Ligação Metalúrgica 25
Fixadores Mecânicos 26
Ligação Adesiva 26

VIII. Referências 27

PREFÁCIO

As informações contidas neste guia incluem uma descrição das bem conhecidas propriedades físicas, mecânicas e químicas do cobre, bem como as mais recentes descobertas científicas que mostram que o metal tem uma propriedade antimicrobiana intrínseca. Trabalhos e técnicas de acabamento, famílias de liga, coloração e outros atributos são abordados, demonstrando que o cobre e suas ligas são tão adaptáveis que podem ser usados em uma infinidade de aplicações e em quase todos os setores, de maçanetas de portas a circuitos elétricos e trocadores de calor.

A maleabilidade, usinabilidade e condutividade do cobre o tornam o metal favorito dos fabricantes e dos engenheiros, mas é sua propriedade antimicrobiana que irá estender essa popularidade para o futuro. Este guia descreve esta propriedade e mostra como ela pode trazer benefícios, desde as superfícies comuns de contato até as serpentinas de ar condicionado (HVAC).

A história é rica de comprovações da capacidade biocida do cobre. Os antigos egípcios, gregos, romanos e astecas usavam os compostos de cobre no tratamento de doenças e para a higiene. Mais tarde os cascos dos navios da marinha britânica passaram a ser revestidos de cobre para a proteção contra incrustações. Ratificando as evidências históricas casuais, recentes testes de laboratório têm demonstrado que o cobre e suas ligas são eficazes materiais antimicrobianos.

Cobre, latão e bronze trabalham eficientemente contra as mais problemáticas bactérias* resistentes a antibióticos, como o Staphylococcus aureus resistente à Meticilina (MRSA) e o Enterococcus resistente à Vancomicina (VRE), bem como outras bactérias* nocivas mais comuns.

O cobre é o único material de superfície sólido registrado pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA que mata continuamente bactérias* que representam uma ameaça para a saúde humana. Nenhum outro material de superfície de toque conquistou esse tipo de registro.

Este livreto servirá para responder a várias questões sobre o uso do cobre, suas ligas e novas aplicações, bem como para orientar os leitores sobre fontes de informações mais aprofundadas.

* Os testes de laboratório mostram que, quando limpos regularmente, o CopperTM Antimicrobiano mata mais de 99,9% das seguintes bactérias após 2 horas de exposição: Staphylococcus aureus resistente à Meticilina (MRSA), *Enterococcus faecalis* resistente à Vancomicina (VRE), *Staphylococcus aureus, Enterobacter aerogenes, Pseudomonas aeruginosa, e E. Coli* O157:H7. Superfícies de Cobre Antimicrobiano são um complemento e não um substituto para as práticas padrão de controle de infecções. Assim como outros produtos antimicrobianos, ficou demonstrado que reduzem a contaminação microbiana, mas não necessariamente impedem a contaminação cruzada, os usuários devem continuar a seguir todas as práticas usuais de controle de infecção.

Este Guia de Projetos foi elaborado para as pessoas envolvidas na seleção, projeto e/ou processamento de ligas de cobre. Ele foi compilado a partir de informações que a Copper Development Association Inc. acredita ser de fontes competentes sobre tais dados. No entanto, a CDA não assume nenhuma responsabilidade ou qualquer tipo de obrigação em relação a este Guia de Projeto ou a sua utilização por qualquer pessoa ou organização e não faz representações ou garantias de qualquer espécie.

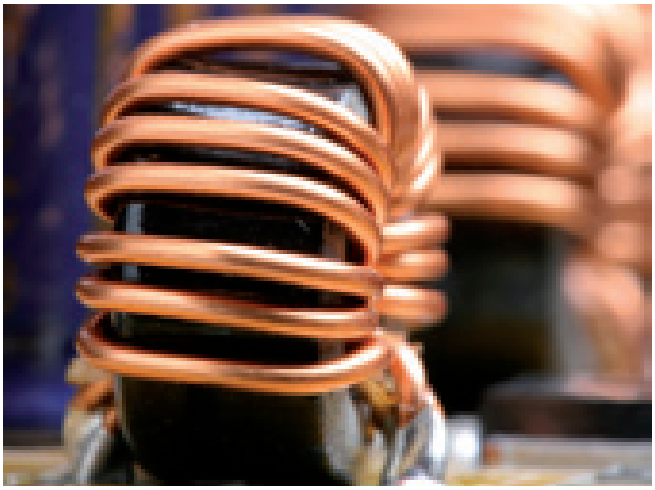
I. INTRODUÇÃO

O cobre e suas ligas são amplamente utilizados em vários produtos que permitem melhorar a nossa vida. Eles oferecem excelente condutividade elétrica e térmica, apresentam boa resistência e formabilidade, garantem ótima resistência à corrosão e fadiga e, geralmente, não são magnéticos. Podem ser facilmente soldados e brasados, muitos sob vários gases, usando métodos a arcos e de resistência. Também permitem ser polidos e lustrados para qualquer textura e brilho desejados. O cobre puro é largamente aplicado em fios e cabos elétricos, contatos elétricos e vários outros instrumentos para passar corrente elétrica. O cobre, certos latões, bronzes e cobre-níquel são ainda usados em radiadores automotivos, trocadores de calor, sistemas de aquecimento doméstico, coletores solares e várias outras aplicações que requerem rápida condução de calor através ou ao longo de uma seção metálica. Devido a notável capacidade de resistir à corrosão, cobre, latão, bronze e cobre-níquel também são utilizados em tubulações, válvulas e conexões em sistemas de transporte de água potável, água de processo ou de outros fluidos aquosos e gases industriais.

As ligas de cobre são ideais quando é importante minimizar os níveis bacterianos* em superfícies de contato. Com inerente capacidade de matar 99,9% das bactérias* em um período de duas horas, mais de 280 ligas de cobre obtiveram o registro de saúde pública concedido pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA). Esta indicação inédita reconhece a capacidade do cobre para eliminar bactérias* de forma contínua em limpezas regulares e para reduzir infecções causadas por bactérias* em superfícies de contato em hospitais, escolas, escritórios e outros estabelecimentos públicos.

Condutividade

De todos os metais comuns, o cobre apresenta a mais alta classificação para a condutividade elétrica e térmica. Alta condutividade, resistência intrínseca, formabilidade e resistência à corrosão tornam as ligas de cobre únicas como condutores de eletricidade, fazendo-as ideais para conectores elétricos e outros produtos elétricos e eletrônicos.



Resistência Mecânica

O cobre é um metal relativamente macio e maleável, com excelente conformabilidade, tornando-o ideal para aplicações arquitetônicas como telhados, revestimento de paredes e calhas. A adição de outros elementos ao cobre o fortalece, formando ligas que incluem o latão, o bronze fosforoso e o cobre-níquel.

As ligas de cobre apresentam propriedades de tração que excedem algumas ligas de alumínio e se aproximam dos aços inoxidáveis, podendo ser usadas em uma infinidade de aplicações. A miniaturização de dispositivos e componentes eletrônicos tem se beneficiado da alta resistência e da alta condutividade oferecidas por ligas de cobre especiais.

Formabilidade

A formabilidade excepcional do cobre é mais facilmente ilustrada pela sua capacidade de produzir fios de dimensões microscópicas com o mínimo recozimento. Em geral, as ligas de cobre apresentam maior resistência mecânica proporcionalmente à quantidade e natureza dos elementos de liga. Em latão, bronze, níquel-prata, cobre-níquel e outras famílias de ligas, a resistência é aumentada em proporção à quantidade de trabalho a frio.

Repuxamento profundo, cunhagem, alongamento e flexão são métodos comumente utilizados para formar componentes, tais como elementos de banheiros e outros produtos domésticos. O latão para cartuchos reflete a profunda característica de estiramento (estampagem profunda) dessa liga. Tubos de cobre-níquel são geralmente formados a partir de lâminas e então personalizados na instalação de feixes de condensadores.

Junção

O cobre e suas ligas podem ser facilmente unidos pelos métodos mais comuns (solda, brasão, parafusos, rebites, cravação e colagem de adesivo). A instalação de equipamentos hidráulicos e componentes são exemplos típicos de aplicações de soldagem e brasagem.

Técnicas de soldagem são rotineiramente usadas para tubos soldados de cobre e cobre-níquel utilizados em sistemas de suprimento de água, trocadores de calor e unidades de ar condicionado. Informações adicionais são encontradas na Seção VII desta publicação.

Corrosão

Devido à sua excelente resistência à corrosão, o cobre e suas ligas são amplamente utilizados em diversos ambientes e aplicações. Na arquitetura e nos utensílios feitos de cobre, o latão e o bronze se adaptam tanto em ambientes internos quanto externos. As ligas de cobre sofrem taxas insignificantes de corrosão em ar despoluído, água e ácidos purgados não oxidantes.

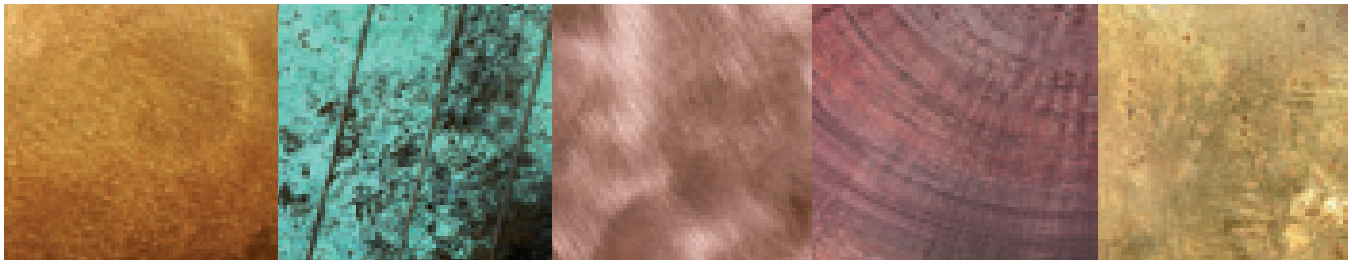
Muitos artefatos de liga de cobre foram encontrados em estado quase perfeito, depois de terem sidos enterrados durante milênios. Coberturas de cobre corroem a taxas de menos de 0,4 mm (0,015 pol.) em 200 anos. As ligas de cobre resistem a muitas soluções salinas, alcalinas e químicos orgânicos.

Aplicações típicas do cobre e suas ligas podem ser destacadas na arquitetura (interna e externa), linhas de suprimento de água potável e encanamentos, trocadores de calor e condensadores, conexões para água doce e salgada, equipamentos para processos industriais e fábricas de produtos químicos, fios e cabos elétricos, placas de circuito impresso e produtos industriais.

O Cobre é Antimicrobiano

As propriedades antimicrobianas do cobre e de suas ligas são intrínsecas e têm sido exploradas há séculos. Os egípcios utilizavam recipientes de cobre para limpar a água. A Coleção de Hipócrates (460-380 a.C.) recomenda o uso do cobre na terapia de úlceras nas pernas ocasionadas por varizes. Plínio, o Velho (23-79 d.C.) usava óxido de cobre com mel para o tratamento de vermes intestinais. Os astecas faziam gargarejo com uma mistura contendo cobre para tratar dor de garganta.

Testes recentes realizados por laboratório independente levou a Agência de Proteção Ambiental a registrar as ligas de cobre pela sua capacidade intrínseca de eliminar, dentro de duas horas, 99,9% dos seguintes organismos: *Enterococci* resistente à vancomicina (VRE), *Staphylococcus aureus*, *Enterobacter aerogenes, Escherichia coli* O157: H7, *Pseudomonas aeruginosa e Staphylococcus aureus* resistente à meticilina (MRSA). Não há qualquer outra superfície de metal sólido com registro na EPA que tenha feito reivindicações referentes à saúde pública.



Estatísticas amplamente divulgadas pelo Centro para Controle e Prevenção de Doenças (CDC) estimam que infecções adquiridas em hospitais nos EUA afetam 2 milhões de pessoas por ano, resultando em cerca de 100 mil óbitos. Resultados de um ensaio clínico em Birmingham (Inglaterra) demonstram que o uso de ligas de cobre em determinadas superfícies de uma movimentada enfermaria de um hospital tem potencial para reduzir contaminações microbianas em comparação com superfícies de outros materiais.

Cor

Ocorrem variações na cor das hastes das ligas de cobre principalmente por diferenças na composição química. O cobre puro tem um tom vermelho e a adição de outros elementos provoca uma mudança para amarelo, bronze, prata ou cinza. Essas cores podem desenvolver pátinas quando expostas ao ar. O grau de mudança depende da química da liga e da composição da atmosfera.

Famílias de Ligas de Cobre

As ligas de cobre são identificadas pelo Sistema Único de Numeração (UNS), que categoriza as famílias de ligas com base na sua composição. Produtos forjados variam de UNS C10000 a UNS C79999. Aos produtos moldados são atribuídos números entre UNS C80000 e UNS C99999.

TABELA 1: Designações UNS de Ligas de Cobre

LIGA	FORJADOS	MOLDADOS
Cobre	C10100 a C13000	C80100 a C81200
Latão	C20500 a C28580	C83300 a C85800
Latão ao Estanho	C40400 a C48600	C83300 a C84800
Bronze-Fosforoso	C50100 a C52400	C90200 a C91700
Bronze com Alumínio	C60800 a C64210	C95200 a C95900
Bronze Silicioso	C64700 a C66100	C87000 a C87999
Latão Silicioso Vermelho	C69400 a C69710	C87300 a C87900
Cupro-Níquel	C70100 a C72950	C96200 a C96900
Alpaca	C73500 a C79900	C97300 a C97800

O Cobre em seu estado puro é macio, com elevada condutividade elétrica e térmica e excelente resistência à corrosão. Existem vários graus de pureza do cobre, que diferem na quantidade de impurezas que contêm. O cobre livre de oxigênio é usado especialmente em aplicações que requerem alta condutividade e excepcional ductilidade.

Latões são ligas de cobre e zinco, com boa resistência e ductilidade, podendo ser facilmente trabalhadas a frio, propriedades que melhoram com o aumento do teor de zinco até 35%. A coloração do latão varia de vermelho a amarelo-dourado, dependendo da quantidade de zinco da liga.

Douração de metal, bronze comercial, joias de bronze, latão vermelho e latão para cartuchos são nomes comuns dados às ligas de latão, com teores específicos de zinco.

Latões contendo entre 32% e 39% de zinco apresentam excelentes características quanto ao calor, mas a capacidade limitada ao frio. Latões contendo zinco com mais de 39% (como o Metal Muntz) têm alta resistência mecânica e menor ductilidade à temperatura ambiente do que ligas com menos zinco.

O latão é conhecido pela sua facilidade de fabricação por repuxo, alta resistência quando trabalhado a frio e resistência à corrosão. É rotineiramente vazado, cunhado, estirado e perfurado para a produção de molas, extintores de incêndio, joias, núcleos de radiadores, soquetes de lâmpadas, munições, mangueiras flexíveis e bases para placas de ouro. Apresenta excelente fundibilidade. O latão fundido é usado como conexões de encanamentos, ferragens decorativas, acabamentos arquitetônicos, válvulas de baixa pressão, engrenagens e rolamentos.

Latão ao Estanho são ligas feitas de cobre, zinco (2% a 40%) e estanho (0,2% a 3%). Esta família inclui latão almirantado, latão naval e latão ao estanho de fácil usinagem. As ligas são usadas na fabricação de prendedores de alta resistência, conectores elétricos, molas, produtos mecânicos resistentes à corrosão, utensílios marinhos, eixos de bombas e parafusos de máquinas resistentes à corrosão. Elas oferecem maior resistência à corrosão, menor sensibilidade à dezinsificação e maior resistência em comparação ao latão puro.

Apresentam boa forjabilidade a quente e boa conformabilidade a frio. Estes materiais têm resistência mecânica moderada, alta resistência atmosférica e à corrosão aquosa e excelente condutividade elétrica.

Bronzes Siliciosos fazem parte do subgrupo de latões de alta resistência. Eles contêm menos de 20% de zinco e até 6% de silício e são uma solução sólida reforçada. São usados para hastes de válvula, nas quais a resistência à corrosão e a alta resistência são essenciais. Incluídos nesta categoria estão os bronzes siliciosos vermelhos, que são semelhantes aos latões siliciosos vermelhos, exceto pela concentração muito baixa de zinco. São utilizados para fazer mancais, engrenagens, bombas de forma complexa e componentes de válvulas.

Alpacas (Argentão ou Prata Alemã), também chamadas de cobre-níquel, são ligas contendo cobre, níquel e zinco. Embora não contenham prata, apresentam um atraente brilho prateado, resistência moderadamente alta e boa resistência à corrosão. Eles são usados para produzir equipamentos para o manuseio de alimentos e bebidas, ferragem decorativa, artigos de mesa com revestimento eletrodepositado, equipamentos ópticos e fotográficos e instrumentos musicais.

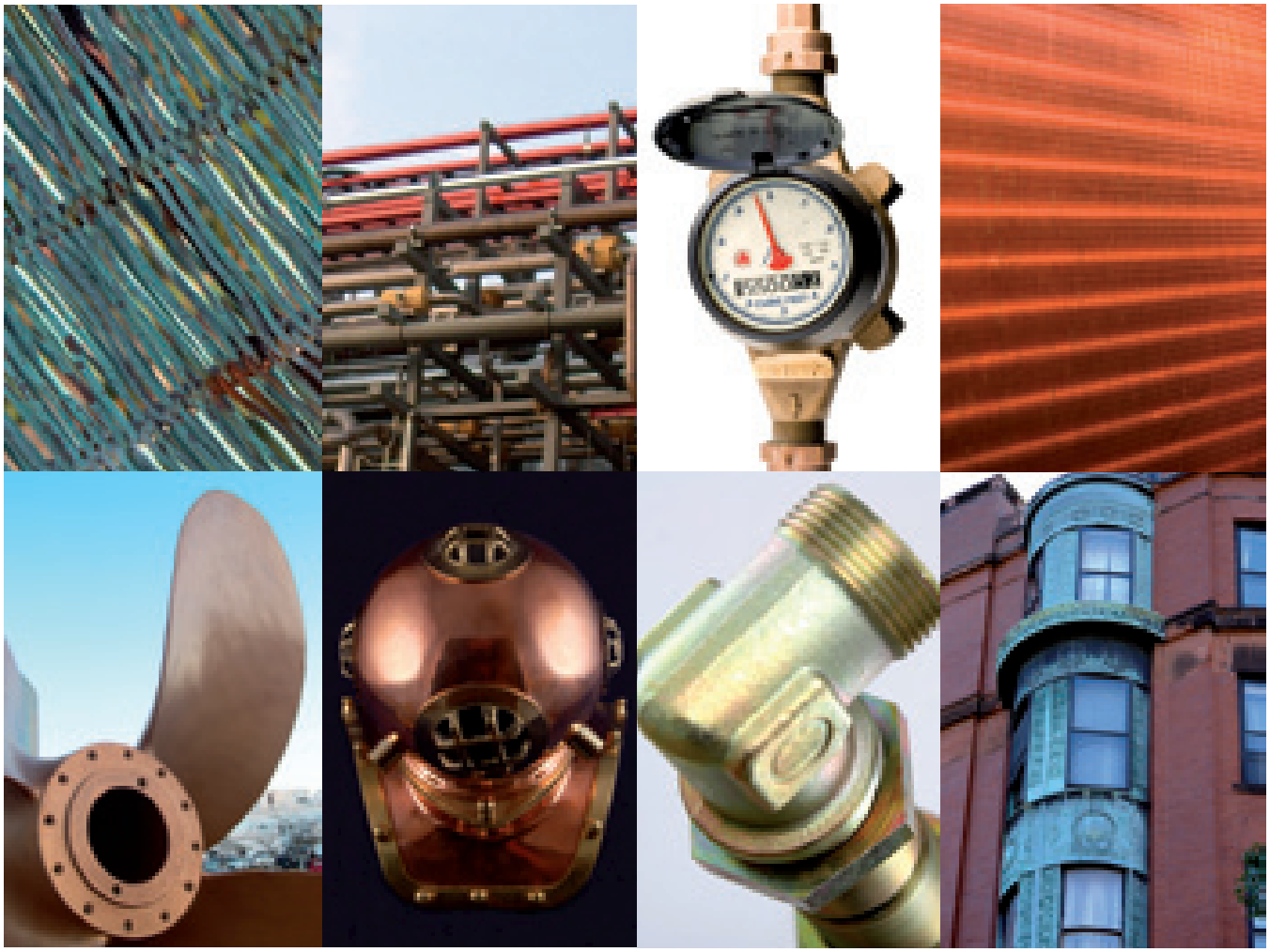
Ligas de ***Cupro-Níquel*** contêm entre 2% e 30% de níquel, são altamente resistentes à corrosão e termicamente estáveis. A adição de ferro, cromo, nióbio e/ou manganês pode melhorar a sua resistência mecânica e à corrosão. São praticamente imunes ao trincamento por corrosão sob tensão (fissuração mecanoquímica) e apresentam alta resistência à oxidação sob vapor e umidade. As ligas de alto níquel são bem conhecidas por sua resistência à corrosão provocada pela água do mar e à bioincrustação marinha. São utilizadas para fazer produtos elétricos e eletrônicos, tubos para condensadores em navios, plataformas offshore e usinas de energia e vários outros produtos marinhos, incluindo válvulas, bombas, conexões e revestimentos para cascos de navios.

Bronzes Fosforosos, (ou bronzes ao estanho como às vezes são chamados) contêm entre 0,5% e 11% de estanho e 0,01% a 0,35% de fósforo. O estanho aumenta sua resistência à corrosão e à tração e o fósforo eleva a resistência ao desgaste e a rigidez. Os bronzes fosforosos têm ótima qualidade para confecção de molas, alta resistência à fadiga, excelente conformabilidade e soldabilidade e alta resistência à corrosão. São usados principalmente em produtos elétricos. Outros usos incluem foles resistentes à corrosão, diafragmas e arruelas.

TABELA 2: Composição e Propriedades das Ligas de Cobre Mais Comuns

ALEACIÓN N° UNS	NOMBRE COMÚN	COMPOSICIÓN NOMINAL % del Peso	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA % IACS	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN* Ksi (MPa)
C11000	Cobre	99 min Cu	101	42 [290]
C12200	Cobre Desoxidado Fósforo	0.025 P	85	42 [290]
C17200	Cobre - Berilio	1.80Be	22	128 [882]**
C23000	Latón Rojo	15Zn	37	56 [386]
C26000	Latón para Cartuchería	30Zn	28	62 [427]
C28000	Metal Muntz	40Zn	28	70 [483]
C42500	Latón de Estaño	10 Zn – 2 Sn	28	63 [434]
C51000	Bronce Fosfórico A	5 Sn – 0.2 P	15	68 [469]
C52400	Bronce Fosfórico D	10 Sn – 0.2 P	11	83 [572]
C65500	Bronce Alto en Silicio A	3.3 Si – 1.0 Mn	7	78 [537]
C70600	Cobre - Níquel, 10 %	10 Ni – 1.4 Fe	9	65 [448]
C71500	Cobre - Níquel, 30 %	30 Ni – 0.7 Fe	4.6	73 [503]
C74500	Alpaca, 65-10	25 Zn – 10 Ni	9	73 [503]
C75200	Alpaca, 65-18	17 Zn – 18 Ni	6	74 [510]

*Grado de temple H02, 1/2 rad
**Endurecido en fundición, TMC2



Bronzes com Alumínio, a liga contém de 6% a 12% de alumínio e até 6% de ferro e níquel e proporciona alta à corrosão e ao desgaste. O fortalecimento da solução sólida, o trabalho a frio e precipitação de uma fase rica em ferro contribuem para essas características. Ligas com alta concentração de alumínio podem ser resfriadas rapidamente e temperadas. Bronzes com alumínio são usados em ferragens navais, componentes de eixos, bombas e válvulas para uso na água do mar, águas ácidas de minas, ácidos não oxidantes e fluidos de processos industriais. Também são utilizados em mancais deslizantes para serviço pesado e guias para ferramentas de máquinas. A fundição em bronze com alumínio apresenta excepcional resistência à corrosão, tenacidade, resistência ao desgaste e boas características de soldagem.

Ligas de Cobre Especiais, por exemplo com base nos sistemas de cobre-níquel-silício e cobre-níquel-estanho, oferecem uma combinação única de propriedades devido à sua capacidade intrínseca de endurecimento por precipitação. A alta resistência, combinada com boa formabilidade, estabilidade térmica e condutividade elétrica, as torna apropriadas para uso em conectores elétricos, eletrônicos e em hardware. Estas ligas têm denominações em todo o sistema UNS baseado em sua composição.

Como vimos, o cobre e suas ligas contam com uma ampla gama de composições químicas e são largamente empregados em aplicações que permitem melhorar a nossa vida. Cada aplicação faz uso efetivo de atributos do cobre: resistência mecânica, condutividade, cor, formabilidade (capacidade de conformação), capacidade de junção e estabilidade térmica

II. PROPRIEDADES FÍSICAS

Propriedades

O cobre tem número atômico 29, peso atômico 63,54 e exibe uma estrutura cristalina cúbica de face centrada. É um elemento de transição e, por ser um metal nobre, conta com propriedades semelhantes às da prata e do ouro. A sua excelente condutividade, maleabilidade, resistência à corrosão e biofuncionalidade derivam da origem elementar do cobre. O cobre apresenta alta solubilidade para outros elementos como níquel, zinco, estanho e alumínio. A fase alfa (α) desta solução sólida é responsável pela alta ductilidade exibida pelas ligas de cobre. Adições de ligas além do limite de solubilidade resultam em uma fase beta (β), que apresenta uma estrutura de corpo centrado cúbico (bcc). Esta fase β tem estabilidade a alta temperatura e as ligas que apresentam uma estrutura α + β têm excelente capacidade de conformação a quente.

A densidade do cobre é de 8,89 g/cm3 (0,321 lb/pol3) e seu ponto de fusão é de 1083°C (1981°F). Todas essas propriedades e características são significativamente modificadas nas ligas de cobre. A **Tabela 3** apresenta as propriedades físicas do cobre. As propriedades físicas de cinco ligas comuns de cobre forjado são comparadas na **Tabela 4**.

A tabela periódica mostrada na **Figura 1** destaca o cobre e seus elementos de liga comuns.

Condutividade Elétrica e Térmica

A condutividade é a principal característica que distingue o cobre dos outros metais. A condutividade elétrica dos materiais é medida quando comparando a uma barra de cobre "puro", na qual (em 1913) foi atribuído o valor de 100% IACS (*International Annealed Copper Standard* - Padrão Internacional para Cobre Recozido). Desde aquela época, a melhoria das técnicas de processamento e lingotes de pureza mais elevados resultou em um cobre comercial com valores de condutividade elétrica ligeiramente acima de 100% IACS.

As variações térmicas e mecânicas de processamento usadas para produzir ligas comerciais podem causar mudanças profundas na condutividade e, geralmente, as ligas com maior resistência mecânica apresentam menor condutividade. Os valores IACS são geralmente publicados como valores mínimos para têmperas recozidas. Produtos temperados (trabalhados a frio) podem ter um valor de 1-5 pontos percentuais abaixo do valor recozido. A queda na condutividade elétrica com o trabalho a frio é ilustrada pela **Figura 2**, na qual são mostradas as condutividades elétricas nas condições totalmente recozida e fortemente estiradas a frio para amostras de cobre e fios de cobre-zinco.

Ligas de maior resistividade elétrica (R) gastarão mais energia, pois o calor gerado devido a uma corrente elétrica (I) é proporcional a I^2 x R. O calor gerado irá aumentar a temperatura do componente com consequências adversas. Ligas com maior condutividade térmica permitem que o projetista dissipe de um pouco desse calor, minimizando a subida da temperatura.

Dentro das famílias de ligas, a condutividade térmica tende a ser relacionada com condutividade elétrica, ou seja, as ligas de maior condutividade estão propensas a ter maior condutividade térmica. Esta regra prática é conveniente, uma vez que a condutividade térmica é difícil de ser medida e a resistividade elétrica é bem mais fácil de ser avaliada. A relação quase linear entre a condutividade térmica e elétrica a 20°C (68°F) é mostrada na **Figura 3** para ligas de cobre selecionadas.

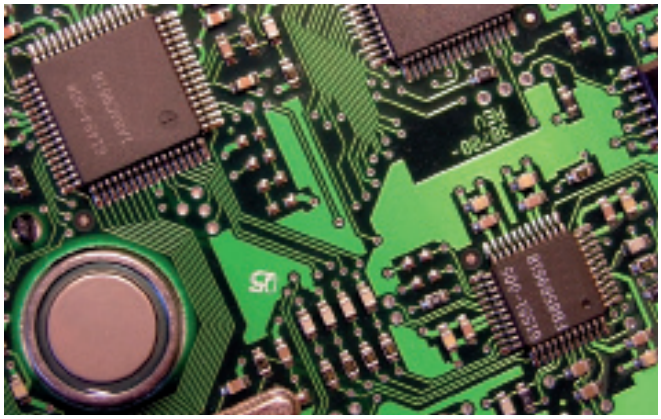
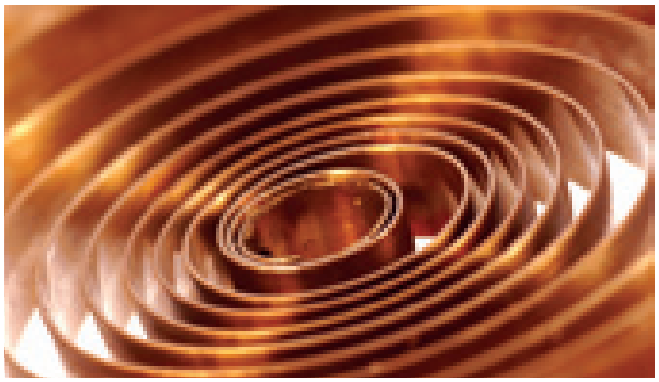


TABELA 3: Propriedades Físicas do Cobre

PROPRIEDADE	INGLÊS		MÉTRICA	
	VALOR	UNIDADES	VALOR	UNIDADES
Número Atômico			29	
Peso Atômico			63.54	
Densidade	0.322	lb/pol^3	8.92	g/cm^3
Ponto de Fusão	1981	°F	1083	°C
Ponto de Ebulição	4703	°F	2595	°C
Calor Latente de Fusión	88	Btu/lb	205	J/g
Coeficiente Linear de Expansão Térmica Entre: 77°F - 212°F (25°C - 100°C)	9.33 x 10^{-6}	pol/pol.°F	16.8 x 10^{-6}	cm/cm°C
Calor Específico (Capacidade Térmica) a: 68°F (20°C) 212°F (100°C)	0.0921 0.0939	Btu/lb °F Btu/lb °F	0.386 0.393	J/g°C J/g°C
Conductividade Térmica a: 68°F (20°C) 212°F (100°C)	227 223	Btu pé/pé^{2}h °F Btu pé/pé^{2}h °F	3.94 3.85	Wcm/cm^2 °C Wcm/cm^2 °C
Condutividade Elétrica (Volume) a: 68°F (20°C) Recozido 68°F (20°C) Totalmente Trabalhado a Frio	100 - 101.5 97.0	% IACS % IACS	58.0 - 58.9 56.3	MS/m(mΩmm^2) MS/m(mΩmm^2)
Resistividade Elétrica (Volume) a: 68°F (20°C) Recozido 68°F (20°C) Totalmente Trabalhado a Frio	0.6788 - 0.669 0.700	μΩ·pol μΩ·pol	1.7241 - 1.70 1.78	μΩ·cm μΩ·cm
Módulo de Elasticidade (Tensão) a: 68°F (20°C) Recozido	17 x 10^3	Ksi	118,000	MPa
Módulo de Rigidez (Torsão) a: 20°C: 68°F (20°C) Recozido	6.4 x 10^3	Ksi	44,000	MPa

A maior parte do cobre utilizado na transmissão elétrica e interligação tem condutividade elétrica de 85% ou mais IACS. O cobre puro comercialmente tem 101% IACS, assim como vários tipos de cobre isentos de oxigênio (puro), tais como C10100 e C10200. Observe que a condutividade do cobre fosforoso desoxidado (cujo teor de cobre é de 99,9%) é de apenas 85% IACS. O fósforo é um dos elementos que reduz a condutividade severamente.

O limite de condutividade das ligas de cobre varia, dependendo dos elementos da liga. Altas ligas de cobre, feitas com telúrio, zircônio, magnésio, cromo e ferro, oferecem maior resistência mecânica com condutividade entre 75% a 90%. Outro grupo de ligas, com combinações de boro, ferro, estanho, zinco, cobalto, magnésio e fósforo, oferecem boa resistência e condutividade entre 50% a 75% IACS. Certos tipos de cobre com berílio, latão, latão ao estanho, bronze fosforoso e ligas de cobre com silício variam sua condutividade entre 25% a 50% IACS.



Ligas de alta resistência de cobre ao berilo, cobre-níquel-silício e cobre-níquel-estanho, que podem ser reforçadas por precipitação, têm uma resistência mecânica muito alta com baixa a média condutividade elétrica, entre 10% a 25% IACS. Desenvolvimentos recentes de ligas nestas categorias têm melhorado a alta resistência com condutividade >50% IACS.

FIGURA 1: Tabela Periódica de Elementos Mostrando o Cobre e os Elementos de Ligas Mais Comuns

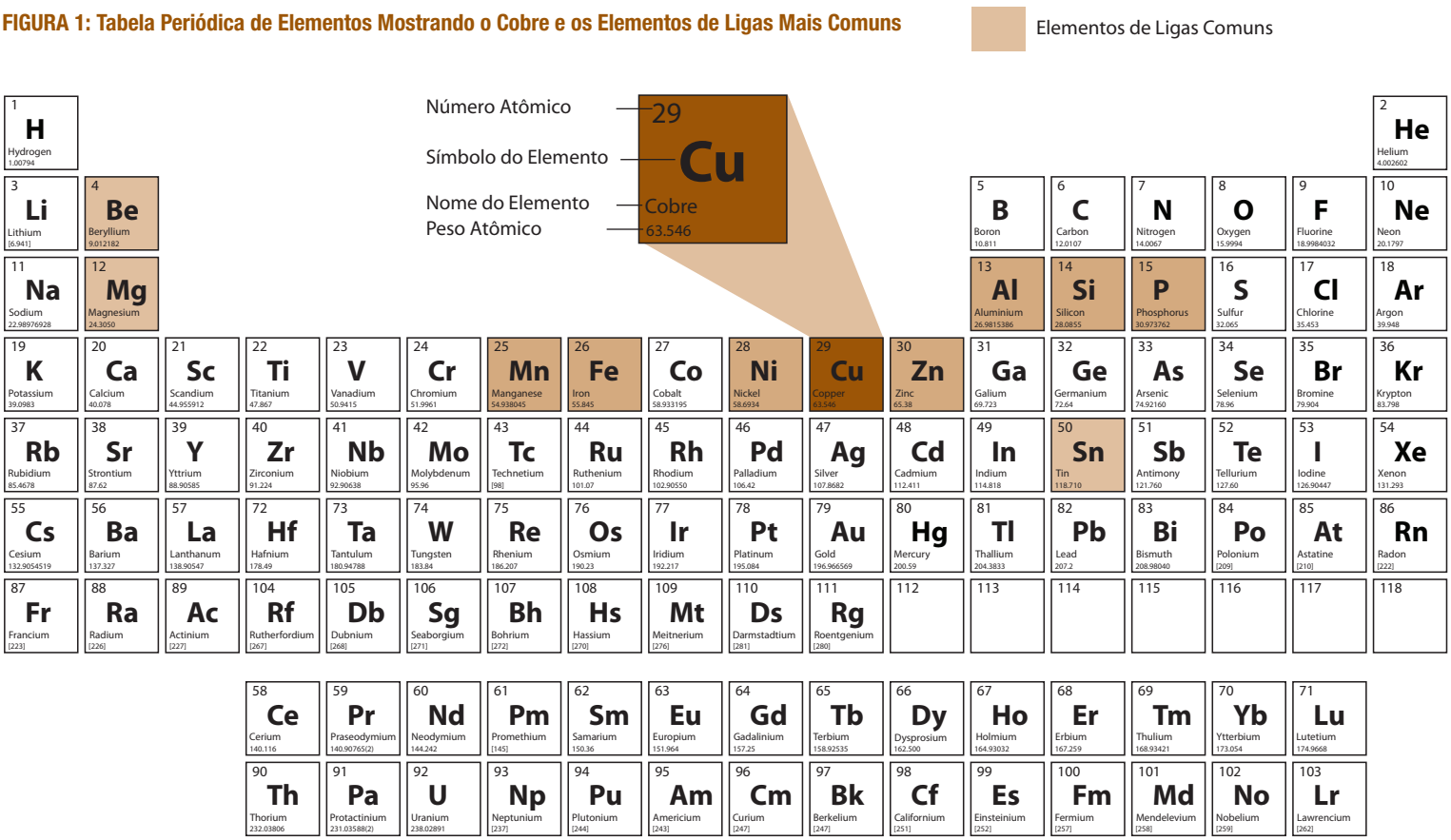


FIGURA 2: Condutividade Elétrica de Amostras de Fios de Cobre Recozido, Cobre Muito Estirado e Cobre-Zinco

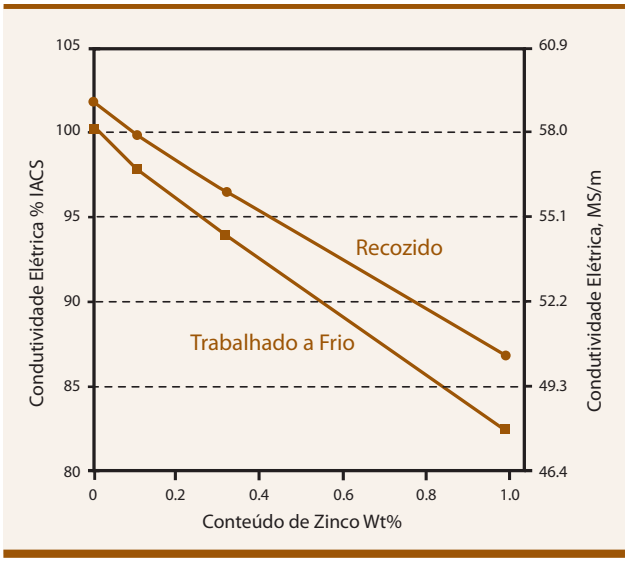
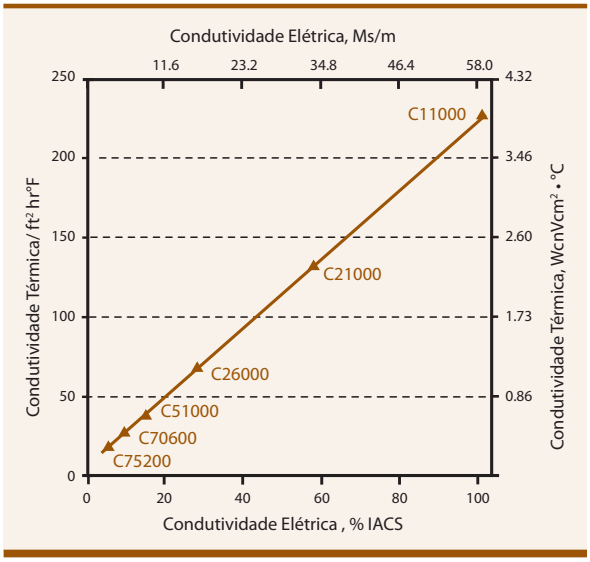


FIGURA 3: Relação entre Condutividade Térmica e Elétrica para Ligas de Cobre Selecionadas



Condutividade Elétrica % IACS

TABELA 4: Propriedades Físicas de Cinco Ligas Comuns de Cobre Forjado

LIGA N° UNS	DENSIDADE lb / pol^3 (g /cm^3)	PONTO DE FUSÃO (OU SÓLIDO) °F (°C)	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA %IACS (MS /m)	CONDUTIVIDADE TÉRMICA Btu pé / pé^2 hr °F (Wcm /cm^2 °C)	COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA (LINEAR) X10^{-6}pol / pol °F (X10^{-6}cm /cm °C)
C11000	0.322 (8.92)	1949 (1065)	101 (58)	226 (3.94)	9.33 (16.8)
C26000	0.308 (8.53)	1680 (915)	28 (16)	70 (1.21)	11.1 (19.9)
C51000	0.320 (8.86)	1750 (950)	15 (8.7)	40 (0.71)	9.9 (17.8)
C70600	0.323 (8.94)	2010 (1100)	9 (5.2)	26 (0.46)	9.5 (17.1)
C75200	0.316 (8.73)	1960 (1070)	6 (3.5)	19 (0.33)	9.0 (16.2)

III. PROPRIEDADES MECÂNICAS

O cobre é conhecido por ser um metal macio e maleável. As ligas de cobre, no entanto, oferecem uma grande variedade de combinação de propriedades mecânicas que refletem um grau de adaptabilidade não disponível em outras ligas. O cobre e suas ligas são muito usadas em cabos, fios, contatos elétricos e uma série de outros componentes que transportam corrente elétrica. Estas aplicações demandam de baixa a moderada resistência à tensão mecânica, moderada estabilidade térmica ou resistência à deformação por estresse. Ligas com uma segunda fase finamente dispersa, que fornecem refinamento do grão, são selecionadas para maximizar a resistência mecânica, ductilidade e condutividade.

Muitas ligas de latão, bronze e cobre-níquel são usadas em radiadores automotivos, trocadores de calor, sistemas de aquecimento doméstico e outras aplicações que requerem rápida condução de calor. Elas são escolhidas para proporcionar resistência combinada com a facilidade de fabricação. A maior resistência e as característica de deformação (relaxamento) por estresse, que são exigidas pelos conectores eletrônicos, são oferecidas pelas ligas reforçadas por precipitação . Exemplos das designações de têmperas usadas para especificar a condição de ligas de cobre comerciais estão listados na **Tabela 5**.

Propriedades de Tensão

As ligas de cobre são essencialmente reforçadas mecanicamente por trabalho a frio ou por adições de solução sólida que melhora o encruamento.

No estado recozido, o limite convencional de elasticidade e a resistência à tensão variam inversamente com o tamanho do grão. A adição de elementos de liga ao cobre aumenta o limite de resistência à tração, o limite convencional de elasticidade e a taxa de encruamento. Por exemplo, em latões a resistência à tração e o limite convencional de elasticidade aumentam com o aumento do teor de zinco.

Diferentes elementos de liga variam sua eficácia no aumento da resistência mecânica e no encruamento, proporcionando assim um espectro de combinações de propriedades. Os dados de propriedade de tensão da **tabela 6** ilustram o efeito de têmpera por laminação (aumentando o trabalho a frio) para a liga de cobre C26000. O papel do teor de zinco nas propriedades de tensão da têmpera por rolagem é ilustrada pelos dados na **Tabela 7**, mostrando as propriedades de tensão de várias ligas de metais na têmpera H02 e na têmpera meio-dura.

As curvas de laminação a frio da **Figura 4** ilustram o efeito do encruamento sobre as propriedades de tensão da liga de bronze recozida (ou macia) C26000. Aumentam-se os valores finais do limite de resistência à tração e o limite convencional de elasticidade, enquanto a ductilidade e o alongamento por tração caem com a laminação a frio. As curvas de laminação a frio na **Figura 5** mostram o aumento da resistência à tração com redução da laminação a frio de ligas de cobre temperado inicialmente com têmpera mole ou recozida.

O módulo de elasticidade varia entre 16 e 20 milhões de libras por polegada quadrada (cerca de 110 e 138 GPa). A Razão de Poisson, uma propriedade do material que relaciona a tração no sentido transversal em um teste de tração com a tração no sentido longitudinal, é quase constante para ligas de cobre, sendo geralmente atribuído um o valor de 0,3 à mesma. O latão e o bronze apresentam características superiores de encruamento.

Estas variações nas propriedades elásticas (embora menores do que as escalas de resistência e condutividade disponíveis nas famílias de ligas) são influenciadas pela têmpera, orientação do grão e o modo de estresse. É importante lembrar que a rigidez é um fator importante no projeto inicial, pois afeta a força de contato.

Ligas reforçadas por precipitação, por exemplo a C17200, oferecem a oportunidade para dar forma à parte na condição de máxima ductilidade (solução recozida) e, em seguida, aumentar a resistência à tração, com um tratamento térmico de precipitação. Caso a fabricação do produto desejado impeça esta abordagem, uma têmpera endurecida por usinagem permite que o componente seja formado a partir de material mais resistente, mas menos dúctil, fornecido pela usinagem a fim de evitar envelhecimento de componentes customizados.

A Tabela 8 compara as propriedades de tração de material recozido (macio) e têmperas extra duras (laminados a frio com redução de 50%) para diversas ligas cobre comercialmente importantes. Para comparação foi incluída uma amostragem das propriedades semelhantes para aço de baixo carbono, aço inoxidável e ligas de alumínio.

TABELA 5: Exemplos das designações de têmpera para ligas de cobre, ASTM B 601

DESIGNAÇÃO DA TÊMPERA	NOME TÊMPERA OU CONDIÇÃO
Condições do Recozido	
O10	Fundido & Recozido
O20	Forjado a quente & Recozido
O60	Recozido mole
O61	Recozido
O81	Recozido para Têmpera: 1/4 Duro
OS015	Média de Tamanho do grão: 0.015mm
Têmperas Trabalhadas a Frio	
H01	1/4 Duro
H02	1/2 Duro
H04	Duro
H08	Mola
Têmperas Trabalhadas a Frio e com Alivio de Tensão	
HR01	H01 e Tensão Aliviada
HR04	H04 e Tensão Aliviada
Têmperas Endurecidas por Precipitação	
TB00	Tratado com Solução Aquecida
TF00	TB00 e Endurecido por Envelhecimento
TH02	TB00 e Trabalhado a Frio & Envelhecido
TM00 / TM02 / TM08	Têmperas Endurecidas por Usinagem
Têmperas Fabricadas	
M01	Fundido em Areia
M04	Fundido sob Pressão
M06	Fundição como Investimento

FIGURA 4: Efeito do Encruamento Sobre o Limite de Resistência à Tração, Limite Convencional de Elasticidade e Alongamento (Ductilidade) de Liga de Latão Recozido (Macio) C26000

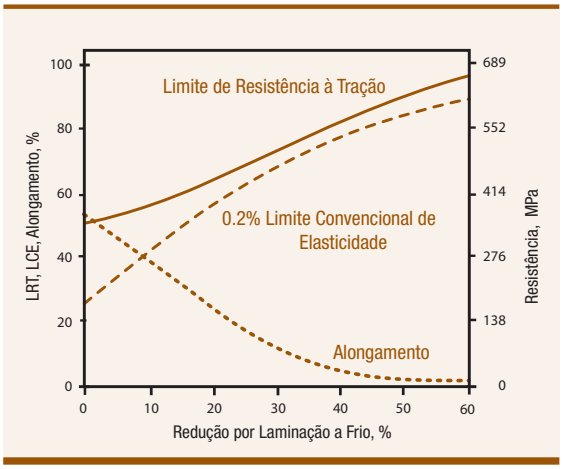


FIGURA 5: Limite de Resistência à Tração em Função do Aumento da Redução por Laminação a Frio de Ligas Comerciais de Cobre Temperado Inicialmente Recozido ou de Têmpera Macia (0% de Redução)

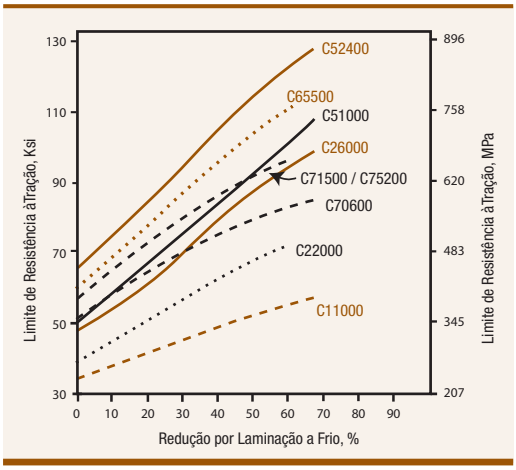


TABELA 6: Propriedades de Tensão de Vários Laminados de Liga C26000 Produtos Planos de Espessura 0,040”

TEMPERA POR LAMINAÇÃO	REDUÇÃO NOMINAL A FRIO (%)	LIMITE DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO Ksi (MPa)	0.2% LIMITE CONVENCIONAL DE ELASTICIDADE Ksi (MPa)	ALONGAMENTO DE 2.0 Pol. (%)
OS040 (Recozido)	0	48 (331)	16 (110)	59
H01 (1/4 Duro)	11	55 (379)	33 (228)	46
H02 (1/2 Duro)	21	62 (427)	51 (352)	30
H04 (Duro)	37	76 (524)	72 (496)	10
H06 (Extra Duro)	50	88 (607)	83 (572)	3
H08 (Mola)	60	94 (648)	89 (614)	2
H10 (Extra Mola)	68	99 (682)	92 (634)	1

TABELA 7: Propriedades de Tensão de Várias Ligas de Latão na Têmpera Meio-Duro (H02)

LIGA UNS No.	CONTEÚDO NOMINAL DE ZINCO (WT%)	LIMITE DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO Ksi (MPa)	0.2% LIMITE CONVENCIONAL DE ELASTICIDADE Ksi (MPa)	ALONGAMENTO DE 2.0 Pol. (%)
C11000	0	41 (283)	37 (255)	20
C21000	5	47 (324)	44 (303)	17
C22000	10	52 (358)	47 (324)	12
C23000	15	56 (386)	48 (331)	14
C24000	20	60 (414)	43 (296)	18
C26000	30	62 (427)	51 (352)	23
C28000	40	70 (483)	50 (345)	10

TABELA 8: Propriedades de Tensão de Ligas Comerciais de Cobre Recozido e Nas Têmperas Extra Duras (Nominalmente CR 50%) Comparadas Com Aço e Alumínio

LIGA UNS No.	LIMITE DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO Ksi (MPa)	0.2% LIMITE CONVENCIONAL DE ELASTICIDADE Ksi (MPa)	ALONGAMENTO DE 2.0 Pol. (%)
Cobre C11000			
Recozido	34 (235)	11 (76)	45
H06 (Extra Duro)	52 (358)	47 (324)	5
Latão C26000			
Recozido	53 (365)	22 (150)	54
H06 (Extra Duro)	88 (607)	83 (572)	3
Bronze Fosforoso C51000			
Recozido	50 (345)	22 (150)	50
H06 (Extra Duro)	92 (635)	80 (550)	6
Cupro-Níquel C70600			
Recozido	51 (350)	13 (90)	35
H06 (Extra Duro)	79 (545)	76 (525)	4
Alpaca C75200			
Recozido	58 (400)	25 (170)	41
H06 (Extra Duro)	89 (614)	83 (572)	1
Açode Baixo Carbono 1008			
Recozido	44 (303)	25 (170)	41
Duro	70 (483)	60 (413)	18
Aço Inoxidável 304			
Recozido	87 (600)	36 (245)	52
Trabalhado a Frio 50%	158 (1089)	135 (931)	8
Alumínio 3004			
(Macio)	26 (180)	10 (69)	22
H38	41 (285)	36 (250)	5

IV. PROPRIEDADES QUÍMICAS

Importância Biológica

O cobre é um micronutriente necessário para a vida das plantas, animais e a maioria dos micro-organismos. É incorporado em uma variedade de proteínas que desempenham funções metabólicas específicas. Como é um mineral essencial, é recomendado como necessidade dietética. O Departamento de Agricultura dos EUA e a Academia Nacional das Ciências recomenda 0,9 mg/dia de cobre na dieta de adultos. Alguns dos usos do cobre estão relacionados à sua capacidade de controlar o crescimento de micro-organismos. Isso ocorre quando o cobre está biologicamente disponível e em determinadas concentrações. Como resultado, o cobre é utilizado em uma variedade de agentes biocidas. Por exemplo, tem sido demonstrado que o cobre é um agente antibacteriano* eficaz, agente antiplaca em enxaguatórios bucais e cremes dentais. O cobre também continua a ser amplamente utilizado para o controle de organismos indesejáveis em aplicações marinhas, tais como na piscicultura. Comprova-se que tanto em água doce como em água salgada não indica nenhum efeito perigoso para os consumidores ou peixes. Estes agentes antiencrustantes usados em suportes de redes para pesca têm sido considerados como uma fonte de metais para os sedimentos, mas há pouca evidência de que eles constituam uma fonte significativa de cobre dissolvido quando há adequada troca de água para a piscicultura.

Cores e Descolorações

As cores especiais do cobre e de suas ligas são apreciadas como elementos de arquitetura, de consumo e como objetos de arte. Seus tons naturalmente metálicos variam do vermelho ao amarelo e ao cinza prateado **(Figura 6).** Uma série de outras cores pode ser obtida por tratamento de sua superfície por mecanismos químicos ou eletroquímicos. O cobre e suas ligas são extremamente resistentes à corrosão atmosférica, mas com o tempo pode se formar uma descoloração superficial ou uma camada manchada. Todos os metais descolorem ou formam uma camada de óxido quando expostos à atmosfera. A espessura e a composição química dessa camada variam em função do tempo de exposição, das condições atmosféricas e da química da liga base.

A maioria dos metais desenvolve uma superfície escura que, como ocorre com o aço inoxidável, pode tornar difícil a visualização da cor do metal base. A aparência da cor do metal base subjacente pode ser preservada por meio da aplicação de finas camadas transparentes de proteção. Estes produtos químicos orgânicos endurecem na temperatura ambiente ou com bicarbonato e são normalmente aplicados usando-se um solvente. No entanto, tais revestimentos interferem e neutralizam a natureza antimicrobiana fundamental da superfície da liga de cobre.

O filme que se forma sobre ligas de cobre (geralmente as descolorindo) é um óxido que, quando fino, cria uma base escurecida, que com o tempo pode evoluir para um filme cinzento. Embora os óxidos mudem o aspecto físico da superfície, eles podem ser removidos com soluções padrão de limpeza.

Testes indicam que a oxidação e as descolorações não interferem no desempenho antimicrobiano das ligas de cobre, mas aumentam a eficácia da superfície. Esses óxidos cumprem o papel crucial de interagir com as membranas das bactérias* e estabelecem a eficácia antimicrobiana das superfícies de ligas de cobre. A química da liga base e as condições atmosféricas determinam a cinética e a natureza da oxidação superficial. A descoloração da superfície da liga é consideravelmente menor em um ambiente interno, em comparação com a exposição ao ar livre. Algumas ligas de cobre, moedas de cobre, ligas contendo silício e alpacas (em particular) apresentam uma resistência à oxidação e retêm a cor base.

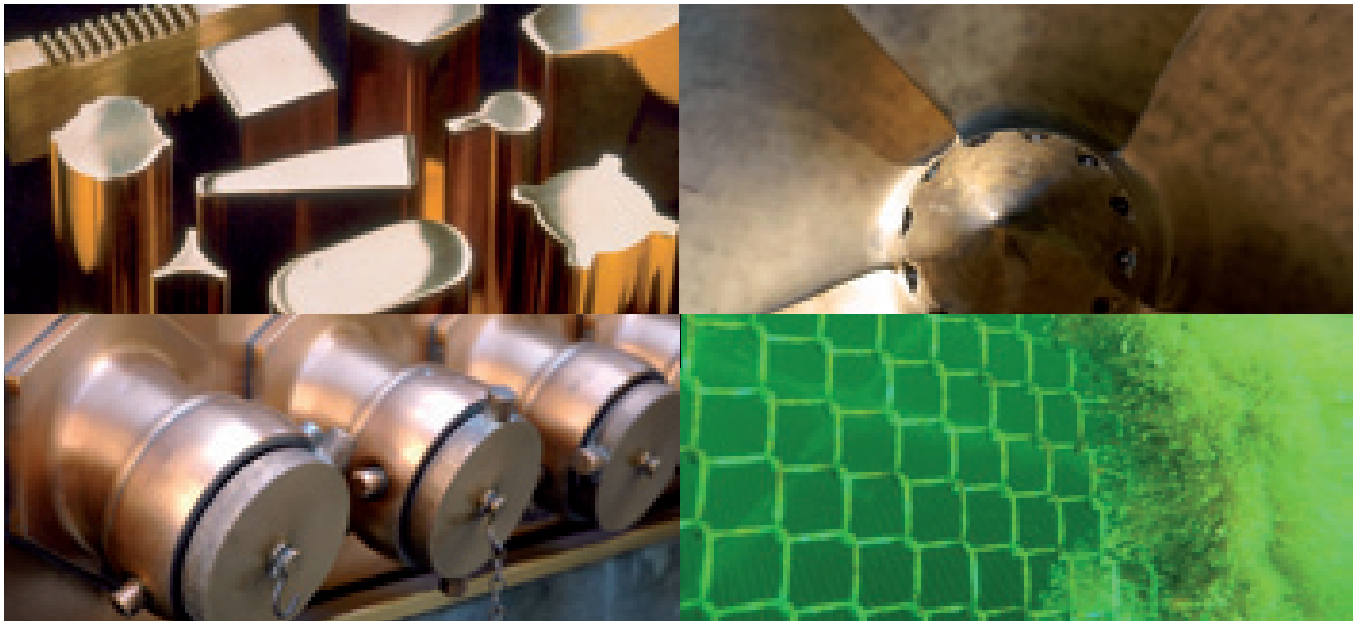
Aplicações arquitetônicas, como telhados e ferragens (fechaduras, maçanetas, pedais, corrimãos, etc.) tiram proveito da resistência à corrosão atmosférica do cobre e de suas ligas.

Resistência à Corrosão

A estabilidade química inerente ao cobre e às suas ligas os torna superiores para muitas aplicações. Linhas de fornecimento de água potável e conexões hidráulicas que requerem resistência à corrosão para vários tipos de água e sujidades usam uma variedade de produtos de ligas de cobre. Componentes marinhos, da mesma forma que linhas de abastecimento de água potável e de água do mar, trocadores de calor, condensadores, eixos, hastes de válvulas e outros equipamentos, utilizam a resistência das ligas de cobre à corrosão pela água salgada.

Trocadores de calor e condensadores de vapor em usinas de energia e em aplicações para processos químicos utilizam ligas de cobre, especialmente nos quais é necessário ter resistência aos produtos químicos do processo. O cobre também é o material preferido em equipamentos industriais

FIGURA 6: Colorações de Várias Ligas de Cobre



e químicos de plantas em que há a preocupação com a exposição a produtos químicos orgânicos e inorgânicos. A seleção de uma liga adequadamente resistente requer a consideração de muitos fatores. A Copper Development Association (Associação para Desenvolvimento do Cobre) compilou várias experiências de campo na forma de listas de avaliações do comportamento de diferentes ligas de cobre em certos ambientes.

As ligas de cobre mais utilizadas para exposição atmosférica são: C11000, C22000, C23000, C38500 e C75200. Para telhados e coberturas, o C11000 é o preferido. Cobre, chumbo, zinco e ferro são os metais mais usados em construções subterrâneas. Os dados sobre a corrosão destes metais em vários tipos de solo mostram que o cobre tem a maior resistência em todos os casos. A maior aplicação exclusiva de tubos de cobre é na distribuição de água quente e fria em residências e edifícios. O cobre é utilizado quando a confiabilidade a longo prazo é fundamental.

O cobre e suas ligas são resistentes ao vapor puro, exceto na presença de amônia (que trataremos a seguir). As ligas de cobre-níquel são as preferidas quando o condensado é corrosivo. As ligas de cobre são mais adequadas para o transporte da água do mar em navios e estações de aproveitamento de energia das marés. O cobre, embora bastante útil, geralmente é menos resistente do que C44300 (latão de almirantado inibido), C61300 (bronze com alumínio), C70600 (níquel, cobre 10%) ou C71500 (cobre-níquel, 30%). Estas ligas são inerentemente insolúveis na água do mar e formam filmes com o produto de corrosão que resistem à erosão e à corrosão.

Embora as ligas de cobre em geral possam ser acopladas umas às outras sem aceleração grave de corrosão galvânica, a atenção aos efeitos galvânicos melhora consideravelmente o desempenho. O uso de tubos de aço inoxidável ou titânio em sistemas com ligas de cobre em geral necessitam de proteção catódica para evitar a corrosão acelerada que poderia ocorrer.

As ligas de cobre são estáveis em vários ambientes potencialmente corrosivos. Sua resistência inerente à bioencrustação aumenta sua utilidade como componente de sistemas de resfriamento de água do mar.

Corrosão por Tensão

A corrosão por tensão (às vezes chamada de fenda de corrosão) ocorre quando um componente suscetível da liga está sujeito aos efeitos combinados de tensão contínua e exposição a substâncias químicas. Experiência com ligas de cobre serviram para documentar condições atenuantes, de modo que tais falhas hoje são raras. Compostos de amônia e amônio são as substâncias mais associadas com a suscetibilidade à corrosão por tensão de ligas de cobre. Estes compostos podem estar na atmosfera, em produtos de limpeza ou substâncias químicas de tratamento de água. Nem todas as ligas de cobre são sensíveis a estes compostos e a seleção adequada de uma liga e de um processo de produção pode diminuir o problema. Por exemplo, latões contendo menos de 15% de zinco, moedas de cobre, bronze fosforoso e cobre geralmente não são suscetíveis à corrosão por tensão.

V. AÇÃO ANTIMICROBIANA

Louis Pasteur desenvolveu a teoria dos germes como causadores de doenças no século XIX. Afirmava que as infecções são causadas por micróbios que invadem o corpo humano. No entanto, muito antes disso, os benefícios dos atributos antimicrobianos do cobre, latão e do bronze já haviam sido reconhecidos. A coleção de Hipócrates (460-380 a.C.) para a qual o pai da medicina contribuiu, recomenda o uso do cobre para úlceras nas pernas devido às varizes. Plínio, o Velho (23-79 d.C.) usava óxido de cobre com mel para o tratamento de vermes intestinais. Os astecas gargarejavam uma mistura contendo cobre para tratar dor de garganta.

Mais recentemente, um estudo de 1983 (P. Kuhn) mediu os níveis de bactérias em maçanetas de bronze e de aço inox em um hospital. Os resultados confirmaram que nas primeiras quase não houve crescimento microbiano, já as segundas estavam contaminadas. Duas décadas mais tarde estas observações estimularam estudos aprofundados e cientificamente controlados usando protocolos de ensaio especificados pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) para quantificar a propriedade antimicrobiana de cobre e de suas ligas.

Testes EPA

Testes laboratoriais independentes demonstram que as doenças causadas por bactérias*, incluindo *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina (MRSA), *E. coli* O157: H7, *Enterobacter aerogenes* e outras espécies de bactérias, são mortas em contato com superfícies de ligas de cobre **(Figuras 7, 8 e 9)** . Especificamente, observou-se que colônias de bactérias* colocadas sobre superfícies de cobre (C11000) foram reduzidas em mais de 99,9% em duas horas.

Ao utilizar superfícies de ligas de cobre (latão, bronze, cobre-níquel), a taxa de bactérias mortas foi um pouco reduzida, mas uma redução superior a 99,9% também foi observada no período de duas horas. Quase nenhuma redução foi observada nas colônias colocadas sobre aço inoxidável ou superfícies plásticas após seis horas. É importante destacar que esses resultados foram obtidos na temperatura ambiente tipicamente encontrada em hospitais: cerca de 20° C (68 ºF).

A EPA revisou esses estudos e concluiu que ligas de cobre regularmente limpas e não revestidas matam mais de 99,9% das bactérias* causadoras de doenças no período de duas horas de contato e que estes materiais sólidos podem ser usados para superfícies que são frequentemente tocadas, oferecendo uma segunda linha de defesa contra bactérias*. O uso de cobre antimicrobiano é um complemento à rotina de práticas de controle de infecções.

A EPA registra mais de 280 ligas com um teor mínimo de obre de 60% como antimicrobianas. Como estes estudos continuam, espera-se que a EPA registre outras ligas de cobre, afetando mais organismos e as aprovando para outras aplicações. Atualmente elas não estão registradas para uso em contato com alimentos ou aplicações de água potável.

Ensaios Clínicos

Foram realizados ensaios clínicos em hospitais de grande porte nos Estados Unidos, Chile, Alemanha, Reino Unido e Japão. As superfícies críticas de contato em ambientes típicos de atendimento ao paciente foram catalogadas e protótipos de equipamentos hospitalares de ligas de cobre antimicrobiano foram fabricados e instalados. Estas superfícies incluem estativas, ferragens de camas, mesas sobrepostas às camas, ferragens de portas, mobília de quarto e banheiro, equipamentos médicos e outros itens em estreita proximidade com o paciente. O equipamento "cuprificado" instalado nos quartos de hospitais é esfregado para remoção da contaminação microbiana e é comparado com seus equivalentes feitos de outros materiais em salas de controle. O impacto das superfícies de cobre sobre a contaminação superficial e as correspondentes taxas de infecção estão sendo investigadas nestes ensaios. Os dados sugerem que as superfícies de cobre instaladas propiciaram uma acentuada redução da contaminação microbiana.

Requisitos

Para manter a propriedade antimicrobiana inerente ao cobre, os produtos não devem ser pintados, envernizado, laqueados, encerados ou revestidos de qualquer maneira. Tal como acontece com desinfetantes líquidos e gasosos, ligas de cobre antimicrobiano têm mostrado reduzir a contaminação microbiana*, mas não necessariamente previnem a contaminação cruzada.

Os fabricantes e fornecedores registrados pela EPA podem usar as marcas Copper™ Antimicrobial e Cu + para indicar que seus produtos são feitos de ligas antimicrobianas registradas.

* Os testes de laboratório mostram que, quando limpas regularmente, superfícies com o Copper™ Antimicrobiano mata mais de 99,9% das seguintes bactérias após duas horas de exposição: *Staphylococcus aureus* resistente à Meticilina (MRSA), *Enterococcus faecalis* resistente à Vancomicina (VRE), *Staphylococcus aureus, Enterobacter aerogenes, Pseudomonas aeruginosa*, e *E. Coli* O157:H7. Estas superfícies são um complemento e não um substituto para as práticas padrão de controle de infecções. Assim como outros produtos antimicrobianos, ficou demonstrado que o cobre antimicrobiano reduz a contaminação, mas não necessariamente impede a contaminação cruzada. Os usuários devem continuar a seguir todas as práticas usuais de controle de infecção.

FIGURA 7: Viabilidade da Bactéria MRSA sobre Ligas de Cobre e Aço Inoxidável a 20°C (68°F)**

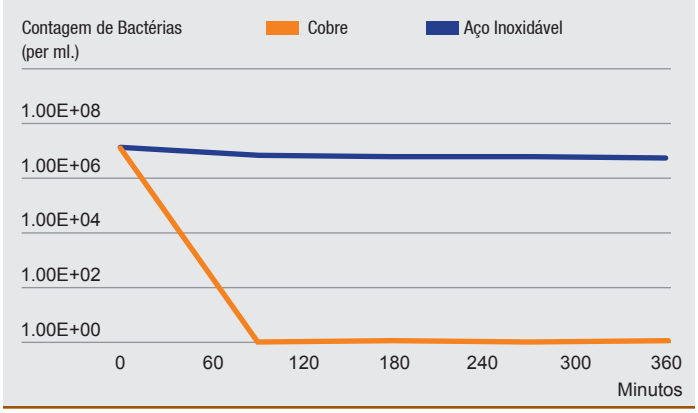


FIGURA 8: Viabilidade da Bactéria E. Coli O157:H7 sobre Ligas de Cobre e Aço Inoxidável **

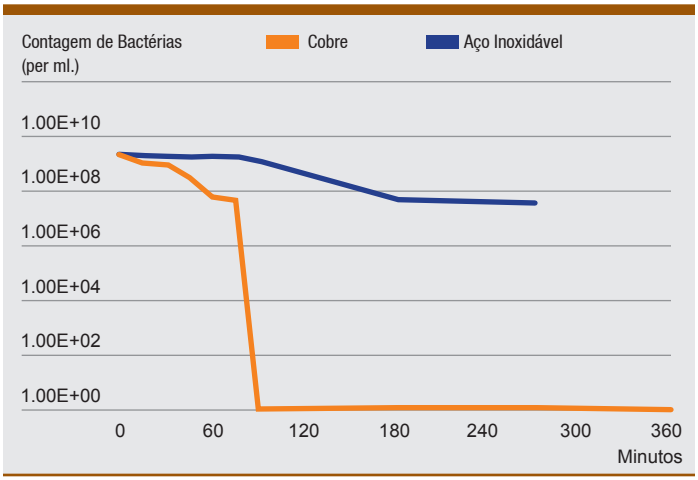
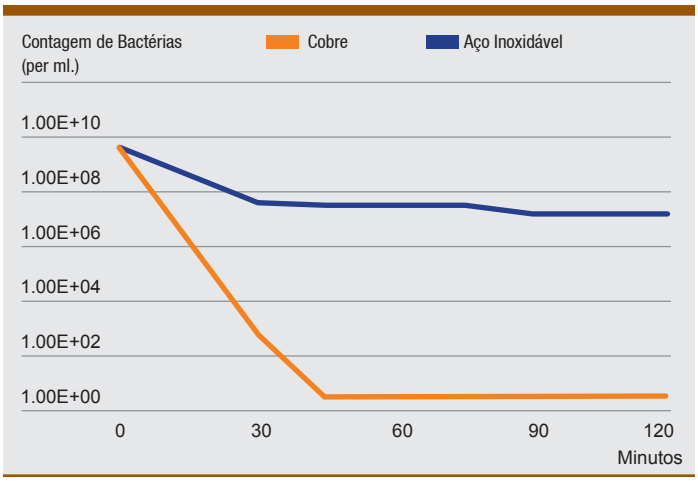


FIGURA 9: Viabilidade da Bactéria Enterobacter Aerogenes sobre Ligas de Cobre e Aço Inoxidável **



** O aço inoxidável foi usado como como um material de controle (como exigido pela EPA) em todos os registros de testes de eficiência do cobre e suas ligas.

VI. TRABALHANDO COM LIGAS DE COBRE

Formas de Produtos Comerciais

O cobre e suas ligas estão comercialmente disponíveis como produtos forjados e fundidos, incluindo fios e cabos, chapas, tiras, placas, varetas, barras, tubos e formas para metalurgia do pó. Certos produtos usinados, principalmente fios, cabos e a maioria dos itens tubulares, são usados pelos clientes sem necessidade de outras formas de manipulação do metal. Por outro lado, muitos dos produtos laminados planos, varas, barras, fio máquina, peças fundidas e forjadas passam por várias operações, usinagem, acabamento e/ou operações de montagem antes de chegar a produto acabado.

Para cada classe de liga de cobre, certas composições para produtos forjados têm correspondentes para fundidos. Como referido na introdução desta obra, isto permite que os projetistas façam a seleção da liga antes de escolher um processo de fabricação. A maioria das ligas forjadas (folhas, tiras, barras, ou fios) está disponível em várias condições de trabalho a frio e sua resistência mecânica e formabilidade dependem da quantidade de trabalho a frio durante o processamento, bem como do conteúdo de sua liga. As aplicações típicas para os produtos trabalhados a frio incluem molas, fixadores, ferragens, pequenas engrenagens, cames, contatos elétricos e outros componentes. Certas peças, principalmente conexões para canalização e válvulas, são produzidas por forjamento a quente, porque nenhum outro processo de fabricação pode produzir economicamente as formas e propriedades requeridas.

Como o cobre é um dos metais mais sustentáveis e recicláveis, é comum para algumas operações comerciais o uso de 100% de sucata. Usinas derretem a sucata misturada com os elementos adequados para criar a química necessária. A fundição tradicional do metal, o trabalho a quente, o recozimento e as etapas de trabalho a frio são então utilizados para fornecer um produto elaborado.

O cobre e os produtos de suas ligas se apresentam em uma variedade de formas. Produtos planos, como chapas, folhas e tiras, são tipicamente laminados a quente. As superfícies são usinadas para ficarem livres de defeitos, e então são laminadas a frio com inter-recozimentos no produto usinado final. Tubos e varões são tipicamente extrudados a quente e, em seguida, estirados a frio. Arames são geralmente produzidos de forma contínua, na qual o trabalho a quente e a frio, em etapas seguidas, são empregados para se chegar ao produto usinado final. A mesma versatilidade na usina processadora de ligas de cobre está disponível para os fabricantes de produtos finais, tais como ferragens, molas e moedas, entre outros.

Processos de Conformação a Quente

O trabalho a quente é um passo normal na fabricação de ligas, quebrando a microestrutura de solidificação dendrítica presente em todas as fundições. Algumas ligas, como o latão com alto zinco, o bronze e a alpaca, geralmente existem na condição de duas fases α+β. Sua capacidade de ser trabalhadas a frio é limitada e elas são geralmente fornecidas na forma de extrudados e/ou temperados e levemente repuxadas próximas de sua forma final. A fabricação de componentes emprega forjamento quente e/ou usinagem.

Extrusão

Tubos e canos de cobre e de suas são usados extensivamente para o transporte de água potável em prédios e casas. Também são adotados na indústria de petróleo, química e de processos e podem transportar diversos tipos de fluidos que vão da água do mar a uma ampla gama de produtos químicos. No setor automotivo e industrial, muitos tubos de ligas de cobre e acessórios usináveis transportam fluidos hidráulicos e refrigerantes.

Estas conexões tubulares e usinadas normalmente começam como extrudados. Este processo de produção aquece um lingote fundido acima da temperatura de recristalização da liga e força o material através de uma matriz. Na fabricação de tubos é utilizado um mandril para estabelecer e controlar a espessura da parede. O cobre e suas ligas são então estirados para acabar em blocos de estiramento ou bancos de estiramento, o diâmetro do tubo e a espessura da parede são reduzidos a cada passo.

Alguns produtos extrudados de ligas de cobre, como vergalhões e barras, apresentam estrutura de dupla fase α+β com alguma solubilidade para uma adição intencional de chumbo que, por sua vez, aumenta a trabalhabilidade a quente, mas restringe a ductilidade a frio. A legislação recente determina níveis de chumbo reduzidos ou a exploração de adições alternativas, como bismuto e selênio ou silício. Procura-se um balanço entre a usinabilidade, a liga e os custos de processamento, bem como a aceitação logística da indústria de acessórios usinados.

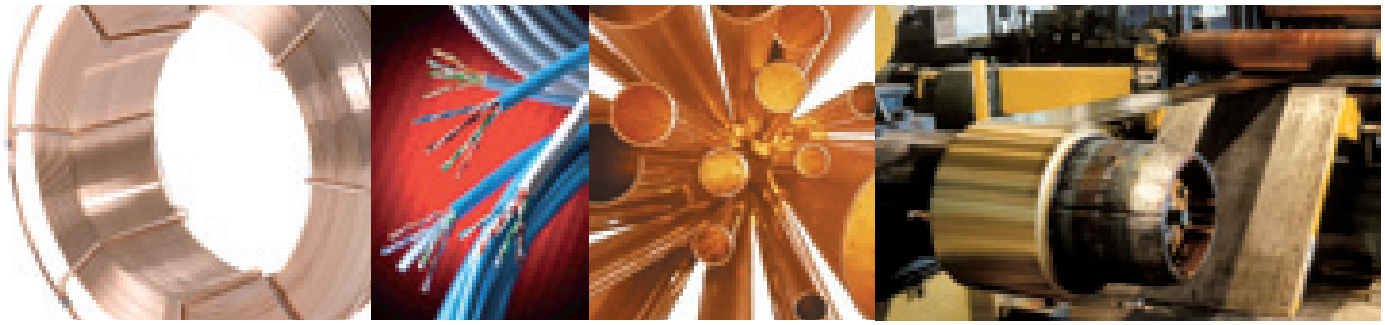
Forjados

Os forjados de liga de cobre oferecem uma série de vantagens, incluindo alta resistência, tolerâncias mais estreitas e menor custo total. Os forjados de bronze são comumente usados em válvulas, conexões, componentes para refrigeração e gás e produtos para manipulação de líquidos. Os produtos industriais e as ferragens decorativas também empregam materiais forjados. A maioria dos forjados de ligas de cobre é formada a quente em matrizes fechadas. Ligas comuns para forja são as de alto cobre C10200, C10400 e C11000(com excelente ductilidade) e as de alta resistência (que apresentam ductilidade em alta temperatura com estrutura de fase α+β).

Processos de Conformação a Frio

Nenhuma propriedade específica dos materiais define completamente a formabilidade. A resistência, o endurecimento por trabalho e a ductilidade desempenham um determinado papel. As ligas de cobre usam adições que aumentam o encruamento e oferecem resistência mecânica. O controle do tamanho do grão por recozimento ou a utilização de uma segunda fase finamente dispersa ajudam a maximizar combinações de resistência/ductilidade e garantem um bom acabamento superficial. Comparada com outros materiais, a formabilidade das ligas de cobre reside intermediariamente entre a do alumínio e a do aço inoxidável, dispondo de um intervalo de taxas de encruamento.

A análise do limite de conformação fornece um meio científico de avaliação da conformabilidade de uma chapa metálica sobre uma ampla faixa de condições. O estado de tensão desenvolvido durante a formação pode ser expresso em relação às tensões principais e secundárias. A curva limite de conformação e uma curva tipo domo que limita a altura podem ser usadas para mostrar os limites de deformação



biaxial, além da qual pode ocorrer a falha. Estas curvas mostram a formabilidade relativa entre os materiais e identifica questões operacionais que podem surgir nas mudanças de ferramentas, lubrificação ou lotes de material.

A consideração da relação limite da tração com a taxa de deformação plástica (r) para vários metais revela que ligas de cobre oferecem melhor combinações de resistência/formabilidade que a maioria dos outros sistemas.

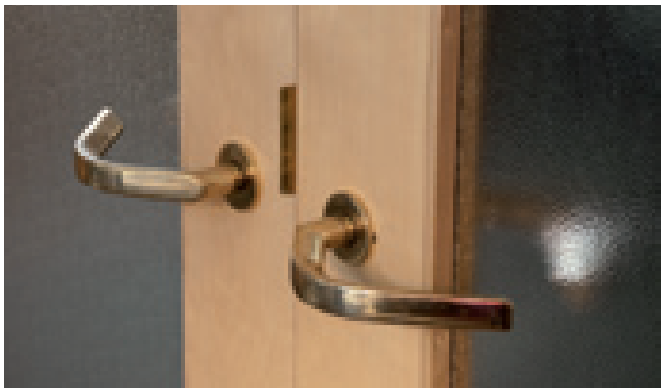
Estampagem, perfurações e operações de corte semelhantes são muitas vezes utilizados para fornecer peças que são formadas para dar a forma final, curvar, repuxar, cunhar e repuxar. As operações de corte podem ser realizadas na mesma prensa de estampar usada para formar e moldar a geometria final. A qualidade de uma borda estampada é determinada pela folga da matriz e pelas características do material. Peças com dimensões de cerca de 5% da espessura da tira, sem rebarbas e livres de distorções, podem ser cortadas a partir de tiras de liga de cobre recozido.

Um cupom na cavidade do molde é formado no processo por estiramento e trefilação e um anel de aperto, contas de tração e/ou outras restrições são aplicadas para evitar rugas e rasgos. Peças com estampagem profunda têm profundidade maior que a largura mínima da peça. Pode ser empregado um estiramento único ou de múltiplos passos.
Uma peça com estiramento raso pode ser formada por estiramento aplicando-se uma restrição na periferia do cupom. As ligas de cobre, como latão e bronze (por exemplo, C26000 e C52100) com um alto valor de deformação plástica r (razão entre a deformação verdadeira da largura versus a da espessura), são as mais apropriadas para operações de estiramento único. Outras ligas, com baixas taxas de endurecimento pelo trabalho como a C11000, são facilmente formadas em várias etapas de estiramento. O tamanho do grão é o parâmetro básico que influencia a capacidade de estiramento (trefilação) das ligas monofásicas α. Em geral, a formabilidade aumenta com a diminuição da resistência para grãos de maior tamanho. No entanto, os grãos muito grandes prejudicam a qualidade da superfície e devem ser evitados.

Muitos componentes de conectores elétricos, terminais e molas são fabricados por operações simples de dobra, que consiste em produzir uma peça estampada e encurvada, batida ou formada sobre um molde. A formabilidade à dobra é geralmente expressa como o mínimo raio de curvatura em termos de espessura da tira em que a faixa pode ser dobrada sem se quebrar. A ductilidade é definida como a capacidade do material de absorver e distribuir a tensão em uma região altamente localizada. Necking strain é a principal propriedade do material que determina a formabilidade para dobra. À medida que aumenta a resistência mecânica da liga, a capacidade para distribuir a tensão normalmente diminui, mas isso depende da liga. O alongamento elástico convencional não pode ser usado para prever a formabilidade para dobra. A conformabilidade para a dobra de uma tira usualmente depende da direção da dobra com relação à direção da laminação. Também varia de acordo com a liga. O desempenho para a dobra de qualquer liga melhora se a relação da largura para a espessura da peça for reduzida.
Operações de cunhagem comprimem um cupom de metal entre duas matrizes para preencher quaisquer depressões nas superfícies da matriz. A cunhagem de moedas é a operação mais comum. As superfícies de contato de conectores eletrônicos frequentemente também são cunhadas.
Repuxo é um método de formação de folha de liga de cobre ou tubo em cilindros metálicos ocos, cones, hemisférios e outras formas. Instrumentos musicais, componentes de aparelho de iluminação, vasos, copos e artigos de decoração são formados por repuxo.

O repuxo é um método de formação de folha de liga de cobre ou tubo em cilindros metálicos ocos, cones, hemisférios e outras formas. Instrumentos musicais, componentes de aparelho de iluminação, vasos, copos e artigos de decoração são formados por repuxo.

Quando as peças de liga de cobre têm formas complexas, os designers consideram a recuperação elástica e distribuições de tensão em degrau. O springback é a recuperação elástica que ocorre quando uma parte formada plasticamente é liberada de uma ferramenta e assume uma geometria final diferente da geometria da ferramenta de prensagem. Overbending, reengate e o uso de matrizes especiais pode compensar o springback.



VII. JUNÇÕES

Soldagem e Brasagem

Por muitos anos, os dois métodos mais comuns de juntar componentes de cobre eram solda e brasagem. O método mais comum de unir tubos de cobre é com o uso de uma conexão tipo soquete, de cobre, ou de liga de cobre, em que as seções de tubo são inseridas. Esta junção capilar ou sobreposta criada pela sobreposição da conexão e da extremidade do tubo é então selada pelo derretimento do metal de enchimento no espaço capilar. O metal de enchimento, uma liga que tem uma temperatura de fusão abaixo da dos tubos ou da conexão, adere a estas superfícies.

Soldagem e brasagem são métodos rápidos e eficientes de efetuar uma junção. A diferença entre os dois processos, de acordo com a Sociedade Americana de Soldagem (AWS - American Welding Society), está no ponto de fusão do material de enchimento. Se o metal de enchimento derrete abaixo de 450ºC (842ºF), o processo que está sendo realizado é a solda. Se ele derrete acima dessa temperatura, trata-se de brasagem.

A instalação padrão (ASTM B 828) detalha os procedimentos para a preparação da junta, sua limpeza e a aplicação adequada de calor e do metal de enchimento que são explicadas em detalhe no Manual de Tubos de Cobre da Copper Development Association (CDA). Uma variedade de tochas padrão e gases ou ferramentas de resistência elétrica podem ser empregadas. A CDA disponibiliza ainda o Manual de Solda de Cobre e de Suas Ligas.

Os metais de enchimento de solda são, geralmente, ligas de estanho. Seu baixo ponto de fusão e sua afinidade com o cobre asseguram a adesão aos componentes da liga de cobre. Antes de 1986, o metal de enchimento de solda mais comum era formado por 50% de estanho e 50% de chumbo. A Lei da Água Potável Segura (Safe Drinking Water Act) proibiu o uso de soldas contendo chumbo nos sistemas de água potável para beber. Muitas das novas e mais fortes ligas sem chumbo são comumente usadas para todas as aplicações de soldagem. São ligas de estanho com várias combinações adicionais de níquel, bismuto, antimônio, prata e cobre.

As juntas brasadas usam metais de enchimento com base de cobre ou prata para proporcionarem maior resistência mecânica e resistência à fadiga na articulação do que soldas com base de estanho. Existem dois grupos comumente usados de metais de enchimento para brasagem. Um deles é o BCuP (2,3,4,5), basicamente um grupo de ligas para brasagem de cobre fosforoso que pode conter 0%-15,5% de prata com ponto de fusão no intervalo de 760-927°C (1400-1700°F) . O outro é o BAg (1, 2, 5, 7), ligas com teor de prata que variam entre 34%-57% e ponto de fusão no intervalo de 619-877°C (1145-1610°F).

A profundidade da sobreposição ou do soquete em uma junção do tipo de junta sobreposta ou capilar é uma dimensão importante. Idealmente, o metal de enchimento deve ser derretido no espaço capilar de modo que flua e preencha completamente o espaço. Apesar de se desejar 100% de penetração e preenchimento do espaço capilar, um preenchimento de solda na junção de 70% (ou espaços vazios não superiores a 30%) é considerado satisfatório para a obtenção de juntas que podem suportar a pressão máxima recomendada para o tubo de cobre soldado e as conexões do sistema.

Em uma junta brasada, o preenchimento completo do espaço da junção ao longo de toda sua extensão não é necessário para atingir a resistência total da união. De acordo com a AWS, sugere-se que o metal de preenchimento da brasagem deva penetrar no espaço capilar pelo menos três vezes a espessura do componente mais fino da junta, que geralmente é o tubo. Isto é conhecido na indústria como Regra AWS 3-T. Além disso, uma junta brasada deve ser fabricada de modo que um filete bem desenvolvido (ou "tampão") do metal de enchimento seja formado entre o tubo e o a conexão na face da conexão. Este filete permite que os esforços desenvolvidos no interior da junção (por expansão térmica, pressão ou outras reações cíclicas, tais como vibração e fadiga térmica) sejam distribuídos ao longo da face do filete.

Ao escolher se devemos usar juntas soldadas ou brasadas, deve ser considerada a resistência global da junta ou do conjunto (tubo, conexão e junção) após a operação de união. Isso é importante porque o processo de fazer uma junta brasada faz com que os metais de base sejam recozidos ou amaciados, resultando em uma redução da resistência global da montagem. O valor total de recozimento que ocorre e, portanto, o que se perde de resistência, é determinado pela temperatura e pelo tempo que o material passa na temperatura de brasagem. Enquanto as juntas brasadas são mais fortes e, em geral, mais resistentes à fadiga (vibração, o movimento térmico, etc.), as pressões de trabalho do sistema devem ser conformes com os limites admissíveis para o tubo recozido.

Junção sem Chama

A soldagem e a brasagem há muito têm sido o padrão da indústria para unir tubos de cobre e conexões, mas as recentes inovações nos métodos de conexão sem solda ou "sem chama" prometem mudar a forma como os sistemas de tubulações de cobre são projetados e construídos. Os sistemas sem solda não requerem calor, solda ou fluxo. Os sistemas de solda de conexão por contato e pressão podem ser usados para a maioria das aplicações de tubulações, incluindo a distribuição de água quente e fria, aquecimento e refrigeração, ar comprimido, gases inertes e de gás combustível. Além disso, os sistemas sem solda são aprovados para uso pela maioria dos códigos de construção municipais, estaduais e nacionais.

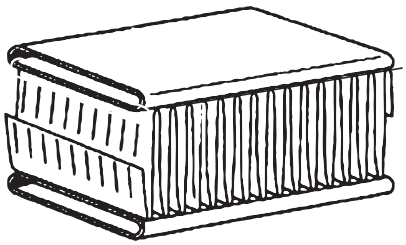
Nos sistemas sem solda press-connect, conexões com o-rings integrais são colocados no tubo de cobre e uma ferramenta especial é utilizada para estampá-las permanentemente no local. Os sistemas push-connect (conexão pressionada no local) não requerem ferramentas especiais para fazer as ligações e, em alguns casos, podem ser facilmente removidas e reinstaladas sem danificar a conexão. O tubo de cobre é simplesmente inserido na conexão até engatar um anel de retenção que o prende firmemente. Gaxetas elastoméricas em cada extremidade da conexão comprimem adicionalmente a conexão no tubo. A pressão da água (ou ar) na linha ajuda a reforçar a vedação. As conexões têm batentes internos ou mangas e anilhas para auxiliar no posicionamento e alinhamento da tubulação.

CuproBraze®

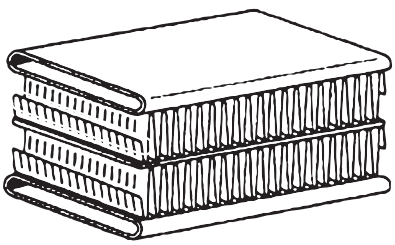
A tecnologia CuproBraze foi desenvolvida para uso em radiadores automotivos e trocadores de calor. Ela ilustra a flexibilidade das ligas de cobre e a versatilidade de que dispõe para enfrentar novos desafios. A brasagem dá aos radiadores de cobre-latão resistência mecânica nas aletas, tubos e juntas de cabeçote muito superior à do alumínio, ou mesmo de projetos soldados de cobre-bronze.

FIGURA 10: Projeto Convencional de Aletas de Radiador versus Projeto de Núcleo Compacto Usando a Tecnologia CuproBraze®

DESENHO CONVENCIONAL DE ALETAS



DESENHO COM NÚCLEO COMPACTO



A tecnologia permite empregar materiais mais finos nas aletas e tubos. As aletas de cobre têm espessura de 0,051 mm (0,002") ou menos e os tubos brasados de latão têm 0,127 mm (0,005") de espessura. Como comparação, aletas e tubos de alumínio têm 0,127 mm (0,005") e 0,406 mm (0,016"), respectivamente. Metais mais finos de cobre-bronze permitem menor queda de pressão lateral de ar, de 30% ou mais, em comparação com os radiadores de alumínio. Isso se traduz em mais radiadores mais eficientes, menor custos do módulo de resfriamento, menos perdas parasitárias do motor e maior economia de combustível. A brasagem de radiadores de cobre-latão utiliza uma liga não-tóxica de baixa temperatura de fusão (com 75% de cobre, 5% de níquel, 15% de estanho e 5% de fósforo) que funciona bem tanto em um forno de brasagem convencional a vácuo que tem nitrogênio como gás de cobertura ou em um forno CAB (forno aquecido eletricamente contendo uma atmosfera de nitrogênio). A temperatura típica para a brasagem é 620-635°C (1148-1175ºF).

As juntas brasadas de cobre-latão são significativamente mais fortes do que o metal da solda e não sofrem corrosão galvânica. Cabeçotes resistentes ao recozimento, aletas e materiais do tubo desenvolvidos para este processo asseguram a resistência do núcleo do radiador. Para fazer radiadores brasados de cobre-latão é necessária pouca ou nenhuma alteração na laminação da aleta, solda do tubo ou o estiramento das placas do cabeçote. As extremidades dos tubos são conformadas na linha como parte do conjunto central.

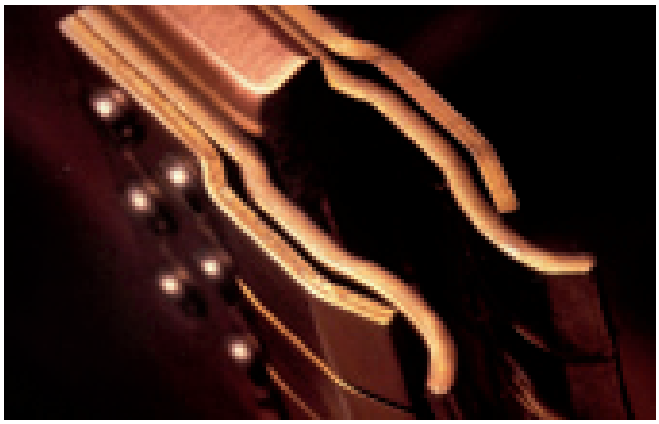
Estes avanços tecnológicos e inovações de projeto permitem a produção de radiadores com 35% a 40% menos peso em comparação com os radiadores tradicionais de cobre-latão, com proporcionalmente menor custo de material. Eles têm menor peso porque são fabricados com muito menos material em suas aletas e tubos do que os modelos anteriores e também porque a pesada solda com base de chumbo, tradicionalmente utilizada nos radiadores de latão-cobre, foi substituída por uma quantidade muito pequena de liga leve para brasagem. Este sistema é autofundente. Na brasagem não é usado chumbo ou qualquer outro material de soldagem que apresente risco ambiental e não é necessário enxágue depois da brasagem.

Solda

Pode-se usar soldagem em ligas de cobre. No entanto, devese prestar atenção ao recozimento da área de junção e à expansão localizada durante o processo de soldagem. Tubos soldados de cobre-níquel são usados em condensadores e tubos de latão soldado em móveis e acessórios decorativos. Os bronzes com silício também são facilmente soldados.

A soldagem utiliza alta temperatura ou pressão para fundir os metais base, muitas vezes com um metal de enchimento adicional. Seções finas e chapas de metal são raramente soldadas. Solda a ponto é uma opção que pode ser usada para unir folhas de cobre fino entre si e a outros metais.

Uma revisão completa dos método de junção deve ser feita antes de seu uso, para tanto consulte o CDA Welding Copper and Copper Alloys Handbook.



As propriedades biocidas do cobre e sua natureza não corrosiva o tornam uma opção vantajosa para aplicações marítimas e o processo de soldagem é facilitador de tais aplicações. Em 1984 foram soldadas capas de proteção de cobre-níquel diretamente nas pernas de aço de plataformas marítimas de produção e alojamento, sendo três plataformas de perfuração e uma chaminé de flare em Morecambe Field, um grande campo de gás no Mar da Irlanda. O revestimento estendia-se verticalmente de +13 m a -2 m (+42,6 pés a -6,7 pés) da mais baixa maré astronômica prevista. Este revestimento teve bom desempenho, com a massa de bioincrustação sobre a proteção reduzida em cerca de 30% em comparação com a das pernas de aço adjacentes, apesar da proteção catódica que receberam. A incrustação que ocorreu nas pernas revestidas aderia fracamente e pode ser facilmente removida com uma leve ação de raspagem.

Apoiando os dados do campo de Morecambe, ensaios de dez anos do LaQue Corrosion Services (em Wrightsville Beach, Carolina do Norte) mostraram que, embora ocorra incrustação quando é aplicada proteção catódica, cria-se certa resistência à bioincrustação. A massa de bioincrustação acumulada em pilares de aço nu tem mais de duas vezes o valor acumulado no aço revestido com cobre-níquel 90-10 diretamente soldado, quer este tenha sido (ou não) catodicamente protegido, e mais de 20 vezes a massa acumulada sobre revestimento de cobre-níquel isolado.

Ligação Metalúrgica

Desde 1965 as moedas dos EUA têm sido cunhadas com a camada externa de cobre-níquel ligada metalurgicamente (chapeado) a um núcleo de cobre. Mais recentemente, uma nova liga de revestimento utilizando uma liga de cobre-zinco-manganês e níquel foi desenvolvida para a moeda de dólar (total de 88,5% de cobre). Ela se parece com lotes anteriores de produtos chapeados em todos os aspectos (com exceção da cor que parece ouro entre 14 quilates e 22 quilates). Tais moedas

chapeadas por laminação são difíceis de serem falsificadas. O chapeamento usando ligação metalúrgica permite desenhos flexíveis, empregando-se a liga de cobre nas áreas selecionadas.

Fixadores Mecânicos

Os fixadores mecânicos, tais como parafusos, prisioneiros e rebites, são a técnica mais simples e comum de união. Normalmente não exigem ferramentas especializadas para instalação e podem ser removidos para desmontagem. A tabela 9 lista os fixadores que devem acompanhar cada liga de folha ou placa, simplificando o casamento das cores e reduzindo o risco de incompatibilidade dos materiais.

Ligação Adesiva

Também se podem usar adesivos em determinadas aplicações. O processo de laminação de uma folha sobre um substrato depende do adesivo disponível. Folhas relativamente finas de ligas de cobre podem ser unidas a substratos de outros materiais (por exemplo aço, alumínio, madeira, espuma e plástico). A integridade da ligação depende da preparação da superfície, seleção do adesivo, procedimento de colagem e desenho da junção. Bordas e junções são as áreas mais vulneráveis, pois são as mais propensas a admitir umidade. Paineis laminados devem usar um adesivo termofixo ou termoplástico de alta qualidade.

TABELA 9: Quadro Mostrando Como Se Consegue o Casamento de Cores de Dispositivos de Várias Formas e Ligas Compatíveis de Cobre

CORES	LIGAS PARA DIVERSAS FOLHAS E PLACAS	EXTRUSÕES	FUNDIDOS	FIXADORES	CANOS E TUBOS	VARÕES E FIOS	METAIS DE ENCHIMENTO
Cobre-Vermelho	C11000 C12500 Cobre	C11000 C12500 Formas Simples	Cobre (99.9% Min.)	C65100 Bronze de Baixo Silício	C12200	C11000 C12500	C18900 Cobre
Cobre-Vermelho	C12200 Cobre	C11000 C12500 Formas Simples	Cobre (99.9% Min.)	C65100 Bronze de Baixo Silício	C12200	C11000 C12500	C18900 Cobre
Bronze-Dourado	C22000 Bronze Comercial, 90%	C31400 Bronze Comercial com Chumbo	C83400	C65100 Bronze de Baixo Silício	C22000	C22000	C65500
Ouro Velho	C23000 Latão, 95%	C38500 Bronze Arquitetônico	C83600	C28000 C65100 Bronze de Baixo Silício	C23000	C23000	C65500
Ouro Amarelo	C26000 Latão de Cartuchos, 70%	C26000 Formas Simples	C85200 C85300	C26000 C36000 C46400 C46500	C26000	C26000	C68100 Bronze com Pouca Fumaça
Ouro Ligeiramente Marrom	C28000 Metal Muntz	C38500 Bronze Arquitetônico	C85500 C85700	C28000 C65100 Bronze de Baixo Silício	C23000	C28000	C68100 Bronze com Pouca Fumaça
Marrom-Lavanda	C65500 Alto Silício Bronze	C65500 Formas Simples	C87500	C65100 C65500	C65100 C65500	C65100 C65500	C65500
Rosa	C70600 Cupro-Níquel	C70600	C96200	C70600	C70600	C70600	C70600
Branco-Acinzentado	C74500 C75200 Alpaca	C79600 Alpaca com Chumbo	C97300	C74500	C74500 C75200	C74500 C75200	C77300

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR METALS (1990) *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials.* ASM Handbook, Tenth Ed. Vol. 2 (ASM International, Materials Park, OH).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (Revised Annually) "Copper and Copper Alloys." *Annual Book of ASTM Standards*, Vol.2.1 (2), (ASTM International, West Conshohocken, PA).

ANDERSON, D. & MICHELS, H. T. (2008) "Antimicrobial regulatory efficacy testing of solid copper alloy surfaces in the USA." *Metal Ions in Biology and Medicine.* Vol. 10:185-190. Eds Ph. Collery, I. Maymard, T. Theophanides, L. Khassanova, T. Collery. J. Libbey (Eurotext, Paris).

BOROUGH, J. W. (1961) "The Effect of Zinc on the Conductivity of Copper," *Transactions of the Metallurgical Society of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineeers*. Vol. 221:1274.

BREEDIS, J. F. & CARON, R. N. (1993) "Copper Alloys (Wrought)." *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology,* Fourth Ed. Vol. 7:429-73 (John Wiley & Sons, Inc., Hoboken).

FAUNDEZ, G., TRANCOSO, M., NAVARETE, P. & FIGUEROA, G. (2004) "Antimicrobial activity of copper surfaces against suspensions of *Salmonella enterica* and *Camylobacter jejuni." BioMed Central Microbiology.* Vol. 4:19.

GOULD et al (2009) "The antimicrobial properties of copper surfaces against a range of clinically important pathogens." *Annals of Microbiology*. Vol. 59:1, 151-156.

KUHN, P. J. (1983) "Doorknobs: a source of nosocomial infection?" *Diagnostic Medicine.* Nov/Dec.

MEHTAR, S., WILD, I., & TODOROV, D. (2008) "The antimicrobial activity of copper and copper alloys against nosocomial pathogens and *Mycobacterium tuberculosis* isolated from healthcare studies in the Western Cape: An in vitro study." *Journal of Hospital Infection.* Vol. 68:45-51

MENDENHALL, J.H. (1986) *Understanding Copper Alloys.* (Robert E. Krieger Publishing Co., Malabar, FL)

MICHELS, H. T. (2006) "Antimicrobial characteristics of copper." *ASTM Standardization News*. Vol. 11:28-31.

MICHELS, H.T., et al. (2005) "Antimicrobial effects of cast copper alloy surfaces on the bacterium E. coli O157:H7" *AFS Transactions.* Paper 05-009(03):275-287. (American Foundry Society, Schaumberg).

MICHELS, H. T., et al. (2008) "Antimicrobial properties of copper alloys surfaces with a focus on hospital-acquired infections. *International Journal of Metalcasting.* Vol. 2:3, 47-56.

MICHELS, H. T., NOYCE, J. O., WILKS, S. A., & KEEVIL, C. W. (2005) "Copper alloys for human infectious disease control." *Copper for the 21st Century, Materials Science & Technology,* pp.1546-2498. (ASM International Conference 2005, Metals Park, OH).

MICHELS, H. T., WILKS, S. A., & KEEVIL, C. W. (2004) "Effects of copper alloy surfaces on the viability of bacterium, *E. coli* 0157:H7." The Second Global Congress Dedicated to Hygienic Coatings & Surfaces. Paper 16. (Paint Research Association, Middlesex).

MICHELS, H. T., NOYCE, J. O., & KEEVIL, C. W. (2009) "Effects of temperature and humidity on the efficacy of Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* challenged antimicrobial materials containing silver and copper." *Letters in Applied Microbiology.* Vol. 49:191-195.

MICHELS, H. T., WILKS, S. A., & KEEVIL, C. W. (2003) "The antimicrobial effects of copper alloy surfaces on the bacterium E. coli 0157:H7." *Proceedings of Copper 2003 - Cobre 2003*. Vol. 1:439-450. (The Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Montreal).

NOYCE, J. O., MICHELS, H. T., & KEEVIL, C. W. (2007) "Inactivation of Influenza A virus on copper versus stainless steel surfaces." *Applied and Environmental Microbiology.* Vol.73 (8):2748 – 2750.

NOYCE, J. O., MICHELS, H. T. & KEEVIL, C. W. (2006) "Potential use of copper surfaces to reduce survival of epidemic Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in the healthcare environment." *Journal of Hospital Infection.* Vol. 63:289–297.

NOYCE, J. O., MICHELS, H. T. & KEEVIL, C. W. (2006) "Use of copper cast alloys to control *Escherichia coli* O157 cross-contamination during food processing." *Applied and Environmental Microbiology.* Vol. 72:4239–4244.

SALGADO, C. D., SEPKOWITZ, K. A., PLASKETT, T., JOHN, J. F., CANTEY, J. R., ATTAWAY, H. H., STEED, L. L., MICHELS, H. T., and SCHMIDT, M. G. (2008) "Microbial burden of objects in ICU rooms." Interscience Conference for Antimicrobial Agents in Chemotherapy (ICAAC). Poster presentation.

SANTO, C. E. *et al.* (2008) "Contribution of copper ion resistance to survival of *Escherichia coli* on metallic copper surfaces. *Applied and Environmental Microbiology.* Vol. 74 (4):977-986.

SASAHARA, T. & NIIYAMA, N. (2008) "Bactericidal activity and sensitization capacity of copper and its alloys." *Journal of the Japan Research Institute for Advanced Copper-Base Materials and Technologies.* Vol. 47: 1-7

TANDON, P., CHHIBBER, S., & REED, R. H. (2005) "Inactivation of *Escherichia coli* and coliform bacteria in traditional brass and earthenware water storage vessels." *Antonie Van Leeuwenhoek.* Vol. 88:1, 35-48.

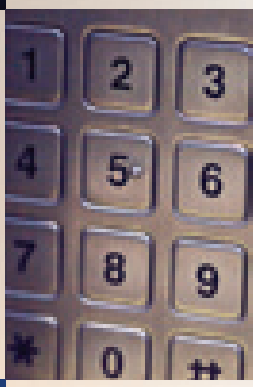
TYLER, D. E. (1990) "Wrought copper and copper alloy products." *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials.* ASM Handbook, Tenth Ed. Vol. 2:244 (ASM International, Materials Park, OH).

WEAVER, L., MICHELS, H. T., & KEEVIL, C. W. (2008) "Survival of *Clostridium difficile* on copper and steel: Futuristic options for hospital hygiene." *Journal of Hospital Infection.* Vol. 68 (2):145-151.

WILKS, S. A., MICHELS, H. T. & KEEVIL, C. W. (2006) "Survival of *Listeria monocytogenes* on metal surfaces: Implications for cross-contamination. *International Journal of Food Microbiology.* Vol. 111:93–98.

WILKS, S. A., MICHELS, H. T., & KEEVIL, C.W. (2005) "The survival of *Escherichia coli* O157:H7 on a range of metal surfaces." *International Journal of Food Microbiology*. Vol.105:445–454.

WEAVER, L., MICHELS, H. T., KEEVIL, C. W. (2009) "Potential for preventing spread of fungi in air-conditioning systems constructed using copper instead of aluminum." *Letters in Applied Microbiology.* Accepted for publication in September 2009.



COPPER
International Copper Association, Ltd.

PROCOBRE
Connects Life.™

www.procobre.org

Antimicrobial Copper
Cu+™

www.antimicrobialcopper.com

Brasil: 5511 3816-6383
procobrebrasil@copper.org

Chile: 562 335-3264
procobrechile@copper.org

México: 5255 1665-6330
procobremexico@copper.org

Perú: 511 221-1201
peru@copper.org

Tradução, adaptação e impressão autorizadas
de acordo com original: CDA USA