



▶ TENSIÓN RESIDUAL ES EL STRESS QUE ABSORBE LA PIEZA

▶ EL CONTROL DE LA TENSIÓN RESIDUAL, GARANTIZA LA CALIDAD DE LA PIEZA

▶ LA MEDICIÓN DE TENSIONES RESIDUALES SE PUEDE REALIZAR A PARTIR DE LA DIFRACCIÓN DE RAYOS X

# Aseguramiento de la vida de la pieza

EL CONTROL DE LAS TENSIONES RESIDUALES, GARANTÍA DE CALIDAD DE PIEZA

Las piezas mecanizadas, al igual que las personas, ante determinadas situaciones se estresan, y por lo tanto si no se consiguen los valores adecuados no funcionan bien y pueden ocasionar problemas. Una fuente de estrés en las piezas mecanizadas es la tensión residual que se produce o bien por un enfriamiento erróneo del proceso de fundición o bien por un proceso de mecanizado agresivo.

Ciertas piezas destinadas a los mercados más exigentes en seguridad, como pueden ser el ferrocarril, aeronáutico, obras públicas y automoción, entre otros, tienen en muchos casos que cumplir una exigencia de control de duración de vida que las hacen críticas, y por lo tanto necesitan controles especiales para asegurar que dicha vida se corresponda con la calculada en la fase de diseño. Uno de esos controles específicos es el de las tensiones residuales.

## La especificación oculta

En el proceso de fabricación de un componente siempre es necesario cumplir una serie de especificaciones, entre las que las tolerancias dimensionales, geométricas y superficiales son las más reconocibles: cualquier mecanizador se preocupará de conocer, junto con la geometría de la pieza a fabricar, las tolerancias que acompañan a cada una de sus dimensiones y formas. Otras magnitudes le resultarán quizá menos familiares. Estas magnitudes hacen referencia, más que a la geometría de la pieza, a características estructurales que condicionarán su buen funcionamiento

en la aplicación final. Nos referimos a hechos que ocurren en su interior como variaciones en su composición química, o a la presencia de fases anómalas del material, resultantes del proceso de fabricación.

Entre las características a tener en cuenta, destaca la presencia de tensiones residuales internas en el material, generadas por la mayoría de las agresivas etapas del proceso de fabricación, como puede ser el conformado, la estampación, el mecanizado, la electroerosión, los recubrimientos, etc. De una manera informal, podría decirse que la tensión residual es el estrés que absorbe la pieza durante su fabricación, estrés que se podrá liberar con el paso del tiempo, con resultados beneficiosos o perjudiciales para el desempeño de la función a la que se la destine.

En este sentido, el valor de tensión residual adecuado a obtener en una pieza viene a ser una “especificación oculta”, en un doble sentido: primero, porque en muchas ocasiones no se concreta en la información asociada a la pieza; y en segundo, porque nada en la medición de la geometría final del componente permitirá prever su valor.

*“LA TENSIÓN RESIDUAL ES EL ESTRÉS QUE ABSORBE LA PIEZA DURANTE SU FABRICACIÓN, ESTRÉS QUE SE PODRÁ LIBERAR CON EL PASO DEL TIEMPO, CON RESULTADOS BENEFICIOSOS O PERJUDICIALES PARA EL DESEMPEÑO DE LA FUNCIÓN A LA QUE SE LA DESTINE”*



# La medición de tensiones residuales se convertirá en una especificación estándar en un gran número de piezas

## El efecto de las tensiones residuales

La existencia de tensiones residuales da lugar a deformaciones en la pieza durante su vida útil, o a la aparición de grietas y posterior ruptura, o a la reducción de su vida útil limitando su resistencia a la fatiga. Propiedades tan distintas como la fractura, resistencia a tracción, estabilidad dimensional, corrosión, adherencia de recubrimientos, etc., se ven afectadas por las tensiones residuales existentes.

## Tensión residual: concepto

Se denomina “tensión residual” a la tensión que existe en el material cuando no está bajo el efecto de fuerzas exteriores. Estas tensiones son la respuesta elástica del material a una distribución no homogénea de deformaciones: térmicas, plásticas, transformaciones de fase, formación de precipitados, gradientes de composición, etc. La estructura del material acumula deformaciones en distintos puntos, de tracción (demasiado estirado) o compresión (demasiado encogido) y tenderá a compensarlas modificando su forma y por lo tanto modificando su geometría.

## ¿Tracción o compresión?

Una vez que la pieza está siendo utilizada, se verá sometida a tensiones adicionales externas. La tensión real que soporta la pieza, por tanto, es la suma de la tensión externa aplicada y las tensiones internas existentes. Cuando la pieza presenta tensiones residuales de tracción, de signo positivo, éstas se suman a la tensión externa aplicada, con lo que la pieza se sobrecarga. Estas tensiones residuales son, por tanto, indeseables, porque bajan el límite elástico del material y pueden hacer, por ejemplo, que la pieza se rompa durante su vida útil.

Las tensiones residuales compresivas, negativas, por otra parte, reducen la tensión total existente y dificultan la formación de grietas en la pieza. Procesos como el chorreado de granalla (shot-peening) se

utilizan para conseguir tensiones residuales de este tipo en la superficie.

## Medición de las tensiones residuales

El método tradicional de medición de tensión residual en piezas funcionales se ha basado en medir la distorsión provocada en la pieza al hacer un agujero mediante el método del taladro. Se trata de un método destructivo y con poca resolución cuando las variaciones de tensiones residuales son grandes al alejarse de la superficie de la pieza, ya que la distorsión total observada depende del promedio en la zona y no da información sobre el valor local. Otros métodos (ruido de Barkhausen, empleo de ultrasonidos, etc) proporcionan medidas cualitativas válidas para control de calidad en series largas.

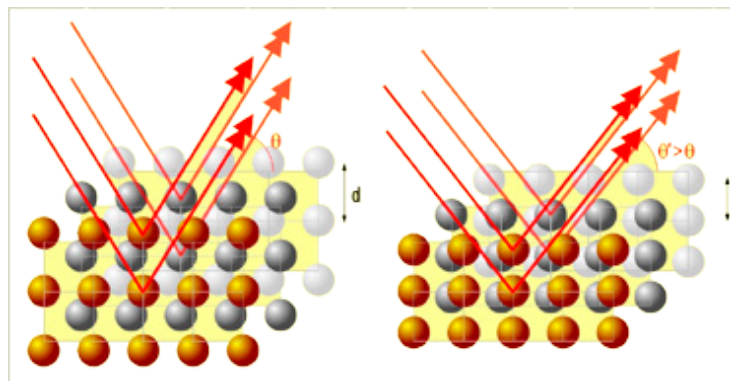
La medición de tensiones residuales se puede realizar a partir de la “difracción de rayos X” y el análisis de la compresión o expansión de la estructura del material, en equipos de laboratorio.

No obstante, este método requiere habitualmente un largo tiempo de medida y el empleo de probetas de pequeño tamaño, lo que dificulta su aplicación en piezas acabadas, en las que sería necesario sustraer una parte del material para realizar el análisis, es decir que hay que dejar la pieza inservible. Hay que tener en cuenta que generalmente este proceso de verificación se efectúa sobre piezas caras ya terminadas.

El uso sistemas de medición basado en detectores de rayos X, permite una superación de las limitaciones anteriores y la medición de las tensiones residuales en piezas funcionales sin necesidad de dañar la pieza.

El principio físico en que se basa es el análisis de un haz múltiple de rayos X difractado en la superficie deformada del material. La dirección en la que el haz difractado presenta una mayor intensidad se modificará en función de la deformación de la estructura cristalina de la superficie.

En la figura inferior se ilustra la medición de tensiones residuales por difracción de rayos X. material con tensión residual superficial de tracción, (nodos cristalinos separados). Dirección de contracción (nodos cristalinos próximos). El método permite medir la tensión en superficie, lo que es suficiente en la mayoría de los casos prácticos. Como beneficio adicional al método anterior, las medidas pueden realizarse evitando el



Medición de tensiones residuales por difracción de rayos X

transporte de la piezas, al utilizarse para ello un equipo portátil.

“ El método tradicional de medición es un método destructivo y con poca resolución ”



Si se requiere medir las tensiones en el interior de la pieza, entonces es necesario eliminar capas de material para repetir la medición. La eliminación de material debe realizarse sin inducir nuevas tensiones, siendo por ello ideal el empleo de procesos como el electropulido. En determinados casos la medición de la distribución de tensiones en el interior del material puede compensar el daño producido a la pieza, ya que permite estudiar la influencia en el resultado final tanto del material base como de los distintos procesos de acabado sufridos por la pieza.

### Necesidad de la determinación de las tensiones residuales

La obtención de un determinado nivel de tensión residual en piezas funcionales es un requisito cada vez más demandado en la fabricación de componentes. En el caso de piezas críticas, resulta una magnitud fundamental para la homologación de las mismas o de los propios procesos de fabricación por las que se generan.

Su determinación es ineludible al abordar la optimización de ciertos procesos de fabricación. Entre los ejemplos de procesos que pueden ser optimizados para minimizar los costes de producción garantizando la calidad final de la pieza, están: la fundición, los distintos métodos de estabilizado, el granallado, o los procesos de mecanizado (rectificado, bruñido, fresado, etc) en un amplio abanico de metales (acero, iniconel, aleaciones de aluminio o titanio).



Tensión residual en función de la profundidad



## Qué se puede hacer cuando existen problemas con las tensiones residuales?

Las piezas que tienen problemas con las tensiones residuales pueden ser mejoradas, haciendo pasar las tensiones de tracción a tensiones bajas o de compresión según sea necesario, por medio de diferentes procesos.

Estos métodos se basan en procesos de vibración, calentamiento, abrasión, deformaciones plásticas superficiales (roller-burnishing), y granallado (shot-peening).

Dr. Jordi Figueras  
Gestor Procesos de Fabricación de IK4-IDEKO  
Dr. Javier Hernández  
Rble. de Planificación y Equipamiento de IK4-IDEKO