

Artículo técnico

Perfect Welding

La impresión 3D con metal está en auge

Fabricación aditiva con soldadura: Cualificación de depósito a presión

(Wels, 09/01/2025) La impresión 3D con metal por arco eléctrico va camino de cambiar radicalmente la producción de componentes metálicos. El proceso de fabricación aditiva "Near Net Shape" con hilo de soldadura da forma a objetos tridimensionales aplicando cordones capa a capa. Podemos encontrar ejemplos en ámbitos como la construcción de instalaciones, la aeronáutica, la fabricación de herramientas y la estructura ligera. Esta tecnología resulta especialmente ventajosa para las geometrías complejas con un alto grado de mecanizado. En este caso, el proceso es más flexible y a menudo más económico que los procesos de mecanizado o conformado.

También ofrece ventajas con respecto a las piezas de recambio, la construcción de prototipos y la producción de pequeñas series. En EE. UU ya hay normas para la impresión 3D con metal, y en Europa se están elaborando para los depósitos a presión no sometidos a acción de llama fabricados de forma aditiva. Linde Engineering, MIGAL.CO, TÜV SÜD Industrie Service GmbH y Fronius están trabajando en primera línea para dar el impulso definitivo a esta variante de producción basada en soldadura por arco.

Componentes a medida y "justo a tiempo"

Las técnicas de fabricación convencionales, como la fundición, suelen estar asociadas a complejos moldes y herramientas. A ello se le suman los plazos y los costes de desarrollo. Si una empresa opta por la impresión 3D con metal, puede acortar considerablemente los tiempos de producción. Los procesos de producción aditiva no solo permiten la fabricación rápida de prototipos (Rapid Prototyping), sino también la producción "justo a tiempo". En otras palabras, ayudan a evitar situaciones arriesgadas al depender de un único proveedor, que además suelen implicar altos costes de almacenamiento. Si se necesitan determinados componentes, se seleccionan las "recetas" correspondientes en el software y se "imprimen" según sea necesario. Casi no existen límites para las geometrías de los componentes. Por otro lado, los diseños con topología y flujo optimizados son algo cotidiano en la fabricación aditiva, incluso en el caso de los componentes de gran tamaño.

El proceso de soldadura CMT es ideal para la impresión 3D con metal

La impresión 3D funciona con diferentes procesos. Los procesos basados en hilo, como "Fronius Additive", producen la pieza de trabajo capa a capa fundiendo el hilo de soldadura. Para evitar aplicar demasiada temperatura sobre el material, deben consumir la menor energía posible. El proceso de soldadura Cold Metal Transfer (CMT) basado en MIG de Fronius es especialmente adecuado para la impresión 3D de componentes de aluminio. CMT es un proceso de arco corto "frío" que minimiza el aporte térmico a pesar de su elevada tasa de deposición. Es ideal para la soldadura aditiva, en la que la aplicación cíclica de cordones de soldadura provoca una elevada temperatura entre pasadas.

CMT es compatible con funciones idóneas para la impresión 3D con metal. Un ejemplo típico es la "corrección de potencia", que permite ajustar con precisión la potencia eléctrica aplicada a la fase correspondiente del proceso, mientras la tasa de deposición permanece constante.

"Con nuestras funciones CMT Additive Pro especialmente desarrolladas para la fabricación aditiva, como la corrección de potencia o el estabilizador de deposición (Deposition Stabilizer), que mantiene la tasa de deposición constante, podemos controlar de forma específica la entrada de potencia y, por tanto, la altura y la anchura del cordón", explica DI Leonhard Reiter, Fronius R&D.

Fronius apoya el desarrollo de normas para la fabricación aditiva de componentes y equipos a presión

Como miembro del "Grupo de trabajo conjunto sobre componentes de fabricación aditiva con arreglo a la Directiva sobre equipos a presión del organismo nacional de normalización de Alemania (DIN)", Fronius participó en la cualificación de modelos de un componente soldado de forma aditiva en colaboración con MIGAL.CO, Linde Engineering y TÜV SÜD. En el proceso se examinó la aplicabilidad del proyecto de norma prEN 13445-14 a los componentes de depósitos a presión no sometidos a acción de llama.

La cualificación de los materiales, las pruebas de diseño, los procesos, la fabricación aditiva, las pruebas de componentes y de presión y la documentación completa de la cadena de procesos se llevaron a cabo en los respectivos emplazamientos de acuerdo con las competencias de los socios implicados y, posteriormente, se creó una Additive Manufacturing Procedure Specification (AMPS) vinculante.

"El proyecto de norma prEN 13445-14 y la ya publicada DIN/TS 17026 tienen en cuenta toda la cadena de valor, incluidos todos los detalles de supervisión. Así nos aseguramos de cumplir los requisitos básicos de seguridad definidos en la Directiva sobre equipos a presión 2014/68/UE", afirma la Dra. Ing. Kati Schatz, de Linde Engineering, al describir el contenido de la norma resultante.

"Todos los detalles están incluidos. En particular, los requisitos de los materiales, el diseño, la cualificación del proceso aditivo, la producción y las pruebas, así como la recepción y la documentación. El procedimiento apenas difiere del de los depósitos a presión convencionales. Incluso sin la denominada "presunción de conformidad" de una norma que se aspira a armonizar y que está sujeta a un proceso de modificación, la especificación puede servir de guía para todas las partes implicadas en el proceso de fabricación aditiva de equipos de presión".

Diseño, material y material de aporte

La cadena completa del proceso se probó utilizando un depósito a presión en forma de ramificación de tubería. De acuerdo con el modelo, la ramificación (zona de aplicación aditiva hasta el tubo de empalme) se dispuso sobre un tubo base de fabricación convencional con una

parte prevista para este fin. Se denomina "componente híbrido" porque el material del sustrato sobre el que se suelda pasa a formar parte del depósito a presión.

"Optamos por el aluminio como material. En la construcción de plantas utilizamos aleación forjada de dureza natural debido a su excelente resistencia a bajas temperaturas, hasta 273 °C bajo cero. Sin embargo, soldar este material es todo un reto. No solo la selección y los parámetros del proceso son decisivos para el resultado, sino también la elección del material de aporte de soldadura", explica Martin Lohr, de Linde Engineering.

El material de aporte desempeña un papel fundamental en la impresión 3D en metal: Tanto al diámetro como a la composición química, que debe contener la menor cantidad posible de hidrógeno, se les aplican estrictas tolerancias. Además, el hilo debe estar libre de inclusiones y enrollado en la posición correcta para evitar problemas en la producción.

"La huella de CO₂ del hilo de soldadura es una cuestión medioambiental importante", señala Robert Lahnsteiner, Director General de MIGAL.CO, y añade: "La nuestra es de 3,8 kg de CO₂ por kilogramo de aluminio, menos de una cuarta parte de la media internacional".

Diseño de componentes y selección de procesos

La transición del tubo base del depósito a presión al tubo de empalme debe optimizarse tanto en términos de flujo como de topología. En el diseño se determinaron los siguientes espesores: 8 mm para el tubo base, 14 mm para la transición del tubo base al ramal y 5 mm para el ramal.

	Tubo base	Transición	Ramificación
Material	ES AW-5083 / AlMg4,5Mn	Al 5183 / AlMg4,5Mn	Al 5183 / AlMg4,5Mn
Espesor de la pared / espesor DED [mm]	8	14	5
Diámetro exterior [mm]	273	273 / 168	168

Material, espesor de la pared y diámetro exterior del ramal de la tubería

Selección del proceso DED (Direct-Energy-Deposition)

Los requisitos básicos del proceso DED (también conocido como Wire-Arc-Additive Manufacturing) para la cualificación del modelo del depósito a presión eran los siguientes:

- Máxima tasa de deposición posible
- Proceso de reducción del calor para evitar o minimizar el esfuerzo de enfriamiento y la deformación
- Unión sin errores al material base
- Insensible a los cambios en la distancia entre la antorcha y el componente
- Reproducibilidad absoluta de la alta calidad de material requerida dentro de los límites del proceso de deposición
- Ideal para componentes de gran tamaño

Sobre la base de los requisitos, se seleccionó el proceso CMT basado en MIG para la creación de capas de forma aditiva, concretamente CMT mix para la primera capa y CMT Additive Pro para

las siguientes, y el uso de la corrección de potencia tuvo una influencia decisiva en el aporte térmico.

Cualificación de procesos

Debido a los diferentes espesores de pared de la transición del tubo base a la ramificación, se requirieron tres cualificaciones de proceso independientes (DPQR) con respecto al campo de aplicación de la prEN 13445-14. Las Deposition Procedure Specifications (DPS) resultantes son vinculantes para el proceso de soldadura aditiva. La "receta" final para la impresión 3D en metal, la denominada Additive Manufacturing Procedure Specification (AMPS), comprende así tres Deposition Procedure Specifications, instrucciones sobre la secuencia de soldadura e información sobre certificados de materiales y cualificaciones de los operarios.

"La calidad constante de los componentes fabricados de forma aditiva se garantiza mediante certificados de material y cualificaciones de los operarios, además de las especificaciones técnicas de soldadura", explica DI Manfred Schörghuber, Fronius R&D.

Como se estipula en la norma prEN 13445-14, cada pieza de prueba se sometió a ensayos destructivos y no destructivos. Se utilizaron pruebas visuales y dimensionales (VT), pruebas de volumen (RT-D) y pruebas de superficie (PT) como métodos de ensayo no destructivos para verificar la ausencia de defectos externos e internos.

"Hemos verificado que se cumplen los requisitos mecánicos y tecnológicos del material de fabricación aditiva y de la conexión híbrida mediante ensayos de composición química, así como pruebas de tracción y flexión, que se realizaron en perpendicular a la dirección de la posición de la capa. Por último, realizamos análisis metalográficos en los puntos de inicio y parada y en la conexión híbrida", explica el Dipl.-Ing. (FH) Martin Boche, de TÜV SÜD.

Planificación y simulación de la trayectoria del robot

La planificación de la trayectoria del robot soldador se llevó a cabo utilizando una ramificación de tubería modelado tridimensionalmente en el software CAM (Computer Aided Manufacturing Software) de Fronius.

"Calculamos la propuesta de fabricación aditiva (el programa de soldadura propiamente dicho) introduciendo la altura de la capa, la posición, la velocidad y la estrategia de producción. La trayectoria de soldadura se visualizó en una celda de soldadura robotizada modelada por nuestro software", comenta DI Leonhard Reiter, Fronius R&D.

Determinación del posicionamiento y recorrido de los sensores

El componente se escaneó con Fronius WireSense para poder posicionarlo perfectamente e intervenir para corregir las tolerancias de fabricación. El innovador sistema de sensores utiliza el electrodo de soldadura como sensor táctil y escanea el contorno de soldadura punto por punto. Si el extremo del electrodo toca la superficie, se produce un cortocircuito que activa una señal de distancia y la transmite al robot de soldadura. El software compara el valor nominal programado fuera de línea con el valor real del recorrido WireSense y, si es necesario, corrige la trayectoria de soldadura para la fabricación aditiva. Inmediatamente después, el hilo retrocede y (mientras el robot sigue moviendo la antorcha de soldadura) vuelve a avanzar hasta el siguiente punto. Aquí se produce un nuevo cortocircuito, se genera una señal de distancia y, si es necesario, se modifica de nuevo la trayectoria de la soldadura. De esta forma se minimizan las desviaciones geométricas.

Fabricación de componentes

Los diferentes espesores de pared en la transición al ramal podrían realizarse con diferentes amplitudes pendulares. Para conseguir la transición óptima necesaria de cordón a cordón y un flujo uniforme se requería un equilibrio térmico constante. Para ello se utilizaron Jobs de soldadura específicos para cada capa con parámetros especiales.

Durante el proceso de soldadura, el componente estaba conectado a un suministro y un retorno de agua. El nivel de agua resultante debía estar lo suficientemente alejado del punto de soldadura para que la temperatura de capas intermedias pudiera mantenerse dentro del rango cualificado, lo que permitió una soldadura continua sin pausas de enfriamiento. El enfriamiento del componente minimizó su deformación y aumentó la tasa de deposición.

"Observamos la formación de las capas con una cámara sincronizada con el proceso que nos permitió analizar posteriormente las desviaciones con mayor precisión", añade Reiter, Fronius R&D.

Control de parámetros y documentación

El software de gestión de datos de soldadura WeldCube controlaba los límites de los parámetros especificados en la AMPS (Additive Manufacturing Procedure Specification) y emitía una advertencia en cuanto se superaban los límites preestablecidos. La suma de todos los parámetros dio como resultado la "huella dactilar" de la estructura aditiva y facilitó el análisis de posibles discontinuidades.

Prueba final de los componentes y perspectivas

La prueba final, incluida la confirmación de la conformidad CE, fue realizada por el organismo notificado 0036 de TÜV SÜD Industrie Service GmbH. En el presente caso, con un material base con datos mecánicos en una futura norma europea armonizada (diseño "armonizado") y un componente de la clase de diseño DC1, el alcance de los ensayos del componente fue el que se muestra en la siguiente tabla:

Tipo de ensayo	Procedimiento de ensayo	Alcance de los ensayos
Ensayo no destructivo	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayo volumétrico (RT o UT), • Detección de grietas superficiales (VT y PT) 	100 % de los rangos de diseño pertinentes para cada componente (o 20 % si se utiliza una cuadrícula adecuada que cubra completamente el rango).
Ensayo destructivo	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis químico • Ensayo de tracción para determinar la resistencia y alargamiento • Prueba de doblado 	1 x en el área de fabricación aditiva 2 x en dirección desfavorable y, adicionalmente, en el área híbrida 2 x en dirección desfavorable y, adicionalmente, en el área híbrida
Ensayo final	Ensayo de presión del agua Ensayo de rotura opcional	

"Junto con estos ensayos, realizamos análisis metalográficos centrados principalmente en las zonas en las que se detectaron irregularidades. Y también en la zona de transición entre el material convencional y las capas formadas mediante soldadura aditiva, la zona híbrida. El examen metalográfico se utiliza principalmente para verificar los datos recogidos del control de parámetros y los ensayos mecánico-tecnológicos y no destructivos. Para determinar hasta qué punto el material y el proceso de fabricación utilizados son impecables se toman muestras aleatorias", explica Boche.

El grupo de trabajo conjunto sobre depósitos a presión del organismo nacional de normalización de Alemania (DIN), representado por Linde Engineering, TÜV-SÜD Industrie Service GmbH, MIGAL.CO y Fronius, desea aumentar la aceptación de la fabricación aditiva en general y en la construcción de plantas y depósitos en particular con el procedimiento de evaluación de la conformidad según el Módulo G de la Directiva Europea de Equipos a Presión 2014/68/UE en forma de "cualificación de modelo" de un depósito a presión fabricado de forma aditiva con declaración de conformidad UE final para confirmar el cumplimiento de los requisitos de esta directiva de la UE.

"En conclusión, podemos decir con seguridad que décadas de experiencia con procesos de soldadura basados en arco eléctrico, combinados con procesos estables e innovadores como Fronius CMT Additive Pro, invitan a hacer un mayor uso de la impresión 3D en metal en la construcción de plantas y depósitos". Esto nos ofrece ventajas competitivas, sobre todo en lo que respecta a los beneficios asociados, como la optimización de la topología, la producción 'justo a tiempo' y la independencia de proveedores externos", resume Schörghuber.

Obtén más información sobre Fronius Additive Pro [aquí](#).

Encontrarás información sobre el centro de prototipos [aquí](#).

Encontrarás más información sobre la cualificación de modelos en el siguiente documental:

<https://www.youtube.com/watch?v=hDQjQMDprMI&t=284s>

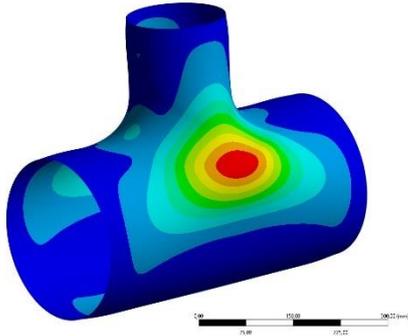


Palabras: 2.498

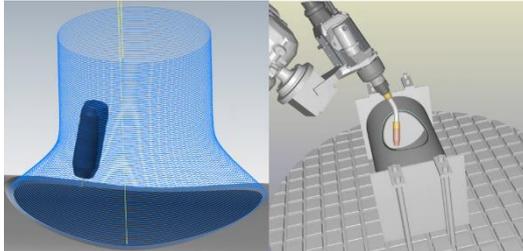
Caracteres (con espacios): 16.116

Sinopsis del material gráfico:

Si-Metal-Struktur
Date: 2023-08-08
Type: Finite Element Analysis
Element: 10000
Nodes: 100000
Mesh: 1000000
Scale: 1000000
Unit: mm



Modelo del MEF (método de los elementos finitos) del depósito a presión con forma de ramal de tubería



Simulación de formación de capas y secuencia de soldadura



Construcción aditiva del ramal de tubería con capas de soldadura, laboratorio de soldadura de Fronius International, Thalheim, Austria



Depósito a presión con ramal de tubería de fabricación aditiva y declaración de conformidad UE

Esta nota de prensa y las imágenes en alta calidad están disponibles para su descarga en el siguiente enlace: <https://www.fronius.com/es-es/spain/tecnologia-de-soldadura/centro-de-informacion/prensa>

Imágenes: Fronius International GmbH, reproducción sin coste alguno

Somos Fronius.



Más de 8000 empleados en todo el mundo, un porcentaje de exportación del 85% y 1604 patentes activas: así somos nosotros, así es Fronius. Fundada en 1945, esta empresa regional unipersonal se ha convertido en un líder global con 38 filiales internacionales y una red de distribuidores en más de 60 países, pero en el fondo sigue siendo una empresa familiar austriaca, que opera en el ámbito de la fotovoltaica y de la tecnología de soldadura y de carga de baterías. Siempre hemos desarrollado productos y soluciones para garantizar un futuro que merezca la pena vivir, y ofrecemos a nuestros clientes un paquete completo, desde la planificación y el asesoramiento previos hasta la monitorización continua y un servicio de reparación adaptado a tus necesidades. Somos innovadores. Somos curiosos. Somos Fronius.

Somos Perfect Welding.

La más alta calidad del arco voltaico, un profundo conocimiento del cliente, sed de progreso técnico: así somos, así es Fronius Perfect Welding. Somos líderes en innovación en soldadura por arco voltaico y en soldadura asistida por robot. Demostramos nuestra experiencia con sistemas completos individuales y automatizados, así como con soluciones de soldadura digital para la Industria 5.0. Nuestra oferta se completa con equipos de soldadura intuitivos para aplicaciones de soldadura manual, accesorios de soldadura de alta calidad y productos de protección eficaces para la seguridad de los usuarios. Como empresa global, ofrecemos un servicio regional a través de equipos locales que están a disposición de nuestros clientes en todo el mundo. Con nuestras tecnologías, marcamos tendencias y creamos conexiones entre metales, industrias y personas.

Para más información, por favor diríjase al:

Fronius España S.L.U., Laura González
Parque Empresarial La Carpetania, c/ Miguel Faraday 2, 28906, Getafe (Madrid)
Tel.: +34 91 649 60 40;
Fax: +34 91 649 60 44
Correo electrónico: gonzalez.laura@fronius.com

Por favor, envíe un ejemplar de prueba a nuestra agencia:

a1kommunikation Schweizer GmbH, Señora Kirsten Ludwig,
Oberdorfstraße 31 A, 70794 Filderstadt, Deutschland
Tel.: +49 711 9454161-20
Correo electrónico: kirsten.ludwig@a1kommunikation.de

¡Para leer otros artículos interesantes, visite nuestro blog en blog.perfectwelding.fronius.com y síguenos en Facebook ([froniuswelding](https://www.facebook.com/froniuswelding)), LinkedIn ([perfect-welding](https://www.linkedin.com/company/perfect-welding)), Instagram ([froniuswelding](https://www.instagram.com/froniuswelding)) y YouTube ([froniuswelding](https://www.youtube.com/froniuswelding))!