

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 977 650**

51 Int. Cl.:

**B23Q 17/09** (2006.01)

**G01L 1/16** (2006.01)

**G01L 5/00** (2006.01)

**G01S 13/75** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.02.2019** **PCT/EP2019/054884**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.09.2020** **WO20173562**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.02.2019** **E 19708283 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2024** **EP 3930958**

54 Título: **Sistema de monitorización inalámbrica y pasiva de tensión durante los procesos de fabricación**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**28.08.2024**

73 Titular/es:

**THE PROVOST, FELLOWS, FOUNDATION  
SCHOLARS, & THEOTHER MEMBERS OF  
BOARD, OF THE COLLEGE OF THE HOLY &  
UNDIV. TRINITY OF QUEEN ELIZABETH NEAR  
DUBLIN (100.0%)  
College Green  
Dublin 2, IE**

72 Inventor/es:

**O'DONNELL, GARRETT y  
NOLAN, SEAN PATRICK**

74 Agente/Representante:

**FERNÁNDEZ POU, Felipe**

ES 2 977 650 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Sistema de monitorización inalámbrica y pasiva de tensión durante los procesos de fabricación

## 5 Campo de la invención

La presente descripción se refiere a un sistema de detección para la monitorización inalámbrica y pasiva de la tensión durante un proceso de fabricación, y se ocupa más particularmente del problema de medir la tensión producida en un objeto bajo prueba, tal como un herramienta de corte, pieza de trabajo o dispositivo de sujeción de piezas, durante un proceso de fabricación que depende de la fuerza para aplicar energía al proceso de fabricación.

## Antecedentes de la invención

15 Uno de los procesos de fabricación que usa fuerza es el conocido como mecanizado que es el proceso mecánico de cortar/quitar material de una pieza para realizar un componente con una geometría/tamaño/forma y/o acabado superficial específico. El mecanizado es uno de los métodos de fabricación más básicos. En industrias de fabricación de alto valor, como la automoción, la fabricación de dispositivos médicos y la

20 de los componentes clave involucrados en el mecanizado, ya sea directamente acoplado con la pieza de trabajo y cortar el material de la pieza de trabajo, o sosteniendo un "inserto de herramienta de corte" que se acopla con la pieza de trabajo y cortar el material de la pieza de trabajo. Las herramientas de corte de diferentes diseños pueden producir partes de diferentes formas y tamaños que van desde piezas simples hasta complejas. Las herramientas de corte se usan en máquinas de control numérico informatizado (CNC), que

25 pueden repetir secuencias con altos niveles de precisión y producir piezas complejas de diversos tamaños y formas. Se pueden usar diversas técnicas de fabricación para eliminar material durante el proceso de conformación de piezas según se define en DIN 8580.

Un dispositivo de sujeción de piezas es el término genérico para cualquier dispositivo usado para sujetar firmemente una pieza de trabajo durante el proceso de fabricación, por ejemplo, el mecanizado. Términos estrechamente relacionados son "plantillas", "accesorios" y "abrazaderas". Un dispositivo sujeta la pieza de trabajo mientras se somete al proceso de fabricación. Una plantilla sostiene la pieza de trabajo y (en configuraciones de mecanizado manual) también guía el cortador. Los "accesorios" son soluciones de sujeción de trabajo coloquialmente hechas a la medida para una parte o situación particular. Las "abrazaderas" son

35 mecanismos mecánicos usados para la fijación/sujeción de herramientas o piezas.

En tipos comunes de procesos de mecanizado, como el torneado, se usan herramientas con un solo filo para la eliminación de material. Durante el mecanizado, la herramienta de corte deforma el material de la pieza hasta que se corta en forma de virutas. La tribología es el examen de superficies en contacto entre sí para determinar

40 cómo se modificarán geométricamente entre sí a determinadas temperaturas y presiones. El proceso de deformación requiere una cantidad significativa de energía y la herramienta de corte soporta una variedad de cargas/fuerzas mecánicas, térmicas, químicas y tribológicas. La combinación de estas cargas eventualmente hace que la herramienta de corte se deteriore y se desgaste o falle. Por lo tanto, el objetivo de tener una buena operación de mecanizado es equilibrar la energía necesaria para eliminar el material con la capacidad de la

45 herramienta de corte para soportar de manera confiable las cargas que se le imponen. Las cargas mecánicas en forma de fuerzas de corte pasan a través de la herramienta de corte al portaherramientas y a la estructura de la máquina; por lo tanto, todos los elementos en la trayectoria de la fuerza experimentan fuerzas de varios niveles que pueden conducir a deformaciones de flexión o tracción o combinaciones de las mismas en esos elementos en la trayectoria de la fuerza. Para una determinada geometría y material de herramienta de corte

50 (punta), se deben usar los parámetros de mecanizado correctos para lograr un proceso de mecanizado productivo y rentable. En procesos de mecanizado con buen comportamiento, donde el desgaste de la herramienta es gradual, se puede determinar la vida útil de la herramienta y, por lo tanto, se puede optimizar el intervalo de cambio de herramienta utilizando algún criterio de desgaste de la herramienta, como el desgaste máximo del flanco. Para materiales más complejos y procesos de mecanizado exigentes, el desgaste de la

55 herramienta puede llegar a ser excesivo y lo más probable es que se produzcan eventos repentinos, como astillamiento y rotura de la herramienta. En estas situaciones, la vida útil de la herramienta se vuelve mucho más difícil de predecir, ya que pueden ocurrir eventos de desgaste inesperados en un intervalo de tiempo relativamente corto. El comportamiento del proceso de mecanizado también depende del material de la pieza de trabajo, el material y la geometría de la herramienta de corte, los parámetros reales del proceso de

60 mecanizado y la condición del sistema de mecanizado general. Las variaciones de dureza en el material de la pieza de trabajo, que pueden atribuirse a la fabricación del propio material de la pieza de trabajo, es otro factor que puede aumentar la imprevisibilidad del proceso de mecanizado, lo que lleva a una vida útil de la herramienta drásticamente más corta, astillado y rotura de la herramienta.

65 La zona de corte es un lugar muy inhóspito. La herramienta en movimiento, las virutas, el refrigerante y el calor hacen que la instalación de sensores sea un desafío. Por tanto, la medición de las condiciones experimentadas

por la herramienta de corte (punta) en la zona de corte no es práctica. Sin embargo, existen varios métodos para la evaluación indirecta de las condiciones de corte y del proceso de corte basados en la medición de los fenómenos que ocurren en la herramienta de corte. Esto se conoce como monitorización del estado de la herramienta (TCM). La tarea principal del sistema TCM es recopilar datos relevantes del proceso de mecanizado, luego procesar y analizar los datos para detectar síntomas de problemas, pero también señalar una función de control para ajustar los parámetros del proceso de mecanizado a una región de mecanizado más estable. Dentro de la región estable, se puede realizar la optimización para cumplir algún criterio, como maximizar la tasa de eliminación de material, minimizar el coste de producción, etc. Las inestabilidades del proceso a menudo se reconocen como mayores amplitudes de vibración, que pueden causar eventos inesperados como fallos en las herramientas, que puede ser perjudicial para la pieza de trabajo y la herramienta de corte. Los enfoques más modernos usados en la monitorización del estado de las herramientas (TCM) de los tornos CNC se basan principalmente en la medición de:

- componentes de fuerza de corte usando un dinamómetro de mesa multicanal o un dinamómetro giratorio
- amplitud de vibración usando acelerómetros multicanal
- sonido audible del proceso de mecanizado.
- emisión acústica (AE)
- medición de la potencia del motor de husillo o de la potencia del motor de ejes.

La medición de las fuerzas de corte en la herramienta de corte durante el mecanizado es el enfoque TCM más usado y preferido, ya que las fuerzas de corte tienen una relación directa con el proceso de corte en sí. Los componentes estáticos y dinámicos de la fuerza de corte contienen información sobre el estado de formación de viruta y la herramienta de corte. La fuerza de corte es una variable en el proceso de mecanizado que se puede controlar y optimizar mediante los parámetros de corte de la máquina. La medición de las fuerzas de corte puede proporcionar información sobre: maquinabilidad de materiales, mecanismos de desgaste, cualidades de la superficie, desviaciones de forma, vibraciones/condiciones de acoplamiento inestables, tensiones residuales y energía térmica en el proceso de mecanizado. Por lo tanto, es deseable monitorizar la fuerza de corte en el proceso de mecanizado para predecir y extender la vida útil de la punta de la herramienta de corte, mitigar los desechos y mejorar la productividad del mecanizado.

En primer lugar, la solución de sensor típica usada para medir la fuerza de corte es el dinamómetro de fuerza. Los dinamómetros de fuerza de corte para torneado generalmente están diseñados para montarse en un poste/bloque de herramientas de máquina herramienta. La fabricación de un "adaptador personalizado" puede ser necesaria para montar el dinamómetro en una torreta de máquina en algunos casos. La herramienta de corte/soporte se monta en el dinamómetro en lugar de un soporte/bloque de herramientas convencional.

Estas soluciones de monitorización para mecanizado son caras, muy invasivas para el proceso de mecanizado y, a menudo, requieren una cadena de medición compleja, por ejemplo, circuitos de potencia y amplificación. Las modificaciones necesarias para incorporar soluciones de medición convencionales en el proceso de mecanizado y el coste del esfuerzo hacen poco práctica la integración generalizada de esta tecnología en los sistemas de producción. Como resultado, el uso de soluciones de monitorización, incluidos dinamómetros de fuerza, para realizar capacidades de análisis de procesos detallados se limita a aplicaciones en centros de mecanizado de R+D dedicados o escenarios limitados de pruebas de mecanizado de corta duración.

El documento WO 2015/011489 A1 divulga un vástago no giratorio para una herramienta de corte que incluye un elemento de corte o una zona receptora para recibir un elemento de corte. El vástago también incluye al menos un sensor SAW espaciado de la zona receptora o elemento de corte.

El documento EP 2 735 400 A1 desvela una disposición para controlar el proceso de mecanizado de eliminación de viruta rotativa de una pieza de trabajo, que comprende un sistema de supervisión para controlar el mecanizado de eliminación de viruta rotativa, en donde el sistema de monitorización comprende al menos un sensor de onda acústica de superficie, SAW, dispuesto para montarse en una herramienta de corte para el mecanizado giratorio de eliminación de virutas de la pieza de trabajo. El sistema de monitorización comprende al menos una primera antena dispuesta para montarse en la herramienta de corte, siendo conectable la al menos una primera antena al, al menos, un sensor SAW. El sistema de monitorización comprende al menos una segunda antena, estando dispuesta la primera antena para comunicación inalámbrica con la segunda antena, en donde cada sensor SAW está dispuesto para detectar al menos un parámetro de un grupo de parámetros que consiste en tensión, temperatura y presión. El sensor SAW y la primera antena están dispuestos para transmitir al menos un parámetro detectado a la segunda antena en respuesta a una señal de interrogación recibida por la primera antena desde la segunda antena. El sensor SAW y la primera antena están dispuestos para recibir energía de la señal de interrogación con el fin de transmitir al menos un parámetro detectado a la segunda antena. El sistema de monitorización comprende una unidad de procesamiento

conectada a la segunda antena, en donde la unidad de procesamiento está dispuesta para transmitir la señal de interrogación y la energía de transmisión a la primera antena y al sensor SAW a través de la segunda antena. La unidad de procesamiento está dispuesta para recibir al menos un parámetro detectado a través de la segunda antena. La disposición comprende un sistema de control dispuesto para comunicarse con el sistema de supervisión, en el que el sistema de control está dispuesto para controlar el mecanizado de la pieza de trabajo al menos parcialmente con base en al menos un parámetro detectado. Una herramienta de corte provista de al menos un sensor SAW y de la, al menos, una primera antena.

El documento CN103111642A describe una herramienta basada en un sistema de detección de ondas acústicas superficiales. Se fija una broca de herramienta de diamante en el extremo frontal de una hoja de herramienta de la herramienta inteligente, se forma un área de detección de señal de la hoja de herramienta en una parte de la hoja de herramienta, en la parte posterior de la broca de herramienta de diamante, y el sistema de detección de ondas acústicas de superficie se fija en el área de detección de señal de hoja de herramienta de la hoja de la herramienta. Según la herramienta inteligente basada en el sistema de detección de ondas acústicas de superficie, se rompe la situación de que una herramienta sólo se usa para lograr una función de actuador de señal de mecanizado de corte en la técnica anterior, y se logra que la inteligencia de la herramienta cambie a un sensor capaz de automonitorizarse en tiempo real; los problemas de que el equipo es complicado, el precio es alto, el tamaño es grande, los tamaños de instalación y estructura son limitados, el rendimiento de los equipos ultraprecisos se destruye, la practicidad es pobre, los requisitos del monitorización del mecanizado de ultraprecisión en cuanto a la precisión y sensibilidad de la medición no puedan ser, y similares en un sistema de detección de monitorización anterior se resuelven; y la herramienta inteligente basada en el sistema de detección de ondas acústicas de superficie tiene las ventajas de ser de estructura simple y compacta, alto grado de integración, conveniente y fácil de usar, alta practicidad y alta precisión y sensibilidad de medición, y temperatura de corte y la fuerza de corte de la herramienta se puede controlar en tiempo real.

El documento US 6,297,747 B1 describe un portaherramientas para sostener una herramienta que tiene al menos un sensor para medir un parámetro operativo del portaherramientas o de la herramienta durante el funcionamiento del mismo y generar señales de valores medidos que se alimentan a una unidad de procesamiento de señales para su evaluación. El sensor es un sensor de ondas acústicas de superficie que funciona según el principio de las ondas acústicas y sus señales de valores medidos se pueden leer sin contacto mediante ondas de radio. El sensor de ondas acústicas de superficie no requiere ningún circuito de suministro de corriente, sino que extrae la energía de transmisión necesaria para la transmisión de las señales de los valores medidos a la unidad de procesamiento de señales a partir de una señal de interrogación de alta frecuencia, que se transmite mediante ondas de radio desde la unidad de procesamiento de señales y se recibe por el sensor de ondas acústicas de superficie.

En el documento R. STONEY ET AL, "The Development of Surface Acoustic Wave Sensors (SAWs) for Process Monitoring", PROCEDIA CIRP, NL, (20120101), vol. 1, doi:10.1016/j.procir.2012.05.001, ISSN 2212-8271, páginas 569 - 574, XP055647481, se presenta un sensor de tensión de resonador SAW de puerto único completamente empaquetado. El sensor detallado está fabricado en cuarzo AT-X, empaquetado usando un paquete Kovar disponible en el mercado y equipado con adhesivos extensímetros disponibles comercialmente.

En vista de las tecnologías descritas anteriormente, existe por lo tanto la necesidad de un método y sistema que aborde al menos los problemas descritos anteriormente.

#### Compendio de la invención

Estos y otros problemas se abordan proporcionando un sistema según la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes se proporcionan características ventajosas.

La presente descripción proporciona una disposición para la monitorización inalámbrica y pasiva de la tensión en un objeto bajo prueba usando al menos un sensor de ondas acústicas de superficie (SAW), útil en una disposición de fabricación donde la trayectoria y/o la distancia entre una antena de interrogación y al menos una disposición de antena SAW/transceptora puede cambiar con el tiempo, puede contener materiales como fluidos, vapores, partículas metálicas, objetos metálicos o superficies metálicas que pueden interferir con la señal electromagnética entre la antena de interrogación y la al menos una disposición de antena SAW/transceptora.

De los procesos de fabricación definidos en DIN8580, la presente descripción se refiere principalmente a procesos de fabricación que dependen del uso de la fuerza, por lo tanto, la aplicación del sistema de la presente descripción se refiere a métodos de fabricación que incluyen procesos de eliminación de material como mecanizado, rectificado y brochado; procesos de deformación de superficies como bruñido, moleteado y granallado por impacto, procesos de modelación como hilado y conformado por laminación, procesos de conformación como conformación incremental, procesos de unión como procesos de agitación por fricción y soldadura por fricción, así como vibración y asistencia ultrasónica de los procesos de fabricación antes

mencionados. como ejemplos.

Estas y otras características se comprenderán mejor con referencia a las siguientes figuras, que se proporcionan para ayudar a una comprensión de la presente explicación, sólo a modo de ejemplo.

5

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1a y la Figura 1b son diagramas que ilustran un resonador de onda acústica de superficie (SAW) de puerto único para medición de tensión;

10

la Figura 2 ilustra un interrogador SAW que funciona como un transceptor de RF inalámbrico;

la Figura 3 ilustra el diseño de una antena PIFA;

15

las Figuras 4a a 4c ilustran la extensión del plano de tierra efectivo de una antena PIFA montada en PCB;

las Figuras 5a a 5d ilustran la polarización lineal y circular de antenas;

20

la Figura 6 es una vista despiezada de una herramienta de corte instrumentada SAW según una realización de la presente descripción;

la Figura 7 es una vista despiezada de una herramienta de corte instrumentada SAW según otra realización de la presente descripción;

25

la Figura 8 es una vista despiezada de una herramienta de corte instrumentada SAW en una disposición en voladizo según una realización de la presente descripción;

la Figura 9 ilustra configuraciones de montaje de antena en una herramienta de corte instrumentada SAW según realizaciones de la presente divulgación;

30

la Figura 10 ilustra un recinto alternativo para herramientas de corte de diferente geometría, según una realización de la presente descripción;

la Figura 11 ilustra un sensor SAW en una pieza de trabajo o disposición de abrazadera o portaherramientas, según una realización de la presente descripción;

35

la figura 12(a) ilustra el entorno de una máquina de torneado y, en particular, una trayectoria de fuerza de las fuerzas involucradas durante una operación de torneado realizada sobre una pieza de trabajo mediante una herramienta de corte;

40

la Figura 12(b) ilustra que la aplicación de la fuerza de corte a través de la trayectoria de la fuerza da como resultado una flexión de la herramienta de corte/portaherramienta de corte;

la Figura 13 ilustra el entorno de una máquina de torneado y, en particular, una trayectoria de fuerza de las fuerzas involucradas durante una operación de torneado realizada sobre una pieza de trabajo mediante una herramienta de corte;

45

las Figuras 14a a 14c ilustran diversas configuraciones del sistema según realizaciones de la presente descripción;

50

la Figura 15 ilustra un interruptor para interrumpir o completar el circuito eléctrico entre un sensor SAW y su antena transceptora, según una realización de la presente descripción; y

la Figura 16 es un diagrama de bloques que ilustra una configuración de un dispositivo informático que incluye diversos componentes de hardware y de software que funcionan para realizar procesos según la presente descripción.

55

Descripción detallada

Las realizaciones de la presente descripción se describirán ahora con referencia a algunos método y sistemas ejemplares descritos en el presente documento. Se entenderá que se proporcionan las realizaciones descritas para ayudar a la comprensión de la presente descripción y no deben interpretarse como limitantes en modo alguno. Además, los elementos o componentes que se describen con referencia a una figura cualquiera pueden ser intercambiados con los de otras figuras u sin apartarse del alcance de las presentes reivindicaciones.

65

La presente descripción proporciona una disposición para la monitorización inalámbrica y pasiva de la tensión

(un parámetro ambiental) en un objeto bajo prueba usando al menos un sensor de ondas acústicas de superficie (SAW), útil en una disposición de fabricación donde la trayectoria y/o la distancia entre una antena de interrogación y al menos una disposición de antena SAW/transceptora puede cambiar con el tiempo, puede contener materiales como fluidos, vapores, partículas metálicas, objetos metálicos o superficies metálicas que pueden interferir con la señal electromagnética entre la antena de interrogación y la al menos una disposición de antena SAW/transceptora.

En consecuencia, la presente descripción proporciona un sistema de detección para la monitorización inalámbrica y pasiva de la tensión durante un proceso de fabricación que depende de la fuerza para aplicar la energía en el proceso de fabricación, comprendiendo el sistema de detección: al menos un sensor de ondas acústicas de superficie (SAW) para detectar tensión, estando colocado al menos un sensor SAW en una trayectoria de fuerza ubicada sobre o en la estructura de uno o más objetos bajo prueba; y al menos una disposición de antena transceptora que se puede conectar al, al menos, un sensor SAW, en donde el al menos un sensor SAW y la al menos una disposición de antena transceptora están dispuestos para recibir energía de una señal de interrogación y emitir una señal de respuesta a la tensión detectada por el al menos un sensor SAW en respuesta a la señal de interrogación.

El uno o más objetos sometidos a prueba pueden comprender al menos uno de entre una herramienta de corte, una pieza de trabajo y un dispositivo de sujeción de piezas. Una herramienta de corte es cualquier herramienta que se usa para eliminar material de una pieza de trabajo mediante deformación por cizallamiento. Se entenderá por pieza un objeto sobre el que se trabaja con una herramienta o máquina. En el contexto de la presente descripción, una herramienta de corte comprende cualquier herramienta usada para operaciones de mecanizado, ejemplos de las cuales son fresado, torneado, taladrado y escariado. La herramienta de corte también puede comprender un inserto de herramienta, un portaherramientas y/o un vástago de herramienta de corte.

Un dispositivo de sujeción de piezas es el término genérico para cualquier dispositivo utilizado para sujetar firmemente una pieza de trabajo mientras se mecaniza. Ejemplos de dispositivos de sujeción son abrazaderas, plantillas y accesorios. Es decir, se usan abrazaderas, plantillas y accesorios para sujetar la pieza de trabajo mientras se mecaniza.

La tensión sobre uno o más objetos sometidos a prueba se produce en respuesta a las fuerzas ejercidas sobre los mismos durante un proceso de fabricación, midiendo la magnitud de la deformación a inferir o derivar; las fuerzas ejercidas sobre uno o más objetos bajo prueba, el estado de desgaste de una punta de corte, la presencia de vibración o chirrido en el proceso de corte, o la energía asociada con el proceso de fabricación.

El sistema de detección está configurado para monitorizar de forma inalámbrica y pasiva la tensión durante los procesos de fabricación que dependen de la fuerza para aplicar la energía al proceso de fabricación, incluidos los procesos de eliminación de material tales como mecanizado, rectificado, brochado; procesos de deformación de superficies como bruñido, moleteado y granallado por impacto, procesos de modelación como hilado y conformado por laminación, procesos de conformación como conformación incremental, procesos de unión como procesos de agitación por fricción, soldadura por fricción, así como vibración y asistencia ultrasónica de la fabricación antes mencionada procesos.

La presente enseñanza explota la tecnología de detección de tensión basada en Ondas Acústicas de Superficie (SAW), específicamente ondas ; Rayleigh para implementar una solución inalámbrica de medición de la fuerza de corte. Los dispositivos y sensores SAW usan un material piezoeléctrico para generar la onda acústica. La piezoelectricidad se refiere a la producción de cargas eléctricas mediante la imposición de tensión mecánica. Ciertos materiales piezoeléctricos como el Cuarzo y el Niobato de Litio crean en su superficie una tensión/desplazamiento mecánico (onda acústica superficial) si se aplica un campo eléctrico. El fenómeno es recíproco. Cuando se aplica un campo eléctrico oscilante a un sensor SAW, se genera una onda mecánica (acústica), que se propaga a través del sustrato piezoeléctrico y luego se convierte nuevamente en un campo eléctrico para su medición. A medida que la onda acústica se propaga sobre la superficie del material, cualquier cambio en las características de la trayectoria de propagación afectará la velocidad y/o amplitud de la onda. Los sensores SAW utilizan esta relación para medir cantidades físicas, incluidas temperatura, presión, fuerza y tensión. La velocidad de propagación acústica es muy sensible a los cambios en el estado de la superficie, por lo que los sensores de tensión SAW que utilizan el principio operativo se pueden fabricar con una sensibilidad muy alta. Dichos sensores se fabrican mediante un proceso fotolitográfico, depositando una disposición precisa de electrodos metálicos, conocida como transductor interdigital (IDT), sobre la superficie de un sustrato piezocerámico pulido. Un resonador SAW (SAWR) es esencialmente una cavidad resonante en la que un primer electrodo transductor convierte la señal eléctrica, generalmente una señal oscilante de radiofrecuencia (RF), en una onda mecánica lateral. La SAW resultante se propaga sobre el sustrato piezoeléctrico hasta que llega a un segundo electrodo, donde se transduce nuevamente al dominio eléctrico. Al llegar al segundo electrodo, y normalmente con la ayuda de uno o más electrodos reflectores, la onda acústica rebota en dirección al primer electrodo y la conversión electromecánica se repite indefinidamente. De este modo, la onda acústica queda atrapada en la cavidad formada por los electrodos resonadores. Los

resonadores SAW se pueden fabricar en configuraciones de uno o dos puertos. La Figura 1(a) ilustra la configuración del electrodo IDT de un sensor 100 de tensión SAWR de puerto único. Con referencia a la Figura 1a, los resonadores SAW de puerto único tienen un único IDT 150 que genera y recibe el SAW, y dos reflectores 160 de rejilla que reflejan el SAW y generan una onda estacionaria entre los dos reflectores 160. El IDT excita eléctricamente una onda contenida en las dos tiras de rejilla reflectantes. El IDT 150 puede generar, detectar e influir en las ondas SAW que se propagan. La Figura 1b ilustra el IDT 150 en la superficie de un sustrato 170 piezocerámico pulido.

Una propiedad clave de un resonador SAW es su capacidad para almacenar energía. De este modo, se pueden implementar sensores basados en SAWR que funcionen "pasivamente" de forma aislada sin ninguna parte activa, es decir, sin fuente de alimentación ni osciladores. La respuesta resonante de los sensores de tensión SAW pasivos se puede monitorizar de forma inalámbrica utilizando un interrogador de RF para monitorear la tensión. El interrogador actúa como un transceptor, transmitiendo un pulso de RF característico al sensor SAWR y luego postprocesando una señal de respuesta de RF generada por el sensor SAWR para extraer información sobre la cantidad medida, como se ilustra en la Figura 2. El sensor 100 SAWR se ilustra en Figura 2 junto con un interrogador 200 SAW que funciona como un transceptor de RF inalámbrico. La frecuencia de resonancia del sensor de tensión SAWR se desplaza hacia arriba o hacia abajo en correspondencia y en proporción a la magnitud de tensión detectada por el sensor, que puede ser una tensión de compresión o de tracción.

Un rendimiento de medición robusto y confiable es un criterio importante para cualquier sistema de monitorización inalámbrico. En un sistema de medición de sensores inalámbricos "pasivo", la cadena de medición de RF debe diseñarse para enfrentar los desafíos del entorno de propagación. El diseño de los centros de mecanizado CNC puede variar mucho según la aplicación prevista y el fabricante; sin embargo, las características básicas son comunes a la mayoría de los tipos. Los componentes principales de un torno, por ejemplo, incluirán un cabezal, una bancada, un carro y un contrapunto. En una máquina equipada con una torreta, la torreta sostiene los portaherramientas y los indexa según sea necesario, el conjunto de husillo y mandril sostiene la pieza de trabajo y hay correderas motorizadas que permiten que la torreta se mueva en múltiples ejes simultáneamente. Un material común utilizado para la bancada de la máquina, las estructuras de soporte y las carcasas del mecanismo de accionamiento es el hierro fundido. Los subconjuntos más pequeños se fabrican con diversos grados de acero. Todos los componentes impulsores, juntas giratorias y correderas lineales en el área de trabajo están cubiertos por protecciones metálicas para evitar daños por acumulación de virutas calientes, fluidos de corte y otros contaminantes presentes en el proceso de corte. Por razones prácticas y de seguridad, el área de trabajo de una máquina CNC está encerrada dentro de un recinto metálico que normalmente incorpora un sistema de puerta entrelazada para el acceso.

De particular relevancia para la presente enseñanza es la propagación de ondas de radio dentro del área de trabajo cerrada de una máquina CNC, el entorno de mecanizado. Las ondas de radiofrecuencia (RF) son señales eléctricas oscilantes en frecuencias de ondas electromagnéticas que se encuentran en el rango que se extiende desde aproximadamente 3 kHz a 300 GHz, que incluyen las frecuencias usadas para comunicaciones inalámbricas y radares. Al implementar un enlace de RF dentro del área de trabajo cerrado de una máquina CNC, la carcasa metálica y las piezas dentro de ella pueden causar múltiples reflejos no deseados de las señales de RF transmitidas, generando una distribución espacial de la energía de RF que depende del tamaño y la forma del recinto metálico, y en las partes que se consideran obstáculos y que también podrían colocarse en el interior del recinto de la máquina. La distribución espacial de la energía de RF puede entonces presentar mínimos y máximos de valores de potencia. Si una o más de las antenas que comprenden un enlace de RF se colocan cerca de un valor mínimo, esto puede dar como resultado un enlace de comunicaciones deficiente, es decir, el canal exhibirá una pérdida de trayectoria muy alta.

Además, la proximidad de materiales eléctricamente conductores, como piezas metálicas o líquidos conductores, a una antena puede provocar la desintonización de la antena. Cuando se colocan materiales conductores en el campo cercano reactivo de una antena, esto da como resultado que la energía se acople desde la antena a dicho material conductor. Este acoplamiento de energía puede cambiar significativamente la impedancia eléctrica de la antena y desintonizar/desplazar la respuesta de frecuencia de la antena fuera de la banda de frecuencia de operación deseada. Los síntomas de esta antena desintonizada por metales y líquidos en un enlace de comunicaciones de RF son rangos de comunicación más cortos, tasas de datos de comunicación más bajas y posiblemente fallo al establecer un enlace de comunicaciones.

Las virutas, también conocidas como astillas o por otros nombres específicos del proceso (como torneados, limaduras o recortes), son piezas de metal, madera o plástico que se los escombros o residuos resultantes de los procesos de fabricación por retirada de material. La geometría de las virutas puede variar desde pequeñas partículas parecidas a polvo hasta zarcillos largos y fibrosos, como las virutas elásticas que se producen cuando se tornearan metales duros. Al torneear metales, las eficiencias de corte óptimas a menudo generan virutas largas con forma de resorte. La generación de virutas de metal durante el mecanizado presenta un desafío adicional para las comunicaciones de RF efectivas, ya que las virutas de metal formadas pueden impedir/reflejar ondas EM y actuar como obstáculos en el canal de transmisión de RF que deben superarse.

Aún otra consideración con respecto a la propagación de RF en el entorno de mecanizado es el uso de fluidos de corte. Los fluidos de corte se usan en el mecanizado de metales por diversas razones, como mejorar la vida útil de la herramienta, reducir la deformación térmica de la pieza de trabajo, mejorar el acabado de la superficie y eliminar las virutas de la zona de corte. Prácticamente todos los fluidos de corte que se usan actualmente se clasifican en una de las cuatro categorías siguientes: aceites puros, fluidos sintéticos, fluidos oleosos solubles y fluidos semisintéticos. Los aceites puros no son emulsionables y se usan en operaciones de mecanizado sin diluir. Están compuestos de una base mineral o aceite de petróleo y suelen contener lubricantes polares como grasas, aceites vegetales y ésteres, así como aditivos de extrema presión como cloro, azufre y fósforo. Los otros fluidos de corte comúnmente utilizados se utilizan en forma diluida (3 a 10%) mezclados con agua. Los principales métodos de aplicación de fluidos de corte incluyen la aplicación por inundación; se aplica una inundación de fluido de corte sobre la pieza de trabajo, aplicación por chorro; se aplica un chorro de fluido de corte sobre la pieza de trabajo dirigido a la zona de corte, aplicación de niebla; El fluido de corte se atomiza mediante un chorro de aire y la niebla se dirige a la zona de corte. Con respecto a la propagación de la señal de RF, las frecuencias de RF más altas (por encima de 1 GHz) se ven fuertemente atenuadas por el agua, la niebla de agua y los fluidos en general.

La presente descripción aborda la infinidad de problemas asociados con la transmisión de RF en el entorno desafiante descrito. Esto se logra mediante la selección de antenas de RF apropiadas, configuraciones de antena del transceptor, parámetros de transmisión de señales y mediante el uso de un diseño de cadena de medición de RF optimizado.

A continuación se proporciona una descripción de al menos una disposición de antena transceptora. Existen diferentes tipos de antenas con propiedades optimizadas para diferentes requisitos de propagación de RF y condiciones ambientales. En general, la geometría de la antena varía según la longitud de onda de RF, el ancho de banda de frecuencia requerido y la directividad del haz de la antena. Una banda de frecuencia sin licencia que se usa con frecuencia en aplicaciones de sensores SAW es la banda ISM de 434 MHz. Una desventaja de operar en este espectro es el gran tamaño de antena requerido para operar de manera eficiente, siendo la dimensión de un monopolo  $\lambda/4$  de 17 cm. La geometría disponible para alojar una antena en una herramienta de corte también está limitada en muchos casos. Por ejemplo, en un portaherramientas de vástago cuadrado de 25 mm de espesor, la longitud del saliente disponible para el montaje de la antena puede ser del orden de 30 mm. Acomodar una antena de banda ISM de 434 MHz y un plano de tierra asociado dentro de una geometría restringida, como en el ejemplo de portaherramientas con vástago dado, es un desafío importante. Una antena miniaturizada y una configuración de plano de tierra son un requisito clave. Otro requisito práctico relacionado con el factor de forma de la antena es que el conjunto de antena y plano de tierra no presente un riesgo de engancharse durante el mecanizado. El conjunto de antena transceptora no puede tener obstáculos que sobresalgan en la región de mecanizado o provoquen una acumulación de virutas en el portaherramientas. Otro requisito esencial de la antena transceptora es el funcionamiento fiable en presencia de metal. Los entornos metálicos generalmente degradan el rendimiento de la antena, desintonizando la respuesta de frecuencia de la antena y alejándola de la banda de frecuencia de operación deseada. Sin embargo, es posible que sea necesario montar la antena transceptora sobre o cerca de un portaherramientas metálico. El material del portaherramientas suele estar fabricado con acero con alto contenido de carbono o carburo de tungsteno. La disposición de la antena transceptora también debe funcionar dentro de un recinto metálico de mecanizado CNC en las proximidades de varias piezas metálicas, algunas de las cuales están en movimiento durante el proceso de mecanizado. Un ancho de banda adecuado es otro requisito; la antena transceptora debe tener suficiente ancho de banda de media potencia para permitir su uso con múltiples frecuencias de sensores SAWR adyacentes dentro de una banda de frecuencia elegida, por ejemplo, de 432 a 435 MHz. La antena transceptora debe tener la mejor eficiencia de radiación posible en su factor de forma dado, ya que los sensores SAWR son dispositivos pasivos y no habrá ninguna fuente de energía disponible para amplificar las señales hacia o desde la antena. Otro requisito de la antena transceptora se relaciona con la direccionalidad del haz de transmisión/recepción de la antena. La antena transceptora debe tener una direccionalidad amplia (apertura del haz) para permitirle recibir ondas de radio provenientes de una fuente de RF que no es directamente ortogonal a ella, pero que puede estar en un ángulo oblicuo con respecto a ella. Esto se debe a que en una aplicación de herramienta de corte, la herramienta de corte y su antena se moverán, normalmente en un plano lineal, dentro de los límites del área de trabajo del CNC.

En consecuencia, en vista de lo anterior, al menos una disposición de antena transceptora puede comprender un elemento radiante y una capa conductora sobre una placa de circuito impreso (PCB) que actúa como un Plano de tierra para el elemento radiante. La capa conductora puede estar conectada eléctricamente a una estructura metálica adicional colocada para extender un tamaño efectivo total del plano de tierra, comprendiendo la estructura metálica adicional colocada uno o más objetos bajo prueba. El elemento radiante puede tener un diseño plano y puede montarse a una distancia fija por encima del plano de tierra de manera que la radiación de la antena se dirija en dirección opuesta al plano de tierra. La al menos una disposición de antena transceptora puede comprender una antena de perfil bajo configurada para la transmisión y recepción de señales de RF en la banda UHF. La banda UHF comprende la banda ISM de 434MHz. La sensibilidad/alcance de al menos una disposición de antena transceptora se cumple como parte del objeto bajo



prueba, en donde la al menos una disposición de antena transceptora puede estar dispuesta para montarse sobre o dentro del objeto bajo prueba o un recinto protector a través de la capa conductora que actúa como plano de tierra. Por lo tanto, el plano de tierra se puede conectar eléctricamente a una estructura metálica adicional colocada para extender un tamaño efectivo total del plano de tierra, por ejemplo, la estructura del objeto bajo prueba, el recinto del objeto bajo prueba y, por tanto, por extensión, la estructura de la máquina herramienta.

La al menos una disposición de antena transceptora puede comprender una antena plana F invertida (PIFA). Una variante de la antena de parche comúnmente usada en dispositivos de telecomunicaciones móviles es una antena plana F invertida (PIFA). La antena plana F invertida (PIFA) es un tipo de antena que combina características de una antena monopolo de un solo cable y diseños de antena de parche plana. Se origina a partir de la antena F invertida, que es esencialmente una antena monopolo paralela a un plano de tierra, con un brazo de cortocircuito implementado. El brazo de cortocircuito actúa como adaptación de impedancia para la antena. Dado que las antenas monopolo son naturalmente capacitivas, la antena se puede adaptar a la impedancia deseada (generalmente 50  $\Omega$ ) con una inductancia adicional; el cortocircuito proporciona esta inductancia. Esto significa que se necesitan menos componentes pasivos para la adaptación de impedancias y, con menos pérdidas parásitas en dichos elementos, la eficiencia de la radiación es mayor. En un diseño de antena PIFA, el monopolo de un solo cable se reemplaza con una placa superior similar a una antena de parche. La Figura 3 ilustra el diseño de una antena 300 PIFA, que incluye un elemento plano 310, un condensador 320, un punto 330 de alimentación, una placa 340 de cortocircuito y un plano 350 de tierra. Las antenas PIFA tienen un patrón de radiación casi omnidireccional y una polarización de radiación mixta.

Las antenas PIFA son inherentemente de banda estrecha en términos de su respuesta de frecuencia. Sin embargo, el ancho de banda de la antena se puede ampliar utilizando diferentes técnicas de diseño, por ejemplo incorporando ranuras en la placa radiante y añadiendo elementos parásitos del plano de tierra. Además, el tamaño de la placa superior se puede optimizar usando estos métodos y, por tanto, se pueden crear antenas más pequeñas. El tamaño del PIFA también se puede reducir mediante el uso de las llamadas cargas superiores, aunque no sin consecuencias. Añadiendo pequeñas capacitancias en un extremo de la antena se pueden alcanzar frecuencias más bajas. Hacerlo disminuye las capacidades de radiación de la antena, pero puede usarse para lograr un compromiso entre el tamaño de la antena y el rendimiento para una determinada aplicación. Los diseños comerciales de antenas PIFA incorporan algunas o todas estas técnicas.

Una de las mayores ventajas de una antena PIFA es su reducido tamaño. Además, hay disponibles en el mercado variaciones de esta antena que se pueden montar directamente encima de una placa de circuito impreso (PCB), de modo que la PCB actúe como plano de tierra de la antena; a veces denominada "antena terrestre". Para la aplicación de herramientas descrita, este tipo de configuración de antena y plano de tierra es particularmente atractivo. Dado que la antena está colocada encima y paralela a la PCB, el único espacio requerido es donde se colocan los pines de montaje de la antena. No se necesita espacio libre hacia el suelo u otro metal, lo que significa que es posible montar componentes debajo de la antena, en ambos lados de la PCB.

Para una antena PIFA, el tamaño y la forma del plano de tierra afectan la eficiencia de radiación de la antena. A medida que se reduce el tamaño efectivo del plano de tierra, disminuye la eficiencia de radiación de la antena. En una aplicación de herramientas, donde el área disponible para acomodar la PCB del plano de tierra PIFA está restringida, es posible ampliar el área efectiva del plano de tierra conectando eléctricamente el plano de tierra de la PCB de la antena a una estructura metálica de soporte y/o a el propio cuerpo portaherramientas que es invariablemente metálico. Algunos ejemplos se ilustran en las Figuras 4a a 4c. La Figura 4a muestra una antena 430 PIFA montada en una PCB de factor de forma pequeño cuyo pequeño tamaño del plano 440 de tierra da como resultado que la antena tenga una eficiencia de radiación deficiente. La antena 430 PIFA y el plano 440 de tierra están dispuestos sobre una estructura 420 no metálica. El número 410 de referencia ilustra un vástago de portaherramientas metálico. Las Figuras 4b y 4c muestran cómo se aumenta el tamaño efectivo del plano de tierra de la antena conectando eléctrica y físicamente el plano de tierra de cobre de la PCB pequeña al metal de un conjunto 450 metálico de soporte y al vástago 410 portaherramientas metálico usando una capa 425 de unión eléctrica. La longitud efectiva del lugar 440 de tierra se ilustra en negrita en las Figuras 4a a 4c.

El al menos un sensor SAW puede comprender dos o más sensores SAW. El sistema puede configurarse para que solo se interroge al menos uno o más sensores SAW seleccionados de los dos o más sensores SAW. Se puede usar un interruptor de RF accionado ambientalmente para seleccionar al menos uno o más sensores SAW a interrogar, como se describirá más adelante. Se pueden usar dos o más sensores SAW para detectar una medición de tensión diferencial, en donde un primer sensor SAW está dispuesto para montarse en una primera superficie de uno o más objetos bajo prueba y un segundo sensor SAW está dispuesto para montarse en una segunda superficie de uno o más objetos bajo prueba. Los sensores SAW primero y segundo pueden disponerse para montarse en una dirección de tensión de flexión.

Cada uno de uno o más objetos bajo prueba puede configurarse para tener una identidad única, en donde la

combinación de sensor SAW y acoplamiento de antena transceptora para cada objeto bajo prueba generan juntos una Firma digital única que forma la base de la identidad única. También se puede usar un circuito de adaptación de impedancia de RF para generar la firma digital única. El sensor SAW se puede colocar con una etiqueta RFID que comparte una antena multibanda en cada uno de uno o más objetos bajo prueba. El al menos un sensor SAW puede ser reconfigurable después de montarse sobre o en la estructura del objeto bajo prueba generando una firma digital única. La reconfiguración se puede habilitar mediante la precarga de la estructura SAW o la manipulación del dedo interdigital SAW o las características del banco de reflectores.

El sistema de la presente descripción también puede comprender al menos una antena de interrogación para transmitir la señal de interrogación y recibir una señal de respuesta desde al menos una disposición de antena transceptora conectable al, al menos, un sensor SAW. La al menos una disposición de antena transceptora está dispuesta para comunicación inalámbrica con la al menos una antena de interrogación. La al menos una antena de interrogación y la al menos una disposición de antena transceptora están dispuestas para orientarse de manera que los patrones de radiación de RF electromagnética de la al menos una antena de interrogación y la al menos una antena de recepción se crucen. Toda la energía usada para alimentar uno o más sensores SAW proviene de la señal de RF transmitida a al menos una disposición de antena transceptora por al menos una antena de interrogación. Además, como se describió anteriormente, al menos una disposición de antena transceptora puede tener un diseño PIFA en miniatura que habrá comprometido el rendimiento de transmisión/recepción de RF. El cumplimiento de los requisitos normativos internacionales limita la potencia máxima de RF que puede generar el hardware del interrogador que opera en una banda de frecuencia determinada. Por lo tanto, un diseño eficiente de la antena de interrogación es esencial para maximizar el rango práctico de transmisión/recepción de RF del sistema de sensor SAW y para garantizar una relación señal-ruido adecuada y una cadena de medición inalámbrica robusta. Un medio práctico para maximizar la intensidad de la señal de RF que llega a al menos una disposición de antena transceptora es utilizar un diseño de antena de interrogación eficiente que irradie o reciba mayor potencia en direcciones específicas, permitiendo un mayor rendimiento y una reducción de la interferencia de fuentes no deseadas. Un diseño de antena de este tipo se denomina antena direccional. Una antena de alta ganancia (HGA) es una antena direccional con un ancho de haz de ondas de radio estrecho y enfocado. Este ancho de haz estrecho permite una orientación más precisa de las señales de radio en un vector determinado. Al transmitir, una antena de alta ganancia permite enviar más potencia transmitida en dirección al receptor, aumentando la intensidad de la señal recibida. Al recibir, una antena de alta ganancia captura más señal, aumentando nuevamente la intensidad de la señal. Debido a la reciprocidad, estos dos efectos son iguales. Como consecuencia de su directividad, las antenas direccionales también envían menos (y reciben menos) señales desde direcciones distintas al haz principal. Esta propiedad se puede usar para reducir la interferencia.

Otro requisito importante de al menos una antena de interrogación es su ancho de banda, ya que se deben interrogar múltiples SAW que operan en frecuencias centrales adyacentes pero diferentes en la banda. El ancho de banda fraccional de una antena es una medida de qué tan ancha es la banda de la antena. Si la antena opera a la frecuencia  $f_c$  central entre la frecuencia  $f_1$  inferior y la frecuencia  $f_2$  superior (donde  $f_c = (f_1 + f_2)/2$ ), entonces el ancho de banda fraccional FBW viene dado por:  $(f_2 - f_1)/f_c$ . El ancho de banda fraccional es función del tramo y la frecuencia central de una antena. El ancho de banda fraccionario varía entre 0 y 2 y, a menudo, se expresa como un porcentaje (entre 0% y 200%). Para aplicaciones de sensores SAW que usan la banda ISM de 433 MHz, se requiere un ancho de banda fraccional del 1,6 % o más.

Los diseños comunes de HGA direccional son la antena Yagi, la antena logarítmica periódica y la antena reflectora de esquina. Sin embargo, estos diseños HGA suelen ser grandes y voluminosos. Una antena de parche (también conocida como antena rectangular de microcinta) es un tipo de antena de radio direccional. La propiedad única de la antena de parche de microcinta es su estructura bidimensional que permite la fabricación de una antena liviana de perfil bajo, adecuada para montar en una superficie plana. Dado que el área disponible dentro del cerramiento de una máquina CNC es limitado y es deseable que el interrogador tenga un diseño no obstructivo que no presente riesgos de engancharse, una antena de parche ofrece una solución atractiva. Con diseños de antenas de parche, la polarización u orientación de la onda de radio se puede diseñar para irradiar en polarización lineal o circular, como se ilustra en las Figuras 5a a 5d. La Figura 5a ilustra la polarización lineal horizontal, la Figura 5b ilustra la polarización circular izquierda, la Figura 5c ilustra la polarización lineal vertical y la Figura 5d ilustra la polarización circular derecha. Una antena de parche polarizada lineal (LP) irradia completamente en un plano que contiene la dirección de propagación. En una antena de parche con polarización circular, el plano de polarización gira en forma de sacacorchos, realizando una revolución completa durante cada longitud de onda. Una onda polarizada circular irradia y recibe energía de RF tanto en el plano horizontal como en el vertical y en todos los planos intermedios.

Las propiedades de propagación de la señal de las antenas de parche con polarización circular (CP) ofrecen ventajas de rendimiento sobre las variantes polarizadas lineales para la transmisión/recepción de señales de RF en el desafiante entorno de propagación de RF presente dentro de la envolvente de trabajo de una máquina CNC. Además, el uso de una antena de parche CP con interrogador de radiofrecuencia (RF) ofrece una mejor conectividad con sensores basados en SAW equipados con una antena PIFA polarizada linealmente. La polarización circular se puede obtener mediante las dimensiones físicas y la geometría del radiador de parche

de modo que se exciten dos modos ortogonales con una diferencia de fase temporal de 90° entre ellos. Alternativamente, para el diseño de antena de parche cuadrado, la polarización circular se excita alimentando el elemento en dos bordes adyacentes. La diferencia de fase en cuadratura se obtiene alimentando el elemento con un divisor de potencia de 90°.

5

Las antenas de parche CP se pueden usar para abordar los desafíos asociados con la movilidad del dispositivo, condiciones adversas de la ruta de propagación y escenarios sin línea de visión. En una aplicación móvil, por ejemplo, un dispositivo sensor pasivo integrado en una parte móvil dentro de una máquina CNC, la orientación de una antena transceptora de sensor polarizado linealmente puede no estar alineada correctamente con la antena de interrogación. Esto puede provocar problemas de transmisión de RF desfasada. El uso de una antena de parche CP en el lado del interrogador de RF puede mitigar este problema porque la energía de RF se transmite en todos los planos, lo que hace que el enlace de RF con la antena del transceptor LP sea más confiable independientemente de la orientación relativa de la antena. Las características de propagación de las señales de RF polarizadas circularmente las hacen más resistentes a la degradación de la señal debido a obstrucciones, es decir, virutas/astillas de metal despididas durante el proceso de corte. Esto se debe a que la señal CP se transmite en todos los planos, lo que proporciona una mayor probabilidad de que la señal no se verá afectada negativamente por obstrucciones y otras condiciones ambientales. Las antenas CP son menos susceptibles a los efectos de trayectorias múltiples que las antenas LP. La ruta múltiple es cuando la señal primaria y la señal reflejada llegan a un receptor casi al mismo tiempo. Dado que una antena CP transmite en todos los planos, habrá una menor probabilidad de cancelación de la señal.

10

15

20

En consecuencia, la al menos una antena de interrogación puede comprender una antena de parche direccional tal como una antena de parche polarizada lineal o circularmente. La al menos una antena de interrogación puede configurarse para tener un ancho de haz radiante de 3 dB. La al menos una antena de interrogación puede configurarse para tener un haz radiante de entre aproximadamente 70° y aproximadamente 90° en acimut y elevación.

25

La al menos una antena de interrogación puede comprender una única antena de interrogación. En otra realización, la al menos una antena de interrogación puede comprender una matriz de múltiples antenas que comprende al menos dos antenas de interrogación. El conjunto de antenas múltiples puede tener una separación entre antenas inferior a media longitud de onda y elementos de antena dispuestos para formar un conjunto de antenas de 1 o 2 dimensiones. La matriz de antenas múltiples puede configurarse para crear un patrón de radiación con directividad y ganancia de antena aumentadas en una dirección determinada. La matriz de múltiples antenas puede comprender una pluralidad de antenas mutuamente espaciadas de la misma construcción, estando conectada cada una de las antenas a un canal físico separado de al menos una antena transceptora, por lo que sólo se usa un par de antenas de interrogación de antena transceptora para comunicaciones en un momento. El sistema se puede configurar para seleccionar el emparejamiento de antena de interrogación de la antena transceptora que entregue la señal de retorno del sensor SAW más potente. Como se mencionó anteriormente, al menos una antena de interrogación puede comprender una antena de parche polarizada circularmente. La al menos una antena de interrogación puede tener un haz de RF direccional reconfigurable adaptado para el entorno de aplicación. El entorno de aplicación suele ser un entorno metálico que contiene piezas metálicas móviles intermitentes y puede tener influencias ambientales intermitentes adicionales provenientes del flujo de fluido, chorro de fluido, niebla, humos, partículas de metal o polímero y virutas de metal y polímero. La distancia relativa y la orientación espacial entre al menos una antena de interrogación y la antena transceptora en el objeto bajo prueba pueden variar. A este respecto, la al menos una antena de interrogación puede comprender un algoritmo de optimización para sintonizar la al menos una antena de interrogación con el entorno de aplicación. El algoritmo de optimización puede configurarse para sintonizar la frecuencia de resonancia y/o el nivel de potencia de transmisión de RF de al menos una antena de interrogación.

30

35

40

45

50

La Figura 6 es una vista despiezada de una herramienta 500 de corte instrumentada SAW según una realización de la presente descripción. Con referencia a la Figura 5, la herramienta 500 de corte comprende un vástago 510 de herramienta, un inserto 515 de corte y un recinto 520 protector que encierra un sensor 530 SAW y una antena 540 PIFA dispuesta en una PCB 545.

55

La Figura 7 es una vista despiezada de una herramienta 600 de corte instrumentada SAW según otra realización de la presente descripción. Con referencia a la Figura 7, una PCB 645 está fijada a la herramienta de corte 600.

60

La Figura 8 es una vista despiezada de una herramienta 700 de corte instrumentada SAW en una disposición en voladizo según una realización de la presente descripción. Con referencia a la Figura 8, un recinto 720 protector está unido a la superficie instrumentada con SAW que rodea completa o parcialmente la herramienta 700 de corte instrumentada bajo prueba, usando la superficie 700 de la herramienta de corte como una superficie para el recinto, y contiene y protege los componentes delicados como la SAW y su conexión de cables, pero también la antena SAW, su PCB y cableado asociados, y medios de identificación para el módulo sensor de tensión SAW. El recinto 720 protector también se puede usar para servir como medio de indexación

65

para un objeto bajo prueba. El recinto 720 protector puede colocarse para facilitar el montaje reproducible del objeto bajo prueba en una disposición de sujeción. Por ejemplo, el recinto 720 protector puede usarse para asegurar que el objeto sometido a ensayo se sujete usando una abrazadera 730 para su uso o calibración con la misma longitud "saliente" o en voladizo.

5

La Figura 9 ilustra configuraciones de montaje de antena en una herramienta 9000 de corte instrumentada SAW según realizaciones de la presente descripción. Con referencia a la Figura 9, un sensor 9050 SAW está unido a un multiplicador 9060 de tensión. La herramienta 9000 de corte también comprende un vástago 9010 de herramienta y una antena 9040 PIFA dispuesta en una PCB 9045.

10

La Figura 10 ilustra un recinto 1000 alternativo para herramientas de corte de diferente geometría, según una realización de la presente descripción. Con referencia a la Figura 10, el recinto 1000 es un recinto 1000 cilíndrico alrededor de un eje cilíndrico con una PIFA 1010 no plana para coincidir con el eje, o incluso una PIFA plana.

15

La Figura 11 ilustra un sensor 1100 SAW en una pieza 1110 de trabajo, abrazadera 1120 y/o herramienta 1140 de corte, según una realización de la presente descripción. Con referencia a la Figura 11, la presente realización implica una fresadora 1130 con la herramienta 1140 de corte. La Figura 12a ilustra el entorno de una máquina de torneado y, en particular, una trayectoria de fuerza de las fuerzas involucradas durante una operación de torneado realizada sobre una pieza 1210 de trabajo mediante una herramienta 1220 de corte. La trayectoria de fuerza es la ruta por la que pasan las fuerzas o cargas durante el proceso de fabricación. Cuando la herramienta se acopla con la pieza de trabajo, muchos de los componentes de la máquina herramienta, incluida la herramienta de corte, el portaherramientas, la pieza de trabajo, el portapiezas, la estructura de la máquina y los componentes de accionamiento de la máquina, experimentan fuerzas y, por lo tanto, tensiones (flexión y tracción) que pueden medirse. La trayectoria de la fuerza normalmente está altamente diseñada por diseñadores de máquinas herramienta, diseñadores de herramientas de corte y diseñadores de sistemas de sujeción/sujeción de piezas para tener una alta rigidez y buenas propiedades de amortiguación para garantizar procesos de fabricación de buena calidad. En última instancia, las fuerzas pasan a través de la estructura de herramienta de máquina y hacia los cimientos, lo que garantiza que la máquina tenga una configuración estable. La Figura 12b ilustra que la aplicación de la fuerza de corte a través de la trayectoria de la fuerza da como resultado una flexión de la herramienta de corte/portaherramienta de corte. La Figura 13 ilustra el entorno de una máquina de torneado y, en particular, una trayectoria de fuerza de las fuerzas involucradas durante una operación de torneado realizada sobre una pieza 1310 de trabajo mediante una herramienta 1320 de corte; La Figura 13 muestra que la disposición de sujeción de piezas también forma parte de la trayectoria de la fuerza. La Figura 13 también es análoga para otros procesos de fabricación.

20

25

30

35

La presente descripción proporciona una disposición para la monitorización pasiva de la tensión usando transductores SAW. Esto es útil en un entorno donde la trayectoria y/o la distancia entre al menos una antena de interrogación y la al menos una antena receptora pueden cambiar con el tiempo, pueden contener materiales tales como fluidos, vapores, partículas metálicas, objetos metálicos o superficies metálicas que pueden interferir con la señal electromagnética entre la al menos una antena de interrogación y la al menos una antena receptora.

40

En una realización, se puede proporcionar una única antena PIFA en uno o más sensores SAW. En el caso de múltiples sensores SAW, las antenas pueden fijarse en lugares separados del sustrato. El cuerpo de la herramienta de corte y el conjunto/recinto de montaje de la antena influyen en la frecuencia de resonancia de la antena. La influencia de la implementación práctica de al menos una antena receptora sobre su frecuencia de resonancia se adapta mediante un circuito de sintonización de antena. Se puede usar una capa conductora grande sobre una placa de circuito impreso (PCB) como plano de tierra para al menos una antena receptora, estando conectado eléctricamente el plano de tierra a una estructura metálica adicional que puede incluir el cuerpo de la herramienta de corte y/o el conjunto de montaje de la antena. La estructura metálica adicional se utiliza para ampliar el tamaño efectivo total del plano de tierra de la antena, aumentando así la eficiencia de radiación de al menos una antena receptora. El circuito de sintonización de antena y adaptación de impedancia se puede implementar e integrar en la PCB de la antena. El circuito de adaptación de impedancia puede acomodar cada uno de uno o más sensores SAW. Opcionalmente, la PCB se imprime directamente en el vástago de la herramienta de corte mediante tecnología electrónica impresa. Los métodos de montaje usados para la PCB y la antena pueden mantener relaciones espaciales específicas entre el objeto bajo prueba, la PCB y la antena.

45

50

55

El plano de la antena PIFA puede ser paralelo al plano de la PCB. La PCB puede fijarse (o imprimirse directamente sobre) a una superficie del objeto bajo prueba, el recinto protector o la disposición multiplicadora de tensión para mantener las relaciones espaciales requeridas. La al menos una antena de interrogación puede comprender una antena de polarización circular.

60

La al menos una antena de interrogación puede tener al menos una de las siguientes características: un diseño de parche de microbanda de un solo elemento con polarización circular, una ganancia de antena alta

65

(típicamente de 4 a 9 dBi), un patrón de radiación de haz direccional amplio y/o una ancho de banda de frecuencia fraccional superior al 1,6%

5 La al menos una antena de interrogación puede montarse de manera que el patrón del haz de radiación de la antena esté orientado en la dirección y en la línea de visión del objeto bajo prueba. La al menos una antena de interrogación puede montarse en una ubicación fija dentro de un recinto de máquina herramienta usando un soporte o mecanismo de montaje articulado. La al menos una antena de interrogación puede configurarse de manera que el patrón de haz de radiación de la al menos una antena de interrogación se superponga al de al menos una disposición de antena transceptora para todo el rango de movimiento que realiza una herramienta de corte con respecto a la al menos una antena de interrogación durante una operación de mecanizado.

10 El al menos un conjunto de antena de interrogación puede tener un diseño anticorrosión resistente al agua adecuado para su uso en presencia de nieblas de agua y aceites y otros contaminantes presentes en un entorno de mecanizado. La distancia de propagación entre al menos una antena de interrogación y al menos una disposición de antena transceptora puede configurarse para que esté entre aproximadamente 0,1 y aproximadamente 1,5 metros.

15 El sistema de la presente descripción proporciona una antena de interrogación de tamaño reducido y rango de detección reducido para configuraciones de detección en las que la antena de interrogación se mueve junto con el objeto bajo prueba de manera que el acoplamiento con la antena transceptora se produce a menos de 0,3 metros cerca o dentro del campo cercano de al menos una antena de interrogación.

20 La al menos una antena de interrogación puede montarse en una torreta de herramientas u otro conjunto mecánico que mantenga una distancia relativa entre ella misma y la al menos una disposición de antena transceptora durante una operación de mecanizado usando una herramienta de corte seleccionada.

25 La al menos una antena de interrogación puede colocarse y diseñarse para transmitir/recibir señales sólo dentro de una zona específicamente designada. Dicha zona específicamente designada puede incluir la zona de fabricación y excluir específicamente cualquier zona que contenga herramientas que no estén en uso.

30 Cuando existen múltiples objetos bajo prueba, como en una torreta de herramientas, es deseable que solo una antena transceptora para un objeto seleccionado bajo prueba esté dentro del rango de RF de la antena de interrogación en cualquier momento. Esto se puede lograr utilizando la geometría de torreta y el conocimiento de las características del haz de radiación de antena del objeto bajo prueba o se puede lograr introduciendo un "mecanismo de conmutación" de antena en las antenas transceptoras de modo que las antenas transceptoras se "activen" sólo cuando se orientan hacia el zona de corte.

35 Las Figuras 14a a 14c ilustran diversas configuraciones del sistema según realizaciones de la presente descripción. Con referencia a la Figura 14a, el sistema comprende una única antena de interrogación 1410 y una única antena transceptora 1440. La antena 1440 transceptora está dispuesta sobre una herramienta de corte en una torreta 1450. Se ilustra una pinza 1420 que sostiene una pieza de trabajo 1430. Con referencia a la Figura 14b, el sistema comprende múltiples antenas 1410 de interrogación y una única antena 1440 transceptora, y la Figura 14c ilustra un sistema con una única antena 1410 de interrogación y múltiples antenas 1440 transceptoras .

40 En consecuencia, el sistema de la presente descripción puede proporcionar un medio para interrumpir o completar el circuito eléctrico entre uno de los sensores SAW y su antena transceptora activando un interruptor en respuesta a un factor ambiental. Es decir, el sistema puede comprender uno o más circuitos de antena transceptora de sensor SAW. El concepto de un 'interruptor' de antena para activar y desactivar la antena con base en un parámetro ambiental se ilustra en la Figura 15, según una realización de la presente descripción. Con referencia a la Figura 15, se ilustra un circuito de antena transceptora de sensor SAW, que incluye una antena 1510 transceptora en una PCB 1540 y un circuito 1520 de adaptación de sintonización de antena . El sistema puede comprender un mecanismo de interruptor para desactivar uno de uno o más circuitos de antena transceptora de sensor SAW. Esto garantiza que sólo se puedan interrogar las SAW seleccionadas. Con referencia a la Figura 15, se ilustra un interruptor 1530 junto con un cable 1550 que conduce al circuito de antena transceptora del sensor SAW. El interruptor 1530 puede activarse mediante la aplicación de fuerza o presión sobre el interruptor, una orientación del interruptor, una temperatura relativa al interruptor, una exposición de luz al interruptor, una exposición de un campo magnético, es decir, un mecanismo de interruptor de láminas, o la posición del blindaje con respecto al interruptor - el interruptor (cerrado) tiene bajas pérdidas de inserción y retorno para señales de radiofrecuencia. El interruptor puede basarse en tecnología de sistemas microelectromecánicos (MEMS), como un interruptor de RF accionado por principios electrostáticos, electrotrémicos o piezoeléctricos. El interruptor puede colocarse en una parte externa de un recinto protector para el objeto bajo prueba, como parte integral del recinto protector o como un conjunto separado, montado en el objeto bajo prueba, de tal manera que sea conveniente para los medios. de actuación.

65 El sistema de la presente descripción puede comprender además una disposición multiplicadora de tensión

para transferir parte o toda la tensión de uno o más objetos bajo prueba a una superficie en la que se monta el al menos un sensor SAW. En la Figura 9 se proporciona un ejemplo de tal disposición de multiplicador de tensión como se describe anteriormente. La disposición multiplicadora de tensión puede fijarse a uno o más objetos bajo prueba en cualquiera de los extremos a lo largo del eje de la tensión a medir. La disposición multiplicadora de tensión comprende una región de detección que comprende una fracción de la longitud entre los puntos de fijación que se deforma fácilmente cuando se somete a fuerzas de tracción o compresión. Se puede conseguir una región de alta deformación mediante la forma geométrica de la región (por ejemplo, más delgada, más estrecha). Se puede lograr una región de alta deformación mediante las propiedades de los materiales en la región (módulo elástico más bajo). El resto de la región entre los puntos de fijación no se deforma fácilmente bajo fuerzas de compresión o tracción. La multiplicación de la tensión se puede ajustar ajustando la fracción de longitud entre los puntos de fijación que constituyen la región de detección. La multiplicación de la tensión se puede ajustar ajustando la diferencia entre la respuesta de los materiales a las fuerzas en la región de detección y la de las regiones restantes entre los puntos de fijación. El factor de multiplicación de tensión puede ser mayor, menor o igual a uno. La multiplicación de la tensión puede diseñarse para crear medios alternativos de unión al objeto bajo prueba distintos del adhesivo, soldadura fuerte, soldadura blanda, sinterización o soldadura, por ejemplo, agregando terminales para soldar, pernos que encajen en huecos en el objeto bajo prueba, o atornillar al eje. La disposición multiplicadora de tensión puede actuar como un medio para mantener relaciones espaciales elegidas entre la PCB/la disposición de antena y el objeto bajo prueba actuando como una superficie de montaje para la PCB. Opcionalmente, la PCB se puede imprimir directamente sobre la superficie del multiplicador de tensión usando tecnología electrónica impresa. La disposición multiplicadora de tensión puede diseñarse de modo que actúe como un adaptador, transfiriendo parte o toda la tensión de un objeto bajo prueba o colocándolo sobre un objeto bajo prueba que no tiene una superficie plana adecuada para montar el sensor SAW. La disposición multiplicadora de tensión puede diseñarse geométricamente para transferir sólo un componente seleccionado de tensión a la región plana del sensor. La disposición multiplicadora de tensión se puede montar en un eje no plano (objeto bajo prueba) para proporcionar una superficie plana sobre la cual se pueden montar sensores de tensión SAW para proporcionar una disposición de detección de torsión. En otra realización, el objeto bajo prueba se puede adaptar mediante la eliminación de material en la estructura para permitir el posicionamiento de los sensores SAW en una trayectoria de fuerza más apropiada que genere: un valor de tensión más o menos intensivo, un valor lineal o no lineal y predecible un valor de tensión uniaxial, un valor de tensión multiaxial, un valor de tensión sensible a la temperatura o neutro a la temperatura, o un valor de tensión con mayor o menor ancho de banda dinámico.

El sistema de la presente descripción también puede comprender un recinto protector alrededor de cualquiera o combinaciones de: la PCB; las antenas; la una o más SAW y el cableado que los conecta a las terminales de conexión y/o PCB/antena que se montan directamente o mediante disposiciones multiplicadoras de tensión en el objeto bajo prueba. Una superficie del objeto bajo prueba forma una (o más) superficies de la cavidad contenida dentro del recinto. El recinto puede rodear/encerrar total o parcialmente el objeto bajo prueba para formar un recinto firmemente fijado y hermético a los fluidos. Puede haber más de una carcasa encapsuladora en una herramienta (por ejemplo, sobre SAW y sobre PCB/antena). El recinto puede contener la PCB para sintonizar la antena y hacer coincidir la impedancia. El recinto puede proporcionar una disposición protectora resistente a los fluidos para su contenido. El recinto protector puede construirse mediante impresión 3D. Una parte del recinto protector debajo de la PCB de la antena, que puede soportar la PCB, puede estar construida de material que sea resistente al refrigerante, al fluido de corte, en forma de niebla líquida o vapor, y a las virutas calientes. Dicha parte del recinto protector puede construirse de un material tal como metal que sea eléctricamente conductor. La parte del recinto protector que rodea la antena puede construirse de un material que atenúe mínimamente la señal electromagnética transmitida o recibida por la antena y sea resistente al refrigerante, al fluido de corte, en forma de vapor o niebla líquida, y a las virutas calientes. El recinto protector puede colocarse para facilitar el montaje reproducible del objeto bajo prueba en una disposición de sujeción. La calibración se puede realizar en la herramienta sujeta aplicando una fuerza conocida a la punta de la herramienta en la dirección de la fuerza de corte y midiendo la respuesta de salida resultante del sensor de tensión SAW. Las fuerzas se pueden aplicar por medio de un dinamómetro, una llave dinamométrica o una máquina de prueba de carga.

El recinto protector puede diseñarse de manera que las distancias relativas del sensor SAW a la carga aplicada y al objeto sensor bajo prueba sean conocidas y formen la base para garantizar que una medición absoluta es posible. El recinto protector puede formarse mediante procesos de fabricación aditiva y puede incluir la antena con el proceso de fabricación aditivo, es decir, una antena y un recinto impresos en 3D integrados.

El recinto protector puede fabricarse en una o varias partes y sellarse donde se encuentra con el objeto bajo prueba y donde dos partes del recinto se unen usando cualquier medio adecuado para formar un sello firme y resistente a los fluidos.

El recinto protector se puede usar como un medio para ayudar a la sujeción reproducible del objeto bajo prueba en una disposición en voladizo en un soporte de modo que la longitud efectiva del voladizo siga siendo la misma longitud.

Esto permite la calibración de fuerza fuera de la máquina. La medición de fuerza mediante medición de tensión es un caso específico para un objeto bajo prueba en una disposición en voladizo. El sistema de la presente divulgación se puede usar para monitorizar, optimizar y controlar operaciones de mecanizado (eliminación de materiales, formación/deformación de materiales).

5

La presente descripción proporciona un módulo de sensor de tensión SAW para producir un objeto instrumentado con sensor de tensión SAW bajo prueba usando elementos descritos en las características inventivas anteriores.

10

El sensor o sensores SAW pueden montarse directa o indirectamente (por ejemplo, mediante un multiplicador de tensión) en un objeto bajo prueba. Se puede montar una antena PIFA en una PCB que, cuando se fija al objeto bajo prueba, fija la disposición espacial entre la antena, la PCB y el objeto bajo prueba a través de su disposición de montaje. Todo el módulo del sensor de tensión SAW se puede montar directamente en el objeto bajo prueba. Alternativamente, todo el módulo del sensor de tensión SAW se puede montar indirectamente en el objeto bajo prueba a través del recinto protector o el multiplicador de tensión. Cuando se monta indirectamente, todo el módulo de sensor de tensión SAW se puede fabricar fuera de la herramienta/objeto.

15

El recinto protector puede comprender un recinto protector de una o varias partes diseñado para encerrar parcial o completamente un objeto seleccionado bajo prueba y para encerrar uno o cualquier combinación de: la disposición o disposiciones de multiplicador de tensión, sensor o sensores SAW, PCB y antena, y cableado asociado. Una superficie del objeto bajo prueba puede formar una (o más) superficies de la cavidad contenida dentro del recinto.

20

El recinto protector, cuando se une entre las partes del recinto y el objeto bajo prueba, se sella, formando un recinto firmemente fijado y hermético alrededor de su contenido. El recinto protector cuando se fija al objeto bajo prueba crea un medio para indexar el objeto bajo prueba en una disposición de sujeción para calibración y uso, manteniendo una longitud de voladizo o "saliente" constante.

25

Se puede proporcionar un identificador que identifique de forma única el recinto protector. El identificador puede ser una SAW, RFID, un código de barras o un número de serie. El identificador puede estar inscrito, adherido o encerrado dentro del recinto protector. El identificador puede leerse de forma remota mediante al menos una antena de interrogación, un lector RFID o un lector de códigos de barras.

30

La presente descripción también puede proporcionar un método de fabricación y uso de un objeto instrumentado con SAW bajo prueba que implica:

35

ensamblar el módulo del transductor en el objeto bajo prueba en la posición adecuada (es decir, optimizada para tensión, temperatura e indexación de la posición de sujeción (esta última establece la posición para fijar la carcasa protectora)

40

determinar los parámetros apropiados para hacer coincidir la impedancia del sensor o sensores SAW con la antena y para la sintonización de la antena para compensar el efecto del objeto bajo prueba sobre la frecuencia resonante de la antena, y

45

usar estos parámetros para ajustar los circuitos apropiados en la PCB,

usar estos parámetros en módulos idénticos fabricados para objetos sometidos a prueba del mismo diseño;

montar y sellar el recinto protector alrededor del objeto bajo prueba;

50

calibrar la herramienta usando el recinto protector para indexar la posición de sujeción, comprendiendo la distancia entre la posición de sujeción indexada y la punta de la herramienta de corte la longitud del voladizo;

usar el recinto protector para indexar de manera similar la posición de sujeción cuando se sujeta para su uso (por ejemplo, en una herramienta de máquina), asegurando así que la longitud del voladizo en uso sea la misma que la usada para la calibración.

55

La solución basada en sensor SAW proporcionada por la presente divulgación permite una instrumentación rentable de portaherramientas y herramientas de corte estándar de tal manera que permite un proceso flexible en proceso. La medición en una amplia gama de procesos de mecanizado que hasta ahora se considerarían poco prácticos. Las herramientas instrumentadas/portaherramientas se comunican de forma inalámbrica con un sistema de interrogación remoto y no requieren una batería ni una fuente de energía eléctrica cableada. Se puede usar un único sistema de medición interrogador con múltiples portaherramientas/herramientas instrumentadas. Por lo tanto, se puede monitorizar una variedad de herramientas usadas en un proceso sin cambios significativos en la configuración de medición.

60

65

La controlabilidad del proceso de mecanizado, en particular con respecto a elementos estructurales críticos para la seguridad, es otro problema abordado por el sistema de la presente descripción. Los ejemplos de la industria aeroespacial muestran que la falta de control y comprensión en los procesos de fabricación puede tener consecuencias fatales. En particular, en la industria aeroespacial se usan cada vez más materiales  
 5 difíciles de mecanizar, como Titanio, aleaciones de Níquel - INCONEL, Aluminio de Alta Pureza, Superconductor, Cobre de Muy Alta Pureza, Kovar, Invar y diferentes calidades de acero inoxidable. Dichos materiales requieren conocimientos especializados y análisis detallados del proceso para proporcionar un proceso de fabricación eficiente y repetible. El sistema de la presente descripción se puede utilizar para la determinación de la maquinabilidad de materiales, la mejora de la geometría de las herramientas y los  
 10 recubrimientos, así como para la calificación de estrategias de proceso. Además, esta tecnología se puede usar para proporcionar información mejorada para la investigación de la formación de virutas y el desgaste de las herramientas. Esta tecnología ofrece la ventaja de una monitorización continua en el mecanizado para una verificación más precisa de simulaciones y modelos de procesos. El sistema de la presente descripción se puede usar para obtener información sobre las influencias de los parámetros de proceso individuales, no sólo para los fabricantes de componentes, sino también para los proveedores de equipos auxiliares como  
 15 refrigerantes, lubricantes, herramientas y dispositivos de sujeción.

La precisión es de suma importancia en la industria aeroespacial. Una sola imperfección o componente defectuoso puede provocar daños por miles de Euros. Se estima que el coste de reparar o desechar piezas con pequeñas deformaciones en la industria aeroespacial asciende a cientos de millones de Euros al año. El alto coste de no fabricar una pieza de avión exactamente a la primera puede explicarse por los bajos volúmenes de producción sobre los cuales se reparten los altos costes de desarrollar nuevos productos y garantizar la calidad. El coste de la calidad es alto porque la seguridad y la confiabilidad son críticas. El coste de desarrollar  
 20 piezas nuevas también es alto porque las tendencias para minimizar el peso y optimizar el rendimiento superan los límites de los materiales y nuestro conocimiento de ellos. Un caso específico existe en la industria aeroespacial en la producción de piezas de aluminio de paredes delgadas. Las vibraciones se producen en operaciones de mecanizado de piezas de paredes delgadas debido a la elasticidad dinámica de la pieza de trabajo y a la excitación del proceso. Las deformaciones de piezas de paredes delgadas resultan de fuerzas gravitacionales y de sujeción, cargas de proceso y tensiones residuales que aparecen debido al proceso de  
 25 mecanizado. Las piezas con ligeras deformaciones pueden rechazarse o reelaborarse si no encajan correctamente o si no pueden soportar las cargas que se les exigen. Las distorsiones pueden ser especialmente frecuentes en piezas con paredes delgadas, como las usadas en el marco estructural de un avión. Esto se debe a que el mecanizado crea tensión cerca de la superficie; para una pared que puede ser tan delgada como 0,4 milímetros, la mayor parte de la pared está cerca de la superficie, por lo que a menudo se produce distorsión. Para evitar distorsiones, una solución es hacer que las paredes de la pieza sean más gruesas; sin embargo, el aumento de peso reduciría la eficiencia del combustible y el rendimiento de los  
 30 aviones. Una segunda solución implica minuciosos procesos de mecanizado de múltiples pasos que aumentan el coste del mecanizado. El sistema de la presente descripción, como se describe anteriormente, ofrece una mejor solución al desafío de reducir las distorsiones de las piezas al ofrecer una visión mejorada del proceso de eliminación de material durante la fabricación, es decir, al diagnosticar el desgaste de la herramienta y las fuerzas de corte anormales a medida que se desarrollan durante un proceso, pudiéndose evitar los daños a esa parte.

El sistema de la presente descripción aborda problemas específicos del diseño de un sistema modular pasivo  
 45 de medición de tensión inalámbrico para monitorizar la fuerza de corte en herramientas de corte usadas dentro de herramientas de máquina, para procesos de eliminación de material. Los problemas incluyen la integración del sensor de tensión necesario, la antena o antenas, placas de circuito impreso, circuitos de sintonización y adaptación de impedancia y componentes de interconexión dentro de un paquete; espacio restringido disponible para la integración de sensores en la herramienta de corte; lograr y mantener una buena  
 50 comunicación de RF entre el sistema sensor y el sistema interrogador en el desafiante entorno de propagación presentado por la necesidad de operar dentro del recinto de la herramienta de máquina en presencia de fluidos de corte y virutas generadas por el proceso de corte, piezas móviles y mientras la herramienta de corte y el conjunto transductor de tensión se mueven con respecto al interrogador/transceptor de RF; protección de los componentes del transductor contra daños mecánicos y contaminantes ambientales; lograr una relación señal-  
 55 ruido, sensibilidad y compensación de temperatura adecuadas usando sensor o sensores SAW; interrogatorio selectivo de transductores SAW/herramientas de corte instrumentadas por tensión seleccionadas; y proporcionar un medio para la configuración de herramienta/objeto (antena) y calibración de tensión/fuerza.

El sistema de la presente descripción proporciona una tecnología de herramienta de corte 'inteligente' para  
 60 monitorizar las fuerzas de corte relacionadas con el desgaste de la herramienta u otras condiciones del proceso. Como tal, la tecnología tendrá influencias directas en los resultados del mecanizado y los costes de fabricación relacionados con estos procesos. La aplicación comercial del sistema de la presente descripción es como una solución de monitorización en aplicaciones de mecanizado de precisión de próxima generación de alto valor, particularmente en el contexto de la Industria 4.0. La tendencia en la fabricación avanzada  
 65 moderna es hacia el mecanizado de componentes con una precisión dimensional/forma cada vez mayor y una rugosidad superficial más fina, incluso con requisitos de funcionalidad superficial. Las tecnologías de



herramientas de corte inteligentes permiten comprender y optimizar los procesos de mecanizado para hacer frente a la dinámica del mecanizado, las variaciones y la complejidad del proceso. Por ejemplo, el micromecanizado y la ultraprecisión, con la rugosidad de la superficie en la escala nanométrica y las características/patrones a nivel micrométrico, tienen una demanda cada vez mayor, especialmente para los componentes de alta precisión que se necesitan en las industrias energética, aeroespacial, automotriz y de la construcción.

Algunos componentes de alto valor requieren mecanizado en un entorno libre de contaminación, lo que significa que no se puede aplicar refrigerante durante el proceso de mecanizado. Sin embargo, la condición de corte en seco conduciría al desgaste de la herramienta y a una temperatura de corte alta, por lo que se produciría una mala calidad de la superficie y se acortaría la vida útil de la herramienta. Algunos materiales, como las aleaciones de aluminio y magnesio, no se recomiendan para aplicar corte en seco directo, ya que la herramienta de corte es propensa a sufrir un filo de recrecimiento excesivo (BUE). Por lo tanto, para el micromecanizado y la alta precisión, existe un nicho de mercado para tecnologías de herramientas de corte inteligentes que pueden usarse para explotar y comprender mejor la mecánica de corte y el proceso de mecanizado en aplicaciones de mecanizado sin refrigerante.

El sistema de la presente descripción también puede comprender un dispositivo informático para procesar la señal de respuesta de tensión detectada, estando conectada la unidad de procesamiento a al menos una antena de interrogación, en donde el dispositivo informático está dispuesto para transmitir la señal de interrogación y la energía de transmisión a la al menos una antena transceptora y al al menos un sensor SAW a través de la al menos una antena de interrogación. El dispositivo informático puede estar dispuesto para recibir la señal de respuesta a la tensión detectada a través de al menos una antena de interrogación. El dispositivo informático también puede configurarse para detectar la firma digital única del objeto bajo prueba. El dispositivo informático puede ser gestionado por una unidad de procesamiento de supervisión que está integrada en el control de la máquina herramienta con el fin de gestionar el canal de RF del objeto sensor bajo prueba.

El dispositivo informático puede usar la señal de respuesta de tensión detectada como una métrica cuantificable que representa la tensión experimentada en la trayectoria de la fuerza del proceso de fabricación y que puede usarse como entrada a un gemelo digital para el cálculo de las fuerzas del proceso durante los procesos de fabricación. Un gemelo digital es una réplica digital en tiempo real de un dispositivo o proceso físico derivado de la información del sensor. El gemelo digital crea un puente entre el mundo físico y el digital. La salida del gemelo digital permite la configuración de los límites de seguridad del proceso, la optimización en proceso de las fuerzas del proceso considerando las restricciones del objeto bajo prueba, la detección de desgaste y rotura y la predicción del final de la vida útil. La señal de respuesta de tensión detectada de forma inalámbrica y pasiva es una digitalización de una métrica cuantificable que representa la tensión experimentada en la trayectoria de fuerza del proceso de fabricación. La señal digitalizada con el gemelo digital, incluidos los metadatos relacionados con la configuración del sistema y los parámetros del proceso, permite la cuantificación absoluta de las fuerzas del proceso, las direcciones de las fuerzas, la diafonía de las fuerzas y permite cuantificar la temperatura.

La Figura 16 es un diagrama de bloques que ilustra una configuración de un aparato 900 informático que incluye diversos componentes de hardware y de software que, junto con una pluralidad de dispositivos externos con los que está asociado operativamente, sirven para realizar procesos según la presente descripción. El dispositivo 900 informático puede realizarse como uno de numerosos entornos o configuraciones de sistemas informáticos de propósito general o especial. Ejemplos de sistemas, entornos y/o configuraciones informáticos conocidos que pueden ser adecuados para su uso con las diferentes tecnologías descritas en la presente incluyen, pero no se limitan a, ordenadores personales, ordenadores servidores, informática en la nube, dispositivos portátiles u ordenadores portátiles, sistemas de multiprocesador, sistemas basados en microprocesadores o microcontroladores, receptores de televisión, artículos electrónicos de consumo programable, núcleos ASIC o FPGA, núcleos DSP, PC de red, miniordenadores, ordenadores centrales, entornos informáticos distribuidos que incluyen uno cualquiera de los sistemas o dispositivos anteriores y similares. Con referencia a la Figura 16, el dispositivo 900 informático comprende una interfaz 910 de usuario, un procesador 920 en comunicación con una memoria 950 y una interfaz 930 de comunicación. El procesador 920 sirve para ejecutar instrucciones de software que pueden cargarse y almacenarse en la memoria 950. El procesador 920 puede incluir un número de procesadores, un núcleo de múltiples procesadores o algún otro tipo de procesador, dependiendo de la implementación particular. La memoria 950 puede ser accesible por el procesador 920, posibilitando de ese modo que el procesador 920 reciba y ejecute instrucciones almacenadas en la memoria 950. La memoria 950 puede ser, por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio (RAM, Random Access Memory) o cualquier otro medio de almacenamiento volátil o no volátil, legible por ordenador, adecuado. Además, la memoria 950 puede ser fija o extraíble y puede contener uno o más componentes o dispositivos tales como una unidad de disco duro, una memoria flash, un disco óptico regrabable, una cinta magnética regrabable o alguna combinación de los anteriores.

Uno o más módulos 960 de software pueden estar codificados en la memoria 950. Los módulos 960 de software

5 pueden comprender uno o más programas o aplicaciones de software que tienen un código de programa informático o un conjunto de instrucciones configuradas para ser ejecutadas por el procesador 920. Tal código de programa informático o instrucciones para llevar a cabo operaciones para aspectos de los sistemas y métodos descritos en el presente documento pueden escribirse en cualquier combinación de uno o más lenguajes de programación.

10 Los módulos 960 de software pueden incluir al menos una primera aplicación 961 y una segunda aplicación 962 configurada para ser ejecutada por el procesador 920. Durante la ejecución de los módulos 960 de software, el procesador 920 configura el dispositivo 900 informático para realizar diversas operaciones relacionadas con las realizaciones de la presente descripción, como se ha descrito anteriormente.

15 Otra información y/o datos relevantes para la operación de los sistemas y procedimientos actuales, tales como una base de datos 970, también pueden ser almacenados en la memoria 950. La base de datos 970 puede contener y/o mantener diversos componentes y elementos de datos que se utilizan a lo largo de las diversas operaciones del sistema descrito anteriormente. Se debería tener en cuenta que, aunque la base de datos 970 se representa como configurada localmente con respecto al dispositivo 900 informático, en ciertas implementaciones, la base de datos 970 y/o diversos otros elementos de datos almacenados en la misma pueden ubicarse de forma remota. Tales elementos pueden ubicarse en un dispositivo o servidor remoto - no mostrado, y conectarse al dispositivo 900 informático a través de una red de una forma conocida por los expertos en la materia, para su carga en un procesador y su ejecución.

25 Además, el código de programa de los módulos 960 de software y uno o más dispositivos de almacenamiento legibles por ordenador (tales como la memoria 950) forman un producto de programa informático que puede fabricarse y/o distribuirse de acuerdo con la presente descripción, como es conocido por los expertos en la materia.

30 La interfaz 940 de comunicación está conectada también operativamente al procesador 920 y puede ser cualquier interfaz que posibilite la comunicación entre el dispositivo 900 informático y otros dispositivos, máquinas y/o elementos. La interfaz 940 de comunicación está configurada para transmitir y/o recibir datos. Por ejemplo, la interfaz 940 de comunicación puede incluir, pero sin limitación, un transceptor de Bluetooth o móvil, un transmisor/receptor de comunicación por satélite, un puerto óptico y/o cualquier otra interfaz de este tipo para conectar de forma inalámbrica el dispositivo 900 informático a los otros dispositivos.

35 La interfaz 910 de usuario también está operativamente conectada al procesador 920. La interfaz de usuario puede comprender uno o más dispositivo o dispositivos de entrada, como conmutadores, botones, teclas y una pantalla táctil.

40 La interfaz 910 de usuario funciona para facilitar la captura de órdenes del usuario, tales como órdenes de encendido y apagado o configuraciones relacionadas con la operación del procedimiento descrito anteriormente. La interfaz 910 de usuario puede servir para emitir instrucciones o notificaciones instantáneas remotas acerca de imágenes recibidas a través de un mecanismo de captura de imágenes no local.

45 Un elemento de visualización 912 también puede estar conectada operativamente al procesador 920. El elemento de visualización 912 puede incluir una pantalla o cualquier otro dispositivo de presentación que permita al usuario ver diversas opciones, parámetros y resultados. El elemento de visualización 912 puede ser un elemento de visualización digital tal como un elemento de visualización LED. La interfaz 910 de usuario y el elemento de visualización 912 pueden integrarse en un elemento de visualización táctil.

50 El dispositivo 900 informático puede residir en un ordenador remoto basado en la nube. En consecuencia, el software adaptado para implementar el sistema y los métodos de la presente descripción también puede residir en la nube. La informática en la nube proporciona servicios informáticos, de software, de acceso a datos y almacenamiento que no requieren que el usuario final conozca la ubicación física ni la configuración del sistema que presta los servicios. La informática en la nube abarca cualquier servicio basado en suscripción o pago por uso y normalmente implica el aprovisionamiento de recursos dinámicamente escalables y a menudo virtualizados. Los proveedores de informática en la nube entregan aplicaciones a través de Internet, a las que se puede acceder desde un navegador web, mientras que el software y los datos comerciales se almacenan en servidores en una ubicación remota. En la realización en la nube del dispositivo 900 informático, los módulos 960 de software y el procesador 920 pueden estar ubicados de forma remota en ordenador basado en la nube.

60 Los expertos en la técnica entenderán el funcionamiento del dispositivo 900 informático y los diversos elementos y componentes descritos anteriormente con referencia al método y sistema según la presente descripción.

65 La presente invención no se limita a la o las realizaciones descritas en la presente memoria, que pueden modificarse o variarse sin apartarse del alcance de las presentes reivindicaciones.

Además, se apreciará que en realizaciones de la presente descripción algunos de los pasos descritos anteriormente pueden omitirse y/o realizarse en un orden distinto al descrito.

- 5 De manera similar, las expresiones "comprende/que comprende", cuando se usan en esta memoria descriptiva, se emplean para especificar la presencia de características, números enteros, pasos o componentes indicados, pero no excluyen la presencia o adición de una o más características, números enteros, pasos, componentes o grupos de los mismos.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema de detección para la monitorización inalámbrica y pasiva de la tensión durante un proceso de fabricación que depende de la fuerza para aplicar la energía al proceso de fabricación, comprendiendo el sistema de detección:
  - al menos un sensor (530, 9050) de onda acústica de superficie, SAW para detectar tensión, estando colocado al menos un sensor (530, 9050) SAW en una trayectoria de fuerza ubicada sobre o en la estructura de un objeto bajo prueba;
  - y al menos una antena de interrogación configurada para moverse junto con el objeto bajo prueba para proporcionar una señal de interrogación y para recibir una señal de respuesta de al menos una disposición (540, 9040) de antena transceptora, en donde la al menos una disposición (540, 9040) de antena transceptora está dispuesta para comunicación inalámbrica con la al menos una antena de interrogación, siendo conectable la al menos una disposición de antena transceptora al al menos un sensor (530, 9050) SAW,
  - en donde el al menos un sensor (530, 9050) SAW y la al menos una disposición de antena transceptora están dispuestos para recibir energía de la señal de interrogación y emitir una señal de respuesta a la tensión detectada por el al menos un sensor (530) SAW en respuesta a la señal de interrogación,
  - caracterizado por que
  - el al menos un sensor (530, 9050) de onda acústica de superficie, SAW y la al menos una disposición (540, 9040) de antena transceptora que se puede conectar al al menos un sensor (530, 9050) SAW, están contenidos dentro de un único recinto (520, 720) de protección
2. El sistema de la reivindicación 1, en donde la al menos una disposición de antena transceptora comprende un elemento radiante y una capa conductora sobre una placa de circuito impreso, PCB, que actúa como un plano de tierra para el elemento radiante, y opcionalmente en donde el elemento radiante tiene una diseño plano y está montado a una distancia fija sobre el plano de tierra de manera que la radiación de la antena se dirija lejos del plano de tierra.
3. El sistema de la reivindicación 2, en donde la capa conductora puede estar conectada eléctricamente a una estructura metálica adicional colocada para extender un tamaño efectivo total del plano de tierra, comprendiendo la estructura metálica adicional colocada el objeto bajo prueba.
4. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde la al menos una disposición (540, 9040) de antena transceptora comprende una antena de perfil bajo configurada para la transmisión y recepción de señales de RF en la banda UHF, y opcionalmente en el que la banda UHF comprende la banda ISM de 434 MHz.
5. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la al menos una disposición (540, 9040) de antena transceptora comprende una antena Plana F invertida, PIFA.
6. El sistema de cualquier reivindicación anterior, que comprende uno o más circuitos de antena transceptora de sensor SAW, y que comprende además un mecanismo de interruptor para activar o desactivar uno o más de uno o más circuitos de antena transceptora de sensor SAW,
- y opcionalmente en donde el mecanismo de interruptor comprende un interruptor de RF accionado ambientalmente,
- y opcionalmente en donde el mecanismo de interruptor comprende la aplicación de fuerza o presión mecánica sobre un interruptor, una orientación del interruptor, exposición de luz, temperatura o campo magnético al interruptor, o el uso de tecnología de sistemas microelectromecánicos, MEMS.
7. El sistema de la reivindicación 1, en donde la al menos una antena de interrogación está colocada para transmitir/recibir señales sólo dentro de una zona específicamente designada que incluye una zona de proceso de fabricación y excluye específicamente cualquier zona que contenga herramientas que no estén en uso.
8. El sistema de cualquier reivindicación anterior, que comprende además una disposición (9060) multiplicadora de tensión dispuesta para montarse en el objeto bajo prueba, el multiplicador de tensión configurado para transferir tensión desde el objeto bajo prueba a una superficie en la que al menos hay montado un sensor (530, 9050) SAW.
9. El sistema de la reivindicación 8, en donde la disposición (9060) multiplicadora de tensión se fija al objeto bajo prueba en cualquier extremo a lo largo del eje de la tensión a medir, y opcionalmente en donde la disposición (9060) multiplicadora de tensión comprende una región de detección. que comprende una fracción

de la longitud entre los puntos de fijación que se deforma fácilmente cuando se somete a fuerzas de flexión, tracción o compresión.

5 10. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde al menos un sensor (530, 9050) SAW está dispuesto en el objeto bajo prueba,

y opcionalmente en donde el al menos un sensor (530, 9050) SAW comprende dos o más sensores (530, 9050) SAW,

10 en donde, opcionalmente, los dos o más sensores (530, 9050) SAW están configurados para detectar una medición de tensión diferencial, en donde un primer sensor (530, 9050) SAW está dispuesto para montarse en una primera superficie del objeto bajo prueba y un segundo sensor (530, 9050) SAW está dispuesto para montarse en una segunda superficie del objeto bajo prueba,

15 y opcionalmente, en donde el primer y segundo sensor (530, 9050) SAW están dispuestos para montarse en una dirección de tensión de flexión.

20 11. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde el objeto bajo prueba tiene una identidad única, en donde la combinación de sensor (530, 9050) SAW y acoplamiento de antena transceptora para el objeto bajo prueba generan juntos una firma digital única que forma la base para la identidad única, y opcionalmente, en donde el sensor (530, 9050) SAW se coloca con una etiqueta RFID que comparte una antena multibanda en el objeto bajo prueba.

25 12. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde el recinto protector se puede colocar para facilitar el montaje reproducible de un objeto bajo prueba en una disposición de sujeción.

13. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 6 a 12, que comprende:

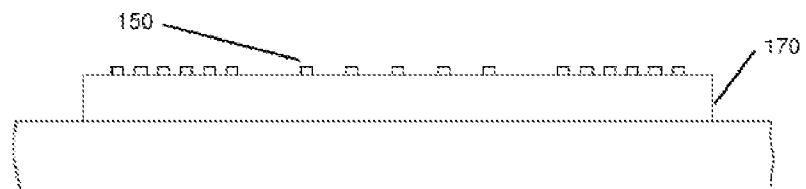
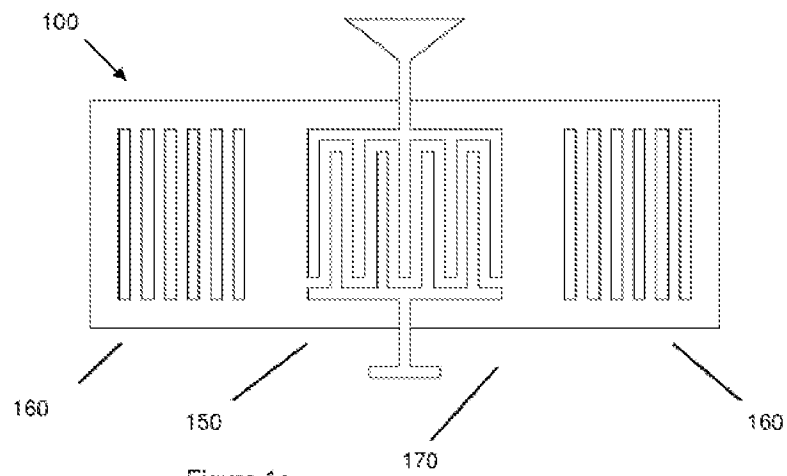
30 un dispositivo informático para procesar la señal de respuesta de tensión detectada, estando conectada la unidad de procesamiento a la al menos una antena de interrogación, en donde el dispositivo informático está dispuesto para transmitir la señal de interrogación y la energía de transmisión a la al menos una antena (540, 9040) transceptora y al al menos un sensor (530, 9050) SAW a través de la al menos una antena de interrogación, y en donde el dispositivo informático está dispuesto para recibir la señal detectada de respuesta de tensión a través de la al menos una antena de interrogación.

35 14. El sistema de la reivindicación 13, en donde el dispositivo informático usa la señal de respuesta de tensión detectada como una métrica cuantificable que representa la tensión experimentada en la trayectoria de fuerza del proceso de fabricación y que puede usarse como entrada a un gemelo digital para el cálculo. de las fuerzas del proceso durante los procesos de fabricación,

40 y, opcionalmente, en donde la salida del gemelo digital permite la configuración de límites de seguridad del proceso, la optimización en proceso de las fuerzas del proceso considerando el objeto bajo restricciones de prueba, la detección de desgaste y rotura y la predicción del final de la vida útil.

45 15. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde el objeto bajo prueba comprende al menos uno de una herramienta de corte, una pieza de trabajo y un dispositivo de sujeción de piezas.

50 16. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en donde los procesos de fabricación comprenden procesos de eliminación de material que comprenden mecanizado de una pieza de trabajo, rectificado, brochado; procesos de deformación de superficies que comprenden bruñido, moleteado y granallado por impacto, procesos de modelación que comprenden hilado y conformado por laminación, procesos de conformación que comprenden conformación incremental y procesos de unión que comprenden procesos de agitación por fricción, soldadura por fricción, así como vibración y asistencia ultrasónica de los procesos de fabricación antes mencionados.



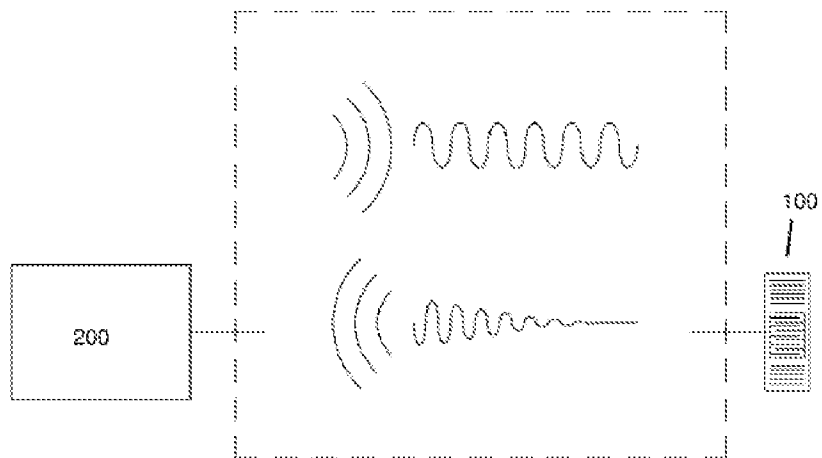


Figura 2

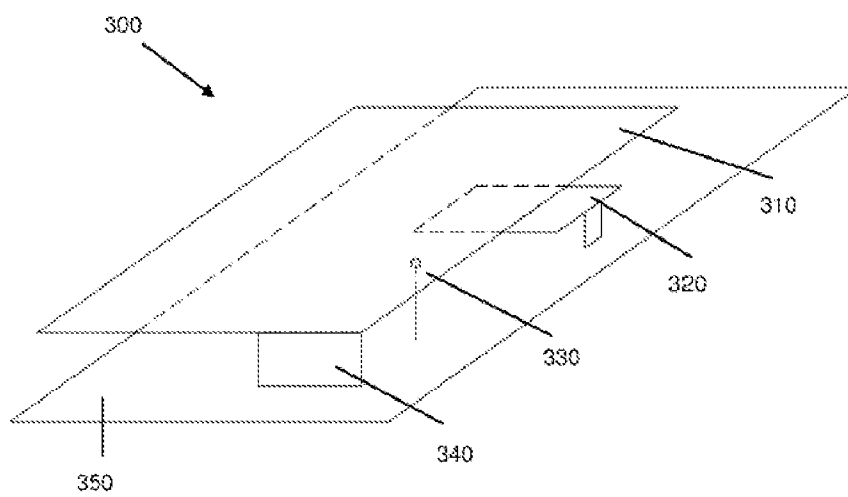


Figura 3

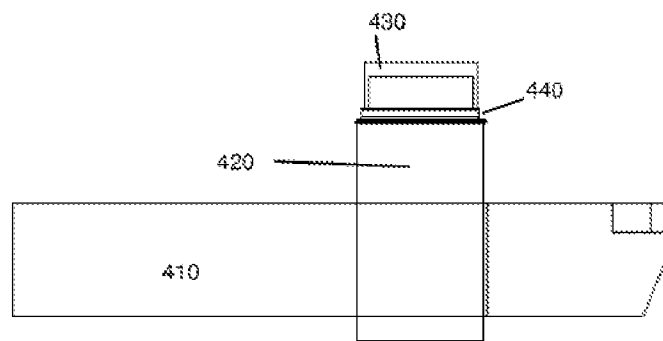


Figura 4a

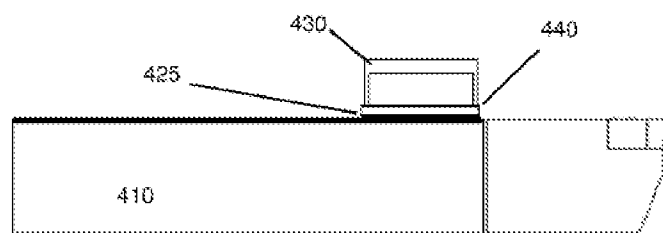


Figura 4b

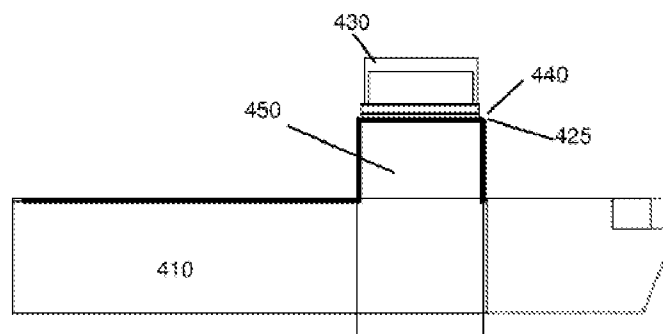


Figura 4c





Figura 5a

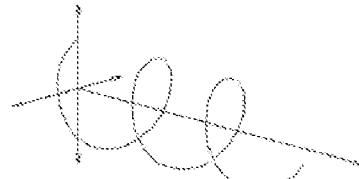


Figura 5b

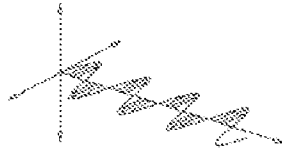


Figura 5c

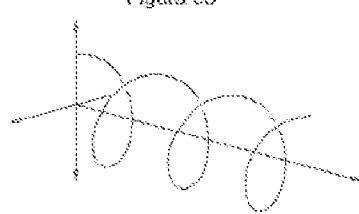


Figura 5d

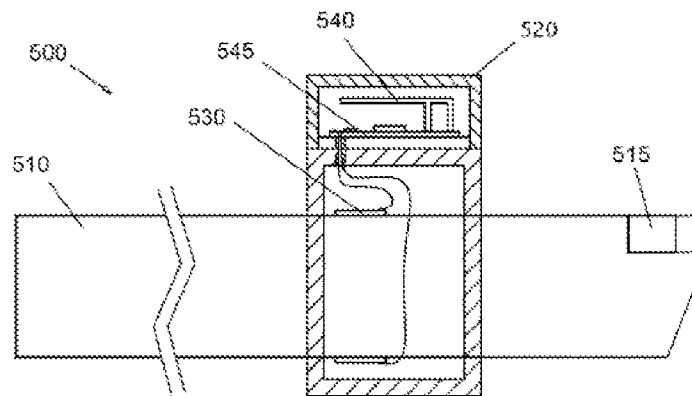


Figura 6

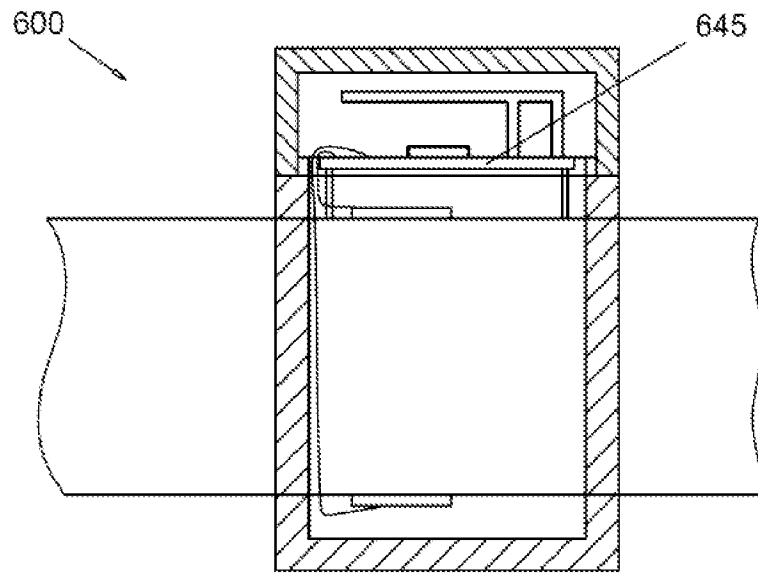


Figura 7

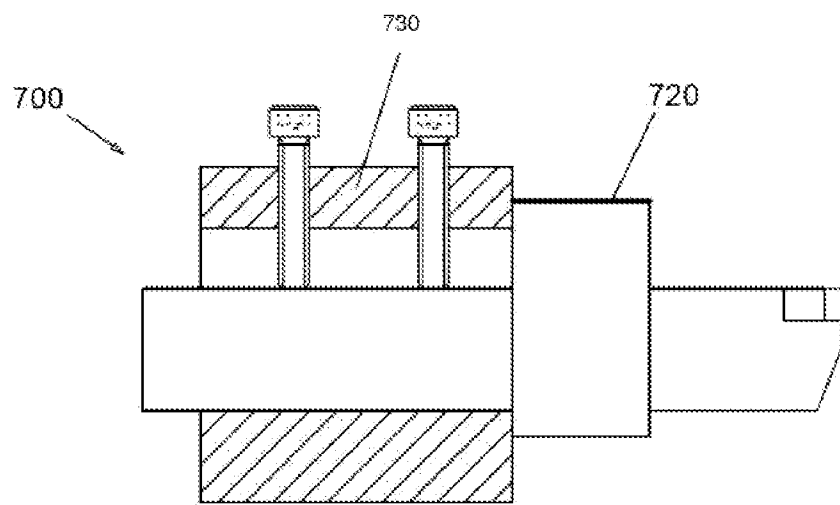


Figura 8

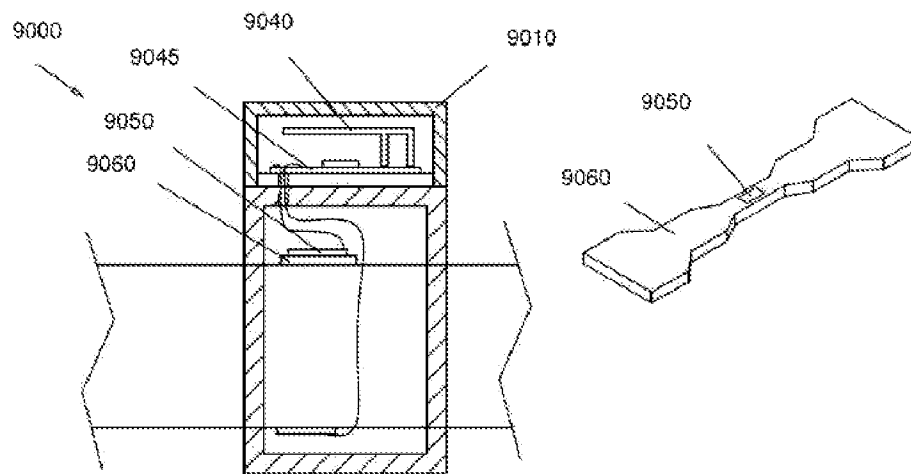


Figura 9

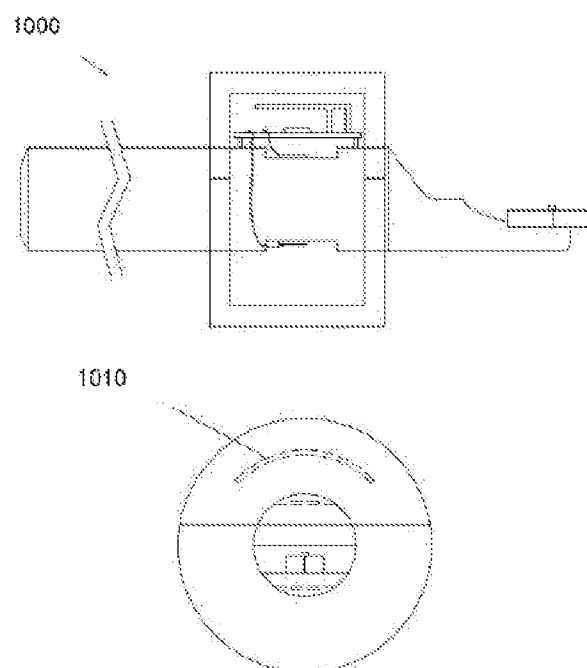


Figura 10

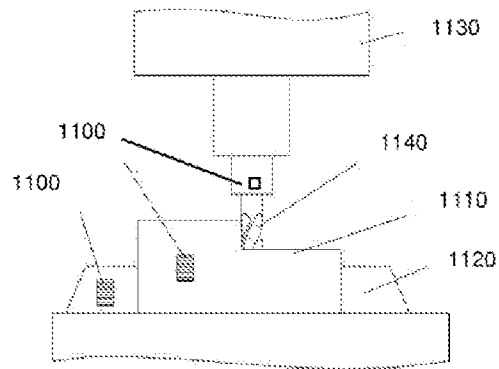


Figura 11

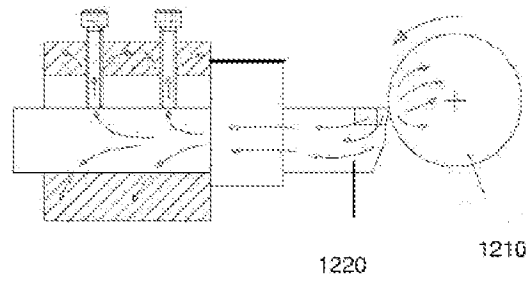


Figura 12a

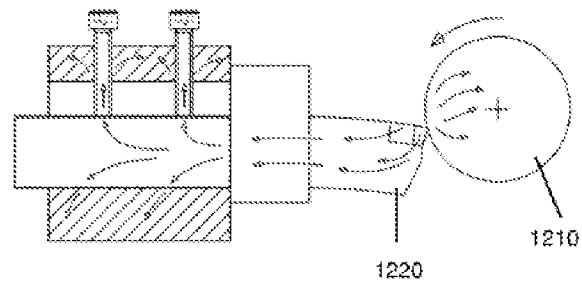


Figura 12b

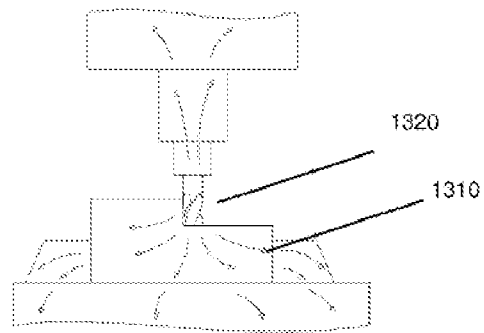


Figura 13

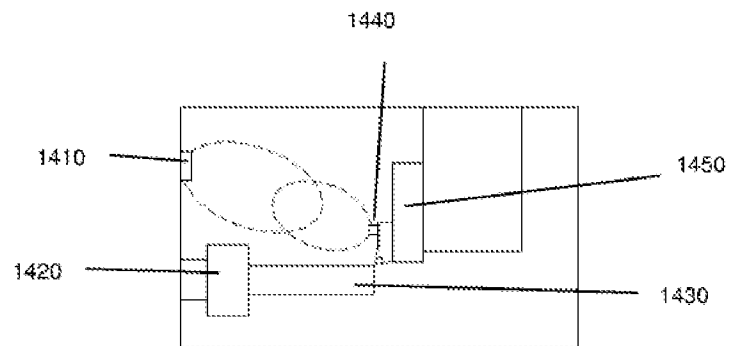


Figura 14a

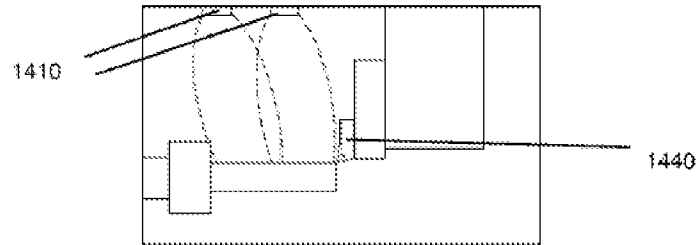


Figura 14b

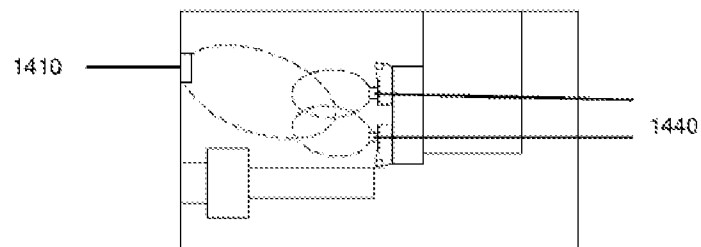


Figura 14c

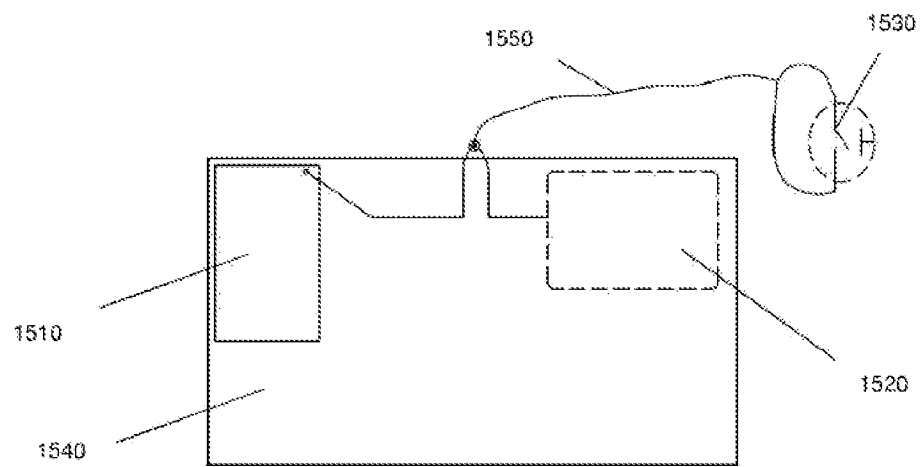


Figura 15

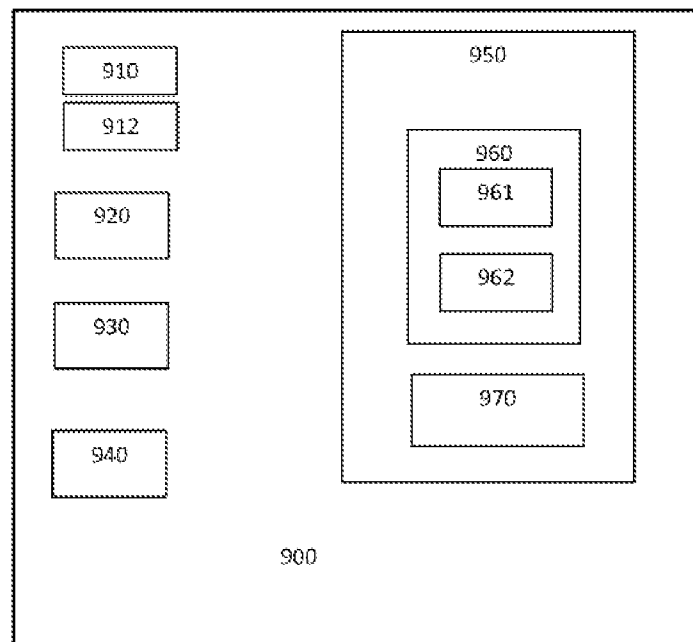


Figura 16