

Leveza, ductilidade, resistência a esforços mecânicos e a ataques do meio ambiente, alto valor econômico da sucata, enormes jazidas: essas e outras qualidades tornaram o alumínio o material mais utilizado no mundo depois do aço.

Embora a tradição diga que “em time que está ganhando não se mexe”, a imensa curiosidade do homem aliada às exigências de consumo do mercado continuam levando a um aperfeiçoamento tecnológico sempre crescente na produção dos materiais para a indústria. E o alumínio não poderia ficar fora disso.

Assim, para melhorar ainda mais as características desse material já tão versátil, desenvolveram-se novas ligas e empregaram-se processos de beneficiamento. Eles são usados com a finalidade de dar ao metal características especiais para usos especiais. Esse é o assunto desta aula. Estude com atenção e veja como ele é interessante.

Como melhorar as propriedades do alumínio

O alumínio puro é bastante dúctil, apresenta boa resistência à corrosão, boa condutividade térmica e elétrica. Todas essas características o tornam indicado para a fabricação de laminados muito finos, embalagens, latinhas de bebidas, recipientes para a indústria química, cabos e condutores elétricos.

Porém, o alumínio puro apresenta baixa resistência a esforços mecânicos e baixos níveis de dureza. Por isso, para peças que

estão sujeitas a esforços elevados, a resistência do alumínio puro não é suficiente.

Existem várias maneiras para melhorar as propriedades de um metal. Pode-se acrescentar elementos químicos e obter uma liga. Por meio de processos mecânicos, como laminação ou prensagem, pode-se torná-lo, por exemplo, mais resistente. Também é possível obter esse tipo de resultado com um processo de tratamento térmico. Isso é perfeitamente aplicável ao alumínio.

As ligas de alumínio

Para melhorar ou modificar as propriedades do alumínio, adicionam-se a ele um ou mais de um elemento químico. Esse processo tem como resultado a formação de uma liga. Isso acontece depois que o alumínio puro e líquido sai do forno eletrolítico e vai para o forno de espera onde o elemento é adicionado.

As ligas são formadas principalmente com a adição de cobre (Cu), magnésio (Mg), manganês (Mn), silício (Si) ou zinco (Zn) ao alumínio (Al). A escolha dos elementos e sua proporção nessa adição dependem das propriedades finais que se quer obter. Assim, por exemplo, se fabricarmos uma liga de alumínio (Al) com cobre (Cu) e submetermos essa liga a processos especiais de tratamento térmico, esse material terá uma resistência à tração equivalente e até maior que a de alguns aços de baixo teor de carbono. Além disso, ela apresenta uma ótima usinabilidade. Devido à alta relação entre resistência (maior) e peso (menor), essa liga é indicada para a indústria aeronáutica e automobilística, na fabricação de rodas de caminhões, na estrutura e revestimento de asas e rodas de aviões. É indicada também para peças que devem suportar temperaturas ao redor de 150°C.

Quando se adiciona manganês (Mn) ao alumínio, a resistência mecânica dessa liga aumenta em até 20% quando comparada ao alumínio puro. Mesmo assim, ela não perde a capacidade que o alumínio tem de ser trabalhado por todos os processos de conformação e fabricação mecânicas, como por exemplo, a prensa-

gem, a soldagem e a rebitagem. Essa liga aceita acabamentos de superfície; é resistente à corrosão; possui elevada condutividade elétrica, embora sua resistência mecânica seja limitada. Com essas características, essa liga é usada nas mesmas aplicações que o alumínio puro, ou seja, na fabricação de latas de bebidas, placas de carro, telhas, equipamentos químicos, refletores, trocadores de calor e como elemento decorativo na construção civil.

A liga de alumínio/silício (Si) apresenta baixo ponto de fusão e boa resistência à corrosão. Quando o teor de silício é elevado (em torno de 12%), a liga se torna adequada para produzir peças fundidas. Ela também é indicada como material de enchimento em processos de soldagem e **brasagem**.

Brasagem, ou solda forte, é o processo de união de metais no qual o material de adição sempre se funde a uma temperatura abaixo da temperatura de fusão das peças a serem unidas.

As ligas de alumínio/magnésio (Mg) são excelentes para a soldagem, além de serem também resistentes à corrosão, principalmente em atmosferas marinhas. Por isso, são muito empregadas na fabricação de barcos, carrocerias para ônibus e furgões e no revestimento de **tanques criogênicos**.

Tanque criogênico é um recipiente usado para armazenar gases ou líquidos a temperaturas extremamente baixas.

É possível também combinar elementos de liga. É o caso das ligas de alumínio que contêm magnésio e silício em sua composição. Essas ligas apresentam uma resistência mecânica um pouco menor que as ligas de alumínio e cobre. Porém, têm elevada resistência à corrosão, são facilmente moldadas, usinadas e soldadas e aceitam diversos tipos de processos de acabamento, tais como o polimento, o envernizamento e a esmaltação. São usadas na construção civil, na fabricação de veículos e máquinas e fios para cabos de alta tensão.

Existem também ligas de alumínio fabricadas com a adição de zinco (Zn) e uma pequena porcentagem de magnésio (Mg), cobre (Cu) ou cromo (Cr). Depois de passar por tratamento térmico, essas ligas são usadas em aplicações que exijam uma alta relação resistência/peso, principalmente na construção de aviões. Outros elementos de liga que podem ser adicionados ao alumínio são: bismuto (Bi), chumbo (Pb), titânio (Ti), estanho (Sn), níquel (Ni) etc. São as variações nas quantidades e combinações dos elementos que originam uma infinidade de ligas com propriedades adequadas a cada uma das aplicações.

Se você está achando difícil guardar de cabeça todas essas informações, preparamos um quadro que resume tudo o que dissemos até aqui sobre as ligas de alumínio. Veja como fica mais fácil:

Elemento adicionado	Características	Aplicações
Alumínio puro	Ductilidade, condutividade elétrica e térmica, resistência à corrosão.	Embalagens, folhas muito finas, recipientes p/ a indústria química, condutores elétricos.
Cobre	Resistência mecânica, resistência a altas temperaturas e ao desgaste, usinabilidade.	Rodas de caminhões, rodas, estrutura e asas de aviões, cabeçotes de cilindros de motores de aviões e caminhões, pistões e blocos de cilindros de motores.
Manganês	Ductilidade, melhor resistência mecânica à corrosão.	Esquadrias para construção civil, recipientes para a indústria química.
Silício	Baixo ponto de fusão, melhor resistência à corrosão, fundibilidade.	Soldagem forte, peças fundidas.
Silício com cobre ou magnésio	Resistência mecânica ao desgaste e à corrosão, ductilidade; soldabilidade, usinabilidade, baixa expansão térmica.	Chassis de bicicletas, peças de automóveis, estruturas soldadas, blocos e pistões de motores, construção civil.
Magnésio	Resistência à corrosão em atmosferas marinhas, soldabilidade, usinabilidade.	Barcos, carrocerias de ônibus, tanques criogênicos.
Zinco	Alta resistência mecânica e baixo peso.	Partes de aviões.
Zinco e magnésio	Resistência à tração e à corrosão, soldabilidade, usinabilidade.	Brasagem.
Estanho	Resistência à fadiga e à corrosão por óleo lubrificante.	Capa de mancal, mancais fundidos, bielas.

Para parar e estudar

Nesta primeira parte da aula, você recebeu uma série de informações sobre as ligas de alumínio. Vamos dar um tempinho para que você pare um pouco e estude essa parte com calma e

bastante cuidado. Os exercícios que vêm a seguir, vão ajudá-lo nessa tarefa.

Exercícios

1. Complete:

- a) Os metais puros apresentam resistência a esforços mecânicos.
- b) A conformação mecânica, o tratamento térmico e a adição de elementos químicos para a formação de ligas ajudam a melhorar

2. Responda:

- a) Por que o alumínio puro não é indicado para peças sujeitas a esforços elevados?
- b) Qual é a liga que tem resistência à tração igual ou maior que a do aço de baixo teor de carbono?
- c) Que propriedades o alumínio adquire ao receber manganês como elemento de adição?
- d) Quais são as características da liga alumínio + silício?
- e) Por que as ligas de alumínio, magnésio e silício são as preferidas na construção civil?

3. A seguir são apresentadas duas listas: uma contém produtos fabricados com ligas de alumínio; outra contém os elementos de adição da liga. Escreva nos parênteses o número correspondente a cada um

- | | |
|---------------------------|----------------------------------|
| a) () Pistões de motores | 1. Silício com cobre ou magnésio |
| b) () Rodas de aviões | 2. Magnésio |
| c) () Barcos | 3. Cobre |
| d) () Mancais fundidos | 4. Zinco |
| e) () Peças fundidas | 5. Silício |
| f) () Partes de aviões | 6. Estanho |

Normalização das ligas de alumínio

Para organizar e facilitar a seleção das ligas de alumínio, a ABNT e outras associações de normas técnicas classificaram essas ligas de acordo com o processo de fabricação e a composição química.

Elas foram divididas em **ligas para conformação** (ou dúcteis) e **ligas para fundição**. Essa divisão foi criada porque as diferentes ligas têm que ter características diferentes para os diferentes processos de fabricação.

Assim, as ligas para conformação devem ser obrigatoriamente bastante dúcteis para serem trabalhadas a frio ou a quente pelos processos de conformação mecânica, que são a laminação, a trefilação, o forjamento e a extrusão. Após passarem por esses processos, as ligas são comercializadas sob a forma de laminados planos (chapas e folhas), barras, arames, perfis e tubos extrudados e peças forjadas.

Por outro lado, as ligas para fundição devem ter resistência mecânica, fluidez e estabilidade dimensional e térmica para suportar os diferentes processos de fundição em areia, em molde permanente por gravidade ou sob pressão.

Tanto as ligas para conformação quanto as ligas para fundição seguem um sistema de designação de acordo com a norma da ABNT NBR 6834, conforme o principal elemento de liga presente em sua composição. Observe a tabela a seguir.

Alumínio e suas ligas para conformação	
Designação da série	Indicação da composição
1XXX	99,0% mínimo de alumínio
2XXX	Cobre
3XXX	Manganês
4XXX	Silício
5XXX	Magnésio
6XXX	Magnésio e silício
7XXX	Zinco
8XXX	Outros elementos
9XXX	Série não utilizada

Vamos ver se você está bem ligado no que está estudando. Na tabela que você acabou de ler, existe um dado novo, certo? Você deve ter percebido que na coluna **Designação da série**, escrevemos 1XXX, 2XXX, 3XXX etc. Isso tem um significado. Vamos ver qual é.

Pela norma já citada (NBR 6834), os materiais para conformação mecânica são indicados por um número de quatro dígitos:

- o primeiro classifica a liga pela série de acordo com o principal elemento adicionado;
- o segundo dígito, para o alumínio puro, indica modificações nos limites de impureza: 0 (nenhum controle) ou 1 a 9 (para controle especial de uma ou mais impurezas). Para as ligas, se for diferente de zero indica qualquer modificação na liga original;
- o terceiro e o quarto dígitos, para o alumínio puro, indicam o teor de alumínio acima de 99%. Quando se referem às ligas, identificam as diferentes ligas do grupo (é um número arbitrário).

Parece complicado? Vamos ver dois exemplos, então. Digamos que você tenha à mão um catálogo de fabricante de alumínio e escolha o alumínio número 1035. O primeiro dígito (1) significa que se trata de uma liga da série 1XXX, que se refere ao alumínio comercialmente puro. O segundo dígito (0) indica que é um alumínio sem controle especial de impurezas. E, finalmente, os dois últimos dígitos (35) significam que é um material com 99,35% de alumínio.

E se for um alumínio 6463A? A tabela indica que o primeiro dígito (6) se refere à série 6XXX, correspondente à liga de alumínio com magnésio e silício. O segundo dígito (4) indica que se trata de uma modificação da liga original (6063). Os dois últimos dígitos (63) indicam que essa liga é a número 63 dessa série. Mas, e a letra A? Bem, essa letra, que também é normalizada, indica que essa liga é uma pequena alteração da liga 6463 existente em outro país.

Agora, falta a gente estudar a série das ligas para fundição. Vamos dar uma olhadinha na tabela da próxima página.

Alumínio e suas ligas para conformação	
Designação da série	Indicação da composição
1XXX	99,0% mínimo de alumínio
2XXX	Cobre
3XXX	Silício e cobre e/ou magnésio
4XXX	Silício
5XXX	Magnésio
6XXX	Série não utilizada
7XXX	Zinco
8XXX	Estanho
9XXX	Outros elementos

Como você pode observar na coluna **Designação de série**, as ligas de alumínio para fundição são indicadas por três dígitos, um ponto e um dígito. Da mesma forma como nas ligas para conformação, cada dígito tem um significado:

- o primeiro dígito classifica a liga segundo o elemento principal da liga;
- o segundo e o terceiro dígitos indicam centésimos da porcentagem mínima de alumínio (para o alumínio puro) ou diferentes ligas do grupo;
- o dígito após o ponto indica a forma do produto: **0** para peças fundidas e **1** para lingotes.

Vamos a um exemplo? A liga escolhida é a 319.0: o dígito **3** indica que esta é uma liga de alumínio com silício e cobre e/ou magnésio; o número **19** indica que ela é a 19ª liga da série; o dígito **0** após o ponto indica tratar-se de peça fundida.

Dica tecnológica

O último dígito indicativo da série para ligas de fundição pode ser **2**. Neste caso, trata-se de um lingote feito de material reciclado fora da especificação em relação aos níveis de impureza.

Para parar e estudar

Bem, você já tem um bocado de informação para estudar. Vamos, então, dar uma paradinha para que você possa ter tempo de ler novamente esta parte da aula.

Exercício

4. Identifique a série e as ligas correspondentes aos seguintes algarismos:

- a) 1050
- b) 2024
- c) 4047
- d) 6060
- e) 365.1
- f) 380.0

Outras maneiras de melhorar as propriedades do alumínio

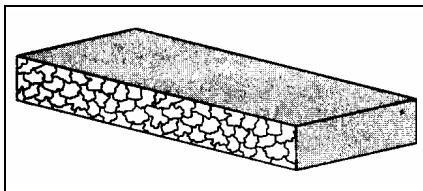
No início da aula, dissemos que existem várias maneiras para melhorar ou modificar as propriedades de um metal. Uma delas é a adição dos elementos de liga. Até aqui, estudamos as ligas do alumínio e vimos como cada elemento de adição influencia nas propriedades, aumentando ou diminuindo a resistência mecânica, melhorando a resistência à corrosão ou aumentando a ductilidade.

Vamos aprender agora que é possível obter alguns desses resultados por dois outros métodos: o tratamento térmico (por aquecimento e resfriamento) e tratamento mecânico (por conformação a quente e a frio). Neles, acontecem modificações nas estruturas internas das ligas e se obtém, como resultado, uma ampla faixa de propriedades mecânicas.

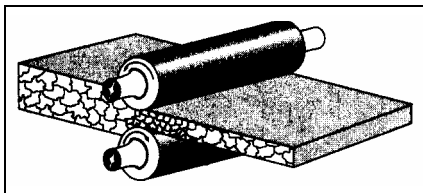
A conformação mecânica produz mudanças na estrutura interna do alumínio e suas ligas. Um dos processos onde isso fica bem visível é na laminação, usada para transformar o lingote em

chapas para uso posterior. Esse processo pode ser executado a frio. Se a laminação é feita a quente, o alumínio mantém sua maleabilidade. Quando realizado a frio, esse processo produz um efeito no alumínio chamado encruamento o que o torna mais duro e menos maleável. Sua pergunta, com certeza, agora é: “Mas, como isso se dá?!”

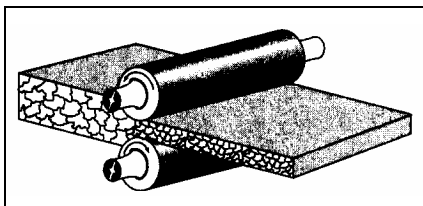
Esses efeitos acontecem dentro da estrutura interna do metal que é organizada sob a forma de grãos bem pequenos. Se a gente pudesse ver o que ocorre no interior do metal, seria uma imagem mais ou menos assim:



Quando o lingote de alumínio pré-aquecido passa no meio de dois ou mais rolos da laminadora, como em uma máquina de abrir massa de pastel, esses grãos deslizam um sobre os outros, deformam-se e recompõem-se logo em seguida, por causa da temperatura. Isso mantém a maleabilidade do metal.



Na laminação a frio, quando os grãos são comprimidos pelos rolos da laminadora, eles se quebram e diminuem de tamanho, aumentando a dureza e a resistência do material e diminuindo sua maleabilidade. O efeito da laminação a frio é chamado, como já dissemos, de encruamento.



O que acabamos de descrever é o que acontece com o alumínio depois que é transformado em lingotes: ele pode ser laminado a quente ou a frio. Com isso, as chapas e perfis produzidos ganham o grau de dureza necessário para que, posteriormente, sejam transformados nos mais variados produtos. O tratamento térmico é outra maneira de melhorar as propriedades de um metal. Nesse processo, o metal é aquecido e, em seguida, resfriado. Isso traz ao metal ou a sua liga certos efeitos como alívio de tensões, eliminação do encruamento, estabilidade dimensional, endurecimento etc.

Para parar e estudar

Agora vamos dar mais uma paradinha para que você possa estudar as informações deste trecho da aula. Leia-o novamente e faça os exercícios a seguir.

Exercícios

5. Escreva F se a afirmação for falsa e V se ela for verdadeira:
- a) () Na laminação a frio, o metal fica mais maleável.
 - b) () A laminação modifica a estrutura interna do alumínio e suas ligas.
 - c) () O alumínio laminado a quente não perde a maleabilidade.
 - d) () O alumínio laminado a frio perde a maleabilidade porque os grãos na estrutura interna do material ficam maiores.
 - e) () O efeito da laminação a frio chama-se encruamento.
 - f) () No tratamento térmico, o aquecimento e o resfriamento são os fatores que produzem a modificação na estrutura interna da liga.
 - g) () Alívio de tensão é um dos resultados que se pode obter com tratamento térmico.

Avalie o que você aprendeu

Depois de estudar bem toda a aula, fazer e corrigir os exercícios, faça o teste a seguir e avalie o quanto você aprendeu até aqui.

6 Faça os exercícios a seguir:

a) Cite quatro qualidades que tornaram o alumínio o metal mais utilizado no mundo depois do aço.

b) É possível melhorar as propriedades do alumínio puro? Como? Dê um exemplo.

c) Assinale com um **X** a alternativa que melhor completa a seguinte frase: “A liga de alumínio para conformação 1035 é usada para fabricar...”

1. () folhas muito finas;
2. () esquadrias para a construção civil;
3. () chassi de bicicleta;
4. () rodas de caminhão.

d) Preencha as lacunas:

1. A liga de alumínio para conformação 6463 é usada para fabricar
2. Para a fabricação de algumas partes de aviões a liga de alumínio recomendada é a da série
3. A principal aplicação da liga de alumínio 4043 é
.....

e) Escreva **F** se a afirmação for falsa e **V** se ela for verdadeira.

1. () A ligas de alumínio para conformação devem ser bastante maleáveis;
2. () Os processos de conformação mecânica aplicados ao alumínio são: laminação, fundição, trefilação, forjamento e extrusão;
3. () As ligas de alumínio que contêm magnésio e silício em sua composição, apresentam uma resistência mecânica um pouco maior que as ligas de alumínio e cobre;
4. () As ligas de alumínio para fundição devem ter resistência mecânica, fluidez, estabilidade dimensional e térmica.

f) A seguir, apresentamos a você um problema:

“Maurício é um pequeno empresário que produz canecas de alumínio por estampagem. Para reduzir custos, ultimamente ele anda comprando sua matéria-prima de sucateiros. Acontece que seus produtos passaram a apresentar trincas após a estampagem.”

Tente descobrir por que esse problema está acontecendo.

Gabarito

1. a) baixa
b) as propriedades de um metal.
2. a) Porque apresenta baixa resistência a esforços mecânicos e baixos níveis de dureza.
b) Alumínio com cobre
c) Melhor resistência mecânica, mantendo a resistência à corrosão e a condutividade elétrica.
d) Baixo ponto de fusão e boa resistência à corrosão.
e) Porque tem elevada resistência à corrosão, são facilmente moldadas e aceitam diversos tipos de acabamento.
3. a) 1 c) 2 e) 5
b) 3 d) 6 f) 4
4. a) 1050: série 1.XXX, sem controle especial de impurezas com 99,50% de alumínio.
b) 2024: série 2.XXX, liga de alumínio com cobre sem controle especial de impurezas.
c) 4047: série 4.XXX, liga de alumínio com silício sem controle especial de impurezas
d) 6060: série 6.XXX, liga de alumínio com magnésio e silício sem controle especial de impurezas.
e) 365.1: liga de alumínio com silício e cobre e/ou magnésio, 65ª liga da série, lingotes.
f) 380.0: liga de alumínio com silício e cobre e/ou magnésio, 80ª liga da série, peças fundidas.
5. a) F
b) V
c) V
d) F
e) V
f) V
g) V

6. a) Leveza, ductibilidade, resistência a esforços mecânicos, enormes jazidas etc.
- b) Sim, pela adição de elementos de liga como, por exemplo, cobre, silício com cobre ou magnésio, ou zinco e magnésio etc.
- c) (1) folhas muito finas.
- d) 1 - chassi de bicicletas, peças de automóveis etc.
2 - 7XXX
3 - peças fundidas, varetas para solda forte.
- e) 1. V 3. F
2. V 4. V
- f) A sucata não foi adequada para atender ao tipo de conformação mecânica proposta. Isso porque os elementos que compõem o material não correspondem à liga ideal que tenha as características para que resistam ao trabalho, pelo processo de conformação.