

LIGAS REFRAATÁRIAS

As ligas refratárias são ligas metálicas não ferrosas, projetadas para suportar condições extremas de alta temperatura, pressão e desgaste, sem perder suas propriedades mecânicas ou sofrer deformações significativas. Essas ligas são compostas, geralmente, por metais de ponto de fusão elevado (todos acima de 2000°C) como tungstênio, molibdênio, nióbio e tântalo.

A obtenção da liga refratária varia de acordo com o metal utilizado. A seguir estão representados de forma simplificada os processos de obtenção do Tântalo (Ta), Nióbio (Nb), Tungstênio (W) e Molibdênio (Mo).

TÂNTALO

Processo de obtenção do tântalo

EXTRAÇÃO DO MINÉRIO	SEPARAÇÃO QUÍMICA	PRECIPITAÇÃO	REDUÇÃO METALOTÉRMICA
O tântalo é obtido principalmente dos minerais columbita e tantalita, que também contém nióbio. Após a extração, os minerais passam por separação gravimétrica⁽¹⁾ ou magnética⁽²⁾ para remover impurezas e aumentar o teor de tântalo. Mineral Tantalina  https://images.app.goo.gl/pJvt7wXHqYyg51vFA	A primeira etapa no processamento é a reação dos óxidos com o fluoreto de hidrogênio, formando complexos solúveis com ambos os elementos para facilitar sua extração e separação química. A separação do tântalo e do nióbio é feita por extração por solvente⁽³⁾ ou cristalização fracionada⁽⁴⁾, aproveitando as diferenças nas propriedades químicas dos compostos.	O tântalo, agora isolado em solução na forma de fluoreto de tântalo ($H_2[TaF_7]$), é precipitado como pentóxido de tântalo (Ta_2O_5) através de hidrólise. Trata-se de um processo químico em que o fluoreto de tântalo dissolvido em uma solução ácida ($H_2[TaF_7]$) reage com água para formar um precipitado de hidróxido de tântalo ($Ta(OH)_5$). Esse precipitado é uma forma intermediária que, após ser calcinada (aquecido em alta temperatura para remoção de água residual), se transforma em pentóxido de tântalo (Ta_2O_5).	O pentóxido de tântalo é misturado com magnésio ou sódio e reduzido em um forno a vácuo ou de atmosfera inerte (que não reage). Esse ambiente evita a reoxidação do tântalo, garantindo que ele seja obtido na forma metálica. Forno a vácuo  https://images.app.goo.gl/hrqvXS6TNtyB9yyS7 Forno de atmosfera inerte  https://images.app.goo.gl/5WMAcibvn tabnPBKA

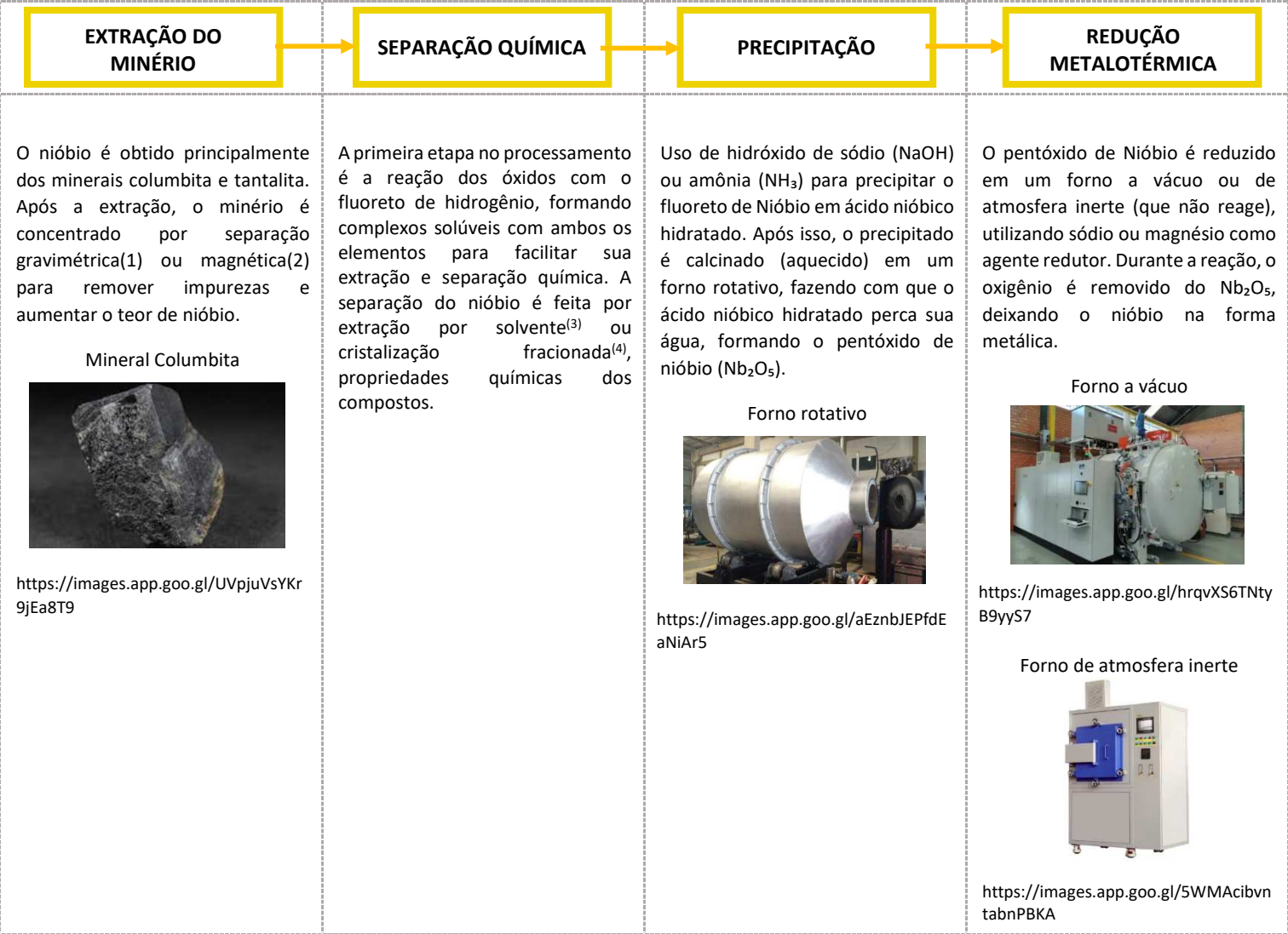
(1) Separação gravimétrica: Realizada com base nas diferenças de densidade entre os materiais para separá-los. Envolve a utilização de água ou outras substâncias para fazer com que os materiais mais pesados se depositem mais rapidamente do que os mais leves.

(2) Separação magnética: Usa um campo magnético para separar materiais magnéticos como ferro de materiais não magnéticos. Utiliza-se ímãs ou equipamentos com campos magnéticos controlados.

(3) Extração por solvente: Utilizam-se solventes orgânicos que, preferencialmente, solubilizam o fluoreto de Nióbio, deixando o fluoreto de Tântalo na solução aquosa.

(4) Cristalização fracionada: A solução é resfriada lentamente, permitindo que os sais de Nióbio cristalizem primeiro, enquanto o Tântalo permanece resfriado.

Processo de obtenção do nióbio



(1) Separação gravimétrica: Realizada com base nas diferenças de densidade entre os materiais para separá-los. Envolve a utilização de água ou outras substâncias para fazer com que os materiais mais pesados se depositem mais rapidamente do que os mais leves.

(2) Separação magnética: Usa um campo magnético para separar materiais magnéticos como ferro de materiais não magnéticos. Utiliza-se ímãs ou equipamentos com campos magnéticos controlados.

(3) Extração por solvente: Utilizam-se solventes orgânicos que, preferencialmente, solubilizam o fluoreto de Nióbio, deixando o fluoreto de Tântalo na solução aquosa.

(4) Cristalização fracionada: A solução é resfriada lentamente, permitindo que os sais de Nióbio cristalizem primeiro, enquanto o Tântalo permanece resfriado.

TUNGSTÊNIO

Processo de obtenção do tungstênio

EXTRAÇÃO DO MINÉRIO	LIXIVIAÇÃO ALCALINA E ACIDIFICAÇÃO	CALCINAÇÃO	REDUÇÃO DO WO_3
O minério mais comum é a valframita ($FeWO_4/MnWO_4$). Após a extração, o minério é concentrado por métodos como separação gravimétrica ou flotação. Mineral Volframita  https://images.app.goo.gl/bVBY1pqQXrSMnJmf7	Na lixiviação alcalina, o concentrado é tratado com soda cáustica ($NaOH$), transformando o tungstênio em tungstato de sódio (Na_2WO_4). Em seguida, na acidificação, o tungstato de sódio (Na_2WO_4) é dissolvido em água e tratado com ácido (geralmente HCl ou H_2SO_4). A reação forma o ácido túngstico (H_2WO_4), que é insolúvel em água e é separado por filtração.	O ácido túngstico (H_2WO_4) é aquecido em um forno rotativo ou forno de leito fixo a temperaturas elevadas. Isso resulta na formação de trióxido de tungstênio (WO_3) e liberação de água. Forno rotativo  https://images.app.goo.gl/aEznbJEPdEaNiAr5	A redução do trióxido é feita em um forno tubular com gás hidrogênio. Durante o processo, o oxigênio do WO_3 é removido, resultando em tungstênio metálico. Forno tubular com gás hidrogênio  https://images.app.goo.gl/3yhUFHUrDQphUxCZ7

Fonte: Elaborado pelo autor

MOLIBDÊNIO

Processo de obtenção do molibdênio

EXTRAÇÃO DO MINÉRIO	LIXIVIAÇÃO	CALCINAÇÃO OXIDATIVA	REDUÇÃO METALOTÉRMICA
O molibdênio é extraído do mineral molibdenita (MoS_2). Após a extração, ele é moído e concentrado por flotação, separando a molibdenita de minerais indesejados. Mineral Molibdenita  https://images.app.goo.gl/MDfLUFqTgFVZJDbM7	O metal é produzido a partir da lixiviação (lavagem) amoniacal (solução de amônia). Nesse processo, o molibdênio da molibdenita é convertido a MoO_3 (trióxido de molibdênio) por meio de aquecimento. Esse óxido é lixiviado pela solução de amônia a fim produzir uma solução rica em molibdênio e com menores índices de impureza.	O molibdênio é precipitado na forma de molibdato de amônio e então é calcinado (aquecido) a altas temperaturas em um forno de leito fluidizado. Durante a calcinação, o molibdato de amônio é convertido a MoO_3, só que dessa vez puro. Forno de leito fluidizado  https://images.app.goo.gl/YgqmJEaNViFK9oQt5	O MoO_3 é reduzido com hidrogênio em um forno tubular a altas temperaturas. O hidrogênio remove os átomos de oxigênio do MoO_3, convertendo-o em molibdênio metálico. Forno tubular  https://images.app.goo.gl/tXob74JTWyofEJ6s9

Fonte: Elaborado pelo autor

Principal forma de refino para as ligas refratárias

O metal bruto pode conter pequenas quantidades de impurezas, que são removidas por fusão zonal. O refino por fusão zonal é realizado em um ambiente controlado, geralmente em equipamentos especializados conhecidos como fornos de fusão zonal. Esses equipamentos são projetados para gerar uma zona de fusão localizada que se move lentamente ao longo da barra do metal. A zona de fusão é criada localmente e movida lentamente ao longo da barra. À medida que a zona avança, o metal derrete e solidifica novamente, enquanto as impurezas se movem com a zona fundida para uma das extremidades da barra, refinando o material em cada passagem.

Durante o refino, o metal (molibdênio, tântalo, nióbio ou tungstênio) é fundido em atmosfera controlada para alcançar uma pureza de 99,99%.

Processo de fabricação por metalurgia do pó

Metais refratários como molibdênio, tântalo, nióbio e tungstênio possuem pontos de fusão extremamente elevados, o que torna o processo de fundição convencional (como a fusão em fornos) tecnicamente desafiador, caro e, em alguns casos, inviável. Por isso, esses metais geralmente não são fundidos para a fabricação de lingotes de maneira convencional. Em vez disso, eles passam frequentemente pelo processo de Metalurgia do pó.

A metalurgia do pó é um processo de fabricação que produz peças metálicas através da compactação de pó-metálico seguida da sinterização. O processo consiste em compactar e/ou modelar a mistura e aquecê-la (etapa chamada de sinterização), com o objetivo de gerar continuidade de matéria entre as partículas e melhorar a resistência. A característica específica do processo é que a temperatura permanece abaixo da temperatura de fusão do elemento constituinte principal (material-base), em atmosfera controlada, provocando difusões atômicas que farão com que as propriedades mecânicas da peça se aproximem das adquiridas através de outras tecnologias mais disseminadas.

As ligas refratárias podem apresentar as seguintes características:

- . Resistência ao calor: *Suportam temperaturas extremas, acima de 2000°C, sem perder suas propriedades mecânicas, como rigidez, resistência mecânica e à deformação.*
- . Baixa expansão térmica: *Mesmo em altas temperaturas, as ligas refratárias possuem uma baixa expansão térmica, não alterando de forma significativa sua estrutura.*
- . Condutividade térmica e elétrica: *Grande eficiência na transferência de calor e condução elétrica, especialmente o molibdênio e tungstênio.*
- . Resistência à corrosão: *Resistência superior em ambientes químicos agressivos, como ácidos fortes, particularmente o tântalo e o nióbio.*
- . Resistência ao desgaste: *Excelente desempenho em ambientes onde ocorre atrito ou abrasão.*
- . Densidade: *Principalmente o tungstênio, com a maior densidade entre os metais, útil em aplicações que requerem materiais pesados e resistentes.*
- . Biocompatibilidade: *O tântalo é amplamente usado em implantes médicos por ser inerte ao organismo humano.*
- . Resistência à radiação: *O nióbio e molibdênio podem ser usados em ambientes de alta radiação, como reatores nucleares, devido à sua estabilidade estrutural.*

Essas características fazem das ligas metálicas refratárias a escolha ideal para aplicações em ambientes extremos, como no setor aeroespacial, na indústria química e na fabricação de dispositivos médicos.

Vídeo sugerido: “Univerciência: materiais refratários”

<https://www.youtube.com/watch?v=bTCPajjLnnY> (materiais refratários: 1:25 a 7:40min)

ONDE SOU USADO?

Molibdênio: Forno Mufla para altas temperaturas



<https://images.app.goo.gl/wgG7fWrFpBKgEvkG6>

Alta resistência ao calor, boa condutividade térmica e elétrica

São usados para aquecer materiais a temperaturas elevadas, controlando a atmosfera interna, em processos industriais, cerâmicos e laboratoriais.

Tungstênio: Garganta do foguete



<https://images.app.goo.gl/9PT2RviDDBDPhKR7A>

Elevada densidade e alta resistência ao calor

A garganta do foguete acelera os gases quentes da combustão, criando impulso para movimentar o foguete.

Resistência a radiação e alta resistência à corrosão

Armazenam o combustível radioativo de forma segura, permitindo que reações nucleares ocorram controladamente para gerar energia.

Molibdênio e/ou Nióbio: Tubos de combustível para reatores nucleares



<https://images.app.goo.gl/YgFyE6suWAMKCYNL9>

Tungstênio: Lâmina de estilete



<https://images.app.goo.gl/86jEEjwoxpFd4i7r8>

Resistência ao desgaste e abrasão e elevada densidade

As lâminas para estilete de tungstênio são utilizadas para cortes precisos e duráveis em materiais duros, como metais e cerâmicas.

VOCÊ SABIA?

I – Qual país possui a maior reserva de Nióbio?

O Brasil possui mais de 90% das reservas mundiais desse metal, com a maior reserva de Nióbio localizada na cidade de Araxá-MG.

II – Qual o material responsável por iluminar o maior número de casas em todo o mundo?

O tungstênio em filamentos metálicos de lâmpadas é o mais usado mundialmente.

III – Quando as ligas refratárias passaram a ser usadas?

Na era espacial, que ocorreu durante os anos de 1960 e 1970, fez com que as ligas refratárias comesçassem a ser amplamente utilizadas no desenvolvimento de componentes de foguetes e naves espaciais.

IV – Qual foi uma das maiores dificuldades para a produção de ligas refratárias?

O elevado ponto de fusão dos metais refratários gerou, principalmente durante o século XX, desafios na produção em larga escala de ligas refratárias, obrigando o desenvolvimento de novos métodos. Ainda hoje esse aspecto gera certos desafios na produção de ligas refratárias.

CRÉDITOS

Redação: Cauã Felipe Silva Bitencourt

Diagramação: Arthur Ferreira Borges

Revisão Ortográfica: -

Aprovação: Prof. João Bosco dos Santos

Atualização: dez/24

FONTES

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/molibdenio.htm>

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/niobio.htm>

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/tantalo-ta.htm>

<https://brasilescola.uol.com.br/quimica/tungstenio.htm>
https://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM343/Metais%20refrat%C3%A1rios%20%5BModo%20de%20Compatibilidade%5D.pdf
<https://images.app.goo.gl/3yhUFHUrDQphUxCZ7>
<https://images.app.goo.gl/5WMAcibvntabnPBKA>
<https://images.app.goo.gl/86jEEjwoxpFd4i7r8>
<https://images.app.goo.gl/9PT2RviDDBDPhKR7A>
<https://images.app.goo.gl/aEznbJEPfdEaNiAr5>
<https://images.app.goo.gl/bVBY1pqQXrSMnJmf7>
<https://images.app.goo.gl/MDfLUFqTgFVZJDdBm7>
<https://images.app.goo.gl/pJvt7wXHqYyg51vFA>
<https://images.app.goo.gl/hrqvXS6TNtyB9yyS7>
<https://images.app.goo.gl/tXob74JTWyofEJ6s9>
<https://images.app.goo.gl/UVpjuVsYKr9jEa8T9>
<https://images.app.goo.gl/wgG7fWrFpBKgEvkG6>
<https://images.app.goo.gl/YgFyE6suWAMKCYNL9>
<https://images.app.goo.gl/YgqmJEaNViFK9oQt5>
https://pt.wikipedia.org/wiki/Fus%C3%A3o_zonal
https://pt.wikipedia.org/wiki/Metais_refrat%C3%A1rios
https://pt.wikipedia.org/wiki/Metalurgia_do_p%C3%B3
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Molibd%C3%AAnio>
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Ni%C3%B3bio>
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Tungst%C3%AAnio>
<https://www.youtube.com/watch?v=bTCPajjLnnY>