

LIGAS METÁLICAS SOFISTICADAS

Metalurgista Industrial

setembro 2020

www.metalurgistaindustrial.com.br

A Resenha Técnica Forno de Indução a Vácuo em Tecnologias de Processos menciona as rotas VIM / VAR e VIM / ESR no processamento de ligas metálicas complexas denominadas superligas. Não há uma definição estrita do que seja uma superliga, mas a mais aceita é que esta seja uma liga baseada no grupo VIII da tabela periódica dos elementos (níquel, cobalto e ferro com a adição de elevada percentagem de níquel em peso).

As superligas são destinadas a aplicações sob elevadas temperaturas próximas ao seu ponto de fusão, nas quais a resistência a deformações e estabilidade superficial são requisitos determinantes, sendo estas, então, suas características definidoras. Embora haja outros materiais que possam ser utilizados a elevadas temperaturas tais como cerâmicas e ligas metálicas refratárias, as superligas são insuperáveis sob os aspectos de combinação de propriedades mecânicas a altas temperaturas e resistência ao meio ambiente.

Os materiais cerâmicos, a despeito de deterem excelente resistência ambiental, possuem baixa resistência à fratura que os tornam inadequados para a maioria das aplicações estruturais. As ligas metálicas refratárias, embora retenham suas propriedades mecânicas a elevadas temperaturas por causa de seus altos pontos de fusão, pecam pela resistência à oxidação.

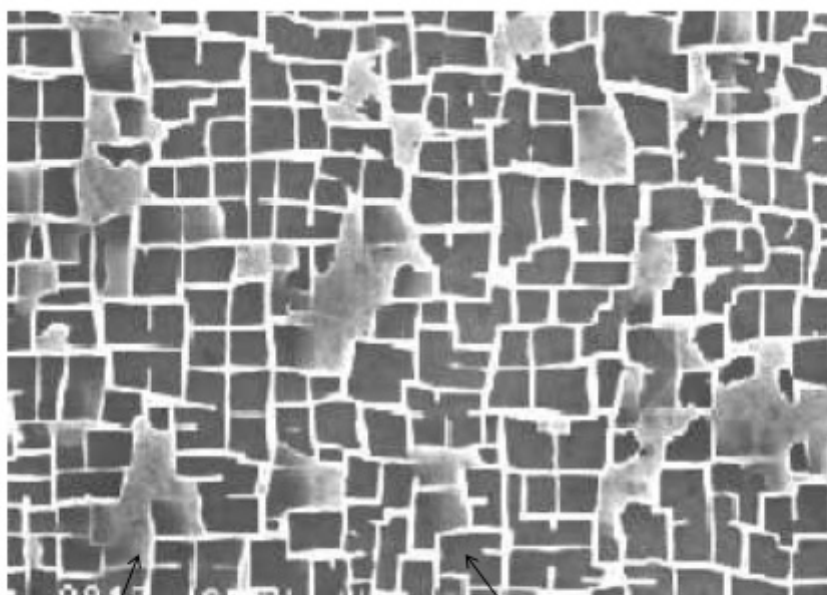
A combinação de resistência ao meio ambiente e propriedades mecânicas superiores a altas temperaturas tornam as superligas à parte dos outros sistemas de ligas. As principais aplicações das superligas encontram-se na indústria aeroespacial e turbinas a gás.

A estrutura cristalina das superligas é tipicamente austenita CFC e desenvolvem a resistência a elevadas temperaturas por meio de solução sólida e precipitação de segundas fases como γ' (gama *prime*) e carbetos. A gama *prime* é um composto intermetálico baseado em $Ni_3(Ti, Al)$ com uma estrutura ordenada CFC. Os átomos de níquel encontram-se nas faces e os de alumínio ou titânio nos vértices do cubo. A fase γ é a matriz CFC.

A microestrutura resultante consiste basicamente em duas fases em equilíbrio consistindo de γ (gama) e gama *prime* γ' , imagens ilustrativas em prosseguimento para as superligas baseadas em níquel. Essas duas fases têm quase idênticas dimensões de rede cristalina e orientações similares, sendo, conseqüentemente, quase coerentes. A fase gama *prime* γ' atua como uma barreira ao movimento das discordâncias, do qual depende o fenômeno de fluência. Essa fase, se presente em altas frações volumétricas, aumenta enormemente a resistência dessas ligas.

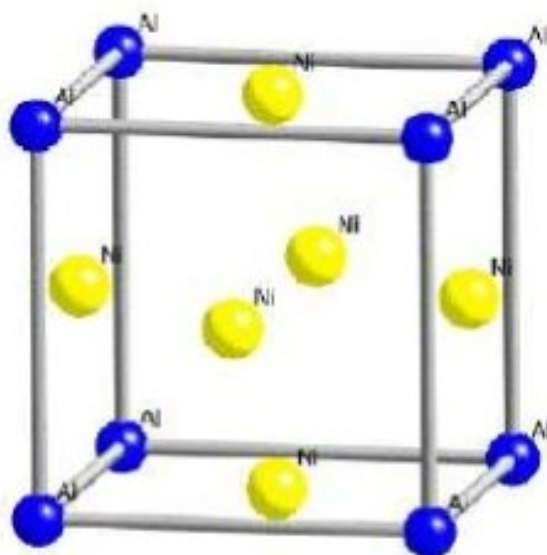
Durante o tratamento térmico, os carbetos originalmente formados decompõem-se em carbetos inferiores tais como $M_{23}C_6$ e M_6C que tendem a ser gerados nos contornos de grãos. Esses carbetos assim precipitados reduzem o deslizamento dos contornos de grãos.

Também há a ocorrência de fases de compostos intermetálicos topologicamente compactas (TCP-*topologically close-packed phases*) não desejáveis por provocarem fragilização e perda de resistência à fluência.

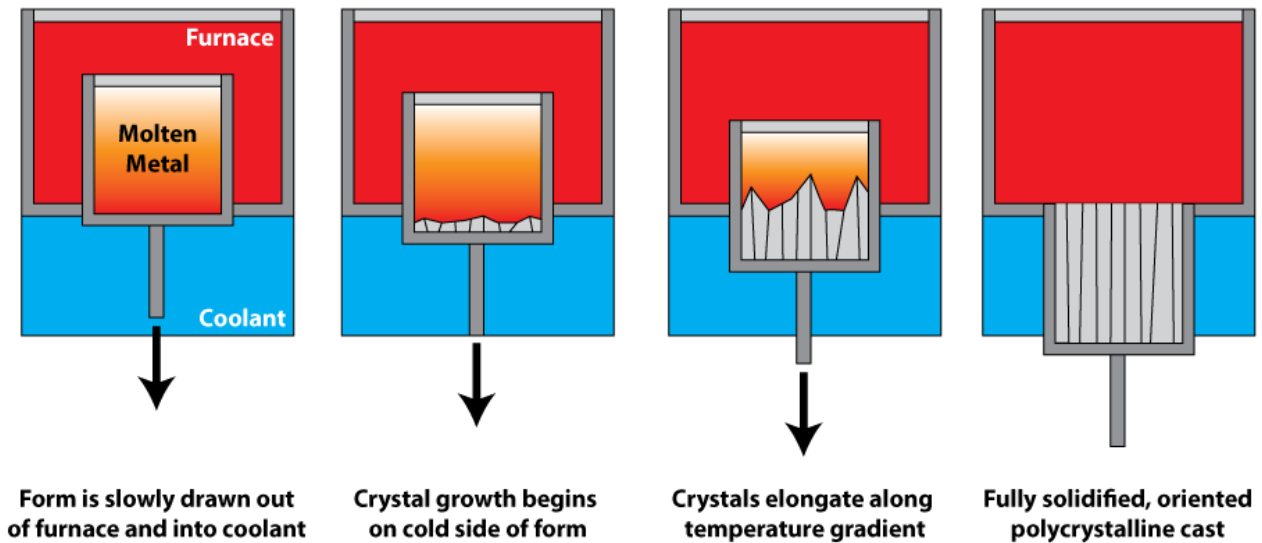


fcc Ni-rich matrix
– “ γ phase”

Ni_3Al
precipitates – “ γ' phase”
(cuboid in shape)



A resistência à corrosão é conferida por elementos como alumínio e cromo pela formação de seus respectivos óxidos. As superligas são também lingotadas como um cristal único utilizando uma versão modificada da técnica de solidificação direcional, pois embora os contornos de grãos possam promover resistência a baixas temperaturas, estes reduzem a resistência à fluência. A técnica de solidificação direcional é ilustrada a seguir.



O quadro a seguir resume a influência de elementos de liga em superligas à base de níquel.

Effect	Alloying Elements
Solid-solution strengtheners	Cr, Mo
Fcc matrix stabilizers	C, W, Ni
Carbide formers	Ti, Cr, Mo
Forms γ' Ni ₃ (Al, Ti)	Al, Ni, Ti
Retards formation of hexagonal η (Ni ₃ Ti)	Al, Zr
Hardening precipitates	Al, Ti, Nb
Oxidation resistance	Cr
Improve hot corrosion resistance	La, Y
Sulfidation resistance	Cr
Increases rupture ductility	B

Como as superligas baseadas em níquel, as ligas à base de cobalto, mais caras do que as à base de níquel, desenvolvem as fases γ (gama) e gama *prime* γ' e carbetos que propiciam aumento de resistência por precipitação. O cobalto tem um ponto de fusão superior ao do níquel, e as superligas baseadas naquele elemento apresentam maior resistência à corrosão e à fadiga térmica. Como resultado, essas ligas são empregadas em aplicações sujeitas a menores tensões e mais altas temperaturas como aletas em turbinas a gás.

As superligas baseadas em ferro tornaram-se de interesse econômico, pois menos dispendiosas de serem produzidas. Essas ligas, analogamente, também desenvolvem as fases γ (gama) e gama *prime* γ' , esta a responsável pelo aumento da resistência deste tipo de ligas.