

ALUMÍNIO

O alumínio, apesar de ser o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, é o metal mais jovem usado em escala industrial. Mesmo utilizado milênios antes de Cristo, o alumínio começou a ser produzido comercialmente há cerca de 150 anos. Sua produção atual supera a soma de todos os outros metais não ferrosos. Esses dados já mostram a importância do alumínio para a nossa sociedade. Antes de ser descoberto como metal isolado, o alumínio acompanhou a evolução das civilizações. Sua cronologia mostra que, mesmo nas civilizações mais antigas, o metal dava **um tom de modernidade e sofisticação** aos mais diferentes artefatos.

Hoje, os Estados Unidos e o Canadá são os maiores produtores mundiais de alumínio. Entretanto, nenhum deles possui jazidas de bauxita em seu território, dependendo exclusivamente da importação. O Brasil tem a terceira maior reserva do minério no mundo, localizada na região amazônica, perdendo apenas para Austrália e Guiné. Além da Amazônia, o alumínio pode ser encontrado no sudeste do Brasil, na região de Poços de Caldas (MG) e Cataguases (MG). A bauxita é o minério mais importante para a produção de alumínio, contendo de 35% a 55% de óxido de alumínio.

OBTENÇÃO DO ALUMÍNIO

A obtenção do alumínio é feita a partir da bauxita, um minério que pode ser encontrado em três principais grupos climáticos: o Mediterrâneo, o Tropical e o Subtropical. A produção mundial de bauxita em 2004 foi de 157,4 milhões de toneladas, sendo os principais países produtores Austrália, Brasil, Guiné e Jamaica. Ocupando a 2ª posição no ranking mundial, em 2004, o Brasil produziu 21 milhões de toneladas de bauxita. Possui também a terceira maior reserva mundial de bauxita, cujo potencial é da ordem de 2,5 bilhões de toneladas, concentrada principalmente na região Norte do país (estado do Pará), as quais tem como principal concessionária a empresa Mineração Rio do Norte S.A. - MRN.



A bauxita deve apresentar no mínimo 30% de alumina aproveitável para que a produção de alumínio seja economicamente viável. O processo de obtenção de alumínio primário divide-se em três etapas: **Mineração**, **Refinaria** e **Redução**.

MINERAÇÃO

O alumínio não é encontrado diretamente em estado metálico na crosta terrestre. Sua obtenção depende de etapas de processamento até chegar ao estado em que o vemos normalmente. O processo da mineração da bauxita, que origina o alumínio, pode ser exemplificado da seguinte maneira:



- 1) Remoção planejada da vegetação e do solo orgânico;

Óleo combustível - calcinação (kg/t)	80 a 130
Floculante sintético (g/t)	100 a 1000
Energia elétrica (kwh/t)	150 a 400
Produtividade (Hh/t)	0,5 a 3,0
Água m ³ /t	0,5 a 2,0

REDUÇÃO DO ALUMÍNIO

Redução é o processo de transformação da alumina em alumínio metálico:

- 1) A alumina é dissolvida em um banho de criolita fundida e fluoreto de alumínio em baixa tensão, decompondo-se em oxigênio;
- 2) O oxigênio se combina com o ânodo de carbono, desprendendo-se na forma de dióxido de carbono, e em alumínio líquido, que se precipita no fundo da cuba eletrolítica;
- 3) O metal líquido (já alumínio primário) é transferido para a refusão através de cadinhos;
- 4) São produzidos os lingotes, as placas e os tarugos (alumínio primário).

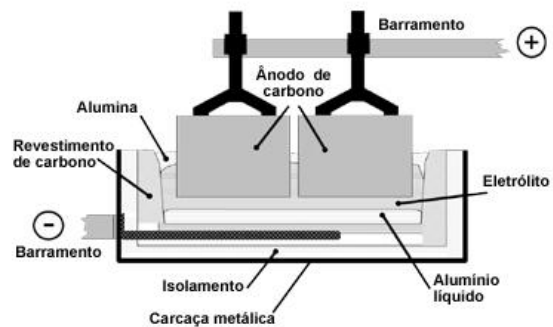
A voltagem de cada uma das cubas, ligadas em série, varia de 4 V a 5 V, dos quais apenas 1,6 V são necessários para a eletrólise propriamente dita. A diferença de voltagem é necessária para vencer resistências do circuito e gerar calor para manter o eletrólito em fusão.



Sala de Cubas

Basicamente, são necessárias cerca de 5 t de bauxita para produzir 2 t de alumina e 2 t de alumina para produzir 1 t de alumínio pelo processo de Redução.

Diagrama de uma Célula de Redução



Os principais insumos para a produção de alumínio primário durante o Processo de Redução são indicados na tabela a seguir:

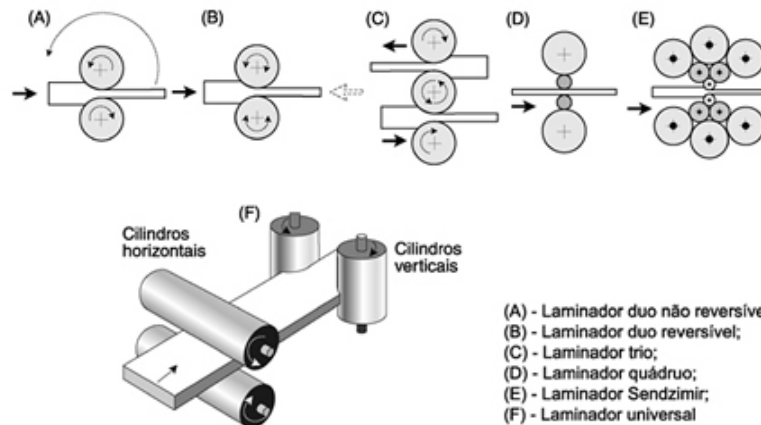
Insumos para a produção de alumínio primário (ano-base 2003)	
Alumina	1919 kg/t Al
Energia elétrica	15,0 MWhcc/t Al
Criolita	8,0 kg/t
Fluoreto de alumínio	19,7 kg/t
Coque de petróleo	0,384 kg/kg Al
Piche	0,117 kg/kg Al
Óleo combustível	44,2 kg/t

PROCESSOS DE PRODUÇÃO

LAMINAÇÃO

É um processo de transformação mecânica que consiste na redução da seção transversal por compressão do metal, por meio da passagem entre dois cilindros de aço ou ferro fundido com eixos paralelos que giram em torno de si mesmos. Esta 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. Existem dois processos tradicionais de laminação de alumínio:

laminação a quente e **laminação a frio**. Atualmente, a indústria também utiliza-se da **laminação contínua**.



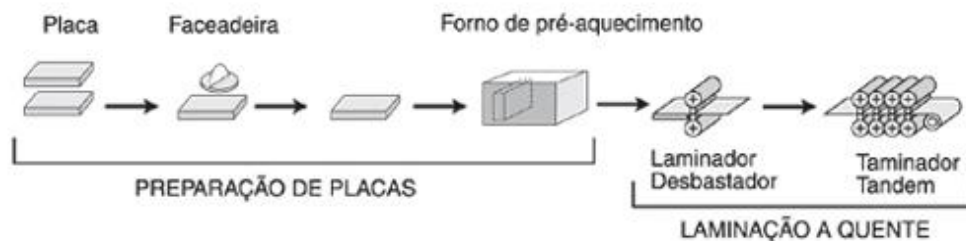
Esquema de laminação

Os principais tipos de produtos laminados são: chapas planas ou bobinadas, folhas e discos. Esses semimanufaturados têm diversas aplicações em setores como **transportes** (carrocerias para ônibus, equipamentos rodoviários, elementos estruturais, etc.), **construção civil** (telhas, fachadas, calhas, rufos, etc.), **embalagens** (latas, descartáveis e flexíveis) e **bens de consumo** (painéis, utensílios domésticos, etc.).

LAMINAÇÃO A QUENTE

Promove reduções da seção transversal com o metal a uma temperatura mínima de aproximadamente 350°C (igual à temperatura de recristalização do alumínio). A ductilidade do metal a temperaturas desta ordem é máxima e, nesse processo ocorre a recristalização dinâmica na deformação plástica. O processo transcorre da seguinte forma:

- 1) Uma placa (matéria-prima inicial), cujo peso varia de alguns quilos até 15 toneladas, é produzida na refusão, por meio de fundição semicontínua, em molde com seção transversal retangular. (Este tipo de fundição assegura a solidificação rápida e estrutura metalúrgica homogênea).
A placa pode 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.
- 2) Posteriormente, a placa é aquecida até tornar-se semiplástica.
- 3) A laminação a quente se processa em laminadores reversíveis duplos (dois cilindros) ou quádruplos (dois cilindros de trabalho e dois de apoio ou encosto).
- 4) 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 6mm, sendo enrolado ou cortado em chapas planas, constituindo-se na matéria-prima para o processo de laminação a frio.



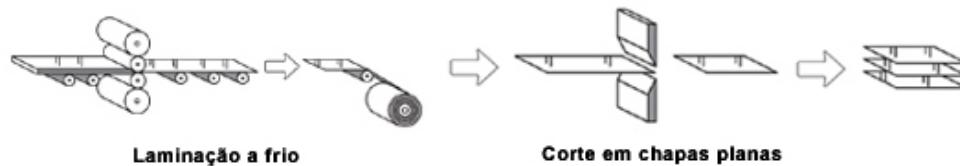
Concepções mais modernas do processo de laminação a quente podem apresentar em linha, após o desbastamento, em um laminador reversível, uma cadeia de vários laminadores, denominada de "tandem", que reduz a espessura do material para cerca de 2 mm.

Uma unidade de laminação a quente contém: laminador, refusão (unidade de fundição de placas), fornos de pré-aquecimento para placas, 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

Realiza-se a temperaturas bem inferiores às de recristalização do alumínio. A matéria-prima é oriunda da laminação a quente. A laminação a frio é executada, geralmente, em laminadores quádruplos, reversíveis ou não, sendo este último 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, das características do material em questão. Laminadores mais sofisticados possuem sistemas computadorizados de controle de espessura e de planicidade. Na laminação a frio utilizam-se dois recursos: tensões avante e tensões a ré.

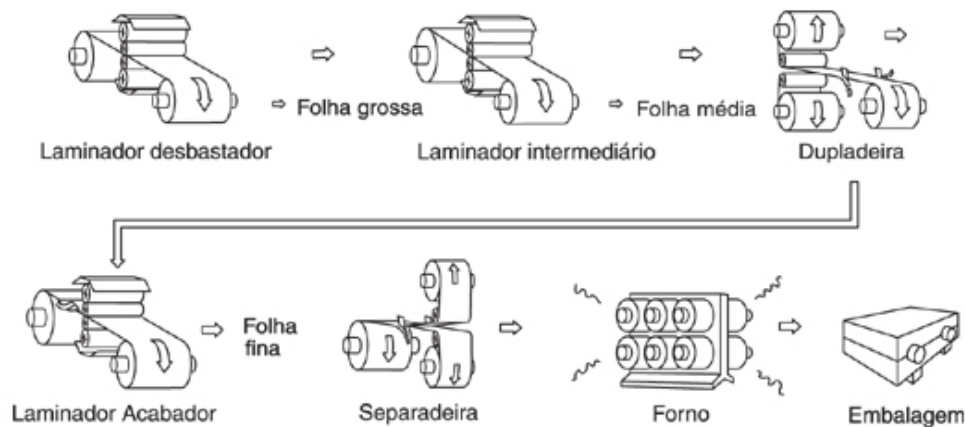
Ambas aliviam o esforço de compressão exercido pelos cilindros ou aumentam a capacidade de redução por passe. Estes recursos são também responsáveis pela redução da espessura no caso de laminação de folhas finas, em que os cilindros de laminação estão em contato e praticamente sem abertura perceptível.



A deformação a frio confere encruamento ao alumínio. Aumenta os limites de resistência à tração e ao escoamento, com diminuição do alongamento. Esse procedimento produz um metal com bom acabamento superficial e preciso controle dimensional.

Os produtos laminados de alumínio são utilizados em todas as operações metalúrgicas usuais de chapas, incluindo aquelas que exigem do metal de excepcional ductilidade, como é o caso de processos como **estampagem**, **extrusão por impacto**, perfilação (roletagem), etc. Recozimentos intermediários podem ser realizados para amolecimento (recristalização) e para facilitar posterior laminação ou determinar têmperas específicas.

Os produtos laminados a frio mais finos (folhas), com espessura de até 0,005 mm, são produzidos em laminadores específicos, que concebem o processo de laminação de folhas dupladas com lubrificação entre elas.

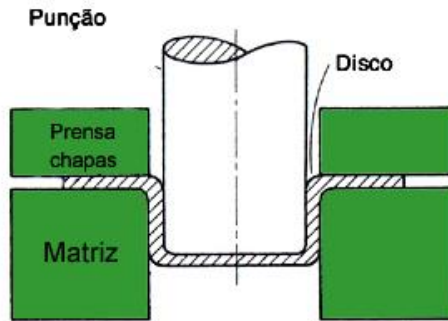


Outro processo atualmente muito utilizado é o de laminação contínua que elimina a etapa de laminação a quente. O alumínio é solidificado entre dois cilindros refrigerados internamente por água, que giram em torno de seus eixos, produzindo uma chapa com seção retangular e espessura aproximada de 6mm.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

ESTAMPAGEM

Chapas e discos de alumínio são amplamente utilizados para repuxação e estampagem profunda. Nesse processo, o material é pressionado por um punção contra uma matriz, como acontece com os utensílios domésticos e latas de bebidas. Estas operações requerem material com grande plasticidade, alta ductilidade e com uma baixa taxa de encruamento. Os melhores resultados são obtidos quando o metal possui um tamanho de grão pequeno e uniforme. Assim, as ligas das séries 1xxx e 3xxx são mais utilizadas para estas aplicações, a não ser que os componentes acabados tenham que ter maior resistência.

Outro método usado para confirmar se um determinado material foi escolhido adequadamente é um simples teste de dobramento. É realizado em chapas de espessura fina em que se determina qual o menor raio em que elas conseguem ser dobradas sem se romper. Enquanto um material recozido pode ser dobrado completamente, um raio cujo dobramento é de cinco vezes a espessura pode ser o mínimo obtido para material duro, totalmente tratado termicamente.



EXTRUSÃO POR IMPACTO

Também chamado de extrusão a frio, esse processo aumenta a resistência do material, melhora o acabamento superficial e permite tolerâncias dimensionais mais estreitas. O material sofre um súbito impacto por meio de um punção, provocando o seu estiramento, como é o caso dos tubos de remédio e de aerossóis.

EXTRUSÃO

É um processo de transformação termomecânica 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 e temperatura. Como uma pasta de dente sendo expelida para fora de seu tubo.



Utilizado comercialmente desde o século XIX, foi na Segunda Guerra Mundial que o processo de extrusão passou pelo primeiro incremento. Os perfis extrudados de alumínio eram produzidos em grande quantidade para aplicação 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.

A variedade de perfis que podem ser extrudados em alumínio é praticamente ilimitada. O processo reduz custos, pois elimina operações posteriores de usinagem ou junção, e possibilita a obtenção de seções mais resistentes pela adequada eliminação de juntas frágeis e uma melhor distribuição de metal. Entre os principais tipos de produtos extrudados estão perfis sólidos, tubulares e semi-tubulares. Suas aplicações são ideais para os setores de **construção civil**, **bens de consumo**, **indústria elétrica** e **transportes**.

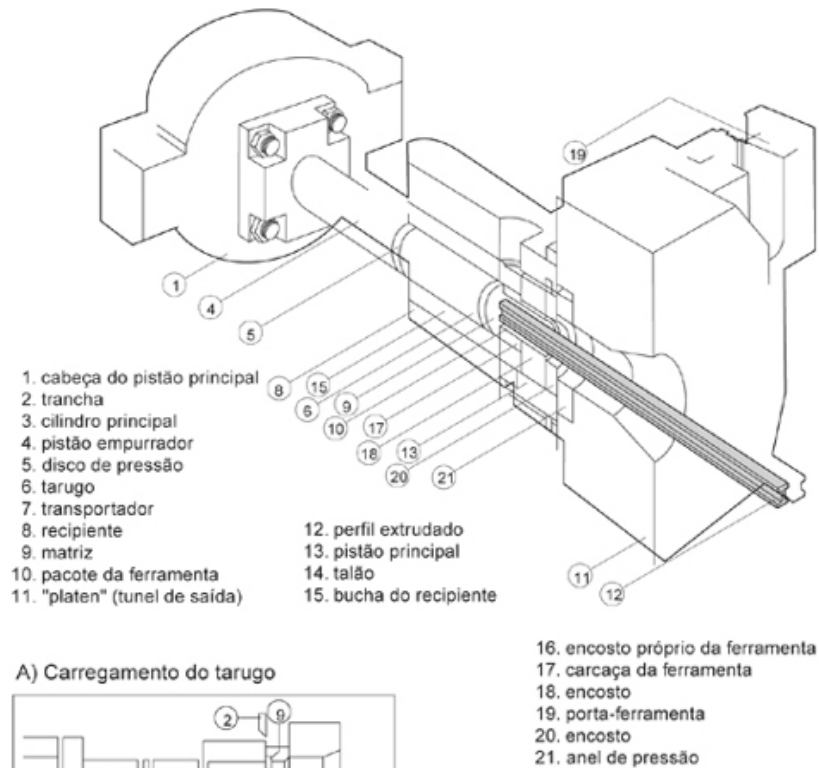
Aliás, a indústria **automotiva** é uma das que mais se utiliza dos perfis extrudados. Cerca de 45% dos extrudados são utilizados em trocadores de calor, como radiadores e componentes de ar condicionado, entre outros. Mais da metade (55%) dos perfis são aplicados em componentes do chassi, estruturas, assentos, eixos de direção, para-choque e cilindro de freios.

A maior parte dos extrudados de alumínio utilizados no mundo são produzidos em prensas hidráulicas horizontais com capacidade de força de 1.200 a 2.400 toneladas. Outras com capacidades de até 15.000 toneladas são utilizadas para empurrar perfis de grande dimensão ou

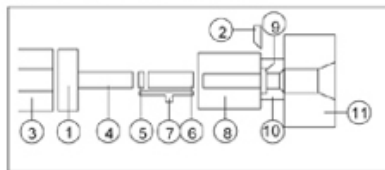
complexidade geométrica, além de perfis produzidos com ligas de alta resistência mecânica. No outro extremo, prensas de 500 toneladas, por exemplo, são utilizadas para pequenas extrusões, produzindo de forma mais econômica perfis bem mais leves. Além das prensas, o processo requer equipamentos auxiliares, como fornos para aquecimento de tarugos e de tratamento térmico de perfis, além de máquinas para esticamento, transporte e corte dos produtos extrudados.

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

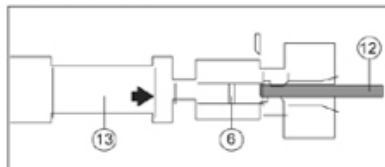
Os perfis de grande comprimento em relação às suas seções transversais são geralmente cortados em comprimentos menores. Eles compõem máquinas operatrizes, carcaças de bombas e motores, dissipadores de calor, equipamentos elétricos, entre outros saindo na frente na competição com peças fundidas, forjadas e usinadas. Para aproximar o máximo possível do produto final, pode-se também forjá-los e usiná-los, se necessário.



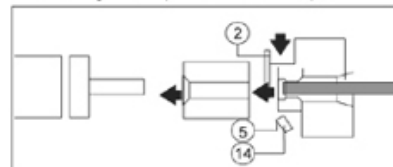
A) Carregamento do tarugo



B) Extrudando



C) Descar te do talão.
Retração do pistão e do recipiente



Sinteticamente, podemos definir as seguintes forças presentes na extrusão:

Extrusão direta: $F = F_{at} + F_c$ onde: F = Força necessária para a extrusão
 Extrusão indireta: $F = F_c$ F_{at} = Força de atrito
 F_c = Força de cisalhamento

TREFILAÇÃO

É um processo de transformação pela deformação mecânica a frio que permite a diminuição da seção transversal de um produto pela passagem através de uma matriz, por esforço de tração. Análogo à laminação, o processo aumenta as propriedades mecânicas da liga, diminuindo as tolerâncias dimensionais, melhorando o acabamento superficial e produzindo bitolas que seriam mais complexas de se obter por extrusão. Normalmente, são trefiladas ligas não tratáveis (aumentando suas propriedades mecânicas) e tratáveis termicamente (nas quais a função é a de precisão dimensional). A indústria utiliza dois sistemas de trefilação:

- Em bancos: para barras e tubos de maior diâmetro;
- Em blocos rotativos: para dimensões menores de vergalhões e tubos.

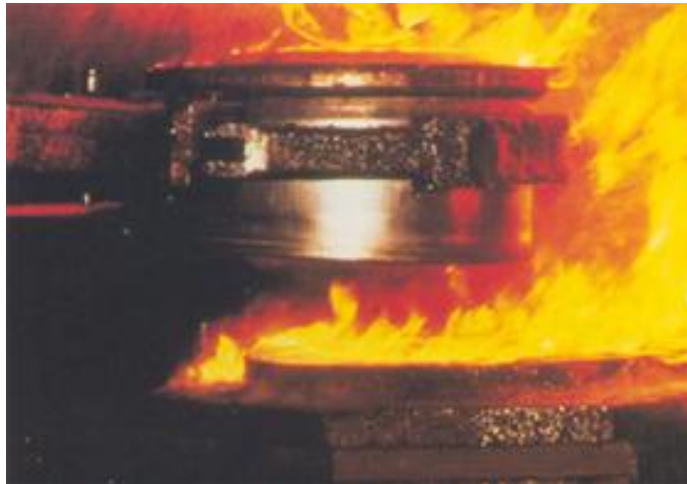
FORJAMENTO

O alumínio é bastante utilizado em forjamento principalmente nas indústrias aeronáutica, bélica, transportes, máquinas e equipamentos. Sua aplicação abrange peças como rodas, eixos, longarinas, bielas, peças de bicicletas, motores, rotores, engrenagens, pistões, etc.

O forjamento é o processo de conformação pelo qual se obtém a força desejada de uma peça por martelamento ou aplicação gradativa de uma pressão. A maioria das operações de forjamento são feitas a quente. A indústria utiliza três métodos de forjamento:

- Matriz aberta;
- Matriz fechada com rebarba;
- Matriz fechada sem rebarba.

A escolha do processo mais apropriado é baseada no formato da peça, na sofisticação do projeto da peça e no custo. Normalmente, dois ou mais métodos de forjamento são combinados para se obter o formato desejado.



No forjamento do alumínio, um bloco, tarugo ou perfil é aquecido e pressionado contra uma matriz bipartida, na qual foi escavada a forma da peça em negativo. O metal esco, preenchendo a cavidade formada pelo ferramental, tomando a forma da peça. Depois das ligas ferrosas, o alumínio é o metal mais utilizado para forjamento.

As ligas de alumínio podem ser forjadas em qualquer tipo de equipamento para forjamento utilizado para outros metais (de martelo a prensa até máquinas de forjamento especializadas). Entretanto, essas ligas são raramente forjadas em martelos.

Temperatura de trabalho		 Dificuldade crescente de forjamento
Ligas de alumínio	400 – 550°C	
Ligas de magnésio	250 – 350°C	
Ligas de cobre	600 – 900°C	
Aço carbono e aço baixa liga	850 – 1150°C	
Aços inoxidáveis	1100 – 1250°C	
Ligas de titânio	700 – 950°C	

FUNDIÇÃO

É um dos primeiros processos industriais utilizados na produção de artigos de metal. As propriedades do alumínio e a tecnologia moderna oferecem excelentes condições, com controles científicos adequados, para que se possa produzir grandes quantidades de peças mantendo uma qualidade uniforme. O mercado conta com excelentes ligas de alumínio que proporcionam uma grande variedade de propriedades para as peças fundidas. As principais são:

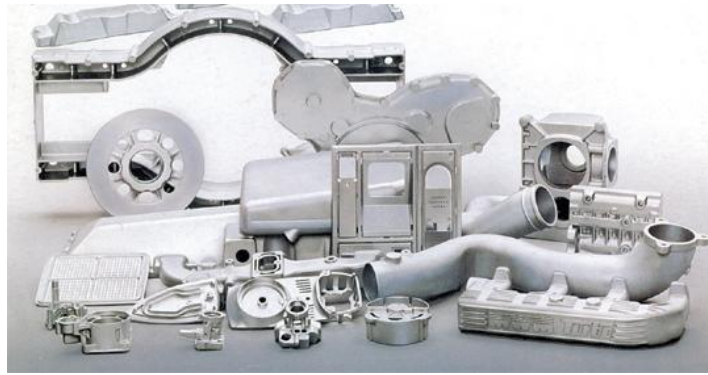
- Baixa temperatura de fusão;
- Forte tendência à oxidação;
- Baixa densidade;
- Alta condutividade térmica;
- Elevado coeficiente de dilatação.

O vazamento de metal líquido em moldes de areia é uma das mais antigas artes industriais. Ainda é utilizado quando as peças fundidas são requeridas em pequenas quantidades, de tamanho excepcionalmente grande ou muito intrincadas. Peças com melhor acabamento superficial são produzidas pela fundição em matriz por gravidade. O metal é vazado dentro de uma matriz de ferro ou de aço. Este processo torna-se econômico quando há uma demanda para um número considerável de peças.

Para grandes volumes de peças, a fundição em matriz sob pressão é a mais vantajosa. O metal é forçado a penetrar em matrizes de aço sob a força de pressão hidráulica. Os fundidos com grande precisão de detalhes são produzidos desta forma. O método tem sido cada vez mais empregado em peças fundidas até o tamanho de blocos de cilindros.

Por outro lado, quando um alto grau de precisão dimensional é requerido, mas o número de peças é relativamente pequeno, é utilizado um processo mais antigo: a cera perdida. Nele, um modelo consumível é revestido com uma fina camada refratária, a qual é subsequente e endurecida em estufa para formar o molde. A figura abaixo mostra uma série de peças fundidas.

As peças fundidas de alumínio têm suas principais aplicações na área automotiva e de transportes, que representam cerca de 60% do consumo do alumínio neste segmento. Como exemplo, pode-se citar blocos de motor, caixas de câmbio, carcaça de motores e rodas para automóveis e veículos pesados, entre outros.



A fundição pode ser feita por gravidade, com uso de areia ou molde metálico, e sob pressão, (alta ou baixa). Além desses há também processos especiais, com cera perdida e fundição centrífuga.

Fundição em areia

É um processo que pode ser feito por moldagem em areia verde e em cascas de Shell, cura a frio, com dióxido de carbono e *loast foam*. Areias verdes são areias aglomeradas com argila no estado úmido. Esse material é constituído por granulados refratários chamados de areias-base e por um produto com capacidade de coesão e plasticidade – o aglomerante – que neste caso é a argila. As areias de fundição podem ser naturais, semi-sintéticas (com adições para correção ou melhoria das propriedades naturais) e sintéticas (obtida pela mistura dos constituintes básicos isoladamente tais como areia, aglomerantes, aditivos e plastificantes).

Fundição em coquilha

Feito por gravidade, esse processo consiste em obter peças por meio do vazamento do metal líquido em um molde metálico, também chamado de coquilha. A introdução do metal é essencialmente determinada pela força da gravidade.

Fundição sob pressão

Consiste na injeção de um metal líquido contido em um recipiente (câmara de injeção) para o interior da cavidade de um molde fabricado em aço, por meio de um pistão. Na primeira fase, o ar é eliminado da câmara de injeção. Depois, há um rápido preenchimento da cavidade do molde para evitar o resfriamento do metal. A última etapa é a compactação do metal para diminuir o volume das microporosidades decorrentes da contração de solidificação do metal.



Tixofundição

Também chamado de fundição de ligas semi-sólidas de alumínio, o processo é novo no Brasil, mas já é utilizado em larga escala em países desenvolvidos como Japão, Estados Unidos, Alemanha e Itália. A tecnologia utiliza, ao invés de alumínio líquido, o metal em "pasta", evitando o desgaste no contato entre o metal e o molde e aumentando a produtividade. As principais aplicações desse processo se dão na indústria automotiva, na fabricação de peças como suspensões, carcaças e discos de embreagem, entre outras.

A técnica é usada desde 1982 e tem como uma de suas principais vantagens o menor desgaste das peças usadas no processo. Por ser um material 60% sólido e 40% líquido, a fundição de semi-sólidos permite um menor atrito entre o molde e o metal, aumentando sua vida útil e, conseqüentemente, a produtividade. Com isso, o material fundido não apresenta porosidades, tampouco segregação de elementos de liga, oferecendo um resultado de melhor qualidade ao produto final.

A tixofundição é usada na produção de componentes como suporte de suspensão (traseira e dianteira), bandejas de suspensão, carcaças de sistema de injeção eletrônica, caixa de direção, carcaças de cilindro mestre, disco de embreagem, entre outras. Num exemplo prático, o uso do processo de fundição de ligas semi-sólidas de alumínio permite que uma peça como o suporte do motor tenha seu peso reduzido de **5 kg para 3 kg** com a tixofundição.

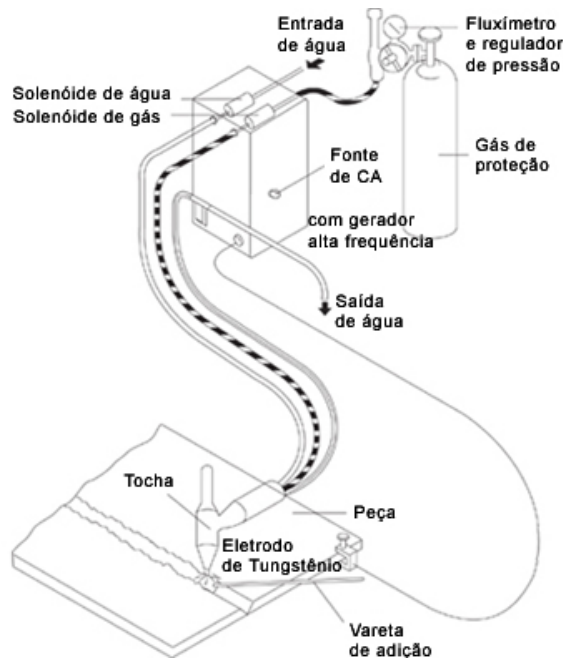
SOLDAGEM

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, por meio da utilização de técnicas apropriadas, visto que as linhas de solda são bastante resistentes para as suas várias aplicações.

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 é composto, parcial ou totalmente, por um metal-base de ressolidificação 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, descritos a seguir:

PROCESSO DE SOLDA TIG (TUNGSTEN INERT GAS)

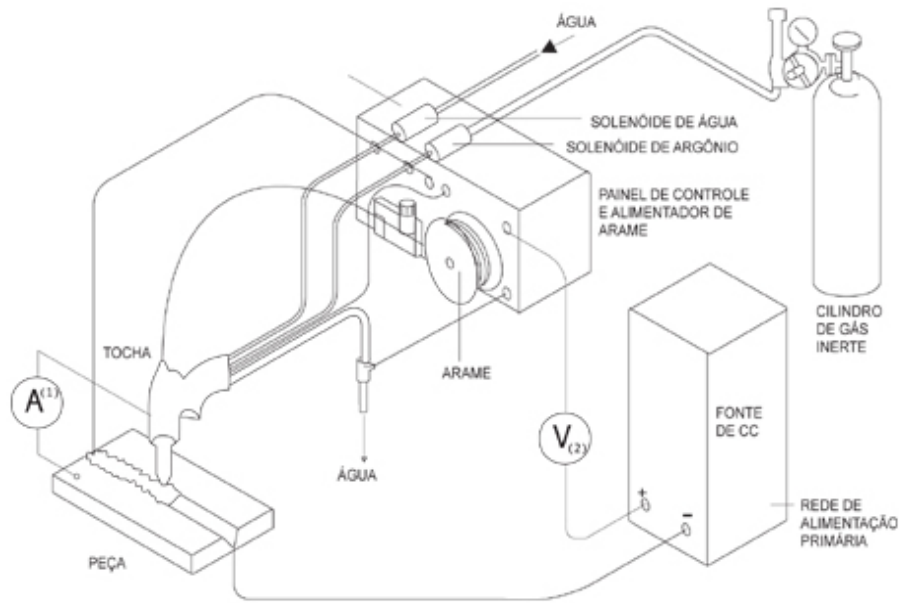
O processo TIG é o mais aplicado na soldagem das ligas de alumínio e foi o primeiro a ser desenvolvido com proteção de gás inerte adequado para soldar o alumínio. Na soldagem TIG, o arco elétrico é estabelecido entre um eletrodo de tungstênio não consumível e a peça, numa atmosfera de gás inerte. Neste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



SOLDAGEM MIG (METAL INERT GÁS)

A soldagem MIG é um processo em que o arco elétrico, obtido por meio de uma corrente contínua, é estabelecido entre a peça e um arame de alumínio ou liga de alumínio, que combina as funções de eletrodo e metal de adição, numa atmosfera de gás inerte. No processo MIG o eletrodo é sempre o pólo positivo do arco elétrico. Utilizando-se as versões automática e semi-automática é possível soldar o alumínio desde espessuras finas, cerca de 1,0 mm, até espessuras sem 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.



USINAGEM

Embora quase todas as ligas 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, contém adições de elementos de ligas, tais como chumbo, bismuto, antimônio ou estanho. A presença destes elementos na estrutura do metal propicia a fratura 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 o alumínio é normalmente usado sem acabamentos especiais de qualquer espécie. Isto se aplica a todas as diferentes formas de alumínio, considerando-se chapas para telhas, 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 em aparência como em durabilidade. O alumínio é adequado a numerosos acabamentos superficiais de proteção e decoração, alguns próprios do alumínio e outros que também se aplicam a outros metais.

ANODIZAÇÃO

Anodização é o processo pelo qual um filme de óxido natural é artificialmente produzido no alumínio, por meio do ânodo de um eletrólito. O filme anódico recém-formado, antes do estágio final de selagem, é poroso e pode absorver material de coloração. Esta é a base da maioria dos acabamentos coloridos anodizados e possibilita a impressão em determinadas áreas, reproduzindo claramente pequenos detalhes. As mais finas nuances podem ser impressas por meio da impregnação do filme com sensíveis sais de prata, transformando o metal numa chapa fotográfica.

Uma variada gama de cores para aplicações arquitetônicas podem também ser obtidas sem uma separação do tratamento de coloração. Uma porcentagem controlada de silício e outros elementos é introduzida na composição da liga e a composição do eletrólito é modificada. A durabilidade das cores independe 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 uma resistência adicional à corrosão. O filme é uniforme e duro, e acessórios interiores de alumínio, como maçanetas de portas, são freqüentemente anodizados para aumentar sua resistência ao uso. Esta propriedade é explorada ainda mais na anodização dura, na qual um denso filme com espessura de vários micrômetros, é desenvolvido por meio 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.

O óxido de alumínio possui boas propriedades dielétricas. O bobinamento de alumínio para equipamentos elétricos pode também ser feito com arame de alumínio anodizado ou chapa fina sem qualquer isolamento adicional.

ACABAMENTOS MECÂNICOS

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

PINTURA

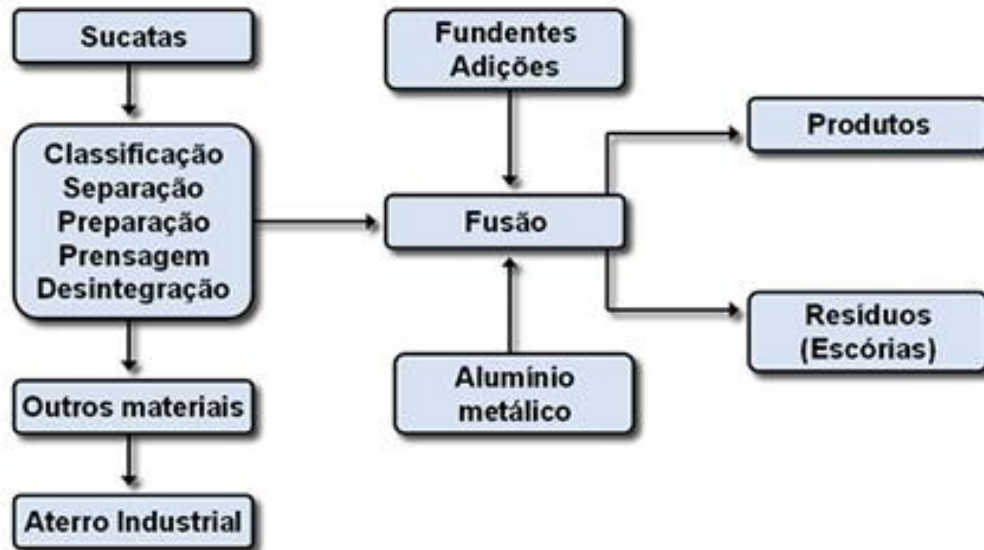


Como nos sistemas convencionais de pintura, geralmente aplicada sobre um "primer" de cromato de zinco, novos tipos de pintura, baseadas em acrílicos, vinilas e outros plásticos, são adições vantajosas à ampla gama de acabamentos para o alumínio. Especialmente em chapas para aplicações na construção civil 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 às operações de conformação, e outras duras e brilhantes. Se o pré-tratamento for adequado, todas têm uma boa aderência, sem risco de se soltar durante o corte das bordas.

Filmes plásticos podem ser aplicados na forma laminada, permitindo o uso de revestimentos em relevos mais espessos. Tintas e vernizes aderem facilmente ao alumínio, próprios para a impressão de detalhes informativos e para realçar a aparência de todos os tipos de embalagens.

RECICLAGEM

Um diferencial do alumínio, a reciclabilidade sem perda de propriedades físico/químicas, torna o metal uma excelente escolha, principalmente para as embalagens de bebidas carbonatadas (refrigerantes, cervejas, etc.). O processo de reciclagem, além de colaborar com a preservação ambiental, tem na economia de energia uma das suas maiores vantagens - utiliza apenas 5% da energia necessária para a produção do metal primário a partir do minério. O processo industrial de reaproveitamento da sucata do alumínio obedece às seguintes etapas:



Forno de Fusão

Estes tipos de fornos são próprios para a fundição da sucata de alumínio: rotativos, rotativos selado, *sidewell* sem sal, de indução (pouco utilizados) e de plasma (em desenvolvimento). Os primeiros, de tecnologia mais antiga, têm rendimento metálico entre 50% e 60%. Já os fornos rotativos selados com sal de cobertura têm um aproveitamento de até 85% e apresentam pouca geração de borra preta. Os fornos do tipo *sidewell*, também chamados de revérberos, são de tecnologia mais moderna, ideais para retalhos de baixas espessuras (0,15-0,20mm).

Fruto da recuperação da sucata do alumínio, as ligas secundárias permitem que o metal seja utilizado na fabricação de diversos semielaborados e elaborados, como chapas, perfis, etc., prontos para reutilização nos mais diversos segmentos da indústria do alumínio.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO ALUMÍNIO

Ligas de Alumínio

O alumínio fundido dissolve outros metais e substâncias metalóides como o silício (que atua 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 moléculas de tamanhos diferentes daqueles do elemento de liga principal. A principal função das ligas de alumínio é aumentar a resistência mecânica sem prejudicar as outras propriedades.

Assim, novas ligas têm sido desenvolvidas combinando as propriedades adequadas a aplicações específicas.

O metal quente pode manter mais elementos de liga em solução sólida do que quando frio. Conseqüentemente, quando resfriado, 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 ainda mais rígida e endurecem a liga.

A descoberta do "envelhecimento", das ligas que contém magnésio e silício conduziu ao desenvolvimento das principais ligas estruturais utilizadas hoje na engenharia. Este foi um trabalho pioneiro no campo das ligas de alumínio-magnésio, amplamente utilizadas atualmente na indústria naval.

Outro importante emprego do alumínio é sua utilização nas ligas de fundição, que permitem 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. Com essas associações, é possível obter características tecnológicas ajustadas de acordo com a aplicação do produto final. Mas para isso, é preciso conhecer bem as vantagens e limitações de cada elemento para 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, entre outros benefícios.

A função de cada elemento da liga se altera de acordo com a quantidade dos elementos presentes na liga e com a sua interação com outros elementos. Em geral, podemos dividir os elementos entre:

- Elementos que conferem à liga a sua característica principal (resistência mecânica, resistência à corrosão, fluidez no preenchimento de moldes, etc.);

- Elementos que têm função acessória, como o controle de microestrutura, de impurezas e traços que prejudicam a fabricação ou a aplicação do produto, os quais devem ser controlados no seu teor máximo.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A composição química do alumínio e suas ligas são expressas em percentagem, obedecendo a Norma NBR 6834 da **ABNT**. Esta norma abrange sistemas de classificação das ligas trabalháveis, das ligas para fundição, peças, lingotes e de alumínio primário, além de densidade nominal das ligas trabalháveis de alumínio.

PRINCIPAIS GRUPOS DE LIGAS TRABALHÁVEIS

- Ligas da série 3XXX:

Uma das mais utilizadas. Sua conformabilidade e a resistência à corrosão são similares às do alumínio comercialmente puro (ligas da série 1XXX), com propriedades mecânicas um pouco maiores, particularmente quando deformadas a frio.

- Ligas da série 5XXX:

São as mais resistentes. Estão disponíveis em vários formatos, como lâminas, chapas, perfis, tubos, arames, etc. Elas também possuem elevada resistência à corrosão e são facilmente produzidas e soldadas.

- Ligas tratadas termicamente de média resistência:

Contêm magnésio e silício (ligas da série 6XXX) e possuem elevada resistência à corrosão, mas perdem um pouco da sua capacidade de serem trabalhadas (o que, em seções estruturais retas, muito difundidas em aplicações estruturais, é irrelevante).

- Ligas tratadas termicamente de elevada resistência:

Têm no cobre (série 2XXX) ou zinco (série 7XXX) os principais elementos de liga. São tão resistentes quanto o aço estrutural, mas necessitam de proteção superficial. Estas ligas são utilizadas quando o fator resistência/peso for o principal, como na aviação.

Veja abaixo um resumo das mais importantes ligas de alumínio trabalháveis e suas principais aplicações.

Ligas de Alumínio Trabalháveis		
Liga	Características	Aplicações
1050 1100	Alumínio comercialmente puro, muito dúctil no estado recozido, indicado para deformação a frio. Estas ligas têm excelente resistência à corrosão, a qual é crescente com o aumento da pureza da liga	Equipamentos para indústrias alimentícias, químicas, bebidas, trocadores de calor ou utensílios domésticos.
1350	Alumínio 99,5% de pureza, com condutibilidade mínima de 61% IACS.	Barramentos elétricos, peças ou equipamentos que necessitem de alta condutibilidade elétrica.
2017 2024 2117 2219	Ligas de AlCu, com elevada resistência mecânica, alta ductibilidade, média resistência à corrosão e boa usinabilidade.	Peças usinadas e forjadas, indústria aeronáutica, transporte, máquinas e equipamentos.
3003	Ligas de AlMn, com boa resistência à corrosão, boa conformabilidade e moderada resistência mecânica. São ligas de uso geral.	Carrocerias de ônibus e de furgões, equipamentos rodoviários e veículos em geral, reboques, vagões, utensílios domésticos, equipamentos para indústria química e alimentícia, telhas, cumeeiras, rufos, calhas, forros, construção civil e fachadas.
4043 4047	Ligas de AlSi utilizadas em varetas de solda.	Soldagem das ligas das séries 1XXX, 3XXX e 6XXX.
5005 5052 5056	Ligas de AlMg são dúcteis no estado recozido, mas endurecem rapidamente sob trabalho a frio. Alta resistência à corrosão em ambientes marítimos. Em geral a	Carrocerias de ônibus e de furgões, equipamentos rodoviários e veículos em geral, estruturas solicitadas, reboques, vagões ferroviários, elementos estruturais, utensílios domésticos, equipamentos

	resistência mecânica aumenta com os teores crescentes de Mg.	para indústria química e alimentícia, telhas, cumeeiras, rufos, calhas, forros, construção civil, fachadas e embarcações.
6053 6061 6063 6351	Ligas de AlMgSi, tratáveis termicamente com excelente resistência mecânica na têmpera T6.	Carrocerias de ônibus e de furgões, equipamentos rodoviários e veículos em geral, estruturas solicitadas, reboques, vagões ferroviários, elementos estruturais, utensílios domésticos, equipamentos para indústria química e alimentícia, telhas, cumeeiras, rufos, calhas, forros, construção civil, fachadas e embarcações.
7075 7178	Ligas de AlZn, tratáveis termicamente, alta resistência mecânica, boa resistência à corrosão e boa conformabilidade.	Peças sujeitas aos mais elevados esforços mecânicos em indústria aeronáutica, militar, máquinas e equipamentos, moldes para injeção de plástico e estruturas.

LIGAS DE FUNDIÇÃO

Diferentemente dos materiais trabalháveis, que estão sujeitos a uma variação 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 (no 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 maior dureza e resistência exigidas em serviço.

As ligas alumínio-magnésio apresentam maiores problemas na fundição, mas possuem boa resistência e ductilidade. Elas são 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.

Ligas de Alumínio Utilizadas em Fundição		
Liga	Características	Aplicações
150.0	Alumínio comercialmente puro com excelente resistência à corrosão e boa condutividade elétrica (57% IACS), não tratável termicamente. Fundição em molde permanente, areia e sob pressão.	Acessórios utilizados nas indústrias químicas e de alimentação, rotores, condutores elétricos e equipamentos industriais.
242.0	Excelentes propriedades mecânicas em temperaturas elevadas e muito boa usinabilidade. Baixa resistência à corrosão. Fundição em molde permanente e areia.	Pistões e cabeçotes para aviões, motores a diesel e de motocicletas.
295.0	Média resistência, boa usinabilidade. Baixa resistência à corrosão. Fundição em areia.	Elementos estruturais de máquinas, equipamentos e aviação, cárter, rodas de ônibus e de aviões.
319.0	Resistência mecânica moderada e boas características de fundição e usinagem. Fundição em molde permanente e em areia.	Uso geral, além de revestimentos e caixas de equipamentos elétricos.
355.0	Média resistência mecânica, com excelente fluidez, boa usinabilidade após tratamento térmico, boa estanqueidade sob pressão. Fundição em molde permanente e areia.	Peças complexas ou sob tensão, cabeçote de cilindros, corpo de válvulas, camisa de água, união para mangueiras, acessórios para indústria de máquinas e na construção civil.
C355.0	Similar a 355.0, mas com maior resistência mecânica, excelente característica de alimentação (ideal para peças fundidas espessas). Fundição em	Peças estruturais sob tensão, componentes de aviação e de mísseis, acessórios de máquinas e equipamentos, construção civil, fachadas e embarcações.

	molde permanente e areia.	
356.0	Média resistência mecânica, excelente fluidez e estanqueidade sob pressão, boa resistência à corrosão e usinabilidade. Fundição em molde permanente e areia.	Peças fundidas com seções finas, cilindros, válvulas, cabeçotes, blocos de motores, ferramentas pneumáticas e componentes 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.
350.0	Excelente estanqueidade sob pressão, resistência à corrosão e muito boa usinabilidade. Fundição sob pressão.	Recipientes e componentes de iluminação, peças externas de motores e utensílios domésticos.
380.0	Bom acabamento superficial, muito boa usinabilidade, podendo ser anodizada. Fundição sob pressão.	Peças de utensílios domésticos em geral.
A380.0	Elevada resistência mecânica tanto em locais com temperaturas ambiente como elevadas, muito boa fluidez, boa estanqueidade sob pressão, usinabilidade e resistência à corrosão. Fundição sob pressão.	Peças para utensílios domésticos em geral, indústrias elétrica e automotiva.
413.0	Excelente estanqueidade sob pressão e resistência à corrosão, baixa usinabilidade. Fundição sob pressão.	Caixas de medidores de energia elétrica, peças externas de motores e peças fundidas com seções finas que requerem boa resistência à corrosão.
443.0	Baixa resistência mecânica, muito boa fluidez, excelente estanqueidade sob pressão e resistência à corrosão. Fundição em molde permanente, areia e sob pressão.	Peças fundidas com seções finas, utensílios domésticos, moldes para artefatos de borracha e componentes arquiteturais anodizados na cor cinza.
518.0	Excelente usinabilidade e resistência à corrosão, alta ductilidade, baixa fluidez e excelentes propriedades de acabamento superficial. Fundição sob pressão.	Aplicações marítimas, acessórios ornamentais de máquinas e equipamentos.
520.0	Excelente resistência mecânica, inclusive sob cargas de impacto, boas condições de anodização e de polimento, baixa fluidez, excelente usinabilidade e resistência à corrosão, mas suscetível à corrosão sob tensão em temperaturas acima de 120°C. Fundição em areia.	Peças submetidas a elevadas tensões na engenharia de aviação, marítima e de transporte.
712.0	Boas propriedades mecânicas, envelhece naturalmente, se retempera após soldagem, excelente usinabilidade e boa resistência à corrosão. Fundição em areia.	Peças fundidas para conjuntos de brasagem.

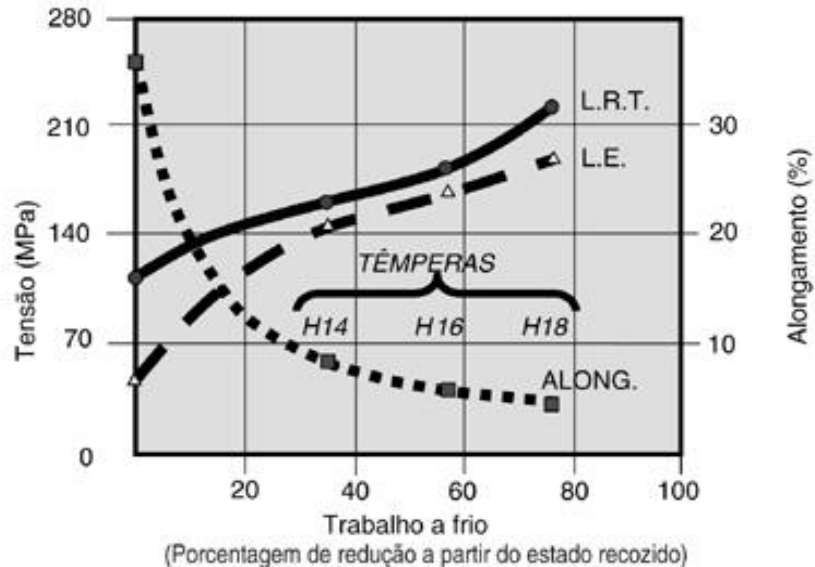
TÊMPERAS

É uma condição aplicada ao metal ou liga, por meio de deformação plástica a frio ou de tratamento térmico, propiciando-lhe estrutura e propriedades mecânicas características. A expressão não tem qualquer ligação com a usada nos produtos de aço (material tratado termicamente para aumentar suas propriedades mecânicas).

Ainda que a resistência original possa ser aumentada agregando-se certos elementos, as propriedades mecânicas das ligas, com exceção de algumas 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. 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 no trabalho a frio. O gráfico abaixo 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 temperas são classificadas conforme a norma NBR 6835 e de acordo com os processos a que são submetidas: "F" (como fabricada), "O" (recozida), "H" (encruada), "W" (solubilizada) e "T" (tratada termicamente).

TRATAMENTO TÉRMICO

As ligas de alumínio são classificadas em "tratáveis termicamente", que respondem ao tratamento em solução, e "não-tratáveis termicamente", cujas propriedades são melhoradas apenas com o trabalho a frio. Os principais tipos de tratamento térmico são:

- **Homogeneização;**
- **Solubilização/Envelhecimento;**
- **Recozimento Pleno;**
- **Recozimento parcial;**
- **Estabilização.**

HOMOGENEIZAÇÃO

É realizado em temperaturas ao redor de 500°C – dependendo da liga – e tem a função de remover ou reduzir as segregações, produzir estruturas estáveis e controlar certas características metalúrgicas, como propriedades mecânicas, tamanho de grão, estampabilidade, entre outras. Na laminação a quente, este tratamento pode ser executado concomitantemente ao aquecimento das placas.

SOLUBILIZAÇÃO/ENVELHECIMENTO

Dá às ligas que respondem a esse tratamento térmico uma maior resistência mecânica. O processo é o seguinte:

1) O metal é aquecido uniformemente até cerca de 500°C. A temperatura exata depende de cada liga. O aquecimento ocasiona a dissolução dos elementos de liga na solução sólida (tratamento de solução);

2) Segue-se um resfriamento rápido, geralmente em água, que previne temporariamente a precipitação dos elementos da liga. Esta condição é instável. Gradualmente, os constituintes precipitam-se de uma maneira extremamente fina (somente visível por potentes microscópios), alcançando o máximo efeito de endurecimento (envelhecimento). Em algumas ligas isto ocorre espontaneamente depois de alguns dias (envelhecimento natural). Outras requerem um reaquecimento por algumas horas a cerca de 175°C (tratamento de precipitação).

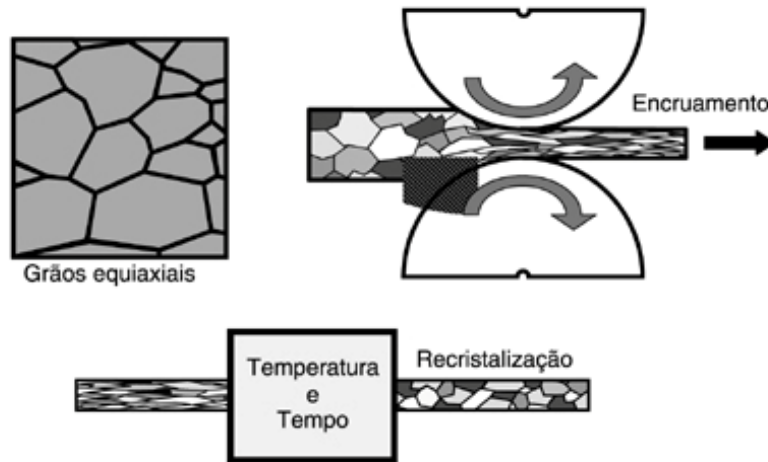
As chapas são normalmente tratadas num banho de sal fundido, que possui alta taxa de calor e fornece suporte ao metal, prevenindo possíveis deformações em altas temperaturas. Fornos com circulação de ar forçado são geralmente utilizados para perfis extrudados, tubos, forjados e peças fundidas.

Entre os efeitos de um tratamento térmico completo estão um aumento substancial no limite de resistência à tração e uma redução da ductilidade. Normalmente, o tratamento térmico é precedido de uma operação de conformação severa, se for necessária. A maior parte das conformações podem ser feita antes do tratamento de solução, com um acerto posterior para corrigir 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 esta conciliação for difícil, é possível retardar o envelhecimento mantendo os componentes resfriados. Essa técnica é freqüentemente aplicada em rebites para a indústria de aviação.

RECOZIMENTO PLENO

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

- 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 que causam 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 subseqüentes, principalmente de estampagem.



RECOZIMENTO PARCIAL

Este tipo de tratamento térmico corresponde a uma recristalização parcial do material, permitindo a obtenção de têmperas com alongamentos maiores. Esse processo favorece, 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 Al-Mg (série 5XXX), após alguns dias em temperatura ambiente, ocorre uma perda de propriedades mecânicas do material deformado a frio. Para contornar esse inconveniente, aquece-se o material em temperaturas ao redor de 150°C para acelerar a recuperação (têmperas H3X). Este tratamento alivia a tensão residual dos materiais encruados e aumenta a resistência à corrosão das ligas de AlMg.

PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas são determinadas por 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:

- Valores garantidos: parâmetros mínimos estabelecidos pelas especificações;
- Valores típicos: obtidos por meio de dados estatísticos propiciados por ensaios rotineiros, que garantem que o material obedece às especificações.

LIMITES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

É a máxima tensão que o material resiste antes de haver sua ruptura. Calcula-se dividindo a carga máxima (em quilogramas) aplicada durante o ensaio, pela seção transversal em milímetros quadrados do corpo-de-prova. Para o alumínio puro recozido, essa razão é de aproximadamente 48MPa (4,9 kg/mm²). O valor aumenta em função da liga, do trabalho a frio e do tratamento térmico (quando possível).

LIMITE DE ESCOAMENTO

Consiste na tensão em que o material começa a deformar-se plasticamente e que para o alumínio é de 0,2% do comprimento original medido em um corpo-de-prova normal. É importante definir este grau de deformação permanente porque as ligas de alumínio não possuem limite de escoamento tão pronunciado como a maioria dos aços. O limite do alumínio puro é de aproximadamente 12,7 Mpa (1,3 kg/mm²).

ALONGAMENTO

O alongamento é expresso em porcentagem relativamente ao comprimento original medido em um corpo-de-prova normal e é calculado pela diferença entre os pontos de referência, antes e depois do ensaio de tração. Esse alongamento indica a ductilidade do metal ou da liga. Quanto mais fino o corpo-de-prova, menor será o alongamento e vice-versa.

DUREZA

Define-se como a medida da resistência de um metal à penetração. Existem várias maneiras de se determinar a dureza de um material. Para os metais, os mais comuns são os métodos de Brinell, Vickers e Rockwell. Não existe uma relação direta entre o valor da dureza e as propriedades mecânicas das várias ligas de alumínio. Os elementos de liga aumentam em muito sua resistência com o alumínio, assim como o tratamento térmico e o endurecimento pelo trabalho a frio. Entretanto a dureza é significativamente mais baixa do que a maioria dos aços.

MÓDULO DE ELASTICIDADE

O módulo de elasticidade do alumínio do alumínio é de 7030 kg/mm². A adição de outros materiais nas ligas não altera esse valor consideravelmente, que pode chegar a até 7500 kg/mm². Portanto, o índice do alumínio representa um terço do módulo de elasticidade do aço. Essa propriedade dá ao alumínio a vantagem de dar às estruturas de alumínio uma elevada capacidade de amortecer golpes e reduzir as tensões produzidas pela variação da temperatura.

TENSÃO DE FADIGA

Quando uma tensão oscilante é aplicada por um certo número de vezes sobre um mesmo material, mesmo que os impactos tenham força inferior ao seu limite de resistência à tração, é previsível uma 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 necessários para produzir a falha. No alumínio, em testes normais, o limite de resistência chega a 50 milhões de inversão de tensão e pode variar de 25% a 50% da tensão de ruptura, conforme a liga.

TEMPERATURAS ELEVADAS

O alumínio puro funde a 660°C e várias ligas possuem um ponto de fusão inferior a esse. O metal puro e muitas ligas perdem um pouco a sua resistência, ficando sujeitas a uma lenta deformação plástica, chamada de fluência, se permanecer sob tensão por longos períodos em temperaturas acima de 200°C. Por outro lado, ligas feitas para serviços em altas temperaturas, como às usadas em pistões, retêm suas propriedades adequadamente, funcionando satisfatoriamente dentro da faixa de temperatura de trabalho requerida.

TEMPERATURAS BAIXAS

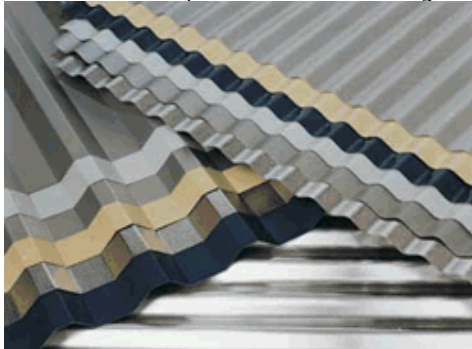
Quando exposto a temperaturas abaixo de zero, o alumínio não se torna frágil. Sua resistência aumenta sem perder a ductilidade. Esta é a característica que leva uma liga de AlMg ser escolhida para a construção de tanques soldados para armazenamento de gás metano liquefeito, em temperaturas de -160°C.

VANTAGENS

As características do alumínio permitem que ele tenha uma diversa gama de aplicações. Por isso, o metal é um dos mais utilizados no mundo todo. Material leve, durável e bonito, o alumínio mostra uma excelente performance e propriedades superiores na maioria das aplicações. Produtos que utilizam o alumínio ganham também competitividade, em função dos inúmeros atributos que este metal incorpora, como pode ser conferido a seguir:

LEVEZA

Característica essencial na indústria de transportes, representa menor consumo de combustível, menor desgaste, mais eficiência e capacidade de carga. Para o setor de alimentos, traz funcionalidade e praticidade às embalagens por seu peso reduzido em relação a outros materiais.



CONDUTIBILIDADE TÉRMICA E ELÉTRICA

O alumínio é um excelente meio de transmissão de energia, seja elétrica ou térmica. Um condutor elétrico de alumínio pode conduzir tanta corrente quanto um de cobre, que é duas vezes mais pesado e, conseqüentemente, caro. Por isso, o alumínio é muito utilizado pelo setor de fios e cabos.

O metal também oferece um bom ambiente de aquecimento e resfriamento. Trocadores e dissipadores de calor em alumínio são utilizados em larga escala nas indústrias alimentícia, automobilística, química, aeronáutica, petrolífera, etc. Para as embalagens e utensílios domésticos, essa característica confere ao alumínio a condição de melhor condutor térmico, o que na cozinha é extremamente importante.

IMPERMEABILIDADE E OPACIDADE

Característica fundamental para embalagens de alumínio para alimentos e medicamentos. O alumínio não permite a passagem de umidade, oxigênio e luz. Essa propriedade faz com que o metal evite a deterioração de alimentos, remédios e outros produtos consumíveis.



ALTA RELAÇÃO RESISTÊNCIA/PESO

Importante para a indústria automotiva e de transportes, confere um desempenho excepcional a qualquer parte de equipamento de transporte que consuma energia para se movimentar. Aos utensílios domésticos oferece uma maior durabilidade e manuseio seguro, com facilidade de conservação.

BELEZA

O aspecto externo do alumínio, além de conferir um bom acabamento apenas com sua aplicação pura, confere modernidade a qualquer aplicação por ser um material nobre, limpo e que não se deteriora com o passar do tempo. Por outro lado, o metal permite uma ampla gama de aplicações de tintas e outros acabamentos, mantendo sempre o aspecto original e permitindo soluções criativas de design.



DURABILIDADE

O alumínio oferece uma excepcional resistência a agentes externos, intempéries, raios ultravioleta, abrasão e riscos, proporcionando elevada durabilidade, inclusive quando usado na orla marítima e em ambientes agressivos.

MOLDABILIDADE E SOLDABILIDADE

A alta maleabilidade e ductibilidade do alumínio permite à indústria utilizá-lo de diversas formas. Suas propriedades mecânicas facilitam sua conformação e possibilitam a construção de formas adequadas aos mais variados projetos.

RESISTÊNCIA À CORROSÃO

O alumínio tem uma auto-proteção natural que só é destruída por uma condição agressiva ou por determinada substância que dissipe sua película de óxido de proteção. Essa propriedade facilita a conservação e a manutenção das obras, em produtos como portas, janelas, forros, telhas e revestimentos usados na construção civil, bem como em equipamentos, partes e estruturas de veículos de qualquer porte. Nas embalagens é fator decisivo quanto à higienização e barreira à contaminação.



RESISTÊNCIA E DUREZA

Ao mesmo tempo em que o alumínio possui um alto grau de maleabilidade, ele também pode ser trabalhado de forma a aumentar sua robustez natural. Com uma resistência à tração de 90 Mpa, por meio do trabalho a frio, essa propriedade pode ser praticamente dobrada, permitindo seu uso em estruturas, com excelente comportamento mecânico, aprovado em aplicações como aviões e trens.

POSSIBILIDADE DE MUITOS ACABAMENTOS

Seja pela anodização ou pela pintura, o alumínio assume a aparência adequada para aplicações em construção civil, por exemplo, com acabamentos que reforçam ainda mais a resistência natural do material à corrosão.

RECICLABILIDADE

Uma das principais características do alumínio é sua alta reciclabilidade. Depois de muitos anos de vida útil, segura e eficiente, o alumínio pode ser reaproveitado, com recuperação de parte significativa do investimento e economia de energia, como já acontece largamente no caso da lata de alumínio. Além disso, o meio ambiente é beneficiado pela redução de resíduos e economia de matérias-primas propiciadas pela reciclagem.



Bibliografia:

Fundamentos e Aplicações do Alumínio – Associação Brasileira do Alumínio