

Capítulo 3

Metais não --- ferrosos

3.1 O alumínio e suas ligas

O alumínio puro, que é muito leve e de baixa resistência mecânica, adquire maior resistência com a adição de elementos de liga. É também um material não magnético e de boa resistência à corrosão. Apresenta densidade baixa, cerca de 30% da densidade do aço. É muito dúctil, bastante maleável e de fácil conformação e usinagem.

O alumínio é um metal retirado da bauxita (ver figura 3.1), minério que existe em grande quantidade na natureza. Cerca de 8% da crosta terrestre é constituída pela bauxita. É, pois, o metal mais abundante em nosso planeta. As propriedades apresentadas conferem a esse metal uma vasta aplicação em diversos segmentos. Como não é encontrado no estado metálico, sua obtenção passa por várias etapas de processamento.

Figura 3.1



Podemos exemplificar o processo da mineração da bauxita, que origina o alumínio, da seguinte maneira:

- remoção planejada da vegetação e do solo orgânico;
- retirada das camadas superficiais do solo (argilas e lateritas);
- beneficiamento: inicia-se na britagem, para redução de tamanho. Lavagem do minério com água para reduzir o teor de sílica;
- secagem.

O processo de produção do alumínio é constituído por duas etapas:

- obtenção da alumina;
- fabricação do alumínio.

As operações de produção do alumínio podem ser exemplificadas e resumidas em um fluxograma, conforme mostrado na figura 3.2.

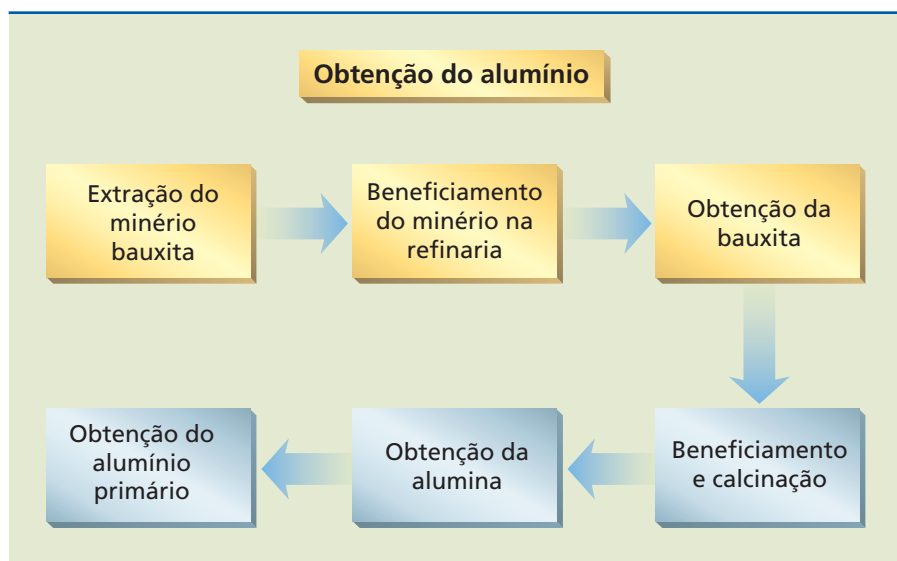


Figura 3.2
Principais fases de produção do alumínio.

O processo de produção do alumínio é caro e necessita de muita energia elétrica. Esse fato explica por que é tão interessante reciclar alumínio. Para reciclar sucata de alumínio, basta aquecê-la até a temperatura de fusão, cerca de 660 °C (1 220 °F). O alumínio derretido é transformado em lingotes e vendido para as indústrias que o utilizam, podendo ser reciclado quantas vezes forem necessárias.

O metal puro (aquele que possui 99% ou mais de alumínio), apesar de ter muitas qualidades desejáveis, apresenta baixa resistência mecânica e não responde aos tratamentos térmicos. Daí a necessidade de liga. Os principais elementos de liga são o cobre, o magnésio, o silício, o manganês e o zinco.

As características do alumínio o tornam indicado para a fabricação de laminados muito finos, embalagens, latinhas de bebidas, recipientes para a indústria química, cabos e condutores elétricos.

A composição química do alumínio e suas ligas são expressas em porcentagem, obedecendo à norma NBR 6834, da ABNT. Essa norma abrange sistemas de classificação das ligas trabalháveis (conformação) e das ligas para fundição (ver tabela 3.1).

Tabela 3.1
Ligas de alumínio.

| Ligas de alumínio trabalháveis | | |
|--------------------------------|---|---|
| Liga | Características | Aplicações |
| 1050 1100 | Alumínio comercialmente puro, muito dúctil no estado recozido, indicado para deformação a frio. Estas ligas têm excelente resistência à corrosão, a qual é crescente com o aumento da pureza da liga. | Equipamentos para indústrias alimentícias, químicas, bebidas, trocadores de calor ou utensílios domésticos. |
| 1350 | Alumínio 99,5% de pureza, com condutibilidade mínima de 61% IACS. | Barramentos elétricos, peças ou equipamentos que necessitem de alta condutibilidade elétrica. |

| Ligas de alumínio trabalháveis | | |
|--------------------------------|--|---|
| Liga | Características | Aplicações |
| 2017 2024 2117 2219 | Ligas de AlCu, com elevada resistência mecânica, alta ductilidade, média resistência à corrosão e boa usinabilidade. | Peças usinadas e forjadas, indústria aeronáutica, transporte, máquinas e equipamentos. |
| 3003 | Ligas de AlMn, com boa resistência à corrosão, boa conformabilidade e moderada resistência mecânica. São ligas de uso geral. | Carrocerias de ônibus e de furgões, equipamentos rodoviários e veículos em geral, reboques, vagões, utensílios domésticos, equipamentos para indústria química e alimentícia, telhas, cumeeiras, rufos, calhas, forros, construção civil e fachadas. |
| 4043 4047 | Ligas de AlSi utilizadas em varetas de solda. | Soldagem das ligas das séries 1XXX, 3XXX e 6XXX. |
| 5005 5052 5056 | Ligas de AlMg são dúcteis no estado recozido, mas endurecem rapidamente sob trabalho a frio. Alta resistência à corrosão em ambientes marítimos. Em geral a resistência mecânica aumenta com os teores crescentes de Mg. | Carrocerias de ônibus e de furgões, equipamentos rodoviários e veículos em geral, estruturas solicitadas, reboques, vagões ferroviários, elementos estruturais, utensílios domésticos, equipamentos para indústria química e alimentícia, telhas, cumeeiras, rufos, calhas, forros, construção civil, fachadas e embarcações. |
| 6053 6061 6063 6351 | Ligas de AlMgSi, tratáveis termicamente com excelente resistência mecânica na têmpera T6. | Carrocerias de ônibus e de furgões, equipamentos rodoviários e veículos em geral, estruturas solicitadas, reboques, vagões ferroviários, elementos estruturais, utensílios domésticos, equipamentos para indústria química e alimentícia, telhas, cumeeiras, rufos, calhas, forros, construção civil, fachadas e embarcações. |
| 7075 7178 | Ligas de AlZn, tratáveis termicamente, alta resistência mecânica, boa resistência à corrosão e boa conformabilidade. | Peças sujeitas aos mais elevados esforços mecânicos em indústria aeronáutica, militar, máquinas e equipamentos, moldes para injeção de plástico e estruturas. |

3.1.1 Séries de ligas trabalháveis

Ligas da série 3XXX

Muito próximas das propriedades do metal alumínio, quimicamente representado pelo símbolo Al. Pode-se observar que sua conformação e sua resistência à corrosão são muito próximas às desse metal. Todavia, a vantagem está na maior propriedade mecânica, permitindo assim que se produzam diversas peças para uso domiciliar. Uma vez conformado, conserva a forma por mais tempo.

Ligas das séries 5XXX

São as que apresentam maior resistência mecânica. Estão disponíveis no mercado em vários formatos, como lâminas, chapas, perfis, tubos, arames etc. São



aplicadas em linhas de combustível e de óleo em aeronaves, tanques de combustível, rebites e arames.

Ligas tratadas termicamente de média resistência

Contêm magnésio e silício (ligas das séries 6XXX) e possuem elevada resistência à corrosão, mas perdem um pouco da capacidade de serem trabalhadas. Esses tipos de ligas são geralmente aplicadas em tubulações.

Ligas tratadas termicamente de elevada resistência

São as ligas de séries 2XXX ou séries 7XXX, tendo o cobre e o zinco como os principais elementos. São tão resistentes quanto o aço estrutural, mas necessitam de proteção superficial. Essas ligas são utilizadas em aviação por causa da relação resistência/peso. Suas principais aplicações se resumem a estruturas de aeronaves e outras submetidas a tensões elevadas.

3.1.2 Ligas de fundição

Desenvolvidas pela engenharia, as ligas de fundição são largamente utilizadas, pois possibilitam ao produto ter propriedades diversas e de muitas aplicações. Um exemplo é a adição de silício, praticamente um semiconductor com propriedades semelhantes às dos metais e de alguns não metais. Isso faz com que sejam menos viscosas e possam ser trabalhadas de modo mais adequado. Essas ligas exigem, sobretudo, um tratamento térmico, pois a temperatura pode alterar seu arranjo estrutural. Controlada essa variável, obtém-se um produto de aceitação comercial e industrial.

Figura 3.3



MIRHAIL OLYKAINENSHUTTERSTOCK

Outra vantagem conseguida com essas ligas, também por causa da adição do silício, é a obtenção de peças sem trincas. Por seus constituintes possuírem raios atômicos muito próximos e eletronegatividade semelhante, elas podem ser combinadas para resultar em um produto novo.

Outro elemento muito comum utilizado nas ligas e que permite uma variedade muito ampla de aplicações é o cobre. Uma de suas propriedades é a dureza. Exemplo disso é seu uso nas alianças de ouro. O ouro é muito dúctil e não permaneceria com a forma original no decorrer do tempo. É muito comum também nas válvulas, esferas e gavetas usadas em tubulações de água.

Um dos materiais que oferece maior dificuldade de manuseio e operação para obtenção de ligas é o magnésio, cuja densidade é um terço da do alumínio. Também pode ser observado pela tabela periódica que o magnésio possui um raio atômico maior e estrutura cristalina hexagonal, diferentemente do alumínio, que tem estrutura cúbica de face centrada. Em relação ao ponto de ebulição, o Mg se funde antes do alumínio, o que favorece a formação de borras. É muito utilizado para proteção em veículos marítimos por ter propriedades semelhantes às do sódio. A eletronegatividade ou positividade dos dois elementos são muito próximas, por isso eles não se combinam, característica que permite proteção maior nos navios e barcos. A tabela 3.2 apresenta os principais elementos de liga e suas vantagens e desvantagens.

Tabela 3.2

Principais elementos de liga e seus efeitos.

| Elemento de liga | Porcentagem típica | Vantagens | Desvantagens |
|------------------|--------------------|--|--|
| Cu | 3% a 11% | Confere alta resistência mecânica. Facilita trabalho de usinagem. | Diminui resistência à corrosão salina. Fragilidade a quente. |
| Si | 12% a 13% | Aumenta fluidez na fundição. Reduz coeficiente de dilatação. Melhora a soldabilidade. | Diminui usinabilidade. |
| Mg | > 8% | Confere alta soldabilidade. Aumenta resistência à corrosão em meio salino. Possibilita tratamento térmico de ligas de Al-Si. | Dificulta fundição por causa da oxidação (borra) e absorção de impurezas (Fe e outros). |
| Zn | 0,05% a 2,2% | Sempre associado ao Mg. Confere alta resistência mecânica. Aumenta ductilidade. | Diminui resistência à corrosão salina. Fragilidade a quente. Alta contração em fundição. |
| Mn | 0,5% a 10,7% | Como corretor. Aumenta resistência mecânica a quente. | Pequena diminuição da ductilidade. |

A tabela 3.3 apresenta a designação das ligas de alumínio destinadas à fundição.

Tabela 3.3

Ligas de alumínio utilizadas em fundição.

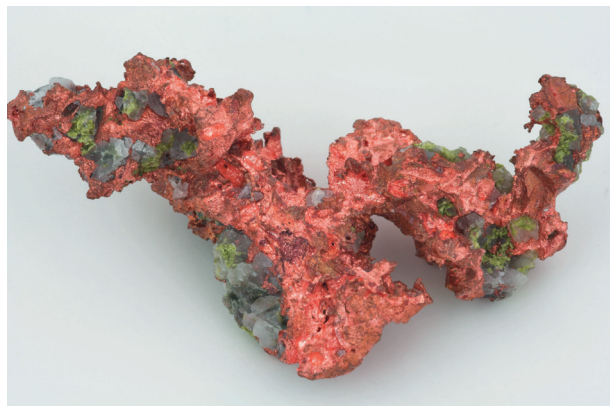
| Liga | Características | Aplicações |
|--------|---|--|
| 150.0 | Alumínio comercialmente puro com excelente resistência à corrosão e boa condutividade elétrica (57% IACS), não tratável termicamente. Fundição em molde permanente, areia e sob pressão. | Acessórios utilizados nas indústrias químicas e de alimentação, rotores, condutores elétricos e equipamentos industriais. |
| 242.0 | Excelentes propriedades mecânicas em temperaturas elevadas e muito boa usinabilidade. Baixa resistência à corrosão. Fundição em molde permanente e areia. | Pistões e cabeçotes para aviões, motores a diesel e de motocicletas. |
| 295.0 | Média resistência, boa usinabilidade. Baixa resistência à corrosão. Fundição em areia. | Elementos estruturais de máquinas, equipamentos e aviação, cárter, rodas de ônibus e de aviões. |
| 319.0 | Resistência mecânica moderada e boas características de fundição e usinagem. Fundição em molde permanente e em areia. | Uso geral, além de revestimentos e caixas de equipamentos elétricos. |
| 355.0 | Média resistência mecânica, com excelente fluidez, boa usinabilidade após tratamento térmico, boa estanqueidade sob pressão. Fundição em molde permanente e areia. | Peças complexas ou sob tensão, cabeçote de cilindros, corpo de válvulas, camisa de água, união para mangueiras, acessórios para indústria de máquinas e na construção civil. |
| C355.0 | Similar a 355.0, mas com maior resistência mecânica, excelente característica de alimentação (ideal para peças fundidas espessas). Fundição em molde permanente e areia. | Peças estruturais sob tensão, componentes de aviação e de mísseis, acessórios de máquinas e equipamentos, construção civil, fachadas e embarcações. |
| 356.0 | Média resistência mecânica, excelente fluidez e estanqueidade sob pressão, boa resistência à corrosão e usinabilidade. Fundição em molde permanente e areia. | Peças fundidas com seções finas, cilindros, válvulas, cabeçotes, blocos de motores, ferramentas pneumáticas e componentes arquiteturas anodizados na cor cinza. |
| 357.0 | Elevada resistência mecânica, excelente fluidez e resistência à corrosão. Fundição em molde permanente e areia. | Peças sob tensão que exigem relação de peso com elevadas propriedades mecânicas e de resistência à corrosão, tais como componentes de aviação e de mísseis. |
| 350.0 | Excelente estanqueidade sob pressão, resistência à corrosão e muito boa usinabilidade. Fundição sob pressão. | Recipientes e componentes de iluminação, peças externas de motores e utensílios domésticos. |
| 380.0 | Bom acabamento superficial, muito boa usinabilidade, podendo ser anodizada. Fundição sob pressão. | Peças de utensílios domésticos em geral. |
| A380.0 | Elevada resistência mecânica tanto em locais com temperaturas ambiente como elevadas, muito boa fluidez, boa estanqueidade sob pressão, usinabilidade e resistência à corrosão. Fundição sob pressão. | Peças para utensílios domésticos em geral, indústrias elétrica e automotiva. |

| Liga | Características | Aplicações |
|-------|---|--|
| 413.0 | Excelente estanqueidade sob pressão e resistência à corrosão, baixa usinabilidade. Fundição sob pressão. | Caixas de medidores de energia elétrica, peças externas de motores e peças fundidas com seções finas que requerem boa resistência à corrosão. |
| 443.0 | Baixa resistência mecânica, muito boa fluidez, excelente estanqueidade sob pressão e resistência à corrosão. Fundição em molde permanente, areia e sob pressão. | Peças fundidas com seções finas, utensílios domésticos, moldes para artefatos de borracha e componentes arquiteturais anodizados na cor cinza. |
| 518.0 | Excelente usinabilidade e resistência à corrosão, alta ductilidade, baixa fluidez e excelentes propriedades de acabamento superficial. Fundição sob pressão. | Aplicações marítimas, acessórios ornamentais de máquinas e equipamentos. |
| 520.0 | Excelente resistência mecânica, inclusive sob cargas de impacto, boas condições de anodização e de polimento, baixa fluidez, excelente usinabilidade e resistência à corrosão, mas suscetível à corrosão sob tensão em temperaturas acima de 120 °C. Fundição em areia. | Peças submetidas a elevadas tensões na engenharia de aviação, marítima e de transporte. |
| 712.0 | Boas propriedades mecânicas, envelhece naturalmente, se retempera após soldagem, excelente usinabilidade e boa resistência à corrosão. Fundição em areia. | Peças fundidas para conjuntos de brasagem. |

3.2 Cobre

O cobre é extraído na natureza em estado nativo e combinado formando minérios que podem ser óxidos ou sulfetos, conforme apareça associado ao oxigênio ou ao enxofre. Os principais minérios de cobre são a calcosita (sulfeto de cobre), calcopirita (sulfeto duplo de ferro e cobre) e cuprita (óxido de cobre).

Figura 3.4
Cobre.



ARTURO LIMONSHUTTERSTOCK

O tratamento metalúrgico consiste simplesmente na redução do minério, feita em forno de cuba com combustível e fundente.

Quando se trata o minério sulfurado, o processo consiste em aquecê-lo sem fusão, que elimina o enxofre. Em seguida, faz-se a redução, obtendo-se o cobre bruto em um forno de afinação. Posteriormente faz-se o refino.

O cobre é um metal não ferroso e não magnético que se funde a 1080 °C. Depois da prata, é o melhor condutor de eletricidade e calor. É dúctil e maleável e pode ser laminado a frio ou a quente. Ao ser laminado a frio, estirado ou estampado, adquire um endurecimento superficial que aumenta sua resistência, porém diminui a maleabilidade. Isso o torna mais frágil, o que é corrigido com o tratamento térmico.

O cobre pode ser usado como elemento de liga e, em geral, é adicionado para aumentar a resistência à corrosão. Em relação ao alumínio, a adição de cobre confere a essa liga maior resistência mecânica.

Para melhorarmos ainda mais suas propriedades, podemos adicionar elementos de ligas que lhe dão outras características. As principais ligas de cobre são: bronze, latão e ligas de cobre-níquel.

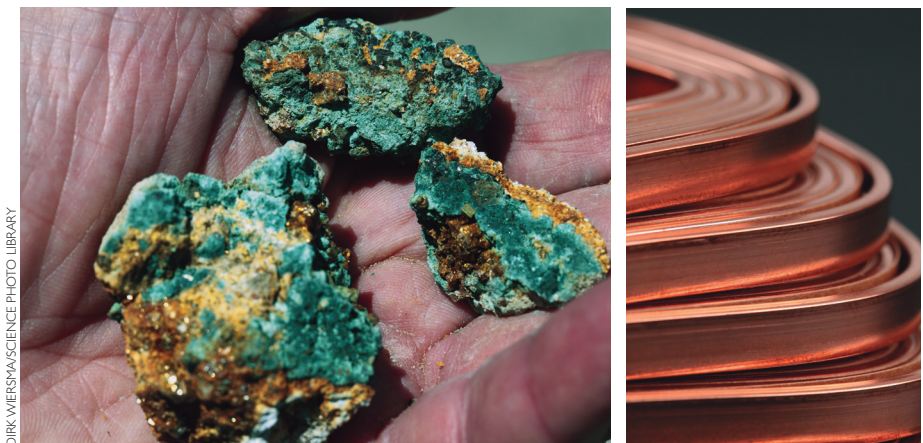


Figura 3.5

Minério de sulfeto de cobre; cobre em fitas.

De acordo com a norma ASTM, as ligas de cobre se classificam da seguinte maneira.

Ligas da série C IXX

Ligas de cobre, que devem ter pureza de 99,3%.

As ligas de cobre com baixo teor de liga, isto é, aquelas nas quais os teores de todos os elementos de liga somados não ultrapassem 1% são denominadas cobre ligado.

Muitas vezes, o tratamento térmico é fundamental para a composição de melhores resistências dessas novas ligas ao desgaste.

Ligas da série C 2XX

Essa liga é também conhecida comercialmente como **latão binário** (cobre-zinco). São permitidos outros metais, entretanto são considerados como impurezas, nada mais. Isso representa teores muito baixos de outros elementos metálicos da tabela periódica. Não é de aplicação como a Al-Mg, todavia, pode ser utilizada em ambientes de pouca agressividade química. No tocante à conformabilidade, mostra-se muito bem aceita no mercado consumidor.

Ligas da série C 3XX

Também conhecidas como **latão com chumbo**, essas ligas misturam três metais em sua formação, cobre, zinco e chumbo (Cu-Zn-Pb). O chumbo, por ser dúctil, é adicionado com o propósito principal de aumentar a usinabilidade. Por esse motivo são ligas de fácil manuseio para a indústria mecânica.

Nessas ligas observa-se a formação de pequenos globos, distribuídos aleatoriamente. São partículas de chumbo que não se combinam com o cobre nem com o zinco e com nenhum elemento de liga secundário.

Ligas da série C 4XX

São ligas de latão com estanho (Cu-Zn-Sn). Parte do zinco dos latões é trocada por átomos de estanho. Com essa troca, as propriedades mecânicas e a resistência à corrosão são melhoradas, o que possibilita a exposição das ligas a ambientes muito mais agressivos, como soluções salinas (NaCl) e oceanos. Apesar de o zinco ser usado como elemento de sacrifício em navios, o estanho agrega essa propriedade com maior eficiência. O estanho é mais eletronegativo que o zinco, não obstante é adicionado por sua propriedade mecânica de resistência.

Ligas da série C 5XX

São ligas conhecidas como **bronzes** (cobre-estanho, com ou sem a presença do elemento fósforo, P). A concentração de estanho varia de 2% a 11% nas ligas trabalhadas. Nas ligas fundidas, a variação é de 5% a 11%. Observa-se o aumento da resistência com o aumento proporcional de estanho (Sn).

Em relação à ductilidade, ocorre o inverso: um percentual acima de 5% faz com que seja diminuída sensivelmente. Uma alternativa para melhorar esses parâmetros foi a adição do elemento químico fósforo. Um adicional em torno de menos de 0,5% possibilita a melhora e, além disso, impede que a camada externa em contato com o ambiente se oxide. Essa liga é conhecida como bronze-fósforo.

Ligas da série C 6XX

São ligas de cobre-alumínio e cobre-silício, também chamadas **bronzes de alumínio**, porque contêm em sua composição até 14% de alumínio. Por ter



na última eletrosfera quatro elétrons, o alumínio não permite a oxidação com facilidade. Essa característica confere alta resistência contra a corrosão em soluções ácidas (principalmente com ácido sulfúrico) e na água do mar.

As ligas da série C 6XX podem conter em sua estrutura outros metais além do alumínio, como níquel, ferro, silício, arsênio e manganês. A boa resiliência e ductilidade são propriedades notáveis nessas ligas. O fato de resistirem à corrosão e aos meios agressivos possibilita seu uso em indústrias de transformação química, bem como na navegação.

Ligas da série C 7XX

Muito próxima das propriedades do aço inoxidável, essa liga é conhecida como **cupro-níquel**. O percentual de níquel atinge 45%. A resistência à corrosão e a altas temperaturas é semelhante à do aço inox. A concentração de 2% do metal manganês e 1,5% de ferro a torna ainda mais resistente. Fluidos com altas temperaturas podem ser transportados em tubulações confeccionadas com essa liga.

Ligas das séries C 8XX e C 9XX

São destinadas às ligas fundidas e, de acordo com a norma ASTM – adotada do sistema da Cooper Development Association (CDA) –, temos a seguinte classificação:

- C 80100 - C 81100** = Cobre comercialmente puro 99% Cu
- C 81300 - C 82800** = Ligas com teor de cobre superior a 94%
- C 83300 - C 85800** = Latões vermelhos ao chumbo Cu-Zn-Sn-Pb (teor de cobre de 75%-89%)
- C 85200 - C 85800** = Latões amarelos ao chumbo Cu-Zn-Sn-Pb (teor de cobre de 57%-74%)
- C 86100 - C 86800** = Bronzes ao chumbo e ao manganês Cu-Zn-Mn-Fe-Pb
- C 87300 - C 87900** = Bronzes e latões ao silício Cu-Zn-Si
- C 90200 - C 94500** = Bronzes ao estanho e ao chumbo Cu-Sn-Zn-Pb
- C 94700 - C 94900** = Bronzes ao níquel e ao estanho Cu-Ni-Sn-Zn-P
- C 95200 - C 95810** = Bronzes ao alumínio Cu-Al-Fe-Ni
- C 96200 - C 96800** = Cobre-níquel Cu-Ni-Fe
- C 97300 - C 97800** = Níquel prata Cu-Ni-Zn-Pb-Sn
- C 98200 - C 98800** = Cobres ao chumbo Cu-Pb
- C 99300 - C 99750** = Ligas especiais

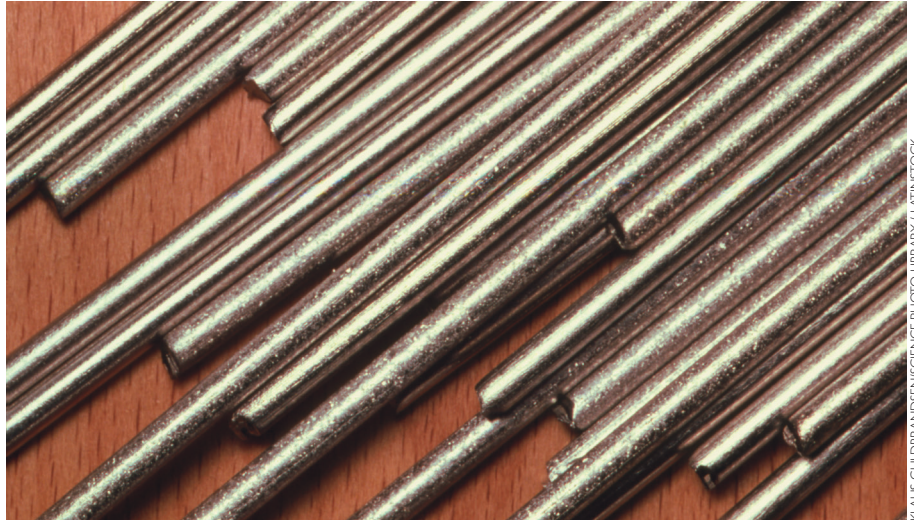
3.3 O magnésio e suas ligas

O magnésio é um material muito leve e se torna líquido na temperatura de 651 °C. Esse metal é muito utilizado na produção de elementos de liga, tanto no aço quanto no alumínio. Neste último é mais usual por aumentar a resistência mecânica do alumínio.

3.4 O titânio e suas ligas

O titânio tem ótima resistência específica. Sua dureza se compara à de um aço ABNT 1030 no estado normalizado. Tem alto ponto de fusão, elevada resistência mecânica, é dúctil e facilmente forjado e usinado. As ligas de titânio são relativamente caras, reagem com outros materiais em altas temperaturas e apresentam elevada resistência à corrosão (atmosfera, água do mar, ambientes industriais).

Figura 3.6
Barras de titânio



KLAUS GULDBRANDSEN/SCIENCE PHOTO LIBRARY / LATINSTOCK

3.5 O chumbo

O chumbo é um metal de baixa tenacidade, porém dúctil e maleável. É bom condutor de eletricidade, embora não seja magnético. É mau condutor de calor e se funde a 327 °C. Seu minério é a galena (PbS).

O chumbo oxida-se com facilidade em contato com o ar. Outras propriedades que permitem grande variedade de aplicações são: alta densidade, flexibilidade, elevado coeficiente de expansão térmica, boa resistência à corrosão, condutibilidade elétrica e facilidade em se fundir e formar ligas com outros elementos.

É um metal que permite a reciclagem de sua sucata. No Brasil, o reaproveitamento dessa sucata corresponde a aproximadamente um terço das necessidades dessa matéria-prima.

3.6 O zinco

O zinco é um metal não ferroso, cuja temperatura de fusão é 420 °C. É produzido a partir da blenda e da calamina. Condutor de eletricidade, é, porém, um metal não magnético. É mais barato que a maioria dos metais não ferrosos.

Possui resistência à tração praticamente igual à do alumínio e do magnésio, mas não apresenta a baixa densidade desses metais. Sua densidade se aproxima mais da do aço e do cobre.

Usa-se o zinco como pigmento em tintas, como elemento de liga com o cobre, na produção do latão e, sobretudo, para proteger outros metais, principalmente o aço, por meio da galvanização.

3.7 O estanho

O estanho é um metal branco, brilhante, bastante maleável e o mais fusível dos metais usuais. Seu ponto de fusão é 235 °C. É resistente à corrosão, bom condutor de eletricidade, porém não magnético. É usado como material protetor.

A folha de flandres, empregada na fabricação de latas de conserva, consiste em chapas finas de ferro cobertas a fogo com uma camada fina de estanho. Combina a resistência do aço com a resistência à corrosão, é de fácil soldagem e tem a boa aparência do estanho.

Ligas antifricção podem ser obtidas à base de estanho. Apresentam plasticidade e aderência muito grandes e são utilizadas na confecção de mancais.

O estanho puro ou associado com antimônio e cobre é matéria-prima para a produção de material de solda.

