



Superaleaciones HRSA

En este tema estudiaremos las superaaleaciones en base níquel, cobalto y hierro-níquel. Veremos su composición, aplicaciones, propiedades y cómo mecanizarlas.



Estos apuntes forman parte del proyecto de FP Dual especializado en Moldes y Matrices desarrollado por **AVIA** y el **IES Almussafes**
Promotora en AVIA del proyecto: **Elena Lluch**
Equipo docente proyecto: **Fernando Soler, Rafa López y Xavier Aixalà**
Desarrollo y redacción del tema: **Fernando Soler**

¹ Imagen de una pieza de Inconel, sacada de Wikimedia Commons



Introducción

En algunas industrias específicas (como es el caso de la industria aeronáutica), es necesario conseguir materiales que, simultáneamente, nos ofrezcan grandes resistencias mecánicas, a la vez que tengan poco peso y sean capaces de soportar grandes esfuerzos a muy altas temperaturas. Esto se consigue con las superaleaciones, también conocidas por sus siglas en inglés *HRSA*, *Heat Resistant Super Alloys* (superaleaciones resistentes al calor). En este tema veremos los tipos de superaleaciones que existen, así como sus aplicaciones, características, composición y cómo mecanizarlas.

Todo este material está basado en la información de los siguientes enlaces:

- <https://www.interempresas.net/Aeronautica/Articulos/180628-Hay-vida-mas-alla-del-Inconel.html>. Se recomienda visitar esta página para más información sobre las superaleaciones en la industria aeronáutica.
- <https://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/technical%20guides/en-us/c-2920-034.pdf>. Se recomienda visitar esta página para más información sobre el mecanizado de las superaleaciones.

Tipos de superaleaciones

Las superaleaciones se basan en tres tipos fundamentales:

- **Basadas en el hierro.** Se desarrollan a partir de los aceros inoxidable austeníticos. Son las menos resistentes a las altas temperaturas de los tres tipos de superaleaciones. Pueden tener coeficientes de dilatación muy pequeños, lo cual las hace muy útiles para ciertas aplicaciones. *Por ejemplo: Incoloy 909, compuesta de un 40%Fe, 38%Ni, 14%Co, 5%Nb y 1.5%Ti.*
- **Basadas en el níquel.** Los más usados de los tres por su relación calidad-precio. Uno de ellos, el Inconel 718, es con gran diferencia el más empleado en la industria aeronáutica. La mitad de los motores de un avión moderno están hechos de este tipo de superaleaciones, y se espera que esa tendencia incremente de cara al futuro. *Por ejemplo: Inconel 718 (52%Ni, 20%Fe y 20%Cr) y Waspaloy (58%Ni, 19%Cr, 13%Co, 4%Mo, 3%Ti, 1.4%Al). Grosso modo, puedes considerar que la composición del Waspaloy es como la del Inconel, pero cambiando el Fe por el Co.*
- **Basadas en el cobalto.** Las más duras de todas, así como las que presentan la mayor resistencia a la corrosión a altas temperaturas. Más caras que las basadas en el níquel, así como más difíciles de trabajar que estas debido a su dureza y el desgaste que producen en las herramientas. Se emplean fundamentalmente para implantes médicos, por su elevada resistencia a la corrosión. *Por ejemplo: CoCr28Mo6.*



Aplicaciones de las superaleaciones

Las superaleaciones se emplean fundamentalmente en aquellas circunstancias que se necesita un material especialmente resistente a altas temperaturas, o con unas características de resistencia a la corrosión especialmente elevadas. Al mismo tiempo, son materiales especialmente caros y difíciles de mecanizar, de modo que sólo se emplean en aquellas circunstancias en las que son verdaderamente necesarios. Sus aplicaciones fundamentales son las siguientes:

- Motores para la industria aeroespacial (por su resistencia a las altas temperaturas)
- Turbinas para la industria aeroespacial (por su resistencia a las altas temperaturas)
- Turbinas de gas estacionarias (por su resistencia a las altas temperaturas)
- Industria nuclear (por su resistencia a las altas temperaturas)
- Plataformas marinas (por su resistencia a la corrosión)
- Prótesis e implantes (por su resistencia a la corrosión)



2



3

Características mecánicas

En general, las superaleaciones se caracterizan por lo siguiente:

- Por su dureza incluso a muy altas temperaturas (pueden llegar a 50 HRC en el caso de las superaleaciones de Co después de ser endurecidas).
- Por su robustez incluso a muy altas temperaturas
- Por su resistencia a la corrosión
- Por su dificultad para ser mecanizadas. De hecho, forman parte del grupo S de materiales de las normas ISO (junto con el Titanio)

Según el tratamiento térmico que hayan sufrido, su dureza puede variar considerablemente. Si sólo han sufrido las etapas de revenido y tratamiento de solubilización, su dureza es

² Photo by [Inspirationfeed](#) on [Unsplash](#)

³ Photo by [Dean Brierley](#) on [Unsplash](#)



inferior a los 30 HRC. Tras la aplicación del tratamiento de envejecimiento después del tratamiento de solubilización pueden alcanzar hasta los 48 HRC.

Pueden obtenerse por las siguientes técnicas:

- **En forja.** Son las más fuertes, y tienen una maquinabilidad es media. En la web de Sandvick recomiendan que la mejor manera de mecanizarlos es bajando la velocidad de corte y subiendo el avance. La forja se emplea para piezas grandes.
- **Por fundición.** Son las menos fuertes y tienen mala maquinabilidad. En la web de Sandvick recomiendan que la mejor manera de mecanizarlos es subiendo la velocidad de corte y bajando el avance. Tras mecanizarse presentan el defecto superficial de *piel de naranja*.
- **Por laminación en barra de menos de 200mm de diámetro.** Su resistencia es intermedia entre las realizadas en forja y por fundición, y su maquinabilidad es buena (dentro de tratarse de una superaleación).

Inconel 718.

Su dureza (entre 30 y 40 HRC) se debe a los precipitados de compuestos intermetálicos de diferentes elementos de aleación como el Ti, el Al o el Nb, así como el C que precipita en forma de carburos MC (los que precipitan en el interior de la matriz de martensita). Como ya hemos comentado, es el material estrella para zonas calientes de los motores y turbinas de la industria aeronáutica.

Waspaloy

El Waspaloy (del inglés Wasp: avispa y Alloy (alloy): aleación) posee menor dureza y propiedades un poco inferiores al Inconel 718. Sin embargo, resulta más sencillo de mecanizar que éste, por lo que también tiene muchas aplicaciones.

Superaleaciones en base cobalto

Son las más duras de todas (hasta 50 HRC), lo que les confiere mayor resistencia al desgaste y a la corrosión. Es más resistente que el acero inoxidable con la mitad de peso, pero tiene baja tenacidad. Es más caro que las aleaciones en base níquel (como el Inconel) y más difícil de trabajar, por lo que es menos empleado que éstas. Se trabaja con el mismo tipo de plaquitas que las superaleaciones en base níquel.



El mecanizado de las superaleaciones

Como ya hemos dicho anteriormente, las superaleaciones pertenecen al grupo de materiales S según la normativa ISO. Estos materiales poseen las siguientes características:

- Su conductividad térmica es baja
- Poseen en su estructura interna carburos abrasivos de gran dureza
- A temperaturas elevadas poseen una gran resistencia térmica
- Se endurecen por deformación mientras que son mecanizados

En general, los esfuerzos necesarios para mecanizar las superaleaciones son el doble que para mecanizar aceros aleados normales. Por ello, se recomiendan las siguientes estrategias para su mecanizado:

- Salvo que estemos mecanizando con plaquitas cerámicas, aplicar refrigeración en grandes caudales y dirigidos directamente a la zona de trabajo.
- **En la primera fase de mecanizado (desbaste)**, la superaleación ha de trabajarse sin haberle realizado todavía los tratamientos de endurecimiento, de modo que su dureza todavía estará alrededor de los 26 HRC. Se recomienda el uso de plaquitas de metal duro con recubrimiento de TiAlN (nitruro de titanio aluminio) y óxidos de Cr (ambos por PVD); metal duro con recubrimiento de CVD; o cerámicas (si las condiciones de corte son buenas).
- **En la segunda fase de mecanizado (intermedia)** ya se han realizado los tratamientos térmicos de endurecimiento, con lo que la durezas será de 36 HRC en adelante. En Sandvick recomiendan plaquitas de cerámica para esta fase.
- **En la tercera fase de mecanizado (acabado)**, se recomienda el uso de herramientas de metal duro.
- Los ángulos de ataque deberán ser muy pequeños
- Los tipos de plaquita de metal duro más empleados serán los tipos C, D, S y R. En el caso de plaquitas de cerámica, los tipos S y R con radios de punta grandes.

Los mayores problemas que presentan las plaquitas de corte de metal duro al trabajar con superaleaciones son la deformación plástica y el desgaste en entalla (grietas). En el caso de las plaquitas cerámicas, su mayor problema suele ser la aparición de esquirlas (saltan trocitos de cerámica cerca del filo).



Enlaces relacionados

- Las superaleaciones en la industria aeronáutica:
<https://www.interempresas.net/Aeronautica/Articulos/180628-Hay-vida-mas-alla-del-Inconel.html>
- Información general sobre superaleaciones HRSA:
<https://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/technical%20guides/en-us/c-2920-034.pdf>
- Torneado de Inconel 718: <https://www.youtube.com/watch?v=29N-s62gRpg>
- Fresado de Inconel 718: <https://www.youtube.com/watch?v=5W8O4oVGL00>
<https://www.youtube.com/watch?v=TDIY2XUMq-U>