

# TECNOLOGIA DO VÁCUO - MATERIAIS

## **METAIS MAIS UTILIZADOS EM SISTEMAS DE VÁCUO:**

### **A) PARA PRÉ-VÁCUO:**

**AÇO** (tubos, conexões, vasos, bombas, válvulas, chapas, suportes)

Custo baixo. Problemas com oxidação. Alta resistência mecânica. Fácil soldagem.

**COBRE** (tubos, conexões, vasos, contatos elétricos, fios, chapas)

Custo moderado para pequenas dimensões. Para sistemas grandes, custo elevado. Fácil soldagem. Foi o metal mais utilizado em tubulações antigas.

**LATÃO** (liga Cu-Zn > 30% tubos, conexões, válvulas, contatos elétricos, chapas)

Similar ao cobre. Pressão de vapor mais elevada.

**AÇO INOX** (tubos, conexões, vasos, válvulas, bombas, traps, suportes)

Custo inicial mais elevado. Durabilidade muito longa. Alta resistência à corrosão e ataque químico. Modernamente é o metal mais utilizado em sistemas de vácuo.

**ALUMÍNIO** (tubos, conexões, vasos, bombas, fios, chapas)

Custo baixo a moderado. Material bastante leve. Baixa resistência mecânica. É melhor utilizar ligas. Soldagem especializada. Evitar tarugos: contêm bolhas.

**DURALUMÍNIO** (tubos, conexões, vasos, válvulas)

Resistência mecânica boa. Ausência de bolhas. Soldagem especializada.

**FERRO** (tubos, conexões, chapas, suportes, bombas)

Custo baixo. Problemas com oxidação. Alta resistência mecânica. Problemas com soldagens. É a alternativa mais econômica. Exige manutenção periódica (ferrugem).

### **B) PARA ALTO-VÁCUO:**

**AÇO INOX** (tubos, conexões, vasos, válvulas, bombas, traps, suportes)

Custo inicial mais elevado. Durabilidade muito longa. Alta resistência à corrosão e ataque químico. Modernamente é o metal mais utilizado. Pressão de vapor muito baixa. Permeabilidade baixa. Alta resistência mecânica. Soldagem fácil.

**COBRE** (tubos, conexões, vasos, contatos elétricos, fios, chapas)

Custo moderado para pequenas dimensões. Para sistemas grandes, custo elevado. Soldagem fácil. Foi o metal mais utilizado em tubulações antigas.

**COBRE OFHC** (Oxygen free high conductivity) ou cobre eletrolítico (gaskets Conflat)

Baixíssima pressão de vapor. Excelentes qualidades para alto-vácuo e ultra-alto vácuo (UHV). Fácil usinagem. Boa resistência à corrosão.

**DURALUMÍNIO** (tubos, conexões, vasos, válvulas)

Custo moderado. Resistência mecânica boa. Ausência de bolhas. Soldagem especializada. Pressão de vapor baixa. Material bastante leve.

**ALUMÍNIO** (tubos, conexões, vasos, bombas, fios, chapas)

Custo baixo a moderado. Material bastante leve. Baixa resistência mecânica. É melhor utilizar ligas. Soldagem especializada. Evitar tarugos: contêm bolhas. Forma pura muito mole. Excelentes para *gaskets*.

### C) OUTROS METAIS E LIGAS:

**BRONZE** (válvulas, conexões, tubos flexíveis, contatos elétricos, mancais)

Liga de cobre e estanho. Custo moderado. Muito utilizado em peças fundidas.

**TOMBAK** (liga Cu-Zn <30% - tubos flexíveis)

Liga de cobre e zinco, de 10, 12 ou 15 % de zinco. O zinco prejudica o alto-vácuo; por isso os tubos flexíveis de tombak ("bellows") não são muito adequados para pressões menores do que  $10^{-8}$  Torr.

**TUNGSTÊNIO** (filamentos, alta temperatura, raios-X)

Metal com maior ponto de fusão: 3410 °C. Extremamente duro e pesado. Muito quebradiço. Difícil usinagem. É o metal mais utilizado para filamentos (lâmpadas).

**TÂNTALO** (filamentos, alta temperatura, colimadores nucleares)

Custo elevado. Metal raro. Usos específicos (bombas de vácuo, cadinhos). Alto ponto de fusão: 2996 °C. Usado em sublimadores de bombas iônicas (forno).

**NÍQUEL** (fios, contatos elétricos)

Custo moderado. Alta resistência à oxidação (niquelação). Alta resistência Mecânica. Boa condutividade elétrica. É elemento constituinte das moedas. Resiste bem a temperaturas elevadas.

**KOVAR** (liga Fe-Ni-Co - soldas metal-vidro)

Utilizado na produção de "graded seals": um tubo metálico (Kovar) soldado a um tubo de vidro, permitindo acoplar peças de vidro em sistemas metálicos (medidor de ionização Bayard-Alpert)

**MONEL** (liga Ni-Cu-Mn-Fe - tubos flexíveis)

Custo elevado. Não magnético. Alta resistência à corrosão e à altas temperaturas. Utilizado para fazer elétrodos de válvulas eletrônicas e sensores a vácuo.

**INCONEL** (Liga de Ni-Cu-Fe. Eletrodos resistentes a altas temperaturas)

Custo elevado. Difícil usinagem. Excelente resistência à corrosão e à altas temperaturas. Utilizado para fazer elétrodos de dispositivos a vácuo (válvulas eletrônicas).

**CROMO** (revestimento anti-oxidação)

Muito estável em ambiente agressivo. Utilizado em cromeação. Porém, em vácuo não se deve utilizar peças ou válvulas cromeadas; pode haver formação de bolhas ou deposição porosa, ocasionando vazamentos virtuais.

**TITÂNIO** (tubos, conexões, bombas iônicas)

Custo moderado. Substitui com vantagens o aço inoxidável: é mais leve. Metal bastante inerte, porém, quando sublimado é altamente reativo, formando compostos metaestáveis com gases nobres. Fusão exclusivamente em vácuo; em ar, explode ao fundir. Utilizado em turbinas de aviões (monocristais). Por ser inerte, utilizado em próteses humanas e implantes dentários.

**MOLIBDÊNIO** (fios, alta temperatura, chapas)

Alto ponto de fusão. É mais fácil de trabalhar do que o tungstênio, podendo substituí-lo na produção de filamentos. Uso para cadinhos em evaporadores.

**PALÁDIO** (Válvulas sem partes móveis: alta permeação quando aquecidas)

Custo muito elevado. Metal precioso. Elevada permeabilidade quando aquecido, permitindo utilizá-lo como válvulas para gases e válvulas para gases sem partes móveis.

#### ZAMAK (liga Zn-Al-Mg - suportes)

Custo baixo. Boa resistência mecânica. Excelente resistência à oxidação. Ótimo acabamento superficial em peças fundidas (abraçadeiras KF). Extensivamente utilizado para fins domésticos (trincos, maçanetas, aparelhos, etc).

#### ESTANHO (soldas, metal mole)

Custo baixo. Foi muito utilizado nas soldas de latas de conserva (hoje se utiliza solda elétrica). Utilizado em soldas de componentes eletrônicos. Metal mole, também empregado em joalheria (peças de estanho). Existe uma liga especial de estanho-prata que pode ser utilizada em soldagens de sistemas de vácuo. Tem alguma resistência mecânica e substitui a solda-prata de custo mais elevado.

#### CHUMBO (soldas, metal mole, blindagem para radiação)

Custo baixo. Fácil de trabalhar. Vapores muito tóxicos (efeito cumulativo). Devido à sua alta densidade detém raios-gama e raios-X. Soldagem muito fácil, porém deve ser evitada em sistemas de vácuo por ter alta pressão de vapor.

#### ÍNDIO (gaskets, metal mole, contato térmico)

É o metal empregado em vedações de sistemas criogênicos, por ser mole e manter suas propriedades em baixas temperaturas. Custo moderado a alto. Pode ser reutilizado.

#### ZIRCÔNIO (tubos, suportes inertes)

Custo moderado. Muito parecido com o titânio, substituindo-o em diversas aplicações. Também utilizado como "getter", e para fazer o vácuo final em cinescópios e válvulas de rádio.

#### RÊNIO (filamento de alta emissão termoiônica)

Custo bastante elevado. Metal precioso. Segundo ponto de fusão mais alto: 3167 °C. Aumento da emissão termoiônica quando recoberto por hexaboreto de lantânio (B<sub>6</sub>La), permitindo assim filamentos de medidores Bayard-Alpert mais eficientes com temperaturas mais baixas.

#### PRATA (fios, contatos elétricos, soldas)

Custo elevado. Metal nobre, muito utilizado em joalheria e cunhagem de moedas. É utilizada para revestir superfícies de conexões e contatos que precisam ter alta condutividade elétrica.

#### PLATINA (cadinhos inertes, filamentos detetores de halogênio)

Custo muito elevado. Metal nobre, também utilizado em joalheria. Por sua alta resistência a reações químicas em altas temperaturas, é utilizado para fazer cadinhos na indústria óptica. Suas propriedades químicas permitem seu uso em detectores de gases halogênios.

#### OURO (fios, contatos elétricos, chapas, metal mole)

Custo elevado. Metal nobre, muito utilizado em joalheria e cunhagem de moedas. Por ser mole, permite o uso em vedações metálicas para alto vácuo. Altamente resistente a reações químicas e gases agressivos. Utilizado em contatos elétricos que não podem se oxidar (circuitos integrados)

#### RÓDIO (joalheria, folheados inertes)

Metal nobre de custo muito elevado. Uma fina camada sobre prata evita seu escurecimento. Utilizado em joalheria. Usa-se ligas com Pt e Pd para termopares e cadinhos.

### IRÍDIO (filamentos)

Custo muito elevado. Alta emissão termo-iônica. Substitui com vantagens o tungstênio em filamentos de medidores de ionização (puro ou recoberto com óxido de tório)

### CÉSIIO (fonte de íons, metal líquido)

Custo muito elevado. Utilizado em fontes de íons de aceleradores nucleares (feixes de íons negativos). Não pode ser manuseado em ar pois pode pegar fogo, oxidando rapidamente.

### RUBÍDIO (fonte de íons, metal líquido)

Custo muito elevado. Também utilizado em fontes de íons de aceleradores nucleares. Manuseio apenas em atmosfera inerte (Argônio), pois oxida muito rápido, podendo-se inflamar-se e explodir.

### MERCÚRIO (medidores de pressão e temperatura, contatos elétricos, bombas)

Custo moderado. Por ser líquido à temperatura ambiente, é utilizado universalmente na construção de termômetros e manômetros em "U" (McLeod). Vapores muito tóxicos, de efeito cumulativo. Empregado em bombas de difusão especiais, no lugar do óleo. Usado em chaves elétricas seladas (anti-exploração).

## **ISOLANTES:**

VIDRO (tubos, vasos, válvulas, bombas, traps, passadores)

PYREX (visores, campânulas, resistente ao calor)

BORRACHA (mangueiras)

CELERON (resina fenólica com recheio de tecido). Bom isolante elétrico. Usada em palhetas de bombas mecânicas.

NEOPRENE (mangueiras, diafragmas de válvulas, o'rings)

VITON (o'rings, diafragmas de válvulas)

TEFLON (inerte, alta resistência elétrica, baixa pressão de vapor, atrito mínimo, tubos, conexões, válvulas, o'rings, passadores, mancais, chapas)

KEL-F (mais duro que o teflon, bom para sedes de válvulas)

SILICONE (tubos, o'rings, não é muito adequado para vácuo)

TYGON (alta resistência química, mangueiras)

PVC (alta taxa de desgaseificação, absorve água, mangueiras, tubos, conexões, válvulas, chapas)

NYLON (boa lubrificação, alta taxa de desgaseificação, absorve água, tubos, suportes, chapas)

ACRÍLICO ("LUCITE", desgaseifica bastante, tubos, chapas, visores, guias de luz)

CERÂMICA (passadores, piezo-sensores, resistente ao calor, suportes)

ESTEATITA (porcelana para passadores, espaçadores e componentes eletrônicos)

ALUMINA (passadores, suportes)

EPOXI (passadores, resina Araldite)

KAPTON (alta isolação elétrica, resistência ao calor, flexível)

MICA (resistência a alta temperatura, capacitores muito estáveis)

SAFIRA (visores, janelas de laser)

RUBI (mancais de relógios)

DIAMANTE (alta dureza, uso em joalheria. É o material mais duro da natureza)

ISOPOR (isolação térmica, “dewars” para nitrogênio líquido)

BAQUELITE (suportes, botões, alta isolamento elétrica)

FIBRA DE VIDRO (chapas, moldáveis, circuito impresso)

FIBRA DE CARBONO (alta resistência mecânica, material leve. Mais resistente que o aço)

QUARTZO (tubos, lâmpadas, osciladores, resistente calor, permite a passagem de luz UV)

GRAFITE (carbono, elétrodos, lâmpadas de projetores de cinema)

SILÍCIO (componentes de estado sólido, “chips”, células solares)

## **SOLVENTES:**

ÁLCOOL ETÍLICO (limpeza geral)

ÁLCOOL ISOPROPÍLICO (limpeza final, absorve água)

TRICLORETO DE CARBONO (dissolve óleo e graxas)

TETRACLORETO DE CARBONO (dissolve óleo e graxas, tóxico)

ACETONA (limpeza geral)

ÉTER (altamente volátil, tóxico)

FREON TF (limpeza em resíduos)

METANOL (dissolve tudo, tóxico)

## **OLEOS, GRAXAS E RESINAS:**

APIEZON M (massa selante)

GRAXA APIEZON (vedação para o-rings)

GRAXA DE SILICONE (vedação para o-rings)

ÓLEO SILICONE 704, 705 (bombas difusoras)

ÓLEO MINERAL (Apiezon C, Convoil, etc) (bombas mecânicas, difusoras)

ÓLEO SANTOVAC 5 e CONVALEX 10 (bombas difusoras, alta resistência a pressões altas em altas temperaturas, baixo “backstreaming”)

ÓLEO KRYTOX (bombas difusoras)

ÓLEO NEOVAC (bombas difusoras)

ÓLEO APIEZON (bombas mecânicas, difusoras)

FOMBLIN (inerte, bombas mecânicas, difusoras, alta resistência química)

SELANTES (resinas p/ vedação: Glyptal, Celvacene, etc )

<b>METAL</b>	<b>P. FUSÃO (°C)</b>	<b>CUSTO (US\$)*</b>
COBRE (Cu)	1.083	17/m (fio 0,5 mm) 99,999%
ALUMÍNIO (Al)	660	0,03/g (pó: 2/m) (fio: 0,5 mm)
FERRO (Fe)	1535	0,05/g (pó)
NÍQUEL (Ni)	1453	0,19/g (pó); 0,90/m (fio 0,5 mm)
ESTANHO (Sn)	232	0,19/g (pó)
CHUMBO (Pb)	328	0,06/g (pó); 13/m (fio 0,75mm)
TUNGSTÊNIO (W)	3410	0,24/g (pó); 0,82/m (fio 0,127 mm)
TÂNTALO (Ta)	2996	4/g (pó); 5/m (fio 0,25 mm)
TITÂNIO (Ti)	1675	0,90/g (pó); 2,40/m (fio 0,25mm)
MOLIBDÊNIO (Mo)	2610	0,36/g (pó); 3,30/m (fio 0,5 mm)
ÍNDIO (I)	157	3/g (grãos)
ANTIMÔNIO (Sb)	638	0,08/g (pó)
ZIRCÔNIO (Zr)	1852	0,061/g (pó); 17/m (fio 1,17 mm)
NIÓBIO (Nb)	2468	0,64/g (pó)
PALADIO (Pd)	1552	63/g (pó); 13/cm (fio 1,0 mm)
COBALTO (Co)	1495	0,50/g (pó)
VANÁDIO (V)	1890	4/g (pó)
MERCÚRIO (Hg)	- 39	0,13/g
CÉSIO (Cs)	28	44/ 1g ; 400/ 50g
RUBÍDIO (Rb)	38,5	50/g
IRÍDIO (Ir)	2459	65/g (pó); 12/cm (fio 0,127 mm)
PRATA (Ag)	961	2,60/g (pó); 1,8/m (fio 0,25 mm)
PLATINA (Pt)	1769	95/g (pó); 0,60/cm (fio 0,127 mm)
OURO (Au)	1062	60/g (pó); 60/cm (fio 1,4 mm)
RÊNIO (Re)	3167	12/g (pó); 3,7/cm (fio 0,25 mm)
RÓDIO (Rh)	1966	150/g (pó)

(\*) Alta pureza: 99,8% no mínimo – preços de catálogo em 2005