

Super Ligas de Níquel

Trabalho Realizado Por:
Walter Costa Nº 24098

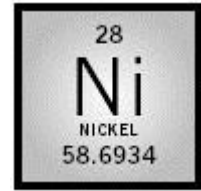
Introdução

O níquel é um elemento metálico encontrado sobre forma de minérios pyrrhotite e pentlandite. A abundancia deste elemento na superfície terrestre é de 90 ppm.

O níquel é conhecido por ser um material maleável e dúctil
E pode ser combinado com inúmeros metais formando ligas com características diferentes.

O seu preço tem descido ao longo dos anos, 50.000\$US para 13,778\$U.S/tonelada
(preço de mercado 2013)

Tem uma massa especifica de 8.9 g/cm^3 , o que o torna um metal relativamente
Pesado comparado com o ferro e o alumínio que tem massas especificas respetivamente
de 7.8 e 2.7 g/cm^3 ,
Ponto de Fusão : 1455°C



Introdução

As superligas são ligas metálicas de alto desempenho que vão muito mais além das ligas convencionais. Apresentam uma elevada resistência mecânica e resistência a fluência a altas temperaturas, boa estabilidade superficial e resistência à corrosão e oxidação.

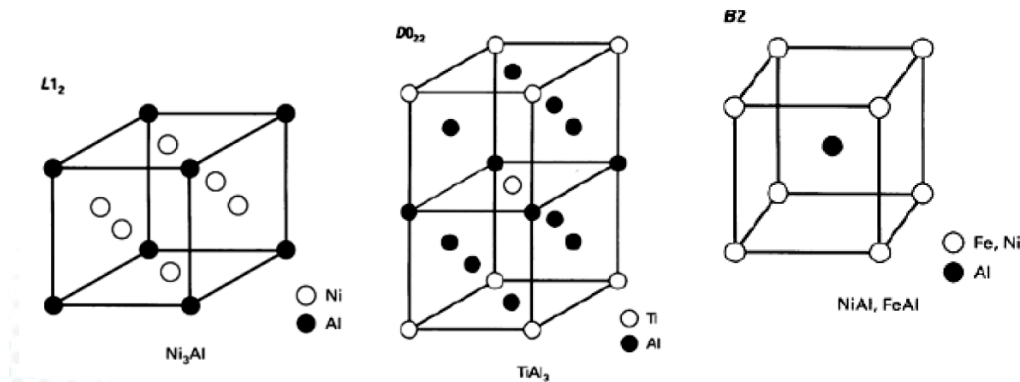
As superligas tem tipicamente uma matriz com uma estrutura cristalina austenítica cúbica centrada nas faces. O elemento base das superligas é níquel, cobalto ou ferro-níquel. O desenvolvimento das superligas tem sido impulsionado nas indústrias aeroespacial e nuclear.

Uma das vantagens da utilização do níquel nas superligas é que permite formar uma matriz que permite a presença de outros elementos químicos e acomodar precipitados na matriz em solução sólida.

Introdução

O que torna estas ligas superligas são as fases com comportamentos que fogem ao padrão:

- Fase γ' – $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$ – Estrutura cúbica (CFC) do tipo L1_2
- Fase γ'' – Ni_3Nb – Estrutura ortorrômbica do tipo DO_{22}
- Fase β – NiAl – Estrutura cúbica (CCC) do tipo B2



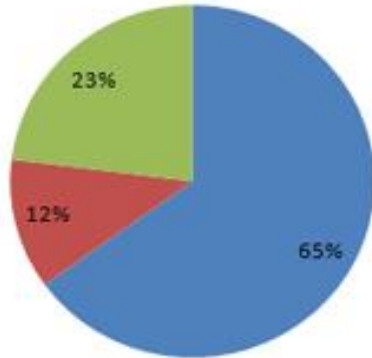
Sustentabilidade

País	Produção (t)	Reservas (t)
Rússia	262.000	6.000.000
Indonésia	203.000	3.900.000
Austrália	165.000	24.000.000
Canadá	137.000	3.800.000
Filipinas	137.000	1.100.000
Nova Caledónia	92.800	7.100.000
China	79.400	3.000.000
Colômbia	72.000	1.600.000
Brasil	54.100	6.700.000
África do Sul	34.600	3.700.000
Botswana	28.600	490.000
Venezuela	13.200	490.000
Madagascar	-	1.300.000
República Dominicana	-	960.000
Outros	51.700	4.500.000
TOTAL	1.400.000	76.000.000

O níquel é primariamente comercializado na forma de metal refinado (catodo, pó, briquete, etc) ou ferro-níquel. Cerca de 65% do consumo do níquel no mundo ocidental é utilizado na fabricação de aço inoxidável austenítico. Outros 12% são utilizados na fabricação de superligas como o Inconel 600 ou em ligas não ferrosas como o cuproníquel.

Sustentabilidade

■ Aço Inoxidável ■ Superligas de Níquel ■ Outros



Consumo de ligas metálicas

As duas famílias de ligas são mundialmente utilizadas devido sua resistência à corrosão. A indústria aeroespacial lidera o consumo das superligas a base de níquel em componentes críticos como lâminas de turbinas e partes dos motores. Os outros 23% restantes dividem-se em ligas de aço, baterias recarregáveis, catalisadores e outros produtos químicos, sendo os principais comercializados na forma de carbonato (NiCO_3), cloreto (NiCl_2), óxido (NiO), e sulfato (NiSO_4).

Sustentabilidade

O níquel é o quinto metal mais abundante da terra. O níquel está disponível para o uso e reuso sem degradação: não deteriora e não perde algumas de suas propriedades intrínsecas. Há sempre a mesma quantidade de níquel existente no fim da extremidade de um ciclo particular do produto como no começo. Embora o níquel possa ser "perdido" (emissões de ar, água e solo em níveis ou em quantidades demasiadamente pequenas podem ser recuperadas economicamente), a fonte básica de níquel para atual e as gerações futuras estão fora de questão.

Os materiais que contém níquel, aplicados corretamente, mantêm e melhoram a qualidade de vida dos cidadãos e permitem que as instituições da sociedade - incluindo os negócios – gerem soluções sustentáveis.

Estas soluções sustentáveis dependem dos atributos e dos serviços fornecidos pelo níquel: proteção de corrosão, durabilidade, clareza, armazenamento de energia, habilidade de agir como um catalisador, reciclagem.

Proteção de corrosão: A infraestrutura da civilização dura mais por muito tempo quando os materiais que contém níquel são usados. Exemplos: paredes de cortina de edifícios, aplicações navais, processos agressivos e controle da poluição nos ambientes.

Sustentabilidade

A nível social - a utilização de níquel permite a existência de mais recursos, por causa da durabilidade de materiais que contém níquel, estão disponíveis para outros objetivos sociais que poderiam ser na infraestrutura, mais serviços, menos impostos, mais qualidade e fiabilidade nas infraestruturas.

A nível económico- o níquel tem um Baixo custo unitário do ciclo de vida e retenção do valor no fim da vida útil do produto.

A nível ambiental - a redução na intensidade do uso de recurso por causa da vida longa e capacidade de reciclagem no fim da vida: o "custo ambiental inicial" (a produção e a transformação dos materiais que contém níquel) tem um "retorno ambiental".

Ponte da estrada: Pressões sociais (tráfego, ruas das comunidades completamente cheias do tráfego desviado), custos económicos (atraso, longo tempo da viagem, custos de combustível aumentados) e sobrecargas ambientais (, barra reforçando, mais transporte para o entulho e o material novo, mais consumo de combustível por causa tráfego retardado/desviado): todos seriam evitados se a barra reforçando o aço inoxidável fosse usada na construção original.

Baixo impacto ambiental em função do consumo reduzido de recursos ambientais; emissões reduzidas por causa de maior eficiência. Produto reciclável até no fim da vida útil

Características gerais

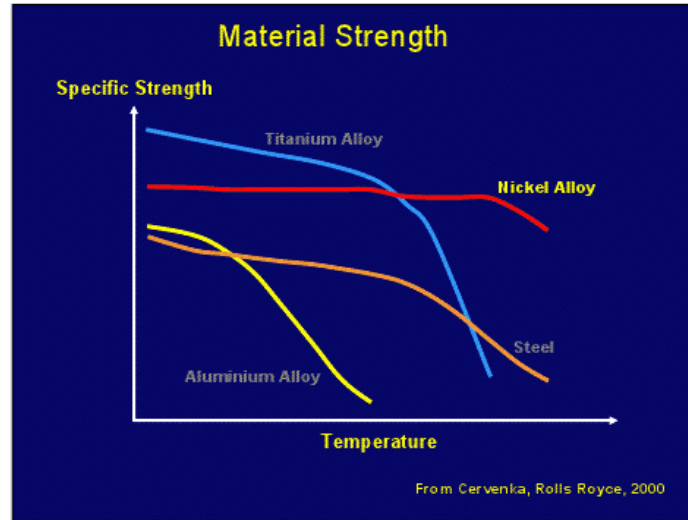
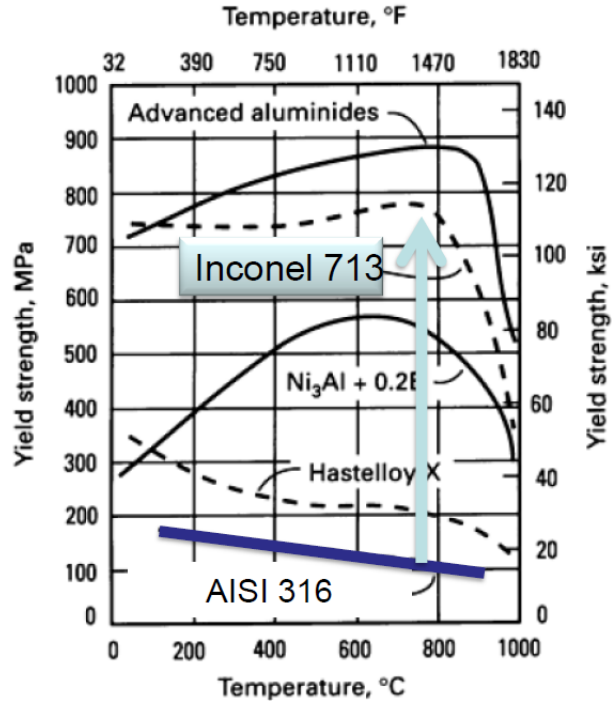
As ligas e superligas em geral tem boas características

Mecânicas:

- Tração
- Torção
- Fadiga
- Impacto
- fluência
- Resistência a oxidação

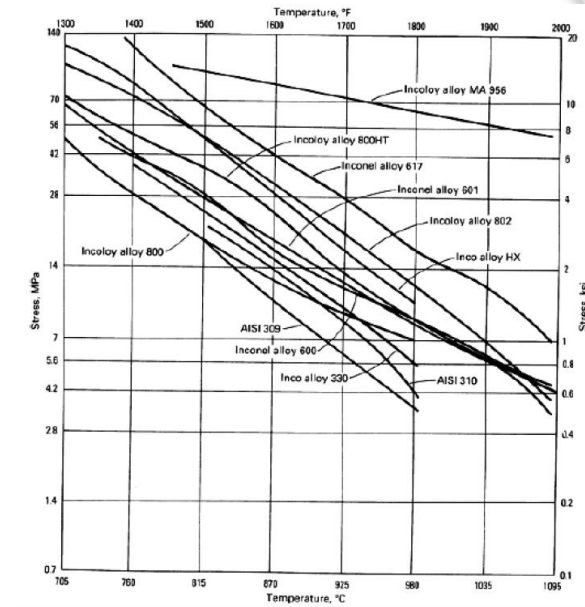
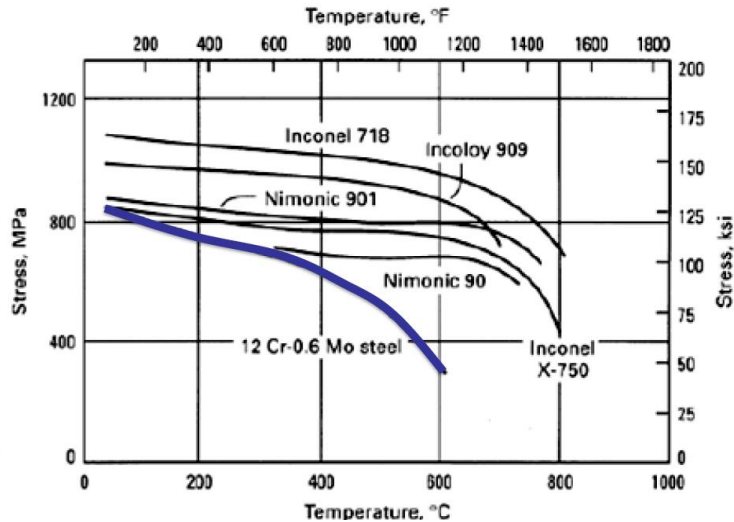
Estas características podem ser mais ou menos intensificadas dependendo
Do elemento que compõem a liga/superliga.

Características gerais



Tensão de limite elástico é a tensão máxima que o material suporta ainda no regime elástico de deformação. É possível constatar no gráfico Da esquerda, que no caso do níquel este limite aumenta com a temperatura. O AISI316 é um aço, que ao contrario do níquel a tensão De limite elástico diminui com o aumento da temperatura.

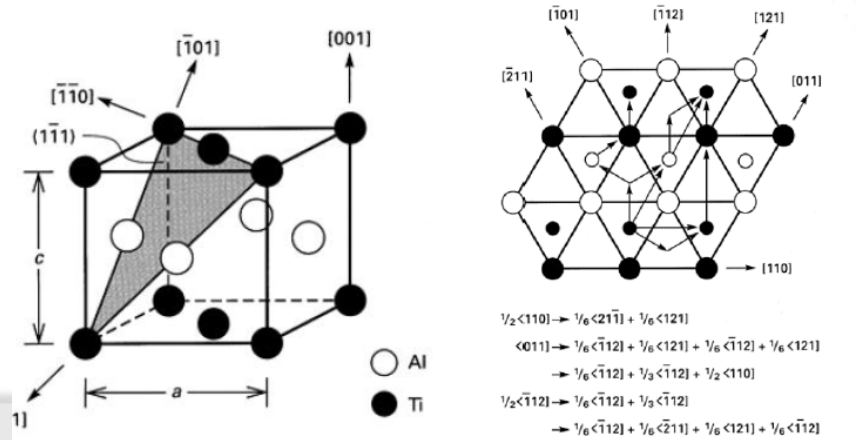
Resistência a Fluência



A resistência a fluência é a deformação permanente do material Quando este esta sujeito a uma carga Permanente ao longo do tempo, no gráfico da esquerda é comparado uma liga de aço com varias ligas de níquel onde é possível observar que as ligas de níquel tem uma resistência superior.

O aumento da tensão de limite elástico, é gerado por uma Mudança do sistema de escorregamento na superestrutura cristalina.

Para a fase gama' - Ni₃(Al,Ti) isto ocorre pela mudança do escorregamento no plano (111) para o plano (110) em alta temperatura. Esta é a principal fase Para o endurecimento da matriz das ligas de Ni



Fase Beta Ni(Al,Ti)

As fases intermetálicas apresentam características especiais, porém Nem todas podem ser utilizadas para ligas estruturais.

A fase beta apresenta comportamento cerâmico , com fratura frágil sob Tração. Esta propriedade impede o seu uso em estruturas. No entanto A dureza desta fase é equivalente a de um carboneto.

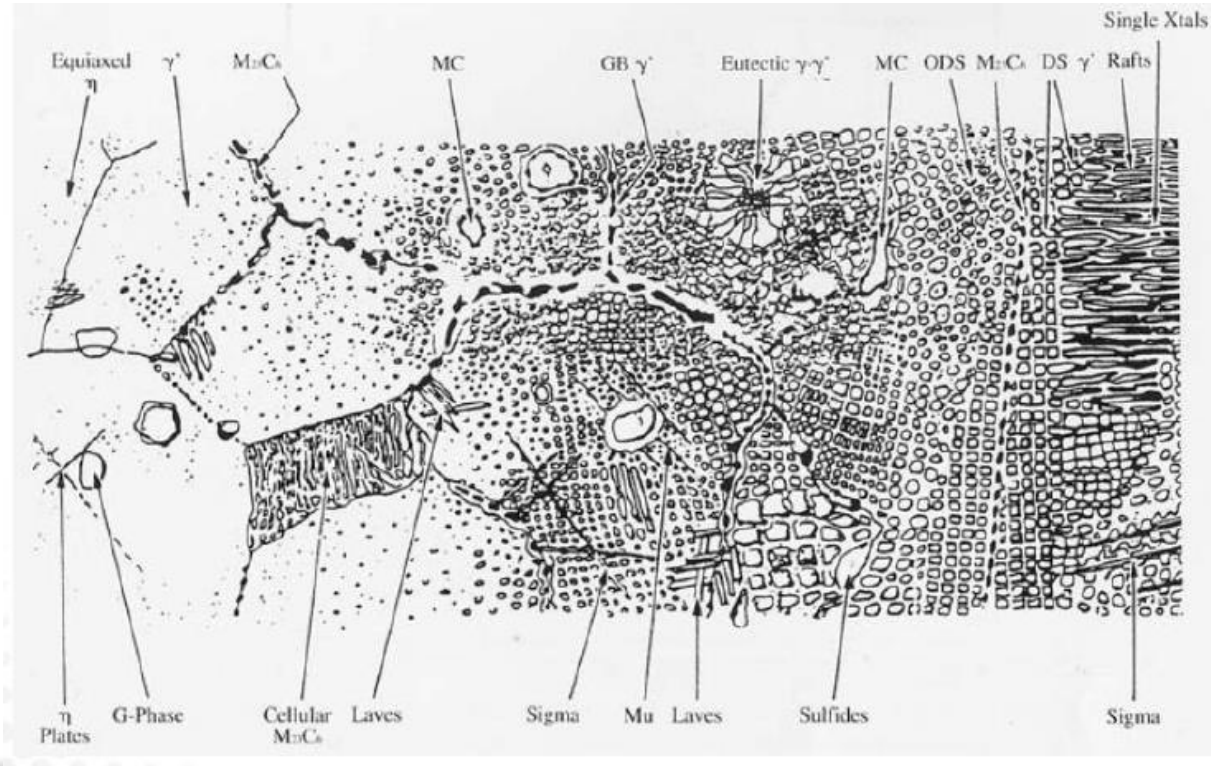
Evolução das diferentes fases

Fase	estrutura	formula	Comentario
γ	FCC L1,2	Ni ₃ (Al,Ti)	Principal fase para endurecimento da matriz da maioria das ligas de Ni
η	HCP-DO24	Ni ₃ Ti	Fase deletéria e metaestável formada em altas temperaturas. Em geral precipita na forma de agulhas de widmanstätten
γ''	BCT-DO22	Ni ₃ Nb	Principal fase para endurecimento de ligas contendo Nb. Em geral a precipitação ocorre na forma de discos coerentes com a matriz γ
δ	Ortoor (Cu ₃ Ti)	Ni ₃ Nb	Fase frágil e deletéria as propriedades. Precipita em alta temperatura na forma de agulhas (baixa temperatura - superenvelhecimento) ou filmes nos contornos de grão (altas temperaturas solubilização)
M(C,N)	FCC M(C,N)		carbonetos primários ou secundários. Dependentes do teor de C e de N das ligas para aumento da resistência mecânica. Em geral precipitação em globulos e placas nos contornos de grão

Evolução das diferentes fases

M23C6	FCC	(Cr,Fe,Mo,W)23C6	carbonetos precipitados durante o envelhecimento das ligas para o aumento da resistencia mecanica. Em geral precipitação em globulos e placas nos contornos de grão
M6C	FCC	Fe3Mo3C	Carboneto secundario
M7C3	Ortorr	(Fe,Cr,Mn)7C3	Carboneto secundario em geral observado na forma de particulas intergranulares
M3B2	Tetragonal	Mo2FeB2,Nb3B2	Boreto presente em ligas com elevado teor de B
μ	Romboedr	(Fe,Co)7(Mo,W)6	Presente em ligas com elevado teor de MO e de W. Precipita na forma de agulhas de widmanstaten em altas temperaturas
Laves	Hexagonal	Fe2Nb,Fe2Ti,Fe2Mo,Co2Ta,	Fase deleteria. Precipita-se na forma de globulos alongados apos exposição a altas temperaturas.
Siga	tetragonal	FeCr,FecrMo, CrfeMoNi, Crco, CrNiMo	Fase deletéria precipitada na forma de glóbulos em geral alongados em ligas que permaneceram por longos periodos entre 540°C e 980°C

Evolução das diferentes fases



As ligas de Níquel

Quanto ao processo de fabrico podem ser divididas em duas classes devido as elevadas propriedades mecânicas



Ligas Trabalhadas **Termo mecanicamente:**

- Forjadas e laminadas com tratamentos térmicos



Ligas não trabalhadas **Termo mecanicamente**

- fundição de precisão monocristalinas com ou sem , solidificação direcional

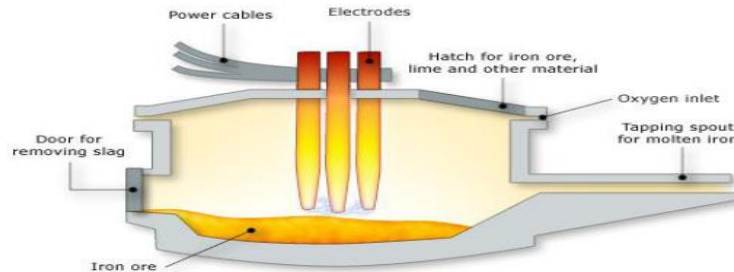
Processo de Fabrico

Processo	Especial	Convencional
Fusão	VIM (Vaccum induced melting)	EAF (Electric Arc Furnace)
Refusão / Refino	ESR (Electroslag Remelting)	VOD (vacuum oxygen decarburisation)
	VAR (Vaccuum Arc Remelting)	AOD (Argon-Oxygen Decarburization)
Forjamento	Forjamento em prensas hidráulicas. Geralmente para peças grandes e barras.	
Laminação	Laminação (plana e barras)	
Acabamento	Desbaste, Retífica, etc...	

Processo de Fusão

Fusão Electric Arc Furnace

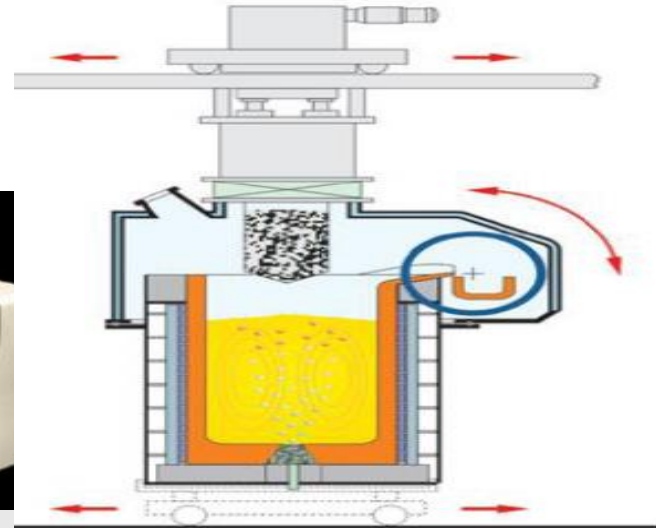
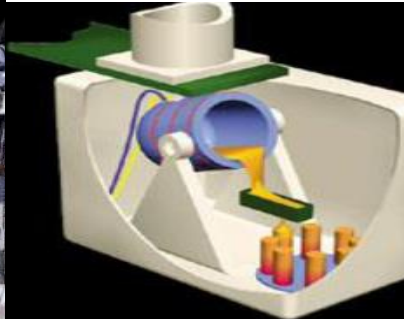
Este tipo de Fusão é efetuado através de arco voltaico ou fusão e vazamento ao ar. No caso de fusão e vazamento ao ar existe refinação do metal liquido por escoria e oxidação do banho metálico.



Processo de Fusão

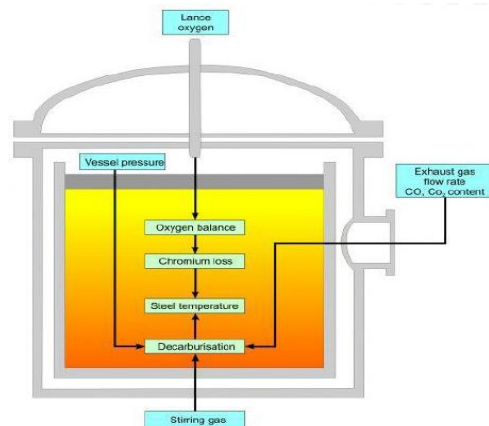
Fusão e vazamento em condições de vácuo

Neste tipo de fusão há pouca refinação do metal líquido, reduzida oxidação do banho metálico. Existe a possibilidade de vazamento de ligas que são facilmente oxidadas com oxidação mínima em ligas com Alumínio e titânio onde a refinação corre apenas por pressão mais concretamente a ausência desta (vácuo).

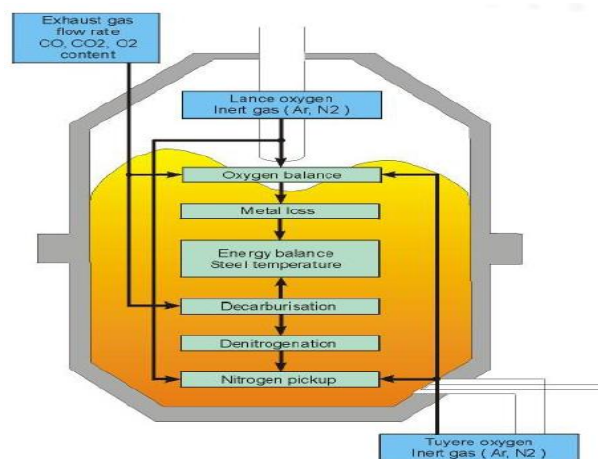


Refinação

VOD – Vacuum Oxygen Descarburizing



AOD – (Argon-oxygen Decarburizing)

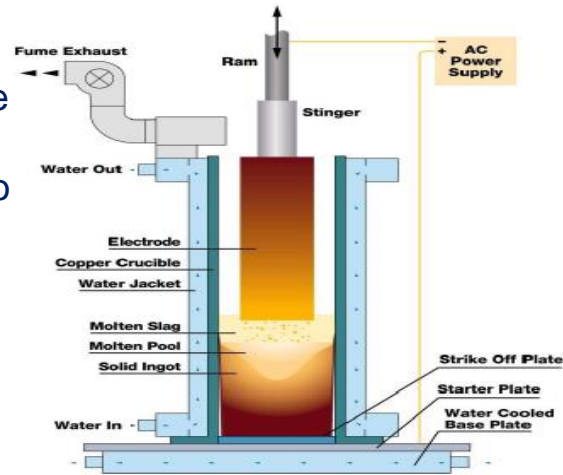


Estes processos consistem numa descarbonização do metal onde é injetado um gás Ar/O e através de um processo químico de redução o CO, Co são extraídos do composto metálico. No sistema AOD é possível obter um maior refino do metal líquido em relação ao VOD.

Refusão

ESR – (*Electroslag Remelting*) Refusão por arco voltaico com escória

Neste processo é utilizado um eletrodo que permite Fundir o lingote (com impurezas) novamente Com o objetivo de refinar a estrutura bruta de fusão E eliminar as impurezas.



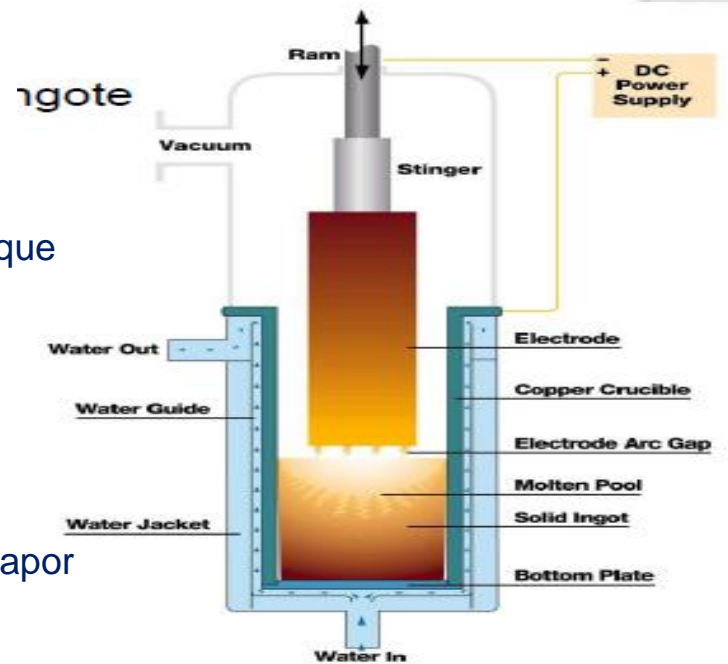
Refusão

VAR (Vacuum Arc Remelting)

Este processo é semelhante ao anterior uma vez que
É obtida uma:

- Refusão sob vácuo por arco voltaico
- Refinação da estrutura bruta de fusão

Tendo como diferença a eliminação de impurezas
para superfície do lingote através da pressão do vapor



Forjamento

O processo de forjamento consiste :

- 1)Prensagem: a quente ou frio de um lingote ou peça
- 2)Recalque: (aumentar a deformação do material), altera a microestrutura e refina o tamanho de grão
- 3)Desbaste: , com o fim de reduzir a espessura do material, e altera a microestrutura e refina do tamanho de grão.
- 4)Acabamento:, alisamento da superfície



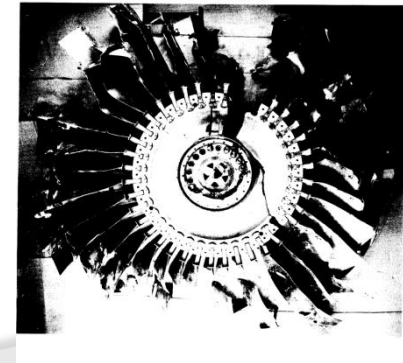
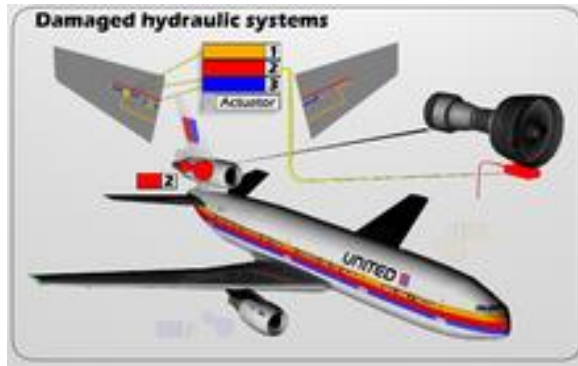
Laminação

- redução da espessura do material através da passagem entre dois cilindros com barras ou entalhes
- refino da microestrutura através da redução do tamanho de grão



United 232

O voo United 232 sofreu um acidente relacionado com o processo de fabrico das turbinas. A turbina sofreu rotura parcial, cujos estilhaços atingiram os sistemas hidráulicos do avião. Este acidente ocorreu porque a turbina sofria de fadiga, devido a impurezas no processo de fabrico que reduziu a sua longevidade operacional.



Principais ligas de Níquel

Monel (Ni-Cu)

As ligas de monel são ligas de Ni-Cu e são extremamente resistentes à corrosão, em especial em ambientes marinhos.

Porem tem uma resistência mecânica baixa. Tem uma principal aplicação na indústria naval e petroquímica.

Liga	Ni	Cu	Fe	Mn	C	Si	S	Outros
Alloy 400	63.0 min	28.0~34.0	2.50	0.20	0.30	0.50	0.024	---
Alloy 401	40.0~45.0	Bal.	0.75	2.25	0.10	0.25	0.015	---
Alloy R-405	63.0 min	28.0~34.0	2.50	2.00	0.30	0.50	0.025~0.06	---
Alloy 450	29.0~33.0	Bal.	0.4~1.0	1.00	---	---	0.02	1.0Zn, 0.05Pb, 0.02P
Alloy K500	63.0 min	27.0~33.0	2.00	1.50	0.25	0.50	0.01	2.30~3.15Al, 0.35~0.85Ti

Principais ligas de Níquel

Inconel (Ni-Cr-Fe)

São resistentes a altas temperaturas com excelentes propriedades mecânicas. Elevada resistência à oxidação e resistência razoável à corrosão. Tem como principal aplicação nas indústrias aeroespacial, nuclear e petroquímica, válvulas automotivas, turbinas.



Principais ligas de Níquel

Inconel (Ni-Cr-Fe)

Liga	Ni	Cr	Fe	Co	Mo	Nb	Ti	Al	C	Mn	Si	Outros
Alloy 600	72.0 min	14.0~17.0	6.0~10.0						0.15	1.0	0.5	0.50
Alloy 617	44.5 min	20.0~24.0	3.0	10.0~15.0	8.00~10.00		0.60	0.8~1.5	0.05~0.15	1.0	1.0	0.5Cu, 0.006B
Alloy 625	58.0 min	20.0~23.0	5.0	1.0	8.00~10.00	3.15~4.15	0.40	0.40	0.10	0.50	0.50	
Alloy 690	58.0 min	27.0~31.0	7.0~11.0						0.05	0.05	0.50	0.50Cu
Alloy 718	50.0~55.0	17.0~21.0	Bal.	1.0	2.80~3.30	4.75~5.50	0.65~1.15	0.20~0.80	0.08	0.35	0.35	0.30Cu, 0.006B
Alloy 751	70.0 min	14.0~17.0	5.0~9.0			0.70~1.20	2.00~2.60		0.10	1.0	0.50	0.50Cu
Alloy C-276	Bal.	14.5~16.5	4.0~7.0	2.50	15.0~17.0				0.01	1.0	0.08	0.35V, 3.50W

Principais ligas de Níquel

Incoloy (Ni-Fe-Cr)

Estas ligas são resistentes à corrosão em altas temperaturas (em especial por cloretos), com boas propriedades mecânicas, porém inferiores as ligas inconel. Resistencia à oxidação.

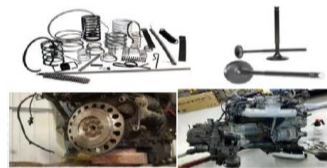
Liga	Ni	Cr	Fe	Co	Mo	Nb	Ti	Al	C	Mn	Si	Outros
Alloy A-286	72.0 min	14.0~17.0	6.0~10.0	---	---	---	---	---	0.15	1.0	0.5	0.50
Alloy 825	38.0~46.0	19.5~23.5	22.0 min	---	2.5~3.5	---	0.6~1.2	0.2	0.05	1.0	0.5	1.5~3.0 Cu
Alloy 925	44.0	21.0	28.0	---	3.0	---	2.1	0.3	0.01	---	---	---
Alloy 800HT	30.0~35.0	19.0~23.0	39.5 min	---	---	---	0.15~0.60	0.15~0.60	0.06~0.10	1.5	1.0	---

Principais ligas de Níquel

Nimonic (Ni-Cr)

São ligas com boa resistência à corrosão a alta temperatura em especial por sulfatos , excelente resistência a fluência e a fadiga a quente. Tem como principal aplicação na industria automotiva na fabricação de válvulas para motores de combustão interna e industria petroquímica e aeroespacial

Liga	Ni	Cr	Fe	Co	Mo	Nb	Ti	Al	C	Mn	Si	Outros
Nimonic 80A	Bal.	18.0 ~21.0	3.0	2.0	---	---	1.8 ~2.7	1.0 ~1.8	0.10	1.0	1.0	---
Nimonic 86	Bal.	25.0	---	---	10.0	---	---	---	0.05			0.03Ce
Nimonic 90	Bal.	18.0 ~21.0	1.5	15.0~ 21.0	---	---	2.0 ~3.0	1.0 ~2.0	0.13	1.0	1.0	0.02B



Principais ligas de Níquel

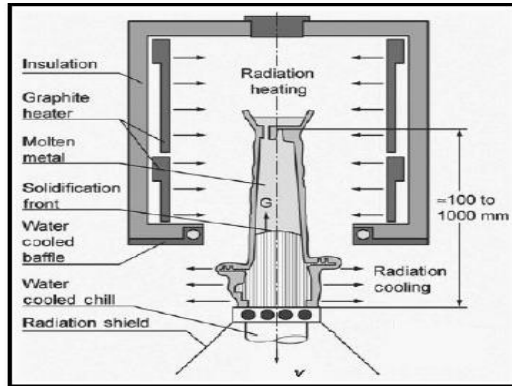
Superliga Ni-Waspaloy

Semelhante à liga Nimonic 80A, tendo como diferença: uma maior quantidade de gama', elevada resistência mecânica a altas temperaturas. Grande dispersão de partículas (13,5% Co), uma elevada resistência à oxidação (4.5%Mo), Elevada dificuldade de manuseamento .Aplicações na industria aeroespacial (turbinas) maquinas de tração e de fluência.

Principais ligas de Níquel

Superligas de Níquel

A principal diferença entre as superligas e as ligas de níquel é a elevada quantidade de fases intermetálicas (γ' , γ'') com elevada resistência mecânica à tração e fluência. Elevada resistência a quente. Microestrutura geralmente em blocos.



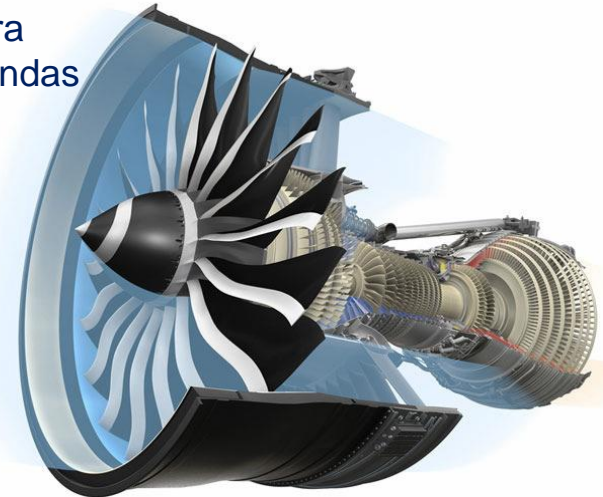
-O processo de fabrico é semelhante as ligas mas mais complexo, a fusão envolve Aquecimento por radiação

Aplicações das Superligas de Níquel em turbinas de Gás

As temperaturas de operação de uma turbina de alta pressão são entre os 200 e 600°C no centro da turbina. A rotação de 10 000 revoluções por minuto e um stress que pode chegar a 1000Mpa durante a descolagem num ambiente corrosivo e oxidativo.

As turbinas tem como requisitos: ductilidade e resistência à fratura para prevenir rotura e tolerância a defeito. Grande resistência a fadiga e fendas e uma densidade mínima. A super liga Inconel 718 é a super liga mais comum na produção de compressores e turbinas (níquel-ferro)

Nota: Ductilidade é o grau de deformação que o material aguenta ate a fratura

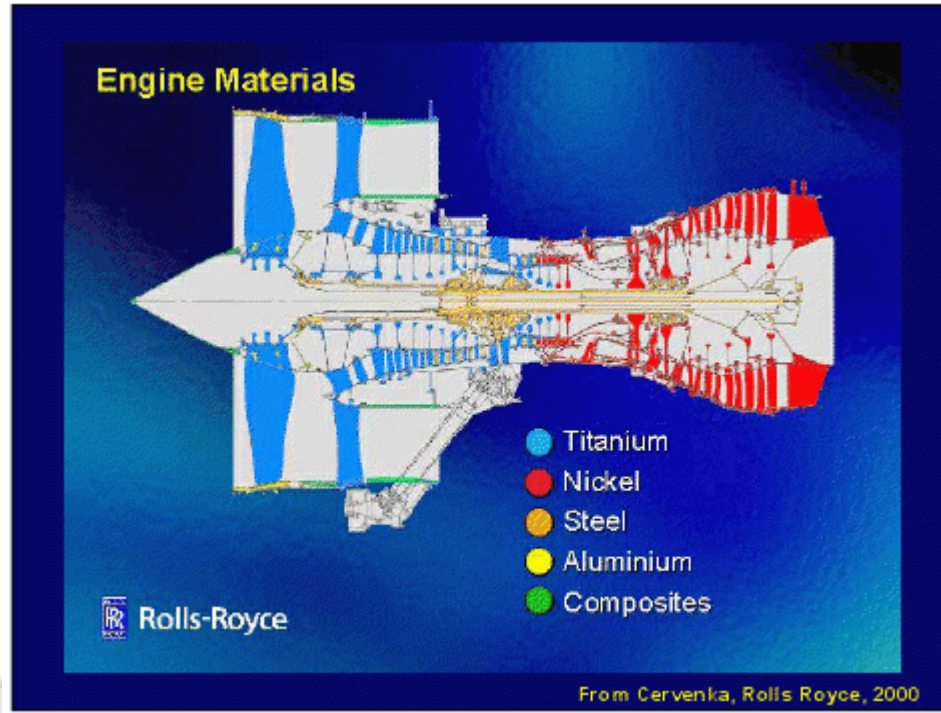


Aplicações das Superligas de Níquel em turbinas de Gás

As ligas de Níquel tem uma grande importância na aplicação em turbinas, devido ao facto de serem leves e manterem a sua operacionalidade a altas temperaturas, uma vez que os motores são mais eficientes quanto maior for a temperatura admitida pela turbina de alta pressão

São utilizados diversos elementos para criar fases desejadas no material, tais como (Ti,Al) para fortalecer, (Cr,Al) para aumentar a resistência a corrosão e oxidação. (Carbides) para fortalecer a zona fronteira dos grãos. O rhenium tornou-se importante nas pás da turbina mas tem muitos problemas.

Aplicações das Superligas de Níquel em turbinas de Gás



Aplicações das Superligas de Níquel em turbinas de Gás

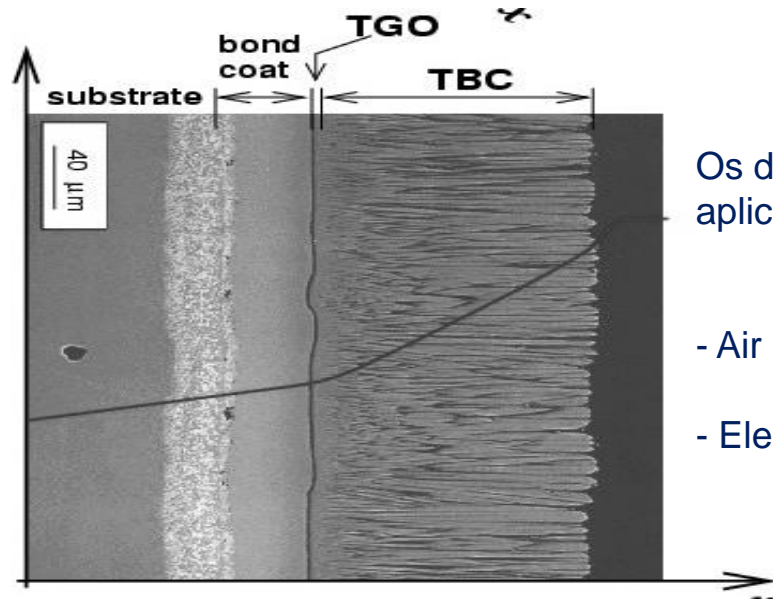
A parte dos discos enfrentam temperaturas muito mais baixas do que as pás, mas sofrem muito mais stress ou seja é muito importante uma resistência a fadiga. O processo de fabrico destes componentes pode ser realizado de enumeras maneiras contudo é um processo lento e possui gastos energéticos e monetários elevados

As pás nunca estão expostas ao calor diretamente, possuem uma camada de TBM (Thermal Barrier Coating) e um primário “bond coats” entre o TBM e pá ,tipicamente os “bond coats” são compostos intermetálicos de platina, para que não haja reação com o metal. O TBC é colocado depois do “bond coat” este é constituído por uma camada de cerâmica de yitria, zircónia estável.



Nota : yitria zirconia estável é a mesma cerâmica utilizada em facas

Aplicações das Superligas de Níquel em turbinas de Gás



Os dois processos principais de aplicação de TBC são:

- Air plasma sprayed
- Electron-beam physical vapor-deposition

Considerações finais

-As superligas de níquel, mantem boas características mecânicas, a altas temperaturas. É o material ideal para operações a altas temperaturas e ambientes corrosivos.

-A matéria prima é de fácil obtenção com custos relativamente baratos contudo o exaustivo processo de fabrico torna as ligas e superligas caras.

- Devido ao seu elevado custo de fabrico e a sua massa especifica tem apenas como aplicações na industria aeronáutica nas seções quentes de motores.