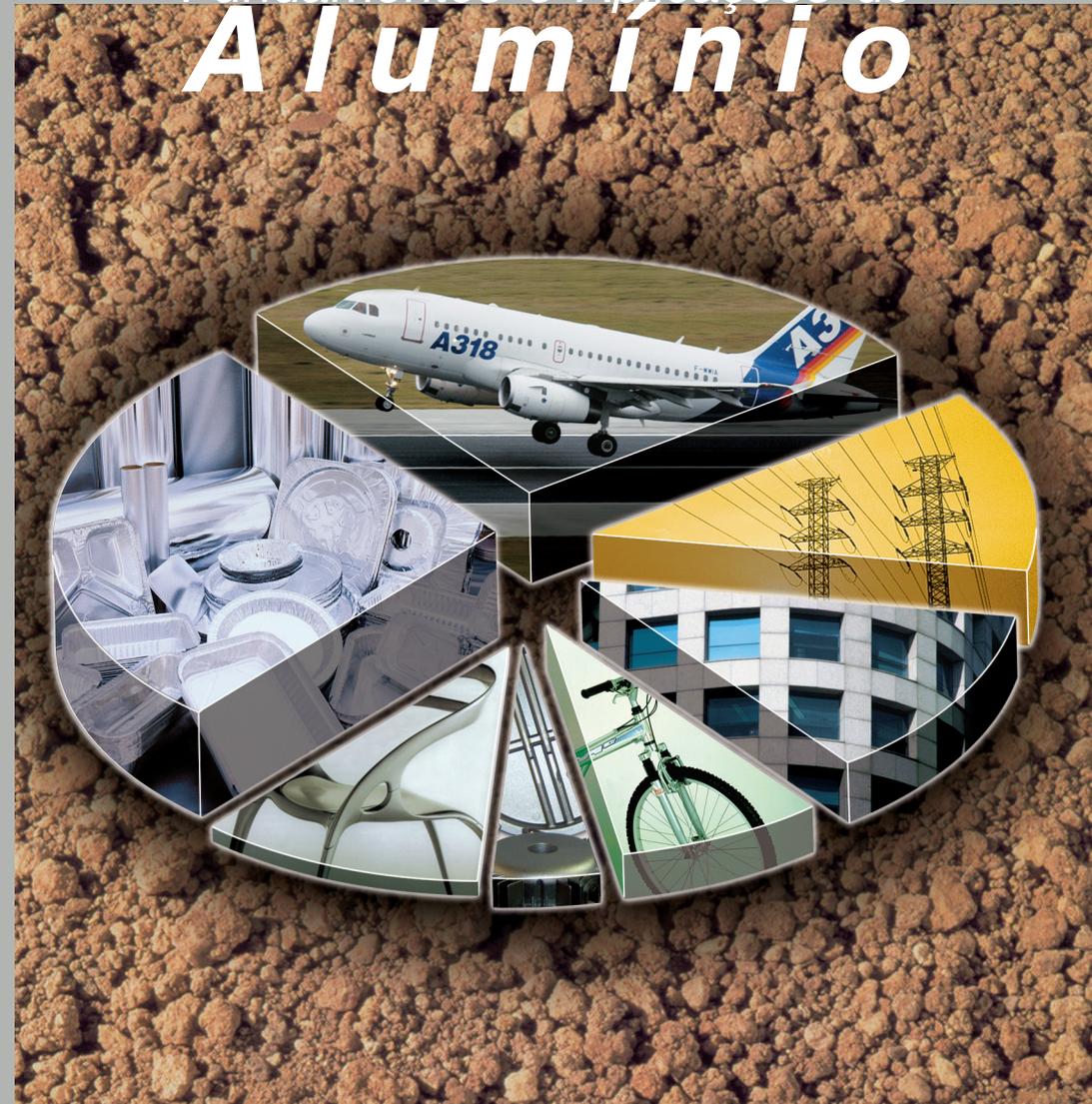




Fundamentos e Aplicações do Alumínio



As imagens usadas nesta publicação foram cedidas pelas empresas associadas da ABAL.



Companhia Brasileira de Alumínio
Votorantim



R. Humberto I, nº 220 • 4º andar CEP 04018-030 São Paulo - SP Brasil
Tel. (5511)5904-6450 Fax (5511)5904-6459 • www.abal.org.br • e-mail: aluminio@abal.org.br



do alumínio, informações sobre as diversas etapas de fabricação deste importante metal – da obtenção do minério até o produto final –, com linguagem concisa e clara. A expectativa é que este novo manual se constitua em um instrumento básico de consulta e orientação para os profissionais - atuais e futuros – dos vários segmentos da indústria do alumínio.

O manual Fundamentos do Alumínio e suas Aplicações aborda aspectos relativos à obtenção do alumínio, características do metal, ligas, propriedades mecânicas, têmperas, tratamentos térmicos, processos industriais,

principais aplicações, desenvolvimento sustentável e Normas Brasileiras sobre o alumínio.

A elaboração desta nova publicação é fruto de mais um trabalho sério e competente dos profissionais que integram a Comissão Técnica da ABAL e sua edição só foi possível graças ao prestígio e confiança dos patrocinadores, aos quais, mais uma vez, a Entidade agradece.

Comissão Técnica
 Associação Brasileira do Alumínio - ABAL
 Maio/2007

Sumário

- 1 - O Metal Alumínio 4
- 2 - Obtenção do Alumínio 6
- 3 - Características do Alumínio 10
- 4 - Ligas de Alumínio 16
- 5 - Propriedades Mecânicas 24
- 6 - Caracterização das Propriedades Mecânicas - Têmperas 28
- 7 - Tratamentos Térmicos 30
- 8 - Processos Industriais 34
- 9 - Principais Aplicações 58
- 10 - Desenvolvimento Sustentável 64
- 11 - Normas Brasileiras 68

Introdução

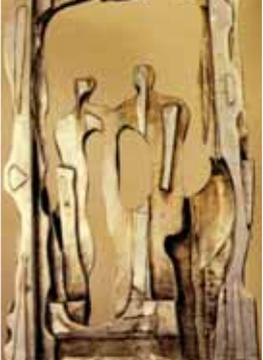
O alumínio, por suas excelentes propriedades físico-químicas – entre as quais se destacam o baixo peso específico, a resistência à corrosão, a alta condutibilidade térmica e elétrica e a infinita reciclagem - apresenta uma ampla variedade de utilização, que o torna o metal não-ferroso mais consumido no mundo.

Com o objetivo primordial de facilitar o acesso a literaturas específicas sobre o alumínio e, cada vez mais, tornar disponível informações técnicas sobre o metal, a ABAL está lançando a segunda edição do manual Fundamentos do Alumínio e suas Aplicações. Esta nova publicação visa fornecer aos estudantes e profissionais em geral, e aos iniciantes na metalurgia





Usina hidroelétrica - CBA



Escultura em alumínio



Charles Martin Hall



Paul Louis Héroult



Bauxita e Alumina



Lingotes de alumínio

O Metal Alumínio

1

O aumento espetacular no consumo de alumínio é prova do que este metal significa na indústria moderna. O alumínio segue o ferro/aço entre os metais de maior consumo anual, sendo o mais importante dos metais não ferrosos. A variedade de usos do alumínio está relacionada com suas características físico-químicas, com destaque para seu baixo peso específico, comparado com outros metais de grande consumo, resistência à corrosão e alta condutibilidade elétrica/térmica.

O alumínio foi descoberto por Sir Humphrey Davy em 1809, tendo sido isolado pela primeira vez em 1825 por H. C. Oersted. Porém, apenas em 1886 foi desenvolvido um processo industrial econômico de redução. Neste ano, dois cientistas trabalhando independentemente, Charles Martin Hall, nos Estados Unidos, e Paul Louis Héroult, na França, inventaram o mesmo procedimento eletrolítico para reduzir a alumina em alumínio. O procedimento Hall-Héroult é o que se usa atualmente e consome cerca de 14,8 kWh_{cc} (média brasileira) para a produção de um quilo de alumínio primário. O elemento "alumínio" é abundante na crosta terrestre na forma

de óxido de alumínio (Al₂O₃) e as reservas minerais são quase ilimitadas. O minério industrial mais importante é a "bauxita", com um teor de óxido de alumínio entre 35% a 45%; suas jazidas localizam-se principalmente nas regiões tropicais e, no Brasil, concentram-se na área amazônica.

O Brasil tem vocação para produção de alumínio, pois além da abundante reserva de bauxita (o Brasil detém a terceira maior reserva de bauxita do mundo), tem um alto potencial de geração de energia hidrelétrica, que é um insumo primordial para obtenção do alumínio primário através da eletrólise, conforme já mencionado.

Quando o alumínio era ainda uma curiosidade com custo elevado de produção, as primeiras aplicações foram limitadas a trabalhos suntuosos, tais como, estatuetas e placas comemorativas. Então, quando o metal tornou-se disponível em grandes quantidades (embora ainda medido em quilos em vez de toneladas) passou a ser usado na decoração Vitoriana como bandejas e escovas de cabelo ornamentais. No final do Século 19, com o aumento da produção e preços menores, foi gradualmente utilizado em utensílios de cozinha e alguns dos

primeiros automóveis que já possuíam painéis revestidos de alumínio comercialmente puro. Entretanto, a resistência limitada do metal comercialmente puro restringia sua aplicação, especialmente quando havia alguma dificuldade nas indústrias metalúrgicas em favor de materiais tradicionais com os quais elas estavam mais familiarizadas.

Conseqüentemente, no início do Século as indústrias de alumínio começaram a trabalhar na produção de ligas de alumínio com propriedades mecânicas mais elevadas. Os primeiros experimentos foram através de tentativas e erros, aliados a observações perspicazes, conduzindo a experiências posteriores baseadas no aumento do conhecimento dos princípios metalúrgicos fundamentais envolvidos.

O rápido e notável crescimento da importância do alumínio na indústria é resultado de uma série de fatores:

- é um metal que possui excelente combinação de propriedades úteis resultando numa adequabilidade técnica para um campo extraordinário de aplicações em engenharia;

- pode ser facilmente transformado, através de todos processos metalúrgicos normais, sendo assim viável à indústria manufatureira em qualquer forma que seja requerida;

- as atividades de pesquisa desenvolvidas pela própria indústria do alumínio, pelos laboratórios acadêmicos e pelos seus usuários têm levado a um maior conhecimento das características de engenharia deste metal, além do que técnicas de fabricação, de soldagem e de acabamento têm sido desenvolvidas, fazendo com que o alumínio seja considerado um material que não apresenta dificuldade nas suas aplicações;

- finalmente, um fator importante na aceitação geral do alumínio tem sido a livre divulgação da indústria quanto às recomendações aos usuários e potenciais usuários do metal. Isto tem sido feito pelos fabricantes individualmente, por centros de pesquisa e pela ABAL.

A obtenção do alumínio a partir da bauxita efetua-se em três etapas: Mineração, Refinaria e Redução.

A bauxita é extraída, lavada e secada antes de ser enviada à Refinaria onde se produz o alumínio.



Pátio de lingotes - Alumar



Pátio de lingotes - Albras

Obtenção do Alumínio

2

O processo químico denominado Bayer é o mais utilizado na indústria do alumínio. Neste processo, a alumina é dissolvida em soda cáustica e, posteriormente, filtrada para separar todo o material sólido, concentrando-se o filtrado para a cristalização da alumina.

Os cristais são secados e calcinados para eliminar a água, sendo o pó branco de alumina pura enviado à Redução para obtenção de alumínio, através de eletrólise, processo conhecido como Hall-Héroult, já mencionado no Capítulo 1.

As principais fases da produção de alumina, desde a entrada do minério até a saída do produto, são: moagem, digestão, filtração/evaporação, precipitação e calcinação. As operações de alumina têm um fluxograma de certa complexidade, que pode ser resumido em um circuito básico simples (Figura 1).

No processo de eletrólise, para obtenção do alumínio, a alumina é carregada de forma controlada, em um eletrólito fundido, formado por sais de criolita e fluoreto de alumínio.

A passagem de corrente elétrica na célula eletrolítica promove a redução da alumina, decantando o alumínio

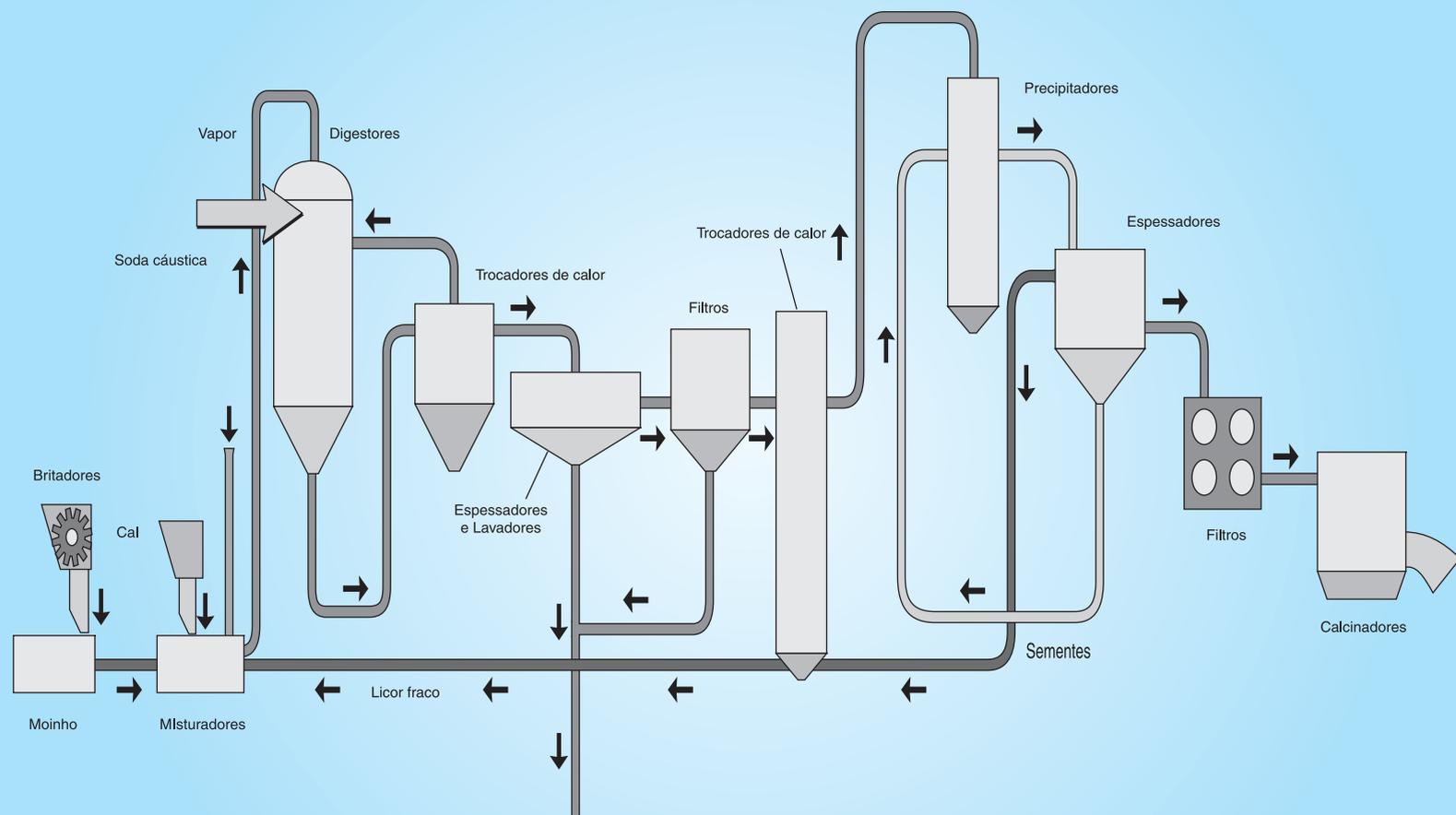


Figura 1 - Fluxograma básico de uma refinaria



Forno de fundição de alumínio



Alumina

Obtenção do Alumínio

2

metálico no fundo da célula e o oxigênio liberado reage com o ânodo de carbono, formando dióxido de carbono. A Figura 2 mostra o diagrama de uma célula de redução e a Figura 3,

uma instalação típica de sala de cubas de redução. Em números redondos, são necessários 5 kg de bauxita para produzir 2 kg de alumina e 1 kg de alumínio primário.

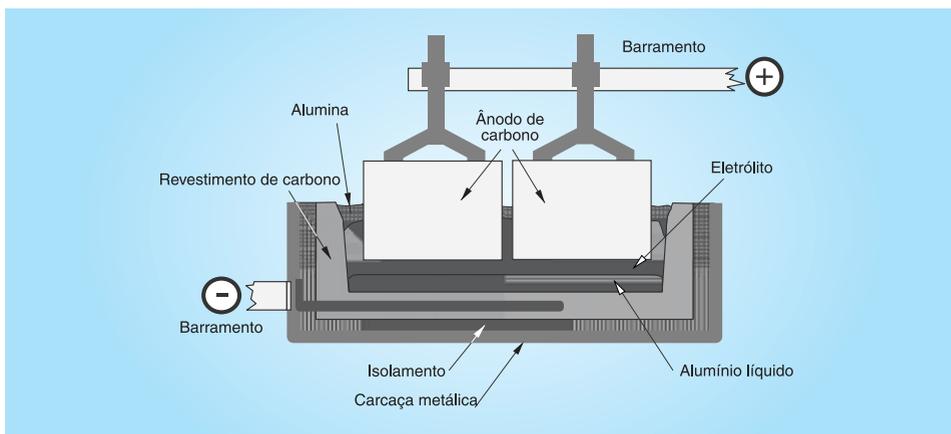


Figura 2 - Diagrama de uma célula de redução para alumínio primário

Os principais insumos para a produção de alumínio primário durante o processo de Redução são indicados na tabela ao lado:

Insumos para a produção de 1t de alumínio primário	
Alumina	1919 kg/t
Energia elétrica	15,0 MWhcc/t Al
Criolita	8,0 kg/t
Fluoreto de alumínio	19,7 kg/t
Coque de petróleo	0,384 kg/kg Al
Piche	0,117 kg/kg Al
Óleo combustível	44,2 kg/t

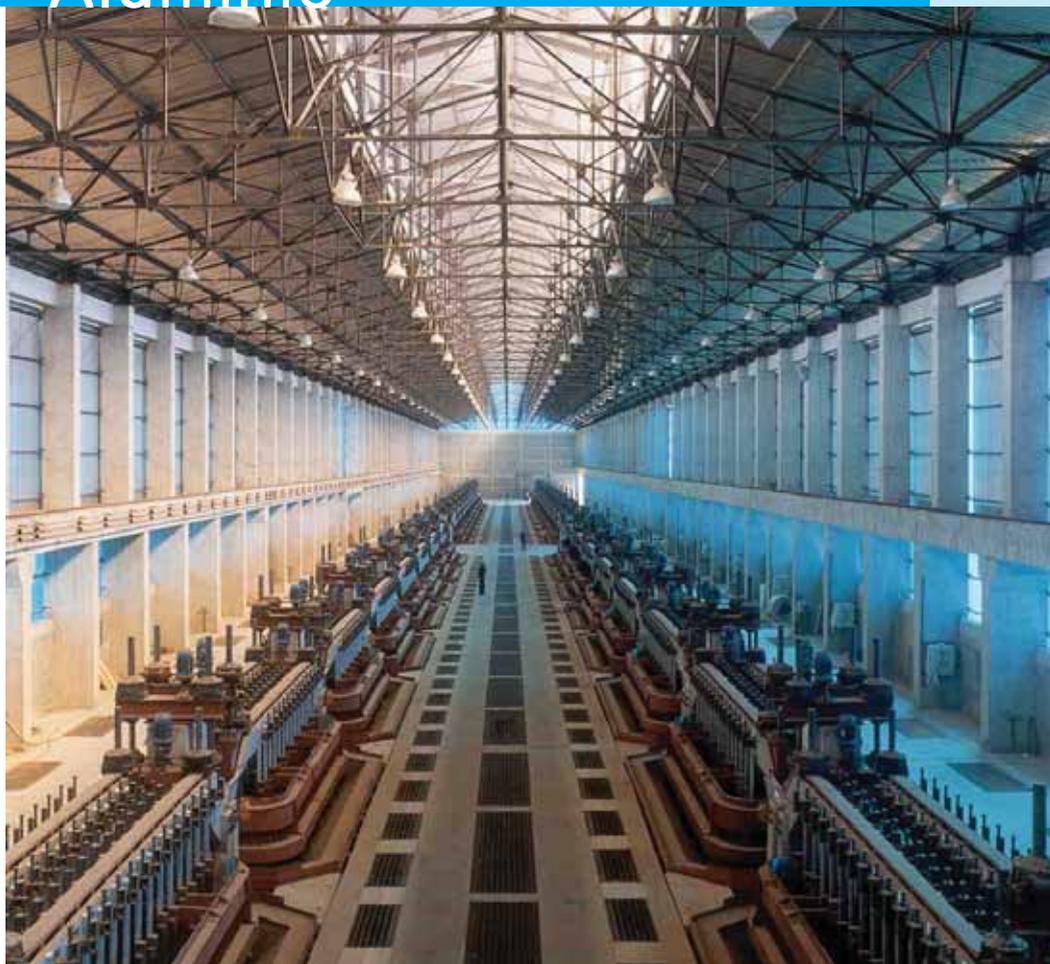


Figura 3 - Sala de cubas para redução de alumínio primário

Uma excepcional combinação de propriedades faz do alumínio um dos mais versáteis materiais utilizados na engenharia, arquitetura e indústria em geral.



Alumínio na indústria aeroespacial



"Corrida" do alumínio

Características do Alumínio

3

■ Ponto de fusão

O alumínio possui ponto de fusão de 660°C (quando na pureza de 99,80%), o que é relativamente baixo comparado ao do aço, que é da ordem de 1570°C. Ligas de alumínio, devido à presença de outros metais, possuem, em geral, um ponto de fusão mais baixo que o alumínio puro. Por exemplo, a liga 6060 (com ±2% de elementos de liga) funde-se entre 600°C e 650°C, enquanto a liga 7075 (com ±10% de elementos de liga) funde-se entre 475°C e 640°C.

■ Peso específico

A leveza é uma das principais características do alumínio. Seu peso específico é de cerca de 2,70 g/cm³, aproximadamente 35% do peso do aço e 30% do peso do cobre. Essa característica, aliada ao aumento da resistência mecânica por adição de elementos de liga/tratamentos térmicos, torna o alumínio o metal de escolha para a indústria aeronáutica e de transportes.



Vazamento de alumínio

■ Características mecânicas

O alumínio comercialmente puro tem uma resistência à tração de aproximadamente 90 MPa. Sua utilização como material estrutural nesta

condição é um tanto limitada, mas através do trabalho a frio, sua resistência mecânica pode ser praticamente dobrada. Aumentos maiores na sua resistência podem ser obtidos com pequenas adições de outros metais como elementos de liga, tais como: silício, cobre, manganês, magnésio, cromo, zinco, ferro etc.

Como o alumínio puro, as "ligas não-tratáveis" podem também ter sua resistência aumentada pelo trabalho a frio. E as "ligas tratáveis" podem ainda apresentar aumento de resistência através de tratamento térmico, tanto que hoje algumas ligas podem ter resistência à tração de aproximadamente 700 MPa.

É possível obter-se uma grande variedade de características mecânicas ou têmperas em ligas de

alumínio, através das várias combinações de trabalho a frio e de tratamento térmico, que serão tratadas em capítulos específicos.

O alumínio e suas ligas perdem parte de sua resistência a elevadas temperaturas, embora algumas ligas conservem boa resistência em temperaturas entre 200°C e 260°C. Em temperaturas abaixo de zero, entretanto, sua resistência aumenta sem perder a ductilidade e a tenacidade, tanto que o alumínio é um metal particularmente utilizado em aplicações a baixas temperaturas.

■ Resistência à corrosão

Quando o alumínio líquido é exposto à atmosfera, forma-se imediatamente uma fina e invisível camada de óxido, a qual protege o metal de oxidações posteriores. Essa característica de auto-proteção dá ao alumínio uma elevada resistência à corrosão.

A menos que seja exposto a uma determinada substância ou condição agressiva que destrua essa película de óxido de proteção, o metal fica totalmente protegido contra a corrosão.

O alumínio é altamente resistente ao

tempo, mesmo em atmosferas industriais, que freqüentemente corroem outros metais. É também resistente a vários ácidos.

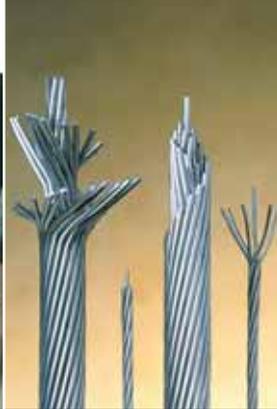
Os álcalis estão entre as poucas substâncias que atacam a camada de óxido e, conseqüentemente, podem corroer o alumínio. Embora o metal possa seguramente ser usado na presença de certos álcalis moderados com a ajuda de inibidores, em geral o contato direto com substância alcalina deve ser evitado.

Algumas ligas são menos resistentes à corrosão do que outras, particularmente certas ligas de elevada resistência mecânica. Tais ligas podem ser efetivamente protegidas da maioria das influências corrosivas, através do revestimento das superfícies expostas com uma fina camada de alumínio puro ou ligas de alta resistência à corrosão. A pintura da superfície seria a alternativa mais simples.

Uma palavra de alerta deve ser mencionada com relação às características de resistência à corrosão do alumínio. Contatos diretos com alguns metais devem ser evitados na presença de um eletrólito, caso contrário, a corrosão galvânica do



Refrigerador de motores



Cabos nus de alumínio



Folha para embalagem



Cobertura de alumínio



Transporte de substâncias inflamáveis

Características do Alumínio

3

alumínio pode surgir na região da área de contato. Quando houver necessidade de se unir o alumínio com esses metais, recomenda-se o isolamento da área com pinturas betuminosas ou materiais isolantes.

Na série galvânica, mostrada na tabela ao lado, qualquer material tende a ser corroído através do contato com qualquer outro metal inferior a ele. Apesar da sua baixa posição na série, o aço inoxidável pode ser seguramente acoplado ao alumínio em vários ambientes porque o aço é altamente polarizado. Em ambientes com elevados teores de cloretos, o aço inoxidável pode causar substancial corrosão de contato no alumínio.

■ Coeficiente de dilatação térmica

O alumínio puro possui um coeficiente de dilatação térmica linear de 0,0000238 mm/°C, na faixa de 20°C a 100°C. Este coeficiente é aproximadamente duas vezes o do aço. Porém, devido ao baixo módulo de elasticidade do alumínio, induzem-se menores tensões na estrutura do alumínio, com a variação de temperatura, que na do aço.

Série galvânica

Ligas de Mg

Zinco

Ligas de AlZn

Ligas de AlMg

Ligas da série 1100, 3003, AlMgSi

Cádmio

Ligas de AlCu

Aço doce, ferro maleável e ferro fundido

Cromo

Soldas de chumbo-estanho

Chumbo

Estanho

Latão

Cobre

Bronze

Liga monel

Níquel

Aços inoxidáveis

A adição de outros metais afeta muito pouco o coeficiente de dilatação.

■ Condutibilidade elétrica

O alumínio puro possui resistividade de 0,00000263 ohm/cm³ e condutividade elétrica de 62% da IACS (International Annealed Copper Standard), a qual associada à sua baixa densidade significa que um condutor de alumínio pode conduzir tanta corrente quanto um condutor de cobre que é duas vezes mais pesado e proporcionalmente mais caro.

■ Condutibilidade térmica

Essa característica é um importante meio de transferência de energia térmica, tanto no aquecimento, como no resfriamento. Assim, os trocadores ou dissipadores de calor em alumínio são comuns nas indústrias alimentícia, química, petrolífera, aeronáutica, etc. O alumínio é também um excelente refletor de energia radiante devido ao grande alcance dos comprimentos de onda desde os raios ultravioletas, através dos espectros visíveis, até os raios infravermelhos e ondas de calor, tanto quanto ondas eletromagnéticas de rádio e radar.

O alumínio puro possui uma condutibilidade térmica (k) de 0,53 calorias por segundo por centímetro quadrado por centímetro de espessura por grau Celsius, de forma que sua condutibilidade térmica é 4,5 vezes maior que a do aço doce. A alta condutividade térmica do alumínio é um fator que influencia positivamente seu uso na indústria de alimentos e de produtos químicos.

■ Refletividade

O alumínio tem uma refletividade acima de 80%, a qual permite ampla utilização em luminárias. Coberturas de alumínio refletem uma alta porcentagem do calor do Sol, tanto que edificações cobertas com esse material são menos quentes no verão.

■ Propriedade anti-magnética

O metal não é magnético sendo freqüentemente utilizado como proteção em equipamentos eletrônicos. Também não produz faíscas, o que é uma característica muito importante, sendo, dessa forma, bastante utilizado na estocagem de substâncias inflamáveis ou explosivas, bem como em caminhões-tanque de transporte de



Folha para conservação de alimentos



Sucata reciclada infinitamente



Fardos de latas para reciclagem



Tarugos para obtenção de perfis extrudados

Características do Alumínio

3

materiais combustíveis, aumentando a segurança em casos de acidentes de trânsito, pois o não faiscamento elimina o risco de incêndio/explosão.

■ Característica de barreira

O alumínio é um importante elemento de barreira à luz, é também impermeável à ação da umidade e do oxigênio, tornando a folha de alumínio um dos materiais mais versáteis no mercado de embalagens.

■ Característica nuclear

Uma propriedade de importância em engenharia nuclear é sua baixa absorção de nêutrons, de maneira que ele não impede significativamente a passagem de nêutrons, os quais mantêm a reação nuclear no combustível de urânio, tornando-o um material eficiente e de uso intensivo no núcleo dos reatores de baixa temperatura.

■ Atoxicidade

O fato do alumínio possuir características “não-tóxicas” permite sua utilização em utensílios domésticos, sem qualquer efeito nocivo ao organismo humano, sendo muito

utilizado em equipamentos na indústria alimentícia. É essa mesma característica que permite às folhas de alumínio serem utilizadas seguramente em contato direto com produtos alimentícios, como embalagens.

■ Reciclagem

A característica de ser infinitamente reciclável, sem perda de suas propriedades físico-químicas, torna o alumínio o metal de escolha, principalmente em embalagens para bebidas carbonatadas. Ver 10.1 para mais informações sobre reciclagem.

Todas essas características apresentadas conferem ao metal alumínio uma extrema versatilidade. Na maioria das aplicações, duas ou mais destas características entram em jogo, como por exemplo: baixo peso combinado com resistência mecânica em aeronaves, vagões ferroviários, caminhões e outros equipamentos de transporte. A alta resistência à corrosão e a elevada condutibilidade térmica são importantes em equipamentos para a indústria química e petrolífera, propriedades que combinam com a atoxicidade necessária em equipamentos de produção alimentícia.

Sua aparência atraente aliada à alta resistência às intempéries e baixos requisitos de manutenção proporcionam uma vasta utilização em todos os tipos de construção.

A alta refletividade, a excelente resistência às intempéries e seu baixo peso específico são muito importantes em materiais de cobertura, facilitando, também, o manuseio e os custos de transporte. Muitas aplicações requerem extrema versatilidade que somente o alumínio possui. Diariamente, cada combinação de suas propriedades vem sendo trabalhada de novas formas.

A tabela a seguir compara as características dos três metais mais utilizados pela sociedade contemporânea:

Propriedades físicas típicas	Alumínio	Aço	Cobre
Densidade (g/cm ³)	2,70	7,86	8,96
Temperatura de fusão (°C)	660	1500	1083
Módulo de elasticidade (MPa)	70000	205000	110000
Coefficiente de dilatação térmica (L/°C)	23.10 ⁻⁶	11,7.10 ⁻⁶	16,5.10 ⁻⁶
Condutibilidade térmica a 25°C (Cal/cm/°C)	0,53	0,12	0,94
Condutibilidade elétrica (%IACS)	61	14,5	100

O principal objetivo das ligas de alumínio é aumentar a resistência mecânica, sem detrimento das outras propriedades, de forma que novas ligas têm sido desenvolvidas, cada uma com combinação apropriada de propriedades adequadas a uma aplicação específica.



Vazamento de liga de alumínio



Tratamento do alumínio líquido

Ligas de Alumínio

4

■ Princípio das ligas

O alumínio fundido dissolve outros metais e substâncias metalóides, como o silício, que atua neste aspecto como metal. Quando o alumínio se resfria e se solidifica, alguns dos constituintes da liga podem ser retidos em solução sólida. Isto faz com que a estrutura atômica do metal se torne mais rígida. Os átomos podem ser visualizados como sendo arranjados em uma rede cristalina regular, formando átomos de tamanhos diferentes daqueles do elemento de liga principal.

O metal quente pode manter uma grande quantidade de elementos de liga em solução sólida do que quando frio. Consequentemente, quando do seu resfriamento, ele tende a precipitar o excesso dos elementos de liga da solução. Este precipitado pode ser na forma de partículas duras, consistindo de compostos intermetálicos, tais como: CuAl_2 ou Mg_2Si ; estes agregados de átomos metálicos tornam a rede cristalina mais rígida ainda e, conseqüentemente, endurecem a liga.

O sucesso comercial no desenvolvimento de ligas de alumínio data do descobrimento do "envelhecimento", em 1906 (ver 7.2).

O subseqüente uso de ligas resistentes tratadas termicamente, contendo uma pequena porcentagem de cobre e magnésio, tornaram praticável a fabricação de aviões totalmente em metal.

Investigações, durante a segunda década do Século 20, resultaram no primeiro de um outro grupo de ligas bem conhecido, que continha uma pequena adição de níquel. Este foi desenvolvido para componentes de motores, tais como, pistões que necessitavam manter a resistência em temperaturas elevadas.

O envelhecimento também foi descoberto para as ligas que continham magnésio e silício, conduzindo ao desenvolvimento do que são, atualmente, as principais ligas estruturais para aplicações gerais de engenharia.

Durante o mesmo período, trabalho pioneiro foi realizado no campo das ligas de alumínio-magnésio, amplamente utilizadas, atualmente, na indústria naval.

Outro importante emprego do alumínio, no período entre as duas guerras mundiais, incluiu o descobrimento do processo de

anodização e a introdução de uma utilização particular das ligas de fundição, que permitiram um maior aproveitamento das sucatas de aviões.

■ Elementos de liga

Um dos aspectos que tornam as ligas de alumínio tão atraentes como materiais de construção mecânica é o fato do alumínio poder combinar-se com a maioria dos metais de engenharia, chamados de elementos de liga, formando ligas e a partir dessa combinação ser possível obter características tecnológicas ajustadas de acordo com a aplicação do produto final. Naturalmente, uma só liga não pode combinar todas as propriedades ótimas para cada aplicação, sendo necessário conhecer-se as vantagens e limitações de cada uma delas para que se possa fazer a melhor seleção.

O grande alcance das ligas oferece à indústria uma grande variedade de combinações de resistência mecânica, resistência à corrosão e ao ataque de substâncias químicas, condutibilidade elétrica, usinabilidade, ductibilidade, formabilidade, etc.

Descrever a função de cada elemento de liga é difícil porque esta se altera,

não só com a quantidade dos elementos presentes na liga, mas, também, pela sua interação com outros elementos. Em geral, podemos dividir os elementos entre aqueles que conferem à liga a sua característica principal (resistência mecânica, resistência à corrosão, fluidez no preenchimento de moldes, etc.), os que têm função acessória, como o controle de microestrutura e das impurezas e traços que prejudicam a fabricação ou a aplicação do produto, os quais devem ser controlados no seu teor máximo.

Dependendo do grupo de ligas, um determinado elemento químico tem função como adição ou é indesejável como impureza. Um exemplo disso é o chumbo, que é adicionado às ligas de usinagem por seu efeito "quebra-cavacos", mas por ser um metal pesado sofre fortes restrições em produtos que entram em contato com alimentos. Na preparação de ligas, a partir da refusão de sucata e de retalhos de processo atenção especial deve ser dada à separação e à classificação da matéria-prima para que sejam controladas as contaminações do banho metálico.



Alumínio Líquido



Vazamento de Metal Líquido

Ligas de Alumínio

4

As ligas com base em alumínio não-ligado contêm entre 99,0% e 99,5% de alumínio, sendo o restante, principalmente, ferro e silício. Pode-se obter metal com pureza maior do que 99,5% de alumínio, até 99,99%, a um custo muito mais elevado, que é usado quando se requer alta condutividade elétrica ou elevada resistência à corrosão.

■ Composição química

A composição química do alumínio e suas ligas é expressa em percentagem, obedecendo à Norma ABNT NBR 6834, que abrange o sistema de classificação e a densidade nominal das ligas trabalháveis de alumínio e o sistema de classificação das ligas de fundição e de alumínio primário em lingotes para refusão.

■ Principais grupos de ligas trabalháveis

Uma liga muito utilizada (3003) contém 1,2% de manganês. Suas propriedades, principalmente a conformabilidade e a resistência à corrosão, são similares às do alumínio comercialmente puro, com propriedades mecânicas um pouco

maiores, particularmente quando deformadas a frio.

As mais resistentes são as ligas da série alumínio-magnésio, disponíveis em vários formatos como lâminas, chapas, perfis, tubos, arames, etc. Elas também possuem elevada resistência à corrosão e são facilmente produzidas e soldadas.

As ligas tratadas termicamente de média resistência, que contêm magnésio e silício, possuem elevada resistência à corrosão, mas perdem um pouco da sua trabalhabilidade - o que é irrelevante em seções estruturais retas, as quais são muito difundidas em aplicações estruturais.

As ligas tratadas termicamente de elevada resistência, que contêm cobre ou zinco como principais elementos de liga, são tão resistentes quanto o aço estrutural, mas necessitam de proteção superficial.

Estas ligas são utilizadas quando a maior relação resistência/peso for a principal consideração, como na aviação.

A tabela a seguir resume as mais importantes ligas de alumínio trabalháveis.



Antiligas



Processo de fundição contínua

Ligas de Alumínio

Ligas	Características	Aplicações
1050 1100	Alumínio comercialmente puro, muito dúcteis no estado recozido, indicadas 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, utensílios domésticos
1350	Alumínio 99,5% de pureza, com condutibilidade mínima de 61% IACS	Barramentos elétricos, peças ou equipamentos que necessitem alta condutibilidade elétrica
2017 2024 2117 2219	Ligas de AlCu, com elevada resistência mecânica, alta ductibilidade, média resistência à corrosão, boa usinabilidade	Peças usinadas e forjadas, indústria aeronáutica, transporte, máquinas e equipamentos
3003 3105	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, 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, embarcações
6053 6061 6063 6351	Ligas de AlMgSi, tratáveis termicamente com excelente resistência mecânica na tempera 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, embarcações
7075 7178	Ligas de AlZn, tratáveis termicamente, alta resistência mecânica, boa resistência à corrosão, boa conformabilidade	Peças sujeitas aos mais elevados esforços mecânicos em indústria aeronáutica, militar, máquinas e equipamentos, moldes para injeção de plástico e estruturas

■ Ligas de fundição

Diferentemente dos materiais trabalháveis, os quais estão sujeitos às variações dos processos de aquecimento e de resfriamento, as ligas de fundição adquirem suas propriedades na condição de fundida (em alguns casos com tratamento térmico) e, conseqüentemente, um grupo diferente de ligas tem sido formulado para a produção de peças fundidas.

As ligas empregadas nas aplicações gerais de engenharia freqüentemente contêm silício para melhorar suas características de fundição, tais como, fluidez, quando do vazamento, e resistência a trincas de contração, quando o metal quente se solidifica e se contrai.

O cobre também é freqüentemente utilizado como um elemento de liga, para proporcionar às propriedades mecânicas maiores dureza e resistência exigidas em serviço.

As ligas alumínio-magnésio apresentam maiores problemas na fundição, mas possuem boa resistência e ductibilidade, sendo amplamente utilizadas, particularmente em ambientes agressivos, como por exemplo em peças e acessórios de navios.

Uma pequena proporção de magnésio também está presente em algumas ligas em conjunto com silício para tornar a liga mais suscetível a tratamentos térmicos.

A tabela na página 22 resume as mais importantes ligas de alumínio utilizadas em fundição.



Análise de laboratório



Lingotes para fundição

Ligas de Alumínio

4

Ligas	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 e acessórios para indústria de máquinas e na construção civil
C355.0	Similar à 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
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, componentes arquiteturais 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
360.0	Excelente estanqueidade sob pressão e resistência à corrosão e muito boa usinabilidade. Fundição sob pressão	Recipientes e componentes de iluminação, peças externas de motores e utensílios domésticos

Ligas	Características	Aplicações
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
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, 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, componentes arquiteturais anodizados na cor cinza
518.0	Excelente usinabilidade e resistência à corrosão, alta ductilidade, baixa fluidez, 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 susceptível 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 e se retempera após soldagem, excelente usinabilidade e boa resistência à corrosão. Fundição em areia	Peças fundidas para conjuntos de brasagem

As propriedades mecânicas são determinadas através de ensaios rotineiros de amostras selecionadas como sendo representativas do produto. Estes ensaios mecânicos são normalmente destrutivos de modo que não devem ser efetuados em produtos acabados, pois alteram suas condições de funcionalidade. Obtém-se corpos-de-prova de amostras que tenham sido elaboradas do mesmo modo que o produto, exceto no caso de peças fundidas e forjadas. Os ensaios de peças fundidas são feitos em corpos-de-prova do mesmo vazamento do metal da peça fundida

e elaborados ao mesmo tempo. Com as peças forjadas, os ensaios, geralmente, são feitos em pedaços cortados do mesmo metal da peça. Os valores das propriedades mecânicas podem dividir-se em dois grupos: os de valores garantidos e os de valores típicos. Os valores garantidos são os valores mínimos estabelecidos pelas especificações. Os ensaios rotineiros garantem que todo o material obedece às especificações. Além disso, os ensaios rotineiros propiciam dados estatísticos para obter-se os valores típicos.

■ Limite de resistência à tração

O limite de resistência à tração é a máxima tensão que o material resiste antes de ocorrer sua ruptura. Calcula-se dividindo a carga máxima, em quilogramas-força, aplicada durante o ensaio pela seção transversal em milímetros quadrados do corpo-de-prova. O limite de resistência à tração do alumínio puro recozido é aproximadamente 48 MPa (4,9 kgf/mm²).

Este valor aumenta em função da liga, do trabalho a frio e do tratamento térmico (quando possível). A Figura 4 ilustra algumas curvas típicas de deformações.

■ Limite de escoamento

O limite de escoamento é a tensão em que o material começa a deformar-se plasticamente e que para o alumínio é de 0,2% do comprimento original

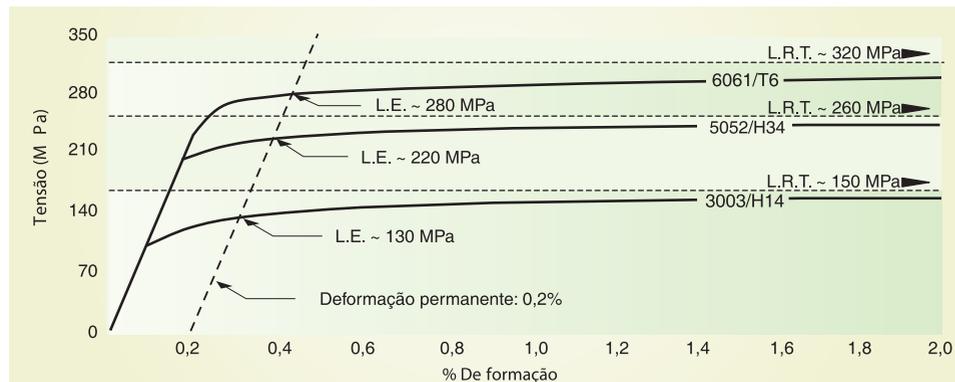


Figura 4 - Curvas típicas de deformação das ligas de alumínio



Alumínio para armazenamento de gases liquefeitos



Alumínio para indústria naval

Propriedades Mecânicas

5

medido em um corpo-de-prova normal. É importante definir este grau de deformação permanente porque as ligas de alumínio não possuem um limite de escoamento tão pronunciado como a maioria dos aços. O limite de escoamento do alumínio puro recozido é aproximadamente 12,7 MPa (1,3 kgf/mm²). O trabalho a frio e o tratamento térmico aumentam o limite de escoamento mais rapidamente do que a resistência à tração final.

■ Alongamento

O alongamento é expresso em porcentagem relativamente ao comprimento original medido em um corpo-de-prova normal e é calculado através da diferença de comprimentos medidos entre os pontos de referência, antes e após o ensaio de tração (Figura 5, página 26).

O alongamento é a indicação da ductilidade, a qual é relativamente menor para um corpo-de-prova mais fino do que para um mais espesso da mesma liga, sendo, portanto, necessário associar o alongamento com a espessura do corpo-de-prova.

■ Dureza

A dureza de um metal é definida como a medida da sua resistência à penetração. Existem várias maneiras de se determinar a dureza, sendo as mais comuns a Brinell, a Vickers e a Rockwell.

Todos os ensaios de dureza são empíricos, ainda que existam tabelas indicativas da relação entre as várias escalas de dureza, a "equivalência" de valores deve ser usada com reserva. Mais importante ainda é o fato de que não existe relação direta entre o valor de dureza e as propriedades mecânicas das várias ligas de alumínio.

Os elementos de liga aumentam em muito a resistência do alumínio, assim como o tratamento térmico e o endurecimento pelo trabalho a frio, porém a dureza é significativamente mais baixa do que a maioria dos aços.

■ Dureza Brinell

O ensaio de dureza Brinell nos metais não-ferrosos consiste em pressionar uma esfera de aço endurecido de 10 mm de diâmetro sobre a superfície do corpo-de-prova, com uma carga de 500 kgf, por 30 segundos, medindo-se, em seguida, o diâmetro da impressão.



Alumínio em estruturas espaciais



Liga para alta temperatura

Propriedades Mecânicas

5

O número ou índice de dureza Brinell (Bhn) é a relação entre a carga aplicada e a área da penetração, que se obtém medindo-se o diâmetro da impressão e comparando-o às tabelas-padrão da máquina.

■ Dureza Vickers

O ensaio de dureza Vickers usa um penetrador de diamante em forma de pirâmide, aplicado sobre o corpo-de-prova com carga conhecida, porém variável. Mede-se o comprimento da diagonal da impressão e, com base nas tabelas-padrão da máquina para a carga aplicada, obtém-se o número de dureza do diamante da pirâmide (DPH).

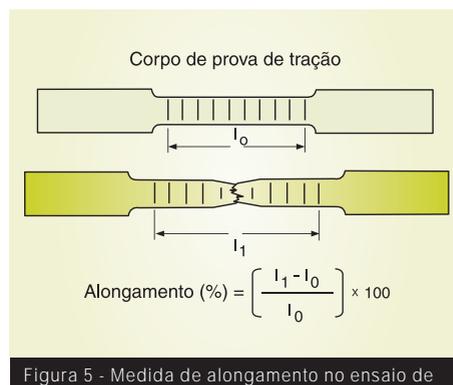


Figura 5 - Medida de alongamento no ensaio de

Nas ligas de alumínio, os números Bhn e DPH são muito similares.

■ Dureza Rockwell

O ensaio de dureza Rockwell usa vários penetradores e cargas.

As escalas Rockwell, cada uma associada com uma combinação de carga e penetrador, são necessárias para abranger o alcance de dureza de todos os metais. Entre os penetradores utilizados incluem-se esferas de aço com diâmetros de 1,58 mm a 12,7 mm, um diamante esfero-cônico e cargas de 15 kgf a 150 kgf.

O número ou índice de dureza Rockwell obtém-se diretamente da leitura da escala da máquina, que mede a profundidade da impressão. Devido à multiplicidade de escalas, o número de dureza Rockwell (R) deve ser especificado com a indicação da escala utilizada. Para as ligas de alumínio as escalas usuais são a Rockwell B (R_B) e F (R_F).

■ Módulo de elasticidade (*Young*)

O módulo de elasticidade do alumínio é de 7030 kg/mm². A adição de outros metais não altera este valor

consideravelmente, que pode atingir cerca de 7500 kg/mm². Desta forma, o módulo de elasticidade para o alumínio e suas ligas é aproximadamente a terça parte daquele do aço, o que é muito importante no que concerne à rigidez. O baixo módulo de elasticidade possui a vantagem de dar às estruturas de alumínio uma capacidade elevada de amortecer os golpes, assim como de reduzir as tensões produzidas pela variação de temperatura.

■ Tensão de fadiga

Quando uma tensão oscilante é aplicada por um número suficiente de vezes, embora possa ser bem inferior ao limite de resistência à tração do material, através de uma carga estática, o metal pode estar sujeito à falha por fadiga.

Em muitas ligas de alumínio não há um limite inferior de tensão abaixo do qual a fadiga nunca possa ocorrer, mas quanto menor a tensão maior o número de ciclos necessário para produzir falha. O limite de resistência à fadiga para testes normais é da ordem de 50 milhões de inversão de tensão e pode variar de 25% a 50% da tensão de ruptura conforme a liga.

■ Propriedades em temperaturas elevadas

O alumínio puro funde a 660°C e várias ligas possuem ponto de fusão abaixo deste. O metal puro e muitas das ligas perdem um pouco da sua resistência, ficando sujeitas a uma lenta deformação plástica conhecida como fluência, se permanecer sob tensão por longos períodos em temperaturas acima de 200°C.

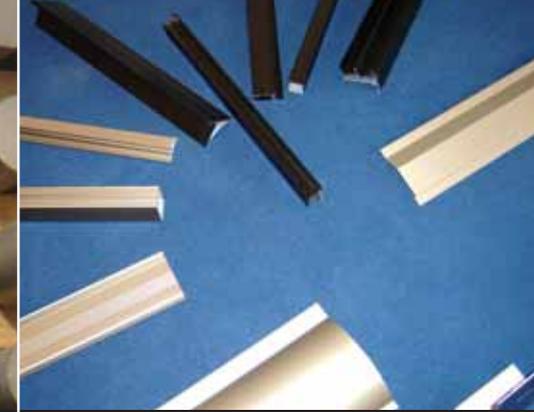
Entretanto, ligas desenvolvidas para serviços em altas temperaturas, tais como aquelas usadas em pistões, retêm suas propriedades adequadamente, funcionando satisfatoriamente dentro da faixa de temperatura de trabalho requerida.

■ Propriedades em baixas temperaturas

Ao contrário do aço doce, o alumínio não se torna frágil em temperaturas abaixo de zero e na realidade sua resistência aumenta sem perder a ductilidade. Esta é a característica que leva uma liga de AlMg ser escolhida na construção de tanques soldados para armazenar gás metano liquefeito, em temperaturas de -160°C.



Tarugos para extrusão



Perfis extrudados

Caracterização das propriedades mecânicas - Têmperas

6

Têmpera é uma condição aplicada ao metal ou liga, através de deformação plástica a frio ou de tratamento térmico, propiciando-lhe estrutura e propriedades mecânicas características.

Ainda que a resistência original possa ser aumentada agregando-se certos elementos, as propriedades mecânicas das ligas, com exceção de algumas ligas para fundição, não dependem apenas da sua composição química. Semelhante a outros metais, o alumínio e suas ligas endurecem e aumentam

sua resistência quando trabalhadas a frio, como, por exemplo, uma chapa laminada a frio.

Além disso, algumas ligas de alumínio possuem a valiosa característica de responder ao tratamento térmico, adquirindo resistências maiores do que as que podem ser obtidas apenas através do trabalho a frio. A Figura 6 ilustra o efeito do trabalho a frio nas propriedades mecânicas da liga 3003, uma liga típica entre as que não podem ser tratadas termicamente. Desta forma, as ligas de alumínio são divididas

convenientemente em dois grupos: as ligas "tratáveis" termicamente, propiciando-lhes maior resistência, e as ligas "não-tratáveis" termicamente, cuja resistência só pode ser aumentada através do trabalho a frio. As ligas tratáveis termicamente podem ser trabalhadas a frio e, posteriormente, sofrer o tratamento térmico para o aumento da resistência mecânica. As ligas não-tratáveis termicamente podem ser submetidas a tratamentos térmicos como de estabilização e recozimentos plenos ou parciais.

As têmperas são classificadas conforme a ABNT NBR 6835 e de acordo com os processos a que são submetidas:

- a) "F" - como fabricada: aplica-se aos produtos obtidos através de processos de conformação em que não se emprega qualquer controle especial sobre as condições térmicas ou de encruamento. Não se especificam limites para as propriedades mecânicas.
- b) "O" - recozida: aplica-se aos produtos acabados, no estado em que apresentam o menor valor de resistência mecânica.
- c) "H" - encruada: aplica-se aos

produtos em que aumentou-se a resistência mecânica por deformação plástica a frio e, que podem ou não, ser submetidos a um recozimento complementar para produzir amolecimento parcial ou a um processo de estabilização.

É utilizado para as ligas não tratáveis termicamente. A letra "H" deve sempre ser seguida de dois ou mais dígitos.

c) "W" - solubilizado: aplica-se somente a algumas ligas, as quais envelhecem naturalmente à temperatura ambiente após o tratamento de solubilização.

Esta classificação é especificada somente quando o período de envelhecimento natural, após o resfriamento brusco, é indicado. Por exemplo: "W" ½ hora.

d) "T" - tratada termicamente: aplica-se aos produtos que sofrem tratamento térmico com ou sem deformação plástica complementar, que produz propriedades físicas estáveis e diferentes das obtidas com "F", "O" e "H". A letra "T" deve ser seguida por um ou mais dígitos que indicam a sequência dos processos básicos realizados: tratamentos térmicos ou deformações plásticas.

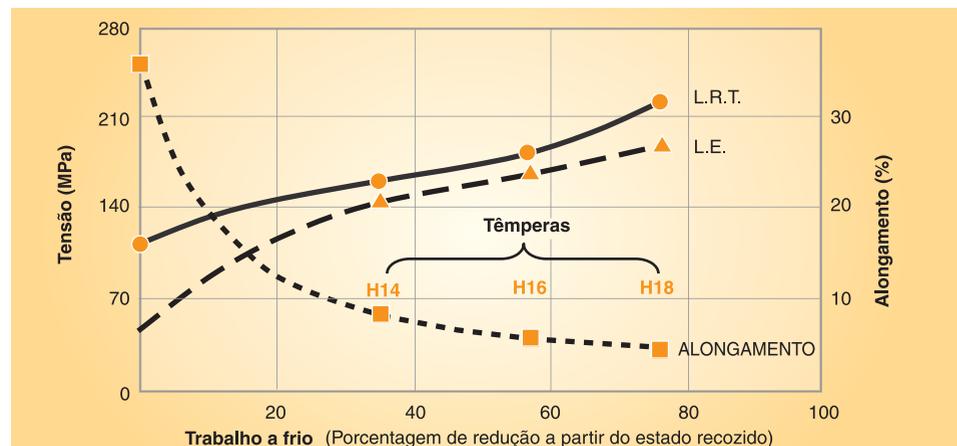


Figura 6 - Efeito do trabalho a frio nas propriedades mecânicas da liga 3003



Lingotes de alumínio primário



Lingotes de alumínio secundário

Tratamentos Térmicos

7

Os tratamentos térmicos têm por objetivo remover ou reduzir as segregações, produzir estruturas estáveis e controlar certas características metalúrgicas, tais como: propriedades mecânicas, tamanho de grão, estampabilidade, etc. Para maiores detalhes sobre tratamento térmico, consultar o “Guia de tratamento térmico das ligas de alumínio”. Os principais tipos de tratamento térmico são:

■ Homogeneização

É um tratamento térmico realizado em temperaturas ao redor de 500°C, dependendo da liga, que tem por objetivo remover ou reduzir as segregações, produzir estruturas estáveis e controlar certas características metalúrgicas, tais como: propriedades mecânicas, tamanho de grão, estampabilidade, etc. No caso da laminação a quente este

tratamento pode ser executado concomitantemente ao aquecimento das placas.

■ Solubilização / envelhecimento

Maior resistência mecânica é obtida nas ligas que respondem a esse tratamento térmico. Primeiramente, o metal é aquecido uniformemente até cerca de 500°C, sendo que a temperatura exata depende da liga em particular. Isto ocasiona a dissolução dos elementos de liga na solução sólida (tratamento de solução). Então, segue-se um resfriamento rápido, geralmente em água, que previne temporariamente se precipitem. Esta condição é instável e, gradualmente, os constituintes precipitam-se de maneira extremamente fina (somente visível através de potentes microscópios), alcançando, assim, o máximo efeito de endurecimento (envelhecimento). Em algumas ligas isto ocorre, espontaneamente, depois de alguns dias (envelhecimento natural), enquanto que em outras ocorre através de reaquecimento por algumas horas a cerca de 175°C (tratamento de precipitação).

As chapas são normalmente tratadas num banho de sal fundido, o qual possui alta taxa de calor e fornece suporte ao metal, prevenindo-o quanto a possíveis deformações em altas temperaturas. Fornos com circulação de ar forçado são geralmente utilizados para perfis extrudados, tubos, forjados e peças fundidas.

Os efeitos de um tratamento térmico completo incluem não somente um aumento substancial no limite de resistência à tração, mas também na redução da ductilidade. Conseqüentemente, é usual submeter-se o material a qualquer operação de conformação severa, que seja necessária, antes do tratamento térmico. A maior parte das conformações pode ser feita antes do tratamento de solução, com um acerto posterior para corrigir quaisquer distorções não previstas que possam ocorrer durante o resfriamento, porém, preferencialmente a conformação deve ser feita imediatamente após o tratamento de solução, antes do envelhecimento. Quando for difícil esta conciliação, é possível retardar o envelhecimento mantendo-se os componentes

resfriados, uma técnica frequentemente aplicada em rebites para a indústria de aviação.

■ Recozimento pleno

O recozimento pleno é um tratamento térmico em que se consegue as condições de plasticidade máxima do metal (têmpera O), correspondendo a uma recristalização total do mesmo.

No processo de recozimento, o metal é aquecido, geralmente na faixa de 350°C, suficientemente para permitir o seu rearranjo numa nova configuração cristalina não deformada. Este processo de recristalização remove o efeito do trabalho a frio e deixa o metal numa condição dúctil. O recozimento bem sucedido caracteriza-se somente pela recristalização primária. Deve-se evitar superaquecimentos, já que isto causa a coalescência e o crescimento exagerado dos grãos, também chamada de recristalização secundária, com a conseqüente tendência de ser desenvolvido o defeito “casca de laranja” nos trabalhos subsequentes, principalmente de estampagem. A Figura 7, página 32, mostra a curva de recozimento de material laminado - 1100H18.



Preparação da calha de vazamento



"Corrida" do metal líquido

Tratamentos Térmicos

7

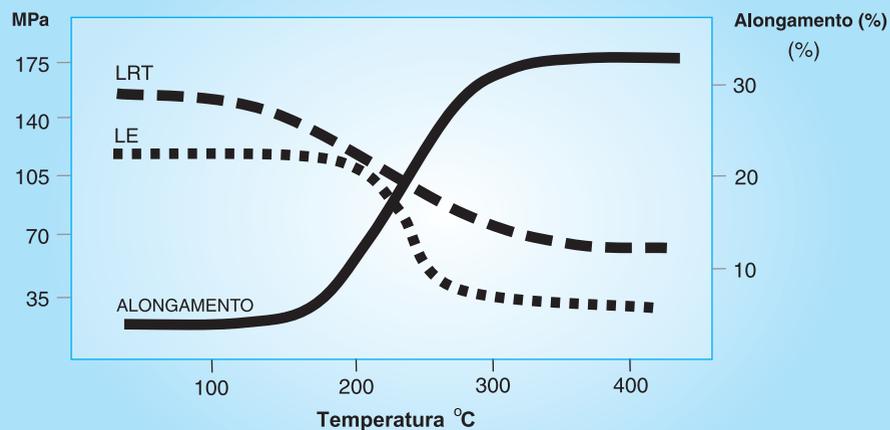


Figura 7 - Curva de recozimento de material laminado - 1100H18

Para materiais recozido plenamente (totalmente recristalizado) é aconselhável a obtenção de tamanho de grão no intervalo de 20 a 100 micrômetros de diâmetro (número 8,0 a 3,5), para que se obtenha peças de boa qualidade, após estampagem, dobramento ou extrusão por impacto. Caso o tamanho de grão esteja fora desta faixa pode ocorrer o rompimento da peça ou o surgimento do defeito "casca de laranja", o que pode exigir operação de polimento adicional para restituir-lhe superfície lisa, às vezes com grandes dificuldades.

Convém observar que o tamanho de grão em micrômetros é inversamente proporcional ao número do mesmo. A Figura 8 mostra o comportamento dos grãos em função do encruamento e da recristalização do alumínio e suas ligas no processo de laminação.

■ Recozimento parcial

Este tipo de tratamento térmico corresponde a uma recristalização parcial do material, permitindo a obtenção de têmperas com alongamentos maiores, o que favorece,

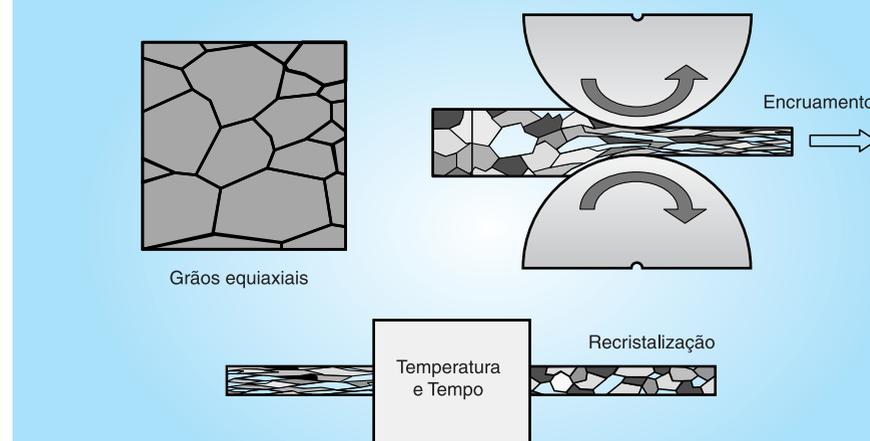


Figura 8 - Granulagem em função do encruamento e da recristalização

em alguns casos, o processo de estampagem, conferindo ao produto final uma maior resistência mecânica. Pode ser realizado entre as temperaturas de 200°C a 280°C, dependendo da porcentagem de redução aplicada na laminação a frio.

■ Estabilização

Nas ligas AlMg (série 5XXX) ocorre uma perda de propriedades mecânicas do material deformado a frio, após alguns dias em temperatura ambiente.

Para contornar esse inconveniente,

aplica-se uma porcentagem de deformação mais alta do que a necessária para atingir-se determinado nível de propriedades mecânicas (determinada com base em uma curva de encruamento para material estabilizado) e, depois, aquece-se o material em temperaturas ao redor de 150°C, para acelerar a recuperação (têmperas H3X).

Este tratamento serve para aliviar a tensão residual dos materiais encruados e para aumentar a resistência à corrosão das ligas de AlMg.

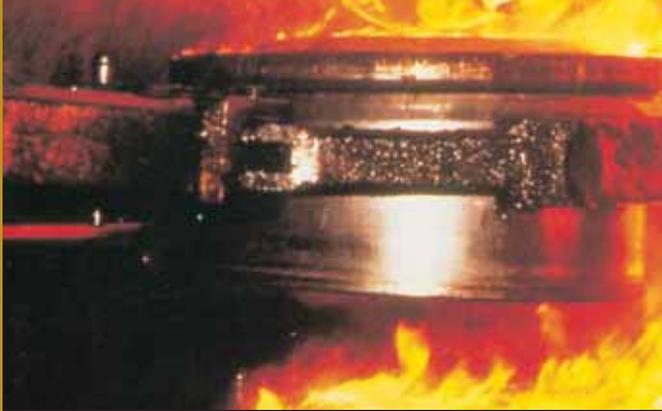
O alumínio é facilmente fabricado por todos os processos metalúrgicos usuais e está disponível ao engenheiro em uma ampla variedade de formas comparadas a outros materiais. As operações que envolvem a transformação do alumínio, desde o metal virgem ou lingote de liga até as formas usuais requeridas pela indústria, podem ser convenientemente agrupadas sob várias condições (Figura 9).

A facilidade pela qual o alumínio pode ser fabricado em várias formas é uma de suas mais importantes vantagens. Frequentemente, pode competir com grande sucesso com materiais mais baratos. Atualmente, depois do ferro, é o material mais utilizado na fabricação de peças em geral.

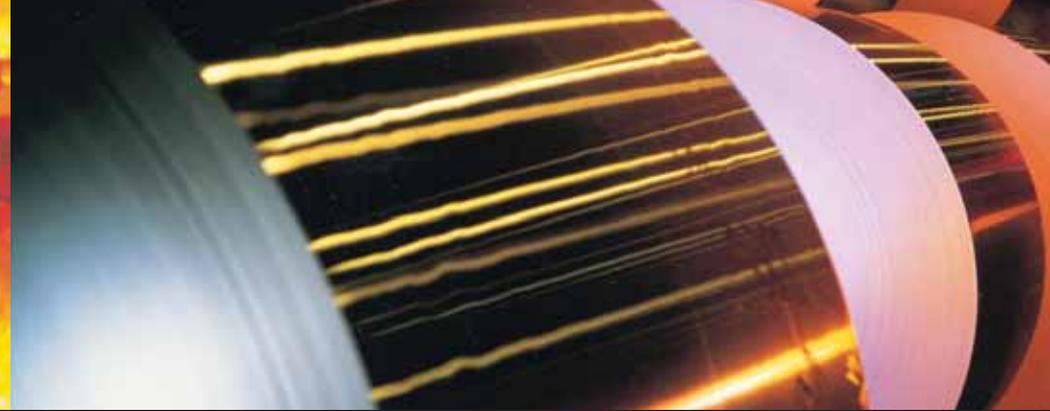
O alumínio pode ser fundido por qualquer método conhecido; pode ser laminado em qualquer espessura até folhas mais finas que as de papel; chapas de alumínio podem ser estampadas, cunhadas, repuxadas e corrugadas. O alumínio pode ser extrudado numa infinidade de perfis de seção transversal constante e de

grande comprimento. O metal pode ser, também, forjado ou impactado.

No forjamento, um bloco, tarugo ou perfil é aquecido a aproximadamente 500°C e pressionado contra uma matriz bipartida, na qual foi escavada a forma da peça em negativo. O metal escoá, preenchendo a cavidade formada pelo ferramental, tomando a forma da peça.



Processo de forjamento de rodas de alumínio



Folha laminada

Processos Industriais

8

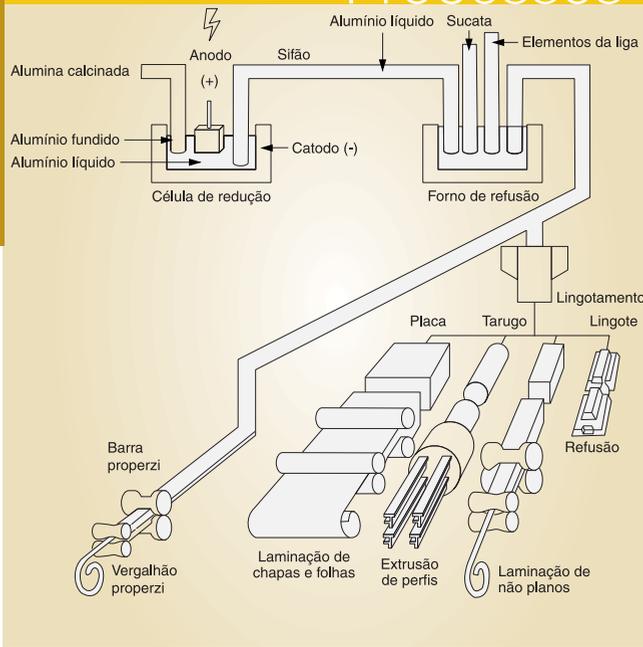


Figura 9 - Fluxograma de obtenção do alumínio e de produtos semi-acabados

Arames de alumínio trefilados, a partir de vergalhões redondos, dão origem aos fios de alumínio que, após serem encordoados, transformam-se em cabos condutores, que também podem ter uma alma de aço. Tubos de alumínio podem ser trefilados até minúsculas dimensões. Praticamente, não há limitação para as diversas formas em que o metal pode ser extrudado.

A facilidade e a velocidade com que o alumínio pode ser usinado é um dos importantes fatores que contribuem para o baixo custo das peças acabadas em alumínio. O metal pode ser curvado, fresado, perfurado ou trabalhado de outras maneiras, nas máximas velocidades que a maioria das máquinas pode atingir. Uma outra vantagem de sua flexibilidade em usinagem é permitir que as barras e os vergalhões de alumínio sejam utilizados na manufatura de peças em tornos automáticos de alta velocidade.

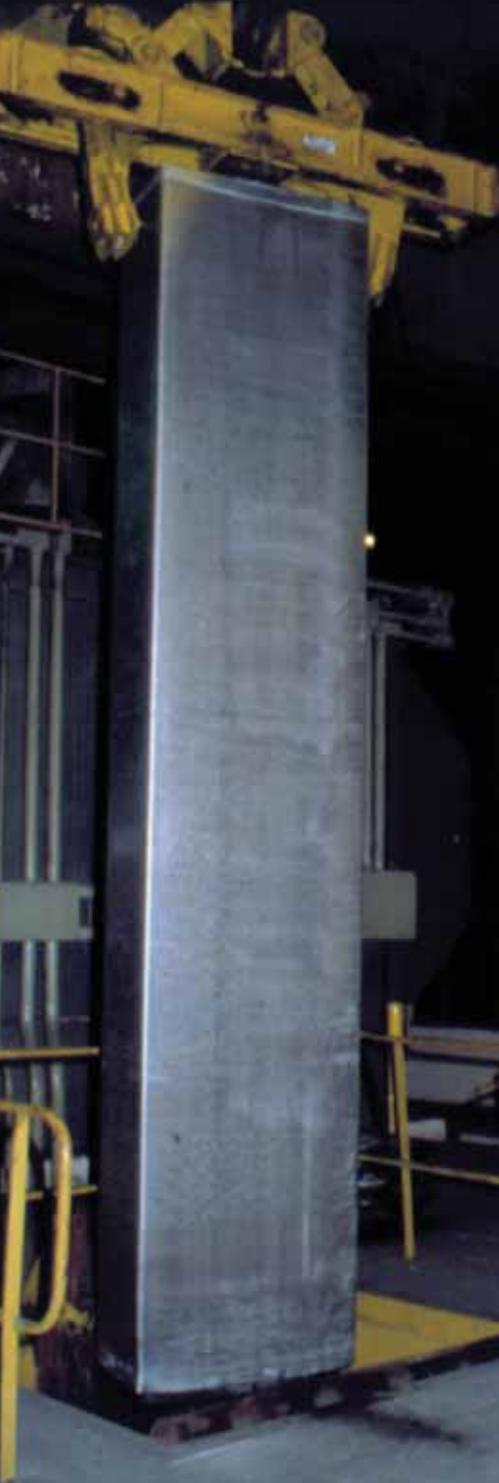
Praticamente, todos os métodos de união são aplicáveis ao alumínio - rebitagem, soldagem, brasagem e colagem - uma grande variedade de junções mecânicas do alumínio simplifica a montagem de muitos produtos. Adesivos para colar peças de

alumínio são largamente empregados, particularmente em uniões de componentes aeronáuticos e quadros de bicicletas.

Para a maioria das aplicações o alumínio não necessita de revestimentos de proteção. Acabamentos mecânicos, tais como: polimento, jateamento com areia ou escovamento satisfazem a maioria das necessidades. Em muitos casos a superfície acabada fornecida é totalmente adequada, dispensando tratamentos posteriores.

Onde a superfície pura do alumínio não é suficiente ou onde a proteção adicional é requerida, qualquer acabamento superficial da grande variedade existente pode ser aplicado. Acabamentos químicos, eletroquímicos ou pintados são utilizados. Muitas cores são disponíveis para ambos acabamentos químico e eletroquímico. Os acabamentos pintados, laqueados ou esmaltados podem ser efetuados em quaisquer cores. Esmaltes vítreos foram desenvolvidos para o alumínio, o qual também pode sofrer deposição eletrolítica de outro metal.

Extrudados e laminados de alumínio, devido à grande capacidade de



Placa para laminação a quente



Bobinas laminadas

Processos Industriais

8

resistência à corrosão e superfícies regulares contínuas, são excelentes bases para pinturas de alta qualidade. O pré-tratamento químico, além da aplicação de cura térmica na pintura de alta qualidade, assegura um acabamento sem trincas, bolhas ou desfolhamentos. Danos acidentais aos produtos de alumínio pintados não ocasionarão áreas de oxidação, se houver um pré-tratamento adequado. Em áreas altamente industrializadas pode ocorrer alguma mudança de cor devido aos contaminantes atmosféricos escolhendo-se então alternativas de cores menos sensíveis ao efeito.

A manutenção adequada pode aumentar a vida útil consideravelmente, pois até mesmo os mais sofisticados veículos automotivos requerem, ocasionalmente, lavagem e polimento para que mantenham suas aparências originais.

A sucata do alumínio que foi utilizada numa longa vida útil ou retalhos que sobram de processos industriais são totalmente reciclados, com um consumo de energia insignificante se comparado ao da energia consumida para a produção do metal primário e proporcionando um enorme mercado

de trabalho, a maioria informal. Quando utilizada numa usina de redução de alumina, pode-se afirmar que seu consumo de energia é negativo, por ser utilizada no resfriamento do alumínio líquido produzido. O valor da sucata chega a ser da mesma ordem de grandeza do lingote primário, impossibilitando que se destine ao lixo. Cerca de 20% do alumínio utilizado no mundo provém da reciclagem.

■ Laminação

É um processo de transformação mecânica que consiste na redução da seção transversal por compressão do metal, através da passagem entre dois cilindros de aço ou ferro fundido com eixos paralelos que giram em torno de si mesmos. Tal seção transversal é retangular e refere-se a produtos laminados planos de alumínio e suas ligas, compreendendo desde chapas grossas com espessuras de 150 mm, usadas em usinas atômicas, até folhas com espessura de 0,005 mm, usadas em condensadores.

Os principais tipos de produtos laminados são: chapas planas ou bobinadas, folhas e discos. Para

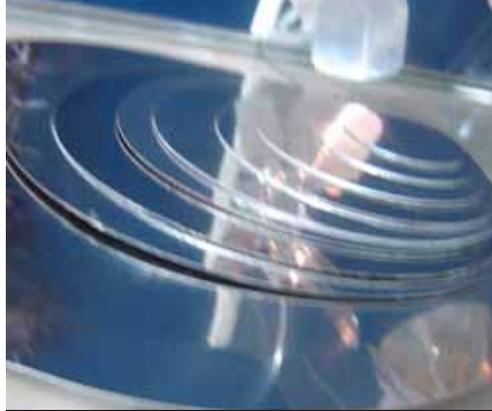
maiores detalhes, consultar o “Guia técnico do alumínio - Laminação”.

Existem dois processos básicos de laminação de alumínio: laminação a quente e laminação a frio.

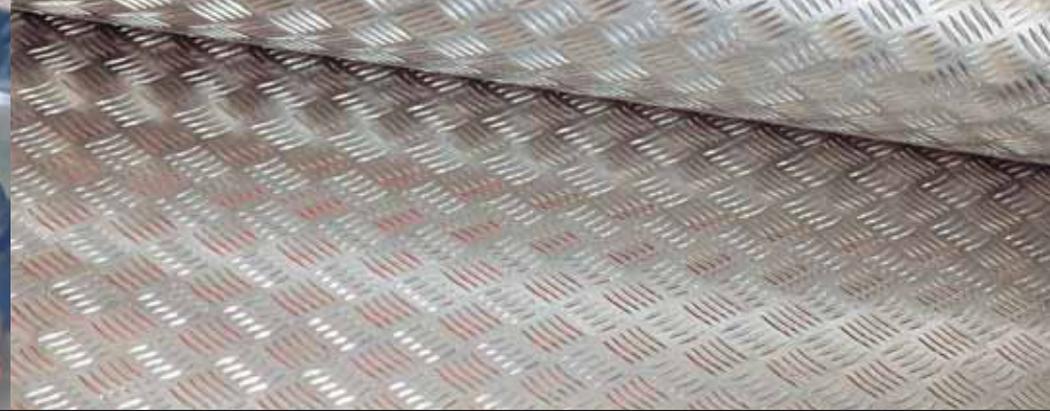
■ Laminação a quente

É o processo onde se consegue grandes reduções da seção transversal com o metal a uma temperatura mínima igual à temperatura de recristalização do alumínio, aproximadamente 350°C. A ductilidade do metal a temperaturas desta ordem é máxima e ocorre recristalização dinâmica na deformação plástica.

A matéria-prima inicial para tal processo é uma placa, cujo peso varia de alguns quilos até 15 toneladas, produzida na refusão, através de fundição semicontínua, em molde com seção transversal retangular, a qual assegura solidificação rápida e estrutura metalúrgica homogênea. A placa pode, então, sofrer uma usinagem superficial (faceamento) para remoção da camada de óxido de alumínio, dos grãos colunares (primeiro material solidificado) e das impurezas provenientes da fundição.



Discos para estampagem de utensílios



Chapa para pisos

Processos Industriais

8

Posteriormente, a placa é aquecida até tornar-se semiplástica.

A laminação a quente se processa em laminadores reversíveis duos (dois cilindros) ou quádrus (dois cilindros de trabalho e dois de apoio ou encosto). O material laminado é deslocado, a cada passada, por entre os cilindros, sendo que a abertura dos mesmos define a espessura do passe. A redução da espessura por passe é de aproximadamente 50% e depende da dureza da liga que está sendo laminada. No último passe de laminação, o material apresenta-se com espessura ao redor de 6 mm, sendo enrolado ou cortado em chapas planas, constituindo-se na matéria-prima para o processo de laminação a frio.

Concepções mais modernas de processo de laminação a quente podem apresentar em linha, após o desbastamento em um laminador reversível, uma cadeia de vários laminadores, denominada de "tandem", que reduz a espessura do material ao redor de 2 mm.

Uma unidade de laminação a quente consiste não só do laminador, mas, também, de uma refusão

(unidade de fundição de placas), uma bateria de fornos de pré-aquecimento de placas, bem como tratamentos térmicos de homogeneização (distribuição mais homogênea dos elementos microconstituintes químico-metalúrgicos), tesouras rotativas e guilhotinas para cortes laterais e longitudinais do material laminado, serras para cortes das extremidades e faceadeira para usinagem das superfícies.

■ Laminação a frio

É o processo de laminação realizado a temperaturas bem inferiores àquela de recristalização do alumínio. A matéria-prima é aquela oriunda da laminação a quente.

A laminação a frio é executada, geralmente, em laminadores quádrus, reversíveis ou não, sendo este último o mais empregado.

O número de passes depende da espessura inicial da matéria-prima, da espessura final, da liga e da têmpera do produto desejado.

Os laminadores estão dimensionados para reduções de seções entre 30% e 70% por passe, dependendo, também,

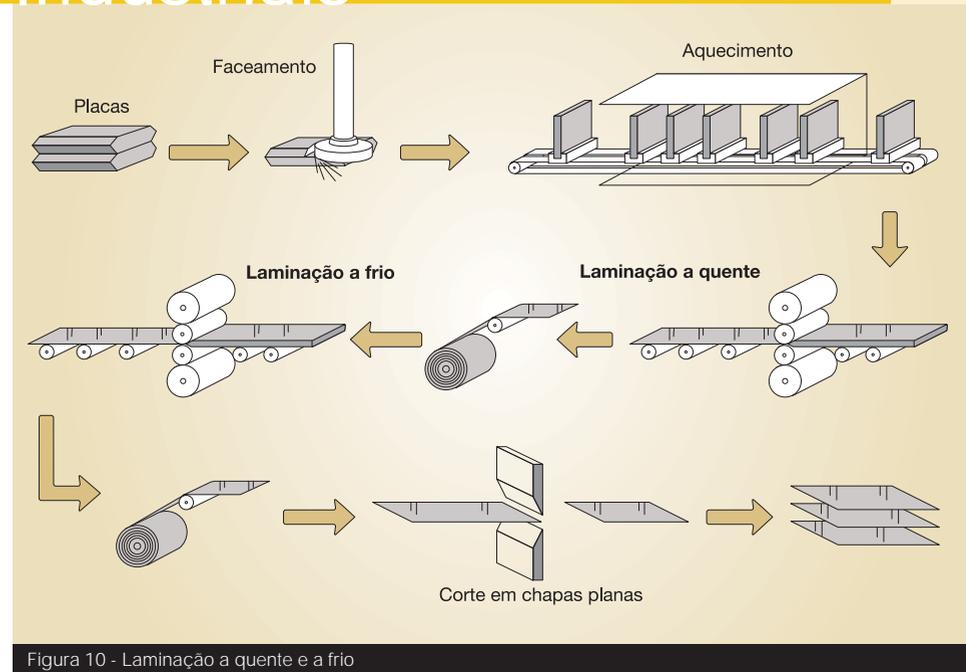


Figura 10 - Laminação a quente e a frio

das características do material em questão.

Na laminação a frio utilizam-se dois recursos: tensões avante e a ré, que aliviam o esforço de compressão exercido pelos cilindros ou aumentam a capacidade de redução por passe. Esse recurso é quase que responsável pela redução da espessura no caso de

laminação de folhas finas, onde, praticamente, os cilindros de laminação estão em contato sem abertura perceptível. A Figura 10, mostra um processo esquemático de laminação a quente e de laminação a frio.

A deformação a frio confere encruamento ao alumínio, ou seja, aumento dos limites de resistência a



Perfis extrudados para uso industrial



Extrusão de perfis

Processos Industriais

8

tração e de escoamento com diminuição do alongamento.

Recozimentos intermediários podem ser realizados para amolecimento (recristalização) e para facilitar posterior laminação ou determinar temperaturas específicas.

Laminadores mais sofisticados possuem sistemas computadorizados de controle de espessura e de planicidade.

Outro processo atualmente muito utilizado é o de fundição contínua, o qual elimina a etapa de laminação a quente, onde o alumínio é solidificado entre dois cilindros refrigerados internamente por água, que giram em torno de seus eixos, produzindo uma chapa com seção retangular e espessura aproximada de 6 mm. Essa chapa, posteriormente, é enrolada, obtendo-se assim um produto similar àquele obtido por laminação a quente, mas com estrutura bruta de fusão, bastante refinada pela alta eficiência do refinador de grão utilizado no vazamento.

A laminação a frio produz metal com bom acabamento superficial e preciso controle dimensional. Os produtos laminados a frio mais finos (folhas),

com espessura de até 0,005 mm, são produzidos em laminadores específicos, que concebem processo de laminação de folhas dupladas com lubrificação entre elas.

Produtos laminados de alumínio são utilizados em todas as operações metalúrgicas usuais de chapas, incluindo aquelas que exigem metal de excepcional ductilidade.

Um destes processos é a estampagem profunda, na qual um disco é pressionado por um punção contra uma matriz, como acontece com os utensílios domésticos e latas de bebidas. Outro processo onde o alumínio se comporta muito bem é a extrusão por impacto, na qual uma pastilha sofre um súbito impacto através de um punção provocando o seu estiramento, como é o caso dos tubos de remédio e de aerossóis.

■ Extrusão

Extrusão é um processo de transformação mecânica no qual um tarugo de metal é reduzido em sua seção transversal quando forçado a fluir através do orifício de uma matriz (ferramenta), sob o efeito de altas

pressões. É similar a uma pasta de dente sendo expelida para fora de seu tubo.

Em vista das grandes forças envolvidas, a maior parte dos metais são extrudados a quente, isto é, quando a resistência à deformação é baixa e a temperatura é superior à de recristalização do metal..

O processo de extrusão é utilizado comercialmente desde o final do século XIX. O primeiro grande incremento de utilização de perfis extrudados ocorreu durante a Segunda Guerra Mundial, quando perfis extrudados de alumínio foram produzidos em grande quantidade para utilização em componentes aeronáuticos.

A introdução de ligas de alumínio intermediárias, tratáveis termicamente na própria prensa de extrusão e de muito boa extrudabilidade, permitiu uma rápida expansão dessa indústria no pós-guerra. Hoje, sistemas de fachada cortina, componentes de carrocerias de ônibus e caminhões, portas e janelas, estruturas aeroespaciais e centenas de outros itens são fabricados a partir de perfis de alumínio extrudado.

Prensas hidráulicas horizontais com

capacidade de força de 1.200 a 2.400 toneladas são usadas para produzir a maior parte dos extrudados de alumínio utilizados no mundo.

Prensas com capacidades de até 15.000 t são utilizadas para empurrar perfis de grande dimensão ou complexidade geométrica, bem como perfis produzidos com ligas de alta resistência mecânica.

No outro extremo, prensas de 500 t, por exemplo, são utilizadas para pequenas extrusões, podendo produzir, economicamente, perfis bem mais leves.

O processo de extrusão necessita de equipamentos auxiliares, tais como: fornos para aquecimento de tarugos e fornos de tratamento térmico de perfis, além de equipamentos para esticamento, transporte e corte dos produtos extrudados.

Os principais tipos de produtos extrudados são: perfis sólidos, tubulares e semi-tubulares. Para maiores detalhes, consultar o "Guia técnico do alumínio - Extrusão".

Dois tipos de processos de extrusão são os mais usuais: extrusão indireta ou inversa e extrusão direta.



Versatilidade no processo de extrusão de perfis



Impactados para indústria de cosméticos e farmacêutica

Processos Industriais

■ Extrusão Indireta ou Inversa

No processo de extrusão indireta (Figura 11), o êmbolo é furado e ligado à matriz, enquanto a outra extremidade do recipiente é fechada.

Freqüentemente, o êmbolo e a matriz são mantidos estacionários, e o recipiente movimentado com o tarugo. Na extrusão indireta, por não haver movimento entre o recipiente e o tarugo, as forças de atrito são muito menores e as pressões requeridas para extrusão são bem menores do que na extrusão direta.

Existe, contudo, uma limitação pelo fato da extrusão indireta utilizar um êmbolo furado que restringe as cargas possíveis de serem aplicadas.

■ Extrusão direta

No processo de extrusão direta (Figura 12), o tarugo é colocado em um recipiente e impelido através da matriz por ação de um êmbolo. Um "disco de pressão" é colocado no fim do êmbolo em contato com o tarugo.

O processo de extrusão é o que oferece maior versatilidade no desenvolvimento de produtos, quando se trata de projetar peças que tenham uma seção transversal constante.

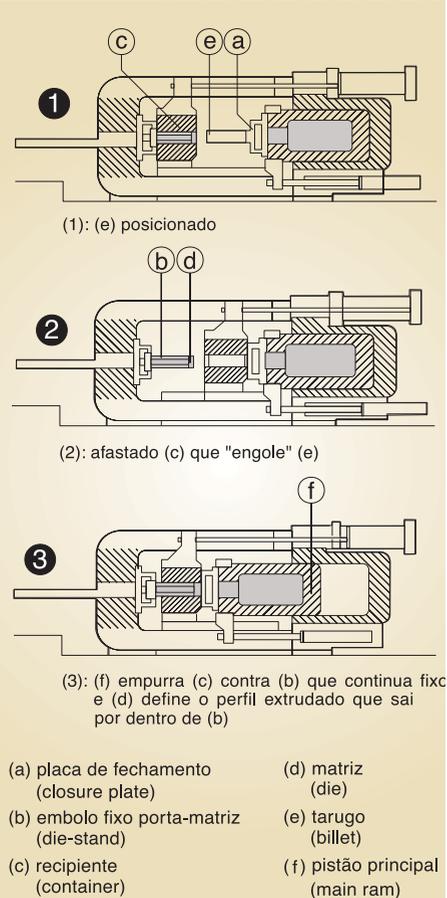


Figura 11 - Esquema de extrusão indireta ou inversa

A fabricação que por outros processos requer o encaixe de várias peças pode ser simplificada utilizando um único perfil extrudado.

Os perfis extrudados de grande

comprimento relativamente às suas seções transversais são, geralmente, cortados em comprimentos menores compondo, assim, máquinas operatrizes, carcaças de bombas

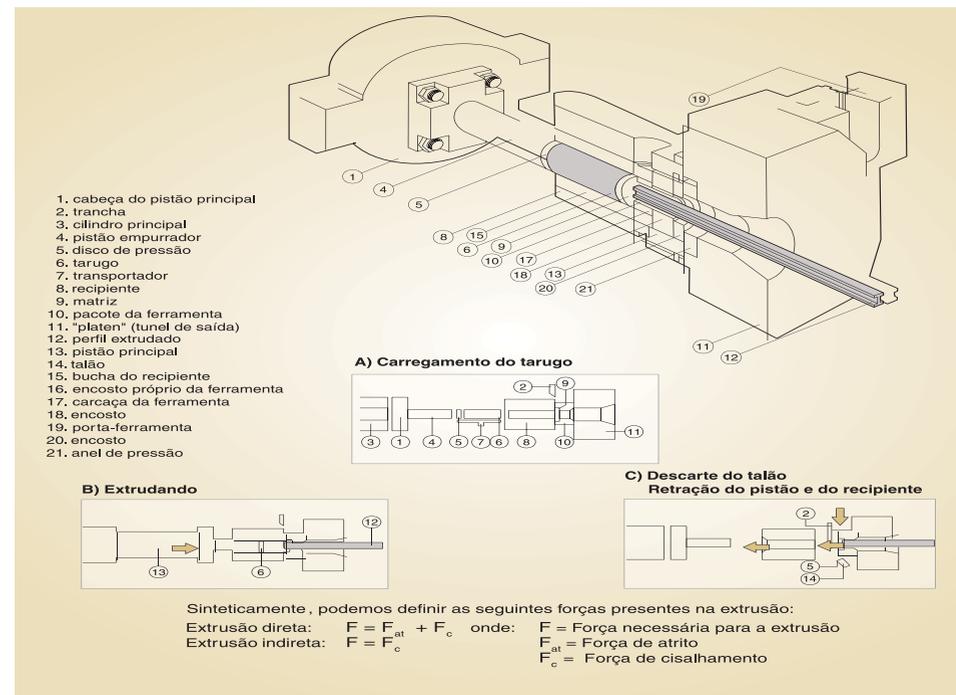


Figura 12 - Processo esquemático de extrusão direta



Arame trefilado de alumínio

Processos Industriais

8

e motores, dissipadores de calor, equipamentos elétricos etc., competindo com vantagem sobre peças fundidas, forjadas e usinadas. Podem também ser forjados e usinados, se necessário, partindo de um produto extrudado cuja forma seja a mais próxima possível do produto final.

A variedade de perfis que pode ser extrudada em alumínio é praticamente ilimitada. As vantagens dessa característica incluem a redução de custos, através da eliminação de operações posteriores de usinagem ou junção, bem como a possibilidade de obtenção de seções mais resistentes através da adequada eliminação de juntas frágeis e de uma melhor distribuição de metal.

No setor de transportes, os perfis de alumínio são utilizados para estruturar laterais e coberturas de ônibus e caminhões, substituindo com vantagem as antigas carrocerias de madeira e chaparias de aço, com peso muito menor propiciando economia de combustível e maior capacidade de carga. Tubos de alumínio são utilizados em estruturas espaciais permitindo a cobertura de grandes vãos com o mínimo de apoios.

O maior mercado dos produtos extrudados em todo o mundo é o da fabricação de esquadrias para a construção civil, merecendo uma análise especial. No Brasil, o alumínio participa com apenas 12%, ao lado da madeira, contra 75% de participação do ferro. No continente europeu, o mercado de esquadrias está dividido em três partes praticamente iguais: alumínio, madeira e plástico (derivado do petróleo), praticamente sem nenhuma participação do ferro. O quadro da pág. 45 compara os produtos utilizados no mercado brasileiro.

■ Trefilação

Trefilação é um processo de transformação por meio de deformação mecânica a frio, no qual se faz fluir através de uma matriz, por esforço de tração, um produto no qual se deseja diminuir a seção transversal. Basicamente é um processo análogo ao da laminação, aumentando as propriedades mecânicas, diminuindo as tolerâncias dimensionais, melhorando o acabamento superficial e produzindo bitolas mais difíceis de se obter apenas por extrusão.

Normalmente, são trefiladas tanto

ligas não tratáveis (obtendo-se os maiores aumentos de propriedades mecânicas) como ligas tratáveis termicamente (onde o maior objetivo é a precisão dimensional).

Dois sistemas de trefilação são utilizados: a trefilação em bancos para barras e tubos de maior diâmetro e a trefilação em blocos rotativos para dimensões menores de vergalhões e tubos. Nos vergalhões e fios a ferramenta de trefilação chama-se fieira. A trefilação de tubos pode ser feita "em vazio", utilizada para a calibração somente do diâmetro externo, a trefilação com mandril flutuante e a trefilação com mandril fixo, preso a uma barra. O formato usual da fieira é como o da Figura 13, tanto para vergalhões como para tubos, com ângulo de entrada e saída de cerca de 60-70° e uma parte cilíndrica ou cônica próxima à saída, que tem a função de dirigir o material que flui do cone de trabalho e calibrar a seção final.

Os materiais utilizados para fieiras e pinos são aços para trabalho a frio de alta resistência, metal duro e diamante, no caso de seções com menos de 3 mm de diâmetro. A lubrificação durante a trefilação é

primordial para diminuir o coeficiente de atrito existente e diminuir o desgaste das fieiras e pinos, agindo como refrigerante do processo. As velocidades de trefilação variam de 5 a 60 m/min em bancos e de 20 a 50 m/min em blocos rotativos. Fazem parte do conjunto de equipamentos uma

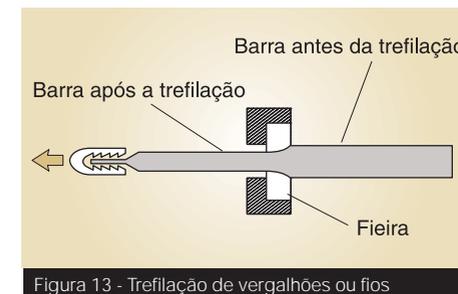


Figura 13 - Trefilação de vergalhões ou fios

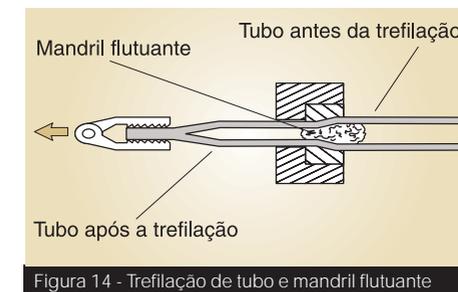
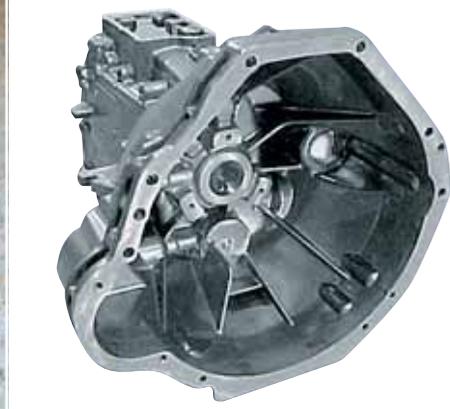


Figura 14 - Trefilação de tubo e mandril flutuante



Pistões de alumínio forjado



Caixa de câmbio de alumínio fundido



Roda de alumínio forjado



Pistões e blocos de motores

Processos Industriais

8

ponteadeira e uma endireitadeira de barras ou tubos. Nas Figuras 13 e 14, na página 45, são esquematizadas a

trefilação de vergalhões ou fios e a trefilação de um mandril flutuante, que é a mais utilizada no alumínio.

Quadro comparativo de Alumínio / Madeira / Ferro			
Características	Alumínio ¹	Madeira ¹	Ferro ¹
Peso específico (kg/dm ³)	2,7	0,9	7,8
Estanqueidade (vedação a vento, poeira e chuva)	Ótima ² (testes de pressão normalizados conforme ventos da região)	Ruim (não resiste a testes)	Média
Vida e produto	Altíssima (ideal em qualquer região)	Média (vida curta em regiões úmidas)	Baixa (vida curta em regiões úmidas)
Manutenção	Nenhuma ² (somente limpeza)	Frequente (pintura cada 2 anos, verniz anual)	Frequente (pintura anual)
Consciência ecológica I	A bauxita (minério de alumínio) é abundante no Brasil	A madeira (árvore) é o oxigênio do planeta (contribua para destruir o mínimo necessário)	O minério de ferro é abundante no Brasil
Consciência ecológica II	O alumínio é eterno (pode ser reciclado)	A madeira apodrece (biodegradável)	O ferro oxida mais facilmente (pode ser reciclado)
Funcionalidade ³	Alta ²	Baixa	Média
Nobreza do produto ⁴	Nobre	Mais nobre	Menos nobre

NOTAS, ver página 47

■ Forjamento

O alumínio é o metal mais utilizado para forjamento depois das ligas ferrosas, sendo utilizado na indústria aeronáutica, bélica, transportes (rodas, eixos, longarinas, bielas, peças de bicicletas, motos, etc.), máquinas/equipamentos (rotores, engrenagens, pistões, etc.). Geralmente, são utilizadas para forjamento as ligas trabalháveis tratáveis termicamente (endurecidas por precipitação), tipo AlMgSi, AlCuMg, AlZnMg e AlZnMgCu, sendo as mais usadas a 6351 e a 7075.

Normalmente, são utilizadas como

materia-prima peças extrudadas ou laminadas e, também, perfis extrudados com características geométricas semelhantes à da peça a ser forjada.

A temperatura de forjamento das ligas de alumínio situa-se numa faixa entre a temperatura de recristalização e a temperatura de solubilização do material.

Chama-se de forjamento isotérmico àquele onde as temperaturas da peça e da matriz são iguais. Se a temperatura de forjamento ultrapassar a de solubilização haverá fusão nos contornos de grãos. Se for muito baixa pode levar ao surgimento de trincas, ao

NOTAS (Quadro comparativo de Alumínio / Madeira / Ferro)

1) Como o alumínio é usado em perfis tubulares e a madeira é sempre maciça, a esquadria de alumínio fica muito mais leve. Analogamente ao alumínio, as esquadrias de ferro ou aço também utilizam perfis tubulares (dobrados e soldados), sendo aproximadamente três vezes mais pesadas que as de alumínio. O PVC é leve, porém sua estrutura de ferro torna-o bastante pesado. Este conjunto (PVC/estrutura de ferro) pode perder sua estabilidade em regiões mais quentes em função das características físico-químicas naturais do PVC.

2) A funcionalidade, ausência de manutenção, o isolamento acústico e térmico, estanqueidade a ventos e chuvas e a durabilidade de uma caixilharia de alumínio ou PVC são funções da qualidade do projeto, de um tratamento superficial adequado (o alumínio tem e o PVC não) e da sua correta instalação.

3) Os processos de extrusão do alumínio ou do PVC permitem infinitas formas de perfis, possibilitando montagens ideais com encaixes precisos (encaixes para escovas e borrachas de vedações, rolamentos, fechos etc). O aço é utilizado em chapas dobradas, dificultando a funcionalidade do projeto de caixilharia, pois não é possível projetar os minúsculos encaixes de vedações. Além disso, a grande quantidade de regiões metálicas soldadas será foco de corrosões prematuras, pela diferença de potencial entre as ligas do aço e da vareta de solda utilizada. A madeira também não tem encaixes para escovas e borrachas de vedação, pois sua dilatação é muito grande e variável, impossibilitando detalhes com dimensões precisas, comprometendo assim a estanqueidade da caixilharia. A funcionalidade do PVC é tão boa quanto a do alumínio, mas no litoral sua estrutura de ferro pode enferrujar, manchando o lado de externo da esquadria de PVC. Só utilizado na cor branca (natural do PVC), de durabilidade ainda não comprovada.

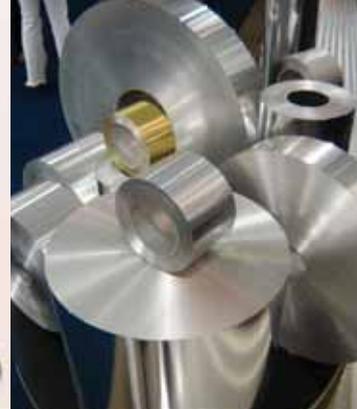
4) A nobreza da madeira é tradicional, todavia uma caixilharia de alumínio de excelente qualidade, anodizada ou pintada sob normas rígidas de tratamento superficial, terá seguramente a mesma nobreza da madeira. Se for especificado, há processos de pintura que podem reproduzir a mesma aparência da madeira.



Alumínio em utensílios domésticos



Embalagem descartável



Folha de alumínio para embalagens

Processos Industriais

8

não preenchimento das gravuras ou no mínimo à uma sobrecarga de pressão devido a uma tensão de escoamento maior. Mesmo que se consiga forjar dessa forma, pode-se ter, após o tratamento térmico, um fenômeno de recristalização seguido de um exagerado crescimento de grão. A Figura 15 mostra um diagrama esquemático de recristalização que explica melhor o fenômeno, enquanto a Figura 16 mostra uma representação esquemática dos tratamentos térmicos de solubilização e envelhecimento no produto forjado.

Para a obtenção de uma estrutura fina, não-recristalizada, dois caminhos podem ser empregados: conformação do material pouco abaixo da faixa de recristalização ou forjamento acima da temperatura de recristalização combinado com alto grau de deformação. Em alguns casos, o forjamento pode ser feito na faixa da temperatura de solubilização da liga, podendo a peça ser solubilizada diretamente após o final da conformação, economizando um ciclo de aquecimento no processo.

Geralmente, são utilizadas prensas hidráulicas verticais de velocidade de

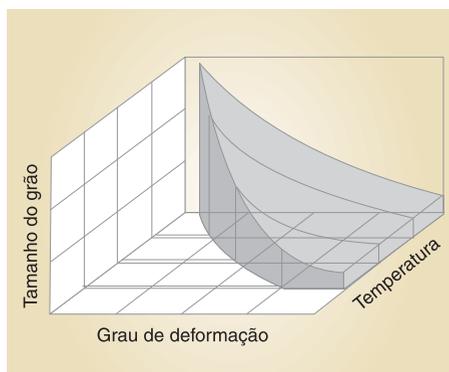


Figura 15 - Diagrama esquemático de recristalização

prensagem relativamente baixa, da ordem de poucos milímetros por segundo, e, também, prensas excêntricas, de fricção e de joelhos. Nas matrizes são utilizados aços para trabalho a quente à base de Ni, Cr, Mo, e V; Cr, Mo e V ou mesmo aços rápidos, a temperaturas entre 200-430°C. A lubrificação utiliza suspensões de grafite em água ou óleo, ou simplesmente produtos à base de óleos aplicados através de nebulizadores. Depois do forjamento, são feitos a rebarbação, os tratamentos térmicos de solubilização e envelhecimento e uma decapagem para a remoção de óxidos e lubrificantes.

Estampagem

Chapas e discos de alumínio são amplamente utilizados para estampagem profunda e repuxação. Estas operações requerem material com grande plasticidade, isto é, entre os limites de resistência à tração e o de escoamento, aliada a alta ductilidade e com uma baixa taxa de encruamento. Assim, o alumínio puro e a liga 3003 (1,2% Mn) são mais comumente especificados para estas aplicações, a menos que os componentes acabados tenham que ser mais resistentes.

Os melhores resultados são também atingidos quando o metal possui um tamanho de grão pequeno e uniforme. Uma indicação disto pode ser obtida através do ensaio de embutimento (Erichsen Test), no qual um punção de

forma arredondada pressiona um corpo-de-prova contra uma matriz. O tamanho de grão pode então ser prontamente avaliado através do exame visual da superfície em comparação com amostras-padrão.

Teste simples de dobramento, realizado em chapas de espessura fina para determinar o mínimo raio em que elas podem ser dobradas sem se romper, é outro método usado para confirmar que um determinado material suficientemente dúctil foi escolhido adequadamente para o processo de fabricação pretendido. Enquanto que um material recozido pode dobrado completamente, um raio de dobramento de cinco vezes a espessura pode ser o mínimo obtido para material duro, totalmente tratado termicamente.

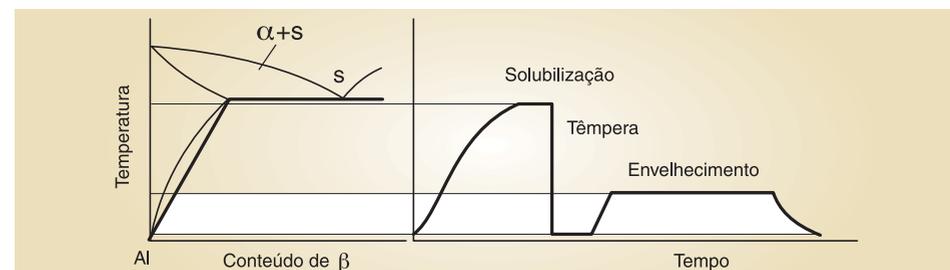


Figura 16 - Representação esquemática de tratamento térmico de solubilização e envelhecimento.



Alumínio em eletrodoméstico



Peça fundida



Peça de alumínio fundido

Processos Industriais

8

■ Fundição

A fundição é um dos procedimentos mais antigos utilizados na produção de artigos de metal.

Ainda que originalmente era uma arte e a qualidade do produto dependia da habilidade dos artesãos, a tecnologia moderna do alumínio fornece excelente condição qualitativa com controles científicos adequados para que se possa produzir grandes quantidades de peças, mantendo-se uma boa qualidade uniforme.

Existem excelentes ligas de alumínio que proporcionam grande variedade de propriedades para as peças fundidas. As principais são:

- baixa temperatura de fusão;
- forte tendência a oxidação;
- baixa densidade;
- alta condutividade térmica;
- elevado coeficiente de dilatação.

O vazamento de metal líquido em moldes de areia é uma das mais antigas artes industriais e ainda é utilizado quando as peças fundidas são requeridas em pequenas quantidades ou são alternativamente de tamanho

excepcionalmente grande ou muito intrincadas.

Peças fundidas com melhor acabamento superficial são produzidas através de fundição em matriz por gravidade pela qual o metal é vazado dentro de uma matriz de ferro ou de aço. Este processo torna-se econômico quando é requerido um número considerável de peças.

Quando são requeridos números ainda maiores, a fundição em matriz sob pressão torna-se mais vantajosa, onde o metal é forçado a penetrar em matrizes de aço sob a força de pressão hidráulica (Figura 17).

Os fundidos com grande precisão de



Figura 17 - Matriz sobre pressão.

detalhes são produzidos desta forma, sendo que este método tem sido utilizado cada vez mais em peças fundidas até o tamanho de blocos de cilindros. Ao contrário, quando um alto grau de precisão dimensional é requerido, mas o número de peças envolvido é relativamente pequeno, é utilizado o método de fundição de precisão com base em processo mais antigo que é o de cera perdida, onde se utiliza modelo consumível revestido com uma fina camada refratária, a qual é subsequente e endurecida em estufa para formar o molde. A Figura 18 mostra uma série de peças fundidas.

■ Soldagem

O desenvolvimento de métodos para a soldagem do alumínio e suas ligas abriu um novo segmento de mercado em aplicações como: pontes, construções, transportes (embarcações, trens e automóveis), etc.

O alumínio e suas ligas podem ser soldados satisfatoriamente com a escolha adequada da liga de adição, através da utilização de técnicas apropriadas, visto que as linhas de solda são bastante resistentes para as suas várias aplicações.

Antes de proceder-se à soldagem, o filme de óxido da superfície deve ser removido, o que pode ser feito



Figura 18 - Peças fundidas



Alumínio na indústria farmacêutica



Embalagens flexíveis



Sinalização visual

Processos Industriais

8

quimicamente, através de fluxos; mecanicamente, através de abrasão e forjamento, ou eletricamente, pela ação de arco elétrico adequado. Uma vez removido, deve-se prevenir nova formação de óxido pela proteção do metal com relação à atmosfera.

Embora a temperatura de fusão da maioria das ligas de alumínio seja menor do que a metade da temperatura de fusão da do aço, quantidades similares de calor são requeridas para levar os dois metais aos seus respectivos pontos de fusão, devido ao maior calor específico e latente de fusão do alumínio. Como o alumínio possui maior condutividade térmica requer, também, maior rapidez no fornecimento de calor.

A escolha do processo de soldagem é determinada pela espessura do material, tipo de cordão de solda, requisitos de qualidade, aparência e custo.

A soldagem envolve a fusão conjunta das bordas a serem unidas, freqüentemente pela adição de metal líquido para preencher um canal com a forma de V.

O cordão de solda consiste, parcialmente ou totalmente, de metal-base de re-solidificação com uma estrutura bruta de fusão.

Tradicionalmente a solda de oxiacetileno utiliza um fluxo de sal líquido para dissolver o óxido de alumínio e cobrir o metal líquido. A maioria dos métodos modernos protege o alumínio líquido com um gás inerte, argônio ou hélio, sendo que os dois processos mais conhecidos e utilizados são o MIG e o TIG.

■ Processo de solda TIG (Tungsten Inert Gas)

A soldagem TIG é um processo em que o arco elétrico é estabelecido entre um eletrodo de tungstênio não consumível e a peça, numa atmosfera de gás inerte. Neste processo o arco elétrico pode ser obtido por meio de corrente alternada (CA), corrente contínua e eletrodo positivo ou corrente contínua e eletrodo negativo. O processo TIG é o mais aplicado na soldagem das ligas de alumínio e foi o primeiro a ser desenvolvido com proteção de gás inerte adequado para soldar o alumínio (Figura 19).

■ Processo de solda MIG (Metal Inert Gas)

A soldagem MIG é um processo em que o arco elétrico, obtido através de uma

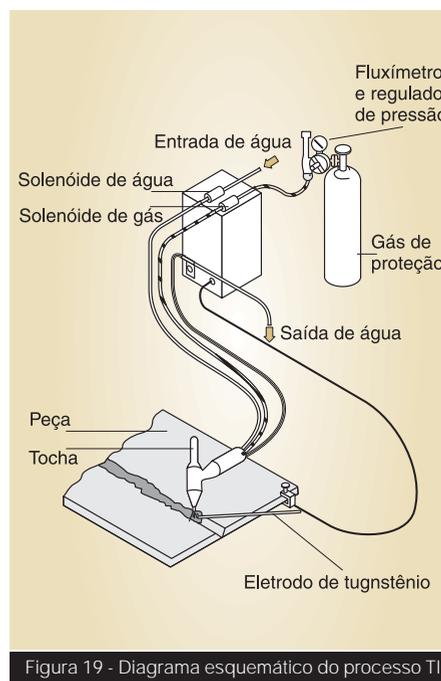


Figura 19 - Diagrama esquemático do processo TIG

Utilizando-se as versões automática e semi-automática é possível soldar o alumínio desde espessuras finas, cerca de 1,0 mm, até espessuras se limite.

Tal como no processo TIG, o gás inerte protege a região do arco contra a contaminação atmosférica durante a soldagem.

Na soldagem MIG do alumínio, normalmente, são utilizados os gases argônio, hélio ou uma mistura de argônio/hélio (Figura 20, página 54).

■ Usinagem

Embora quase todas as ligas de alumínio possam ser usinadas, a ação de corte da ferramenta é mais efetiva em materiais de ligas completamente envelhecidas termicamente com baixo alongamento. Estas produzem cavacos menores, em contraste com as características das aparas contínuas dos materiais mais moles e mais dúcteis.

Ligas especiais de fácil usinagem, desenvolvidas para trabalhos em tornos automáticos de alta velocidade, contêm adições de elementos de ligas, tais como: chumbo, bismuto, antimônio ou estanho. A presença destes elementos na estrutura do metal propicia a fratura

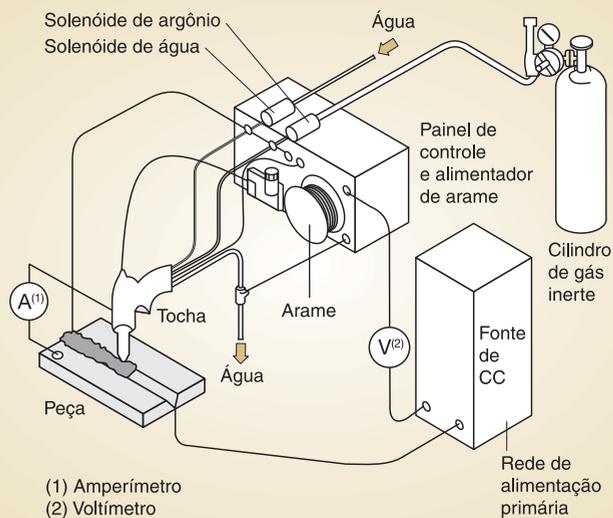


Figura 20 - Diagrama esquemático do processo MIG

de cavacos em fragmentos menores na ferramenta de corte.

Ligas de fundição com alto teor de silício, de maneira contrária, necessitam de menores velocidades e retificação mais constante da ferramenta de corte, devido às partículas abrasivas de silício presentes na microestrutura.

Acabamentos superficiais

É importante observar que a maioria do alumínio utilizada é processada sem

acabamentos especiais de qualquer espécie. Isto se aplica a todas as diferentes formas de alumínio, considerando-se chapas para telha, perfis extrudados para construção de estufas, móveis tubulares para jardim, pistões fundidos para veículos automotores ou folha para embalagem de alimento. Em outras palavras, para muitas aplicações o acabamento natural do alumínio é totalmente satisfatório, tanto do ponto de vista de aparência como de durabilidade.

Entretanto, o alumínio também tem a vantagem de ser adequado para numerosos acabamentos superficiais de proteção e decoração, incluindo alguns que são comuns a outros metais e alguns que são característicos somente do próprio alumínio.

Anodização

Anodização é o nome dado ao processo pelo qual o filme de óxido natural é artificialmente produzido no alumínio por meio do ânodo de um eletrólito. O recém-formado filme anódico, antes do estágio final de selagem, é poroso e pode absorver material de coloração. Esta é a base da maioria dos acabamentos coloridos anodizados. Esta base também possibilita a impressão em determinadas áreas, reproduzindo claramente pequenos detalhes, e mesmo o mais fino detalhe pode ser impresso através da impregnação do filme com sensíveis sais de prata, de forma que o metal se torna uma chapa fotográfica.

Uma limitada gama de cores, por exemplo cinzas e bronzes para aplicações arquitetônicas, podem também ser obtidas sem uma separação do tratamento de coloração,

através da introdução de uma porcentagem controlada de silício e outros elementos na composição da liga e modificação da composição do eletrólito. A durabilidade de tais cores não depende da solidez à luz dos corantes ou dos pigmentos e eles são por isso especialmente duráveis.

A anodização de coloração natural também é freqüentemente empregada para conferir adicional resistência à corrosão. O filme é uniforme e duro e acessórios interiores de alumínio, tais como maçanetas de portas, são freqüentemente anodizados para aumentar sua resistência ao uso. Esta propriedade é explorada mais ainda na anodização dura, na qual um denso filme com espessura de vários micrômetros, é desenvolvido através de tratamento em eletrólito refrigerado, para o uso em peças de entrada de ar em aviões, que estão sujeitas a efeitos abrasivos da poeira dos campos de pouso. Para maiores detalhes sobre anodização, consultar o "Guia Técnico do Alumínio - Tratamento de Superfície".

O óxido de alumínio possui boas propriedades dielétricas. Bobinamento de alumínio para equipamentos



Figura 21 - Perfis de alumínio sendo anodizados



Figura 22 - Exemplo de pintura em alumínio



Alumínio em bens de consumo

Processos Industriais

8

elétricos pode também ser feito com arame de alumínio anodizado ou chapa fina sem qualquer isolamento adicional. A Figura 21, mostra perfis sendo anodizados.

■ Camadas de conversão

Em contraste com seu aumento de espessura pela anodização, o filme de óxido pode ser modificado mais facilmente através de camadas de conversão química, o que é uma boa solução para o subsequente tratamento de espessura. Estas camadas são, assim, uma alternativa conveniente para a aderência do “primer” no local. Soluções ácidas e alcalinas também são usadas e uma cor mais atrativa, cinza-esverdeada, produzida com base em ácido, é utilizada em chapas de edifícios, sem pintura posterior, em silos de agricultura e construções similares para reduzir o brilho.

■ Abrilhantamento químico

Um grande número de ácidos fortes e de soluções alcalinas é usado para abrilhantar a superfície do alumínio, com aplicação de corrente elétrica externamente ou contando com a

montagem de pequenas células locais através da ação química na superfície do metal. A dissolução do metal é maior nos pontos de mais alta densidade de corrente, de forma que se a superfície do metal for considerada como uma série de picos e vales microscópicos, os picos são preferencialmente dissolvidos, com uma ação niveladora em toda a superfície. Brilho e refletividade mais intensos podem ser obtidos por estes meios do que por polimento mecânico. Refletores, jóias e frisos brilhantes de alumínio para automóveis e utensílios domésticos são todos regularmente tratados desta forma. Para proteger a superfície brilhante um fino filme anódico é invariavelmente aplicado na operação final e com outros acabamentos sua vida pode ser prolongada através de limpeza periódica para remover os depósitos de sujeira.

■ Eletrodeposição

O alumínio é menos utilizado em eletrodeposição do que os outros metais, em parte por causa dos processos mais custosos que são necessários, porque os acabamentos baseados no processo de anodização

são frequentemente mais satisfatórios. Todavia, a cromeação é ocasionalmente aplicada, tanto a cromeação dura para aumentar a resistência ao uso quanto a cromeação decorativa utilizada em utensílios domésticos. Em contatos elétricos na indústria de telecomunicação, onde elevada condutividade superficial é requerida, a eletrodeposição pode ser feita com prata. Na eletrodeposição é necessário remover o filme de óxido e substituí-lo por um depósito preliminar de outro metal, normalmente zinco, onde a série habitual de eletrodeposição é desenvolvida.

■ Acabamentos mecânicos

Tanto quanto a boa resposta às operações de polimento mecânico normal e de lustramento, o alumínio pode receber muitas texturas decorativas por meios mecânicos. As lavragens são realizadas em chapas por meio de cilindros gravados com o relevo desejado. Efeitos de acabamento acetinado podem ser dados através de escovamento, por meio de jateamento ou pela aplicação de um composto de polimento sem gordura.

■ Aplicação de tintas

Como nos sistemas convencionais de pintura, geralmente aplicada sobre um “primer” de cromato de zinco, os novos tipos de pintura, baseadas em acrílicos, vinilas e outros plásticos, são adições vantajosas à gama de acabamentos para o alumínio, especialmente em chapas para aplicações na construção civil e na manufatura dos vários tipos de móveis. Cada tipo de tinta tem sua combinação de propriedades, algumas resistentes e flexíveis o suficiente para agüentar as operações de conformação e outras duras e brilhantes. Todas têm boa aderência, se for seguido o pré-tratamento adequado, sem risco de se soltar quando do corte das bordas.

Filmes plásticos também podem ser aplicados na forma laminada, permitindo o uso de revestimentos em relevo mais espessos.

Tintas e vernizes aderem facilmente ao alumínio, sendo muito utilizado para impressão de detalhes informativos e para realçar a aparência de todos os tipos de embalagens (Figura 22). Para maiores detalhes sobre pintura, consultar o “Guia Técnico do Alumínio - Tratamento de Superfície”.

O alumínio é amplamente utilizado no mundo moderno devido à sua excelente performance e propriedades superiores na maioria das aplicações, pois suas técnicas de fabricação permitem a manufatura do produto acabado a preços competitivos. A seguir, suas principais aplicações.



Alumínio na construção civil



Esquadrias de alumínio



Fachada de alumínio

Principais Aplicações

8

■ Construção civil

Material leve, versátil, resistente, durável e bonito. Capaz de agradar arquitetos e consumidores por seu acabamento perfeito, praticidade e função decorativa, o alumínio está conquistando destaque cada vez maior dentro das mais variadas aplicações na construção civil, estando presente na cobertura, em telhas; nas fachadas e paredes, em revestimentos internos e externos e cortinas de vidro; na ventilação, iluminação e acabamento interno, em caixilhos, divisórias, forros e pisos, e nos elementos decorativos, como molduras para pontos de eletricidade, entre outros produtos desenvolvidos com variedades de detalhes e concepções arquitetônicas modernas.

■ Esquadrias e revestimentos

A caixilharia de alumínio é uma das grandes vitrines do metal na construção civil. Sua beleza, com variada disponibilidade de cores, acabamentos, formas e usos, associada à resistência e à vida útil, revelam o padrão futurista que o alumínio proporciona e vai muito além de qualquer outro material concorrente, consagrando esta aplicação.

As esquadrias de alumínio conquistaram definitivamente a preferência de arquitetos e projetistas em obras de todo porte, desde as pequenas obras populares até as grandes obras de alto padrão. Essas mesmas qualidades influenciam a decisão dos profissionais da construção civil no momento de definir revestimentos e decoração.

Várias opções trazidas para o mercado brasileiro nos últimos anos tornaram mais acessível esta utilização do alumínio em fachadas envidraçadas, revestimentos de interiores e exteriores e decoração.

Pelo elevado nível tecnológico, as fachadas-cortina em alumínio estão desempenhando atualmente um papel estético e funcional fundamental na arquitetura contemporânea. Além de atuarem como “faces” dos edifícios, confundindo-se com o conjunto, estas fachadas garantem interação perfeita entre os ambientes internos e externos nas mais extremas condições de frio, calor, luz, chuva, vento, poeira, poluição ou ruído.

A paisagem urbana já está familiarizada com seu uso no revestimento externo de prédios

industriais, residenciais, comerciais, “shopping centers” e aeroportos. Agora, este recurso inovador já está sendo utilizado “dentro de casa”, em revestimentos de interiores, por sua beleza e praticidade. Afinal, são produtos leves, resistentes, não-inflamáveis, recicláveis, fáceis de conservar, de longa durabilidade e que permitem soluções criativas em qualquer tipo de projeto. A Figura 23 mostra um exemplo típico de esquadria.



Figura 23 - Detalhe de uma esquadria de alumínio

Segue complementação do quadro alumínio x madeira x ferro x PVC, apresentado na página 46, para utilização em esquadrias. O mercado brasileiro de esquadrias possui características bem diferentes em cada um dos segmentos que o compõem:

- prédios e moradias populares: predominância absoluta do ferro;
- edifícios de médio e alto padrão: predominância do alumínio;
- residências de médio e alto padrão: predominância da madeira. O alumínio tem dois grandes desafios:
- desenvolver produtos funcionais e competitivos no segmento popular, competindo com o ferro;
- desenvolver produtos mais sofisticados para as residências de médio e alto padrão, competindo principalmente com a madeira.



Figura 24 - Cobertura de alumínio não residencial



Figura 25 - Telhas de alumínio pré-pintadas



Figura 26 - Estrutura espacial



Carroceria de alumínio

Processos Industriais

8

■ Telhas

Cada vez mais empregadas em coberturas e revestimentos de prédios não-residenciais (Figura 24), as telhas de alumínio (Figura 25) oferecem vantagens que as distinguem de outros materiais, como o fibrocimento. São mais leves (seu peso específico equivale a um terço do aço), mais resistentes às intempéries, além de elevada resistência à corrosão atmosférica, garantindo às telhas de alumínio longa vida útil, superior às outras telhas metálicas. Sua refletividade reduz a temperatura das instalações e a condutibilidade térmica, dissipa rapidamente o calor acumulado, favorecendo o conforto nos ambientes em que são aplicadas.

A resistência mecânica e a economia permitida pelas extensões do material (até 12 metros) são outros pontos a seu favor.

■ Estruturas

Aplicação significativa tem sido estruturas para grandes vãos, chamadas de estruturas espaciais de alumínio aplicadas em edifícios industriais, "shopping centers", terminais

rodoviários e metroviários, aeroportos e ginásios poliesportivos, facilitando o transporte, a montagem e o manuseio no canteiro de obras (Figura 26).

A utilização de estruturas de alumínio é principalmente pesquisada em função da economia de peso ou de condições ambientais corrosivas. A economia de peso é usualmente associada com redução de custos de material. Um projeto eficiente consiste freqüentemente no estabelecimento de um compromisso entre custo de material e custo de mão-de-obra. Comparadas com estruturas de aço, as estruturas de alumínio podem conduzir a reduções de peso variáveis entre 40-70%. Para maiores detalhes sobre estruturas, consultar o "Guia técnico do alumínio - Estruturas".

■ Transportes

O alumínio é muito utilizado em transportes devido à alta relação resistência mecânica/peso, o que permite maior economia de carga, menor consumo de combustível e menor desgaste. A excelente resistência à corrosão confere maior durabilidade ao veículo e exige menor manutenção.

■ Aeronáutica

O alumínio tem sido o material predominante nos aviões com cerca de 80% em peso, devido ao desenvolvimento de ligas com resistência mecânica mais elevada. A rigorosa exigência dos foguetes espaciais tem demandado cada vez mais o uso deste metal.

■ Indústria automotiva

Em veículos automotivos comerciais, onde os custos de manutenção e a economia de operação a longo prazo são cruciais, o alumínio é extensivamente utilizado em carrocerias, além de peças como pistões, blocos de motores, caixas de câmbio, chassis e acessórios. No Brasil, o uso do alumínio em carros e utilitários é da ordem de 50 kg/veículo, enquanto nos EUA é de cerca de 128 kg/veículo. A tendência do uso de alumínio nessa indústria é promissora, pois o menor consumo de combustível proporcionará uma redução considerável de emissões de poluentes. As emissões de gás carbônico são detrimenais ao meio ambiente, pois por ser um gás estufa, contribui para o fenômeno de

aquecimento do planeta, conforme amplamente debatido nas reuniões internacionais para consolidação do Protocolo de Kyoto. Para cada quilograma de redução do peso de um veículo há uma redução de 20 kg de emissão de gás carbônico equivalente.

■ Embarcações

Com a melhoria das técnicas de soldagem e o desenvolvimento das ligas de AlMg, que resistem à corrosão da água salgada, o alumínio tem sido muito utilizado neste mercado, permitindo a confecção de barcos, lanchas, navios e submarinos.



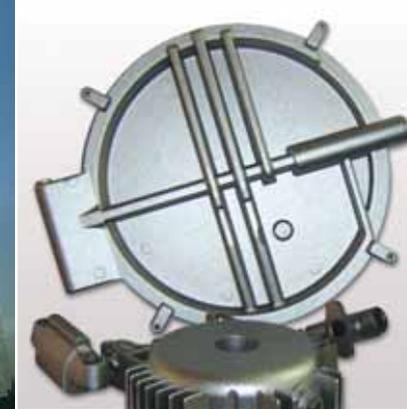
Ligas de Almg para embarcações



Vagão ferroviário



Cabos condutores de energia



Máquinas e equipamentos



Embalagens flexíveis

Processos Industriais

8

■ Vagões

Em vagões de trem e de metrô, o alumínio tem sido muito utilizado devido à sua leveza permitir o desenvolvimento de maiores velocidades, menor manutenção e menos consumo de combustível.

■ Indústria eletro-eletrônica

Na indústria elétrica, o alumínio é utilizado em cabos condutores, para transmissão e distribuição de energia elétrica, transformadores, solenóides, relés, revestimento de cabos condutores, bases de lâmpadas, refletores e componentes. Na indústria eletrônica, seu uso compreende antenas de televisão, capacitores, chassis eletrônicos, etc.

■ Bens de consumo

As propriedades que têm contribuído para o sucesso deste metal são: leveza, elevada condutibilidade térmica, excelente acabamento superficial e facilidade de manutenção, encorajando sobremaneira seu uso.

Componentes de alumínio são figuras proeminentes na maioria das utilidades

domésticas, tais como: refrigeradores, máquinas de lavar louças e roupas, fogões, microondas, aspiradores de pó, liquidificadores, além dos tradicionais utensílios domésticos revestidos com produtos antiaderentes, bem como painéis de pressão. É muito utilizado também em móveis domésticos, de jardins e de piscinas, molduras de quadros, bijuterias, na indústria de confecções (botões, fechos, ilhoses, etc.) e outros.

■ Máquinas e equipamentos

Na construção de máquinas e equipamentos, a leveza e a elevada condutibilidade térmica do alumínio favorecem o uso em peças e equipamentos trocadores de calor, de mineração, ferramentas industriais e agrícolas, máquinas de impressão e têxteis, instrumentos científicos, etc.

O alumínio é muito utilizado na indústria química como vasos de reação, tubulações, trocadores de calor e tanques de estocagem. Para maiores detalhes consultar o "Guia Técnico do Alumínio - Compatibilidade do alumínio e suas ligas com alimentos e produtos químicos".

■ Embalagens

Um dos mercados mais proeminentes do alumínio é o de embalagens, cuja utilização abrange latas de bebidas, embalagens flexíveis, rolinhos de folhas para embalagem de alimentos, pratinhos descartáveis, tubos de remédio e de pasta de dentes. Para maiores detalhes consultar o "Guia técnico do alumínio - Compatibilidade do alumínio e suas ligas com alimentos e produtos químicos".



Latas de alumínio para bebidas



Explorar racionalmente o enorme potencial mineral e energético do País sem que o processo se volte contra o próprio Homem”.



Figura 27 - Reflorestamento de área minerada



Figura 28 - Sucata de perfis de alumínio

Desenvolvimento Sustentável

10

Essa questão, conhecida como desenvolvimento sustentável, é atualmente uma das preocupações dos vários setores da sociedade brasileira e da comunidade internacional.

Na indústria do alumínio, o compromisso de minimizar o impacto das atividades econômicas no meio ambiente foi incorporado, nas últimas décadas, aos planos de investimentos e de crescimento de cada empresa do setor.

Desde a mineração da bauxita, que tem recebido atenção especial com o manejo adequado das áreas exploradas, através da sua reabilitação e revegetação com espécies nativas (Figura 27), passando pelos demais processos industriais, até o consumo, as empresas do setor têm sido pioneiras na adoção de Sistemas de Gestão Ambiental.

Os avanços nesta área são compartilhados através da ABAL, na qual as empresas associadas atuam com o objetivo de promover o alto padrão de desempenho ambiental, trocando informações, promovendo intercâmbio nacional e internacional, contatos com órgãos governamentais, centros de pesquisa, universidades,

entidades e comunidades e realizando estudos para preposição de normas e especificações, além de treinamento e aperfeiçoamento de pessoal.

■ Reciclagem

A reciclagem é um dos atributos mais importantes do alumínio, pois qualquer produto produzido com esse metal pode ser reciclado infinitas vezes, sem perder suas qualidades no processo de reaproveitamento, ao contrário de outros materiais. O exemplo mais comum é o da lata de alumínio para bebidas, cuja sucata transforma-se novamente em lata após a coleta e refusão, sem que haja limites para seu retorno ao ciclo de produção.

Esta característica possibilita uma combinação única de vantagens para o alumínio, destacando-se além da proteção ambiental e economia de energia, o papel multiplicador na cadeia econômica. Na sua coleta e comercialização mais de 400.000 brasileiros, catadores individuais têm mantido o ciclo de pequenos depósitos, grandes depósitos e indústrias.

A reciclagem de alumínio é feita tanto a partir de sobras do próprio processo

de produção, como de sucata gerada por produtos com vida útil esgotada (Figura 28).

De fato, a reciclagem tornou-se uma característica intrínseca da produção de alumínio, pois as empresas sempre tiveram a preocupação de reaproveitar retalhos de chapas, perfis e laminados, entre outros materiais gerados durante o processo de fabricação.

Este reaproveitamento de sobras do processo pode ocorrer tanto interna como externamente, por meio de terceiros ou refusão própria. Em qualquer caso representa uma grande economia de energia e de matéria-prima, refletindo em aumento da produtividade e redução da sucata industrial.

Há vários benefícios associados com a reciclagem do alumínio:



Viveiro de mudas para reflorestamento



Vista externa de uma fábrica de alumínio



Proteção ambiental

Desenvolvimento Sustentável

10

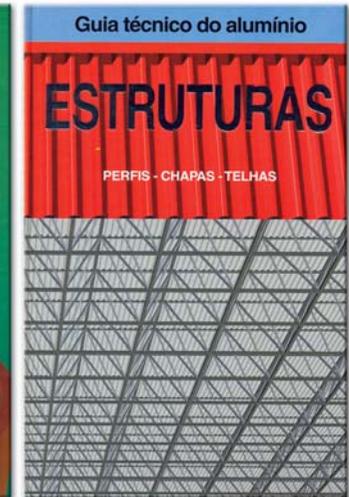
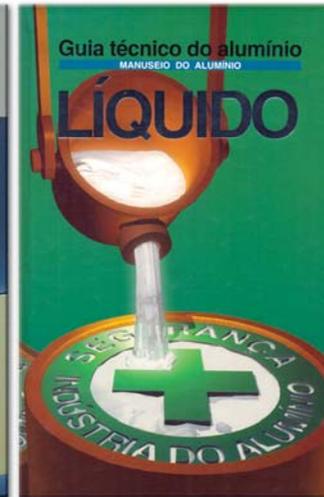
- Assegura renda em áreas carentes, constituindo fonte permanente de ocupação e remuneração para mão-de-obra não qualificada.
- Injeta recursos nas economias locais, através da criação de empregos, recolhimento de impostos e desenvolvimento do mercado.
- Estimula outros negócios, por gerar novas atividades produtivas (máquinas e equipamentos especiais).
- Favorece o desenvolvimento da consciência ambiental, promovendo um comportamento responsável em relação ao meio ambiente, por parte das empresas e dos cidadãos.
- Incentiva a reciclagem de outros materiais, multiplicando ações em virtude do interesse que desperta por seu maior valor agregado.
- Reduz o volume de lixo gerado, contribuindo para a solução da questão do tratamento de resíduos resultantes do consumo.
- Economiza energia, otimizando o uso dos recursos ambientais:
 - a reciclagem economiza até 95% da energia utilizada para produzir alumínio a partir da bauxita;
 - cada tonelada reciclada poupa a extração de 4 t desse minério, matéria-prima do alumínio.

■ Compromissos das indústrias de alumínio no Brasil

São compromissos das indústrias de alumínio no Brasil:

- Agir de forma a proteger o meio ambiente e a saúde de funcionários e cidadãos das comunidades onde atuam, bem como respeitar a sua cultura e modo de vida.
- Obter compatibilidade entre o meio ambiente, processos e produtos de todas as operações industriais.
- Obedecer às leis e regulamentos e antecipar às suas exigências, sempre que possível, adotando padrões internos ainda mais restritivos.
- Trabalhar em parceria com governo e outras entidades para desenvolver leis, regulamentos e padrões de controle ambiental responsáveis e eficazes.
- Monitorar ar, água, solo, vegetação e fauna das áreas em que atuam.
- Adotar as medidas necessárias para prevenir ou eliminar impactos adversos, que possam resultar de qualquer operação do setor, incluindo o desenvolvimento e uso de tecnologias apropriadas para tal fim.
- Estimular a reciclagem do alumínio e produtos feitos desse metal.

- Obter a máxima eficiência possível no uso de energia e outras matérias-primas.
- Estimular a criação e desenvolvimento de uma consciência voltada à proteção ambiental em todos os funcionários, como prestadores de serviços e cidadãos das comunidades onde atuam, através de treinamentos, campanhas educativas e incentivos.
- Estimular a transferência de *know how* e informações sobre gerenciamento e controle ambiental entre todos que possam contribuir - direta ou indiretamente - para melhoria da qualidade de vida.



Normas Brasileiras 11

No Brasil, a maioria dos materiais de alumínio e suas ligas é produzida dentro das especificações das Normas (NBR) emitidas pelo ABNT/CB-35 - Comitê Brasileiro do Alumínio da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), cujas Normas são elaboradas pelas Comissões de Estudos (CE), prescrevendo composição química, propriedades mecânicas, tolerâncias dimensionais, aplicações, etc. Estas Normas são vantajosas tanto para os fornecedores como para os usuários de alumínio. Adquirindo materiais dentro das especificações das normas, os usuários sabem exatamente o que estão comprando e podem atingir resultados reproduzíveis em seus produtos com diferentes lotes de metal recebidos de quaisquer fornecedores. Além disso, produzindo uma quantidade limitada de material padronizado, os fornecedores podem utilizar fábricas dispendiosas mais economicamente do que se produzissem pequenos lotes dentro das especificações de cada cliente.

