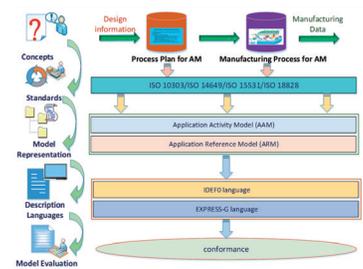


Modelos de información de proceso basados en STEP para la fabricación aditiva: aplicación al modelado de deposición por fusión

STEP-based process information models for additive manufacturing application to fused deposition modelling



Jinhua Xiao¹, Alexandre Durupt¹, Julien Le Duigou¹, Nabil Anwer² y Benoît Eynard¹

¹ Université de Technologie de Compiègne. Dpto. de Ingeniería Mecánica. Rue du Dr Schweitzer, 7337 - 60203 Compiègne, Cedex (France).

² École Normale Supérieure Paris Saclay. LURPA. Avenue du Président Wilson, 61 - 94235 Cachan, Cedex (France).

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8902> | Recibido: 04/07/2018 • Inicio Evaluación: 06/07/2018 • Aceptado: 10/12/2018

ABSTRACT

- The implementation of AM digital thread mainly depends on modelling data and process, and the usage of standards considering all activities related to AM. In this paper, we firstly propose a fundamental procedure of building information system in fused deposition modelling (FDM), including process concepts, related standards, model representation and model evaluation from part design information to manufacturing data. STEP-based process data models focusing on application reference model (ARM) and application activity model (AAM) are proposed to represent data transfer. In addition, process data model defines deposition process, process plan activity, deposition parameter, FDM requirement, specification, and FDM material, and redefines application entities and deposition operations, including 2.5D manufacturing layer, print header, FDM technology, deposition strategies, FDM functions and head path. Finally, Process data model needs to be evaluated to assess a conformance testing for verification and validation of these manufacturing data.
- **Keywords:** STEP, Process Information Model, Process Planning, Additive Manufacturing, Fused Deposition Modelling.

RESUMEN

La implementación del llamado proceso digital en tecnologías de *Additive Manufacturing* (AM) depende principalmente en los modelos de datos y procesos y el uso de estándares considerando todas las actividades relacionadas con AM. En este artículo, primero se propone un procedimiento fundamental para especificar el proceso digital en la tecnología *Fused Deposition Modeling* (FDM), incluyendo conceptos de proceso, estándares relacionados, representación del modelo y evaluación del modelo desde la información de diseño de la pieza hasta los datos de fabricación. Se proponen modelos de datos de proceso basados en STEP que se centran en *application reference model* (ARM) y en el *application activity model* (AAM). Además, el modelo de datos de proceso define el proceso de fabricación, la actividad del plan de proceso, los parámetros de fabricación, los requisitos de FDM, especificaciones y los materiales, y redefine las entidades de aplicación y las operaciones de fabricación, incluyendo la fabricación de capas en 2.5D, el cabezal de impresión, la tecnología FDM, las estrategias de deposición, las funciones de FDM y las trayectorias del cabezal. Finalmente, el modelo de datos de proceso necesita ser evaluado para valorar una prueba de conformidad para la verificación y validación de estos datos de fabricación.

Palabras clave: STEP, Modelo de Información de Procesos, Planificación de Procesos, Fabricación de Aditiva, Fused Deposition Modeling.

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la creciente complejidad de los sistemas AM, es urgente compartir más información con suficiente vocabulario común en AM y métodos de interoperabilidad. La norma ISO 10303 (*STEP = Standard for the Exchange of Product*) es un estándar prometedor para el intercambio de información entre tecnologías asistidas por ordenador. El STEP representa principalmente formas de archivos intercambiables, interfaces de programación de aplicaciones e implementaciones de bases de datos, que proporcionan formatos independientes del sistema para la transmisión de datos [1].

Además, a diferencia de la fabricación tradicional de corte, cizallamiento, deformación, en AM se unen materiales por capas para crear las piezas deseadas [2,3]. Aunque las tecnologías AM son realmente prometedoras para producciones cortas, de mayor funcionalidad y complejidad, aún presentan muchas barreras y obstáculos como la planificación del proceso, el modelado del proceso y los estándares [4]. La ASTM ha definido una terminología para las tecnologías AM que provee una estructura para procesos y tecnologías específicas [5]. Además la tecnología FDM es una de las más populares donde el cabezal de impresión funde y extrude materiales formando la pieza final.

La planificación del proceso determina la secuencia de operaciones de fabricación así como la optimización del coste y del tiempo para fabricar piezas con tecnologías de AM incluyendo la dirección de fabricación, las estructuras de soporte y la generación de trayectorias del cabezal [6]. A nivel de datos, la planificación de procesos incluye la interpretación de parte de la información dada, la selección de las operaciones de deposición de hilo y el material utilizado. Como sabemos, la representación de datos en la planificación de procesos es una actividad para determinar la generación de capas, la planificación de trayectorias y el proceso de control basado en geometría sólida. Los estándares de datos basados en STEP en la actividad de la aplicación se utilizan para representar los datos de entrada, salida, control y recursos en el proceso digital [7]. STEP AP224 [8] y AP240 [9] proporcionan el modelo de datos de planificación de procesos en la fabricación tradicional general.

El proceso de fabricación en FDM añade principalmente información de fabricación y proporciona controladores numéricos con programas ejecutables e intercambiables en sistemas de CAM [10]. Sin embargo, los datos de proceso para AM definen los parámetros de fabricación que se utilizarán durante el proceso de fabricación específico, como la temperatura de impresión y la altura de capa, así como la descripción del cabezal de impresión requerido para el proceso de deposición. La norma ISO 14694 no solo es un modelo de datos de proceso para el intercambio de datos y el intercambio entre máquinas CAD / CAM y CNC, sino que también representa un enfoque orientado a objetos, información y preservación del contexto para la programación en control numérico en FDM [11]. En la sección 2, se presentan los desafíos de la planificación de procesos y el proceso de fabricación en AM. En la sección 3, se especifican el modelado de la información del proceso para la planificación del proceso y el proceso de fabricación basado en el estándar STEP y el lenguaje de modelado. En la sección 4, se evalúan las pruebas de confirmación de verificación y validación de datos de fabricación. En la sección 5, se procede a dar una conclusión.

2. DESAFÍOS ACTUALES EN AM

La implementación del flujo digital de AM depende principalmente de los datos y procesos de modelado, y de los estándares durante los ciclos de vida del producto [12]. Al comparar diferentes formatos de datos de AM, los estándares relacionados con STEP pueden ser una buena opción para integrar el diseño y la fabricación de productos para AM en el futuro. Sin embargo, aunque STEP aborda muchos problemas que permiten la comunicación para el intercambio de datos de productos, todavía hay muchos desafíos formidables relacionados con la planificación de procesos y procesos de fabricación que se pueden resumir de la siguiente manera:

- La representación de los datos del proceso en la planificación del proceso y el proceso de fabricación en AM no es exhaustiva, debido a la falta de vocabulario común;
- Los modelos de datos de procesos específicos, en la actualidad, se han definido en base a los estándares de STEP para la representación de la planificación de procesos y el proceso de fabricación;
- Es necesario la verificación de si el modelo de datos de proceso cumple con los requisitos de implementación e interoperabilidad en los sistemas de aplicación.

Para la interoperabilidad del sistema y el intercambio de datos en un entorno integrado, STEP tiene un potencial tremendo para el desarrollo de sistemas de fabricación integrados e interoperables. El sistema de modelado de información basado en STEP proporciona una fuente para el cambio de datos y el intercambio en el dominio de fabricación industrial.

Para resolver los problemas anteriores, se proponen tres soluciones principales:

- Diseño de un procedimiento para especificar el proceso digital en la planificación de procesos y el proceso de fabricación en AM;

- Propuesta de modelos de datos de proceso basados en STEP que se centran en el modelo de ARM y el modelo AAM para la planificación de procesos y el proceso de fabricación en AM;
- Evaluación de la conformidad de los modelos de datos propuestos de acuerdo con los criterios de intercambio e intercambio de datos.

Como sabemos, es necesario mejorar la interoperabilidad de varias aplicaciones de sistemas asistidos por ordenador, ya que estas aplicaciones requieren procesos integrados y estándares conformes. Por un lado, el proceso específico de AM incluye la planificación de procesos y el proceso de fabricación. La planificación del proceso describe no solo los procesos específicos de AM, incluyendo la orientación de la pieza, la estructura de soporte, la generación de capas y la determinación de rutas, sino también los requisitos, recursos, control y actividad [13]. Por otro lado, las normas STEP son para facilitar el intercambio de datos específicos de AM y el intercambio en sistemas interoperables. El intercambio de datos y el intercambio en la fabricación integrada por ordenador se han convertido en un importante punto de investigación para ampliar la fabricación inteligente en el futuro (es decir, Industria 4.0 en Alemania, *Made in China 2025*). El procedimiento de datos integrados de AM en la planificación de procesos y el proceso de fabricación se muestra en la Fig. 1. El procedimiento refleja la especificación del hilo digital en AM, que incluye conceptos de procesos, estándares relacionados, representación de modelos, lenguaje de descripción y evaluación de modelos.

La representación basada en STEP define el contexto y el alcance de los datos del producto y los recursos específicos para satisfacer las necesidades industriales en el proceso digital [14]. La implementación sistemática permite la interoperabilidad de la información del producto basada en el modelo de *application reference model* (ARM) y el *application activity model* (AAM). El modelo de datos basado en STEP describe las relaciones y restricciones de la información del producto y del proceso, incluidos los requisitos de información, las especificaciones de mapeo, los diagramas de actividad y los métodos de implementación.

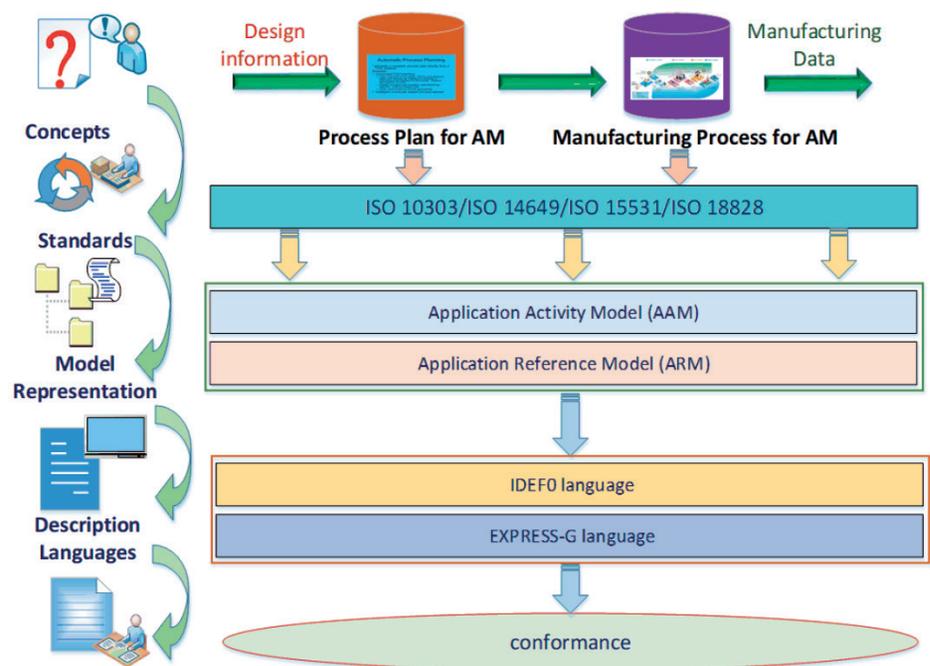


Fig. 1: procedimiento fundamental para especificar el proceso digital en AM

3. INFORMACIÓN DEL PROCESO FDM

En los procesos de AM, el proceso específico se puede dividir en dos partes: planificación del proceso y proceso de fabricación. El desarrollo de un proceso digital robusto permite la integración, la interoperación, la estandarización de la planificación de procesos y el proceso de fabricación para la producción industrial masiva en tecnología AM [15].

Para la planificación de procesos de AM, los programas de planificación de procesos asistida por ordenador crean una secuencia de información de planificación de impresión, que incluye la gestión de datos de fabricación, la generación de datos de pieza y la planificación de deposición con dispositivos de impresión adecuados y una ruta óptica. Sin embargo, con respecto al intercambio y la compartición de información de fabricación compleja y masiva en la tecnología de AM, es necesario representar la información del proceso de fabricación a través de datos de piezas específicas, requisitos de materiales, requisitos de equipos, especificaciones de recursos e intenciones de diseño con estándares industriales como la ISO 10303, la ISO 14649, la ISO 15331 y la ISO 18828 [16]. Además, al analizar la información de las piezas según los estándares de STEP, la definición de los datos de las piezas puede proporcionar la información necesaria para generar métodos ejecutables en la planificación de procesos. Finalmente, la planificación de procesos permite modificar cómo ejecutar las operaciones de mecanizado y optimizar los parámetros entre el proceso y el recurso de acuerdo con la secuencia de operaciones de la máquina AM.

Para el proceso de fabricación AM, la información de la pieza en el proceso solidificación capa a capa en FDM está muy relacionada e involucrada con las operaciones de deposición, las definiciones de dispositivos de impresión y los pasos de trabajo de deposición. Las operaciones de deposición se describen como una acumulación de operaciones básicas para agregar material impreso a la parte final. En resumen, para mejorar la interoperabilidad de las aplicaciones de sistemas asistidos por computadora, la estandarización del proceso de AM debe combinarse con el estándar STEP/STEP-NC para representar los planes de proceso y la información de fabricación, que abarcará las operaciones de fabricación, trayectorias de impresión, simulación del proceso de fabricación, inspección y optimización de tolerancia [17].

3.1 PLANIFICACIÓN DE PROCESOS

La planificación de procesos crea una serie de estrategias para optimizar la gestión de la información de fabricación, la adquisición de datos de piezas y la generación de datos de impresión en todo el ciclo de vida del producto. Tradicionalmente, la planificación de procesos determina la secuencia de operaciones de impresión coincidentes considerando solo con la fabricación de geometría, que ignora las asignaciones de materiales y equipos, la

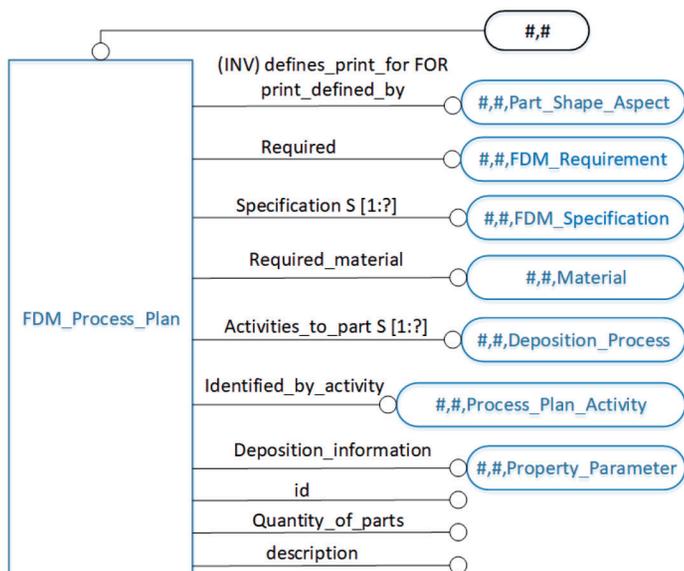


Fig. 2: Proceso de planificación para AM utilizando el lenguaje EXPRESS-G

gestión masiva de la producción, la enorme adquisición de datos y la interoperabilidad de varios sistemas. Con respecto a la planificación de procesos para el intercambio de datos en AM, el modelo de datos de procesos representa definiciones relacionadas con procesos, relaciones y actividades basadas en los estándares STEP.

STEP ha definido el lenguaje EXPRESS/EXPRESS-G para especificar los modelos de información a los conceptos orientados a objetos y de bases de datos, que comprende la entidad y el esquema para los modelos de productos que comparten tipos de datos, atributos y relaciones comunes. Como se muestra en la Fig. 2, se propone un modelo de datos de planificación de procesos FDM utilizando el lenguaje EXPRESS-G. El modelo de datos representa datos de planificación de procesos y sus relaciones para proporcionar estrategias de fabricación y parámetros optimizados en FDM. En primer lugar, *Part_Shape_Aspect* define la información del aspecto de la forma para el proceso de fabricación posterior, que incluye la forma teselada, la tolerancia geométrica, la representación del aspecto de la forma, el elemento de forma, la segmentación en capas y la capa de fabricación. El aspecto de forma representa la forma y el aspecto de la parte impresa, que se define por la geometría del modelo basado en elementos y definiciones de forma. Sin embargo, el modelo geométrico define la segmentación de este en una orientación determinada. La segmentación en capas proporciona información a la capa de fabricación con unas trayectorias específicas. *FDM_Requirement* presenta requisitos del material, de la deposición de este y del cabezal de impresión para determinar el complejo proceso de fabricación por FDM. *Material* define las necesidades específicas del material, tales como de que

Entidades de aplicación	Sus definiciones relacionadas con la planificación de procesos
Aspecto de forma	El aspecto de la forma representa la forma y la geometría de la parte de impresión.
Requisitos y especificaciones	El requisito presenta requisitos de material, deposición y cabezal de impresión para determinar el complejo proceso de FDM. Especificación específica la documentación que contiene información adicional.
Plan de proceso de la actividad	Describe toda la información y las actividades relacionadas con la deposición en todo el proceso de fabricación.
Proceso de deposición	Define la actividad del proceso de deposición, la actividad de configuración, la capa de fabricación, la deposición FDM y el tipo de operación de deposición.
Material	El material se utiliza para producir una pieza mediante una serie de procesos de fabricación.
Parámetro de propiedad	Es un factor importante en la planificación del proceso, que define el parámetro del material y el parámetro de deposición para proporcionar más información relacionada con la fabricación.

Tabla 1: Las definiciones fundamentales de entidades de aplicación en la planificación del proceso FDM

material se trata, el estado del material en polvo, etc. *Deposition_Process* se centra principalmente en el proceso de deposición para satisfacer la calidad depositada. El requisito del cabezal de impresión determina la calidad final de la parte de impresión, como la resolución de la parte. *FDM_Specification* especifica la documentación que contiene información adicional, como la especificación del material. *Material* se utiliza para producir una pieza mediante una serie de procesos de fabricación. La propiedad del material es uno de los factores más importantes para describir las propiedades del material para las partes impresas. Los puntos de fusión en la tecnología de FDM tienen una influencia significativa en la calidad y precisión impresas. *Deposition_Process* define la actividad del proceso de deposición, la actividad de configuración, la capa de fabricación, la deposición de FDM y el tipo de operación de deposición. La deposición de FDM define principalmente las instalaciones de operación para el proceso de impresión y elige el tipo de operación adecuada. La actividad del proceso de deposición y la actividad de configuración forman parte de *Process_Plan_Activity*. Describe toda la información y las actividades relacionadas con la deposición en todo el proceso de fabricación, incluido el programa de materiales, recursos, células y controlador. *Property_Parameter*

es un factor importante en la planificación del proceso, que define el parámetro del depósito y el parámetro del material para proporcionar más información relacionada con la fabricación posterior. Estas definiciones anteriores se muestran en la Tabla 1.

Sin embargo, es necesario presentar la actividad del proceso utilizando AAM basado en IDEF0 (Definición integrada para modelado funcional en el nivel 0). En el intercambio de información para planes de proceso, descomponemos los planes de proceso en tres actividades específicas usando IDEF0: *Manage Deposition Process* (A31), *Acquire Part Data Definition* (A32) y *Generate Deposition Data* (A33). Sin embargo, este modelo de actividad para la planificación de procesos apunta a (1) administrar los datos de fabricación en todo el ciclo de vida del producto, (2) adquirir toda la información relacionada necesaria para fabricar las partes deseadas y (3) generar una secuencia de datos de proceso para las operaciones, imprimir dispositivos y recursos. Este modelo presenta la entrada específica, el control, el mecanismo, y los datos de salida de la planificación del proceso.

Como se muestra en la Fig. 3, los datos de entrada de este modelo contienen los requisitos del cliente, los requisitos de materiales y equipos, los datos de las piezas y las especificaciones de los recursos. Los datos de control consideran principalmente las notificaciones de excepción del fabricante y del diseño. El mecanismo de este modelo es compatible con la ejecución de planes de proceso: software de gestión, sistema de interoperación y sistema de programación de NC. Los datos de salida de las cajas del programa de funciones contienen los requisitos de equipos y materiales, información de las partes, especificación de los datos de las partes, disponibilidad de recursos, datos de creación de prototipos de las partes, definición de los datos verificados y planes de proceso finales. Algunas salidas afectarían a otras casillas siguientes para determinar la salida final. Sin embargo, el primer cuadro implica la gestión de datos de fabricación, incluidos los materiales y equipos, el diseño, los datos de las piezas y los recursos. Es importante respaldar la decisión con información no relacionada con el producto que permite la capacidad del proceso de manufactura e información con recursos para cumplir con requisitos específicos en todo el ciclo de vida del producto. La segunda casilla adquiere información parcial para validar / verificar la interoperabilidad de las definiciones de datos a través del sistema de interoperación, que refina la información en tiempo real para facilitar la toma de decisiones para los planes de proceso. La tercera caja genera los datos de deposición que se van a ejecutar en las operación de impresión y los movimientos de impresión bajo el control de programación en STEP-NC. Los datos de deposición incluyen principalmente la orientación de construcción, la estructura de soporte, el corte y la impresión de rutas en la aplicación de planificación de procesos.

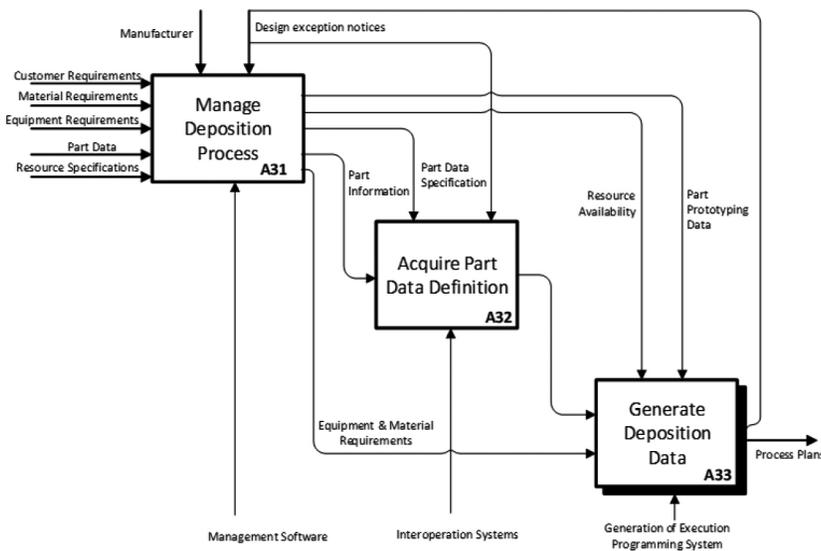


Fig. 3: Planificación de procesos basados en el modelo IDEF0 para FDM

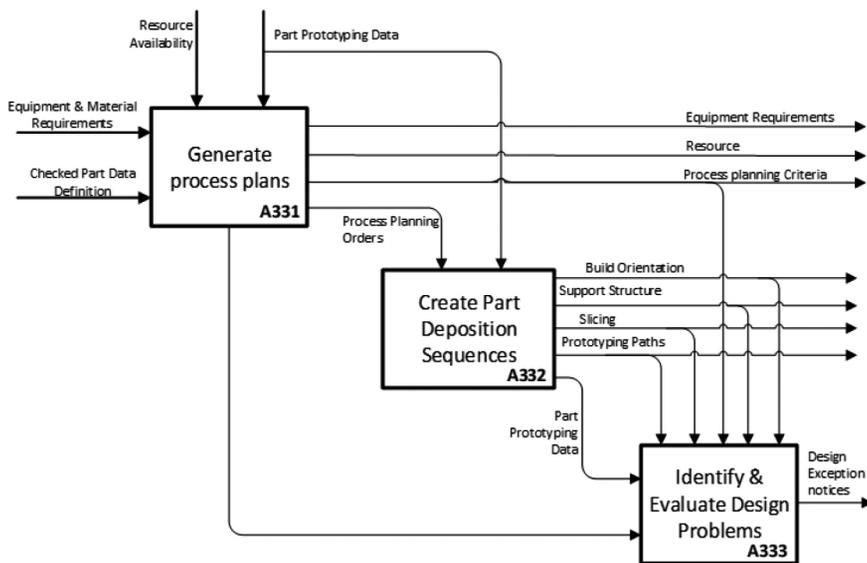


Fig. 4: Generar datos de deposición basado en modelo IDEF0 para FDM

Hemos descompuesto esta actividad en tres subactividades que se muestran en la Figura 4: *Generate Process Plans* (A331), *Create Part Deposition Sequences* (A332) y *Identify & Evaluate Design Problems* (A333). El propósito de la generación de datos de deposición es proporcionar secuencias de deposición para las operaciones de impresión y evaluar los problemas de diseño en la planificación del proceso. En primer lugar, al importar los requisitos de material y equipo y la definición de los datos de las piezas verificadas, los resultados de los planes aproximados del proceso se basan en el control de la disponibilidad de recursos y en los datos de impresión de las piezas. Luego, los planes de procesos aproximados resultarán en requisitos de recursos, criterios de planificación de procesos y órdenes de planificación de procesos. Además, los órdenes de planificación de procesos generarán una secuencia de operaciones específicas para AM: organización de compilación, estructura de soporte, segmentación e impresión de rutas. Finalmente, al comparar una secuencia de operaciones y criterios de planes de proceso, los problemas de diseño darán lugar a avisos de excepciones de diseño, que se retroalimentarán para reajustar los planes de proceso.

En conclusión, los estándares de planificación de procesos para la fabricación de sistemas de información se están desarrollando gradualmente para facilitar la interoperabilidad de sistemas complejos en el intercambio y compartición de datos. Especialmente para AM, la planificación de procesos tiene muchas diferencias con el proceso de fabricación tradicional, que necesita ampliar definiciones y modelos de datos de procesos específicos.

3.2 PROCESO DE FABRICACIÓN

El proceso de fabricación para AM específico contiene movimientos de la plataforma de fabricación, la estructura del cabezal de impresión / dispositivo de impresión, los parámetros de operación, las definiciones del encabezado / dispositivo, las normas y procedimientos in-derivables [18]. Sin embargo, el proceso de fabricación tiene poca información para permitir el intercambio y compartición de datos de proceso en el subproceso digital de AM. Actualmente, el propósito más importante de los sistemas de proceso es la interoperabilidad, que es la capacidad de un sistema numérico para intercambiar datos. La tecnología FDM es una de las tecnologías de AM más amplias para depositar el material fundido con la extrusión de alta temperatura. Se generan archivos ISO 14949 ejecutados por máquinas herramientas CNC [19]. Además, cada controlador puede acceder a los recursos de STEP a través de la interfaz de acceso a datos estándar (SDAI) o las consultas EXPRESS-G en lenguaje de marcado extensible (XML), que proporciona datos de STEP con operaciones de impresión. La información sobre el proceso de fabricación basado en STEP-NC ha definido el modelo de datos de proceso para FDM desde el diseño hasta la impresión final en el ciclo de vida de la fabricación. El proceso de información incluye la pieza de trabajo, la capa de fabricación, la operación de deposición y los pasos de trabajo de deposición

para FDM. Sin embargo, los datos de geometría normalmente se originan en CAD, que incluye toda la geometría terminada de la pieza. La capa de fabricación proporciona datos en capas basados en STEP descritos mediante el archivo de datos de STEP, que transfiere datos de geometría para hacer un plan de proceso para la parte de impresión. El proceso de fabricación obtiene, de manera similar, la información de la capa de fabricación y define con más detalle la secuencia de los pasos de movimiento para cada capa de la pieza, el cabezal de impresión y sus parámetros de fabricación. La definición completa de todos los pasos de trabajo en el plan de trabajo describe datos del cabezal de impresión, funciones de deposición, estrategias de deposición y otros datos de proceso. Los datos de proceso también incluyen operaciones de deposición, que se componen del cabezal de impresión, trayectorias del cabezal, estrategia de deposición FDM, tecnología FDM, funciones FDM y otros datos de proceso. En resumen, el modelo de datos de proceso está compuesto por varias entidades y sus relaciones definidas en el lenguaje de modelado de datos de STEP EXPRESS, y estos datos se proporcionarán al proceso de fabricación posterior basado en STEP-NC.

4. PRUEBAS DE CONFORMIDAD PARA INFORMACIÓN DE PROCESO

La prueba de conformidad es la prueba de un producto o proceso seleccionado por sus características específicas requeridas por un estándar para determinar si sus requisitos específicos son una implementación que se ajusta a la norma [20]. La implementación utilizará un caso de prueba específico para verificar si cumple con sus requisitos específicos de acuerdo con las herramientas de prueba, los datos de prueba y los criterios de veredicto. Los objetivos de las pruebas de conformidad son proporcionar un criterio para determinar si el estándar aplicado puede interoperar correctamente. En realidad, la parte 31 del STEP define los conceptos de pruebas de conformidad para la representación e intercambio de datos de productos en sistemas de automatización industrial e integración. Es muy importante evitar los errores al especificar los elementos definidos para los requisitos de conformación en el proceso de aplicación e interpretación. Para resolver estos problemas, el comité estándar lleva a cabo los estrictos requisitos de conformidad, el propósito definido de la prueba y otros requisitos específicos. Sin embargo, las pruebas de conformidad proporcionarán datos de entrada en un formato para verificar la corrección de la salida mediante criterios aplicados y herramientas de prueba con un sistema de referencia. Durante esta prueba, se debe considerar la salida de la semántica, la sintaxis y la estructura de los elementos definidos, ya sea que se ajuste a los requisitos de la norma aplicada.

Con el desarrollo de los estándares STEP, la integración de más información de aplicaciones promoverá las necesidades de conformidad e interoperabilidad para el producto y el proceso. Para

Entidades de aplicación	Sus definiciones relacionadas en FDM proceso de fabricación
Pieza AM	Para la pieza de trabajo de AM, los sistemas CAD diseñan sus datos de geometría y otra información para representar los datos relacionados.
Capa de fabricación	La capa de fabricación como una característica especial en AM proporciona datos de capa basados en STEP para describir la información de capa para la fabricación posterior.
Operaciones de deposición	Las operaciones de deposición se componen del cabezal de fabricación, sus trayectorias, la estrategia de deposición, tecnología FDM, funciones FDM y otros datos de proceso.
Pasos en AM	Para la pieza de trabajo compleja de AM, el paso de trabajo de AM describe la secuencia de pasos depositados.

Tabla 2: Definiciones de entidades de aplicación para el proceso de fabricación de FDM

AM, es necesario verificar la interfaz de datos de la planificación del proceso y el proceso de fabricación entre los sistemas CAD y los sistemas CAM, o los sistemas CAM y el mecanizado CNC. Debido a que la interfaz de datos primero transfiere los datos de diseño del producto para proporcionar información relacionada a la fabricación posterior, y luego la información de fabricación importará el control de mecanizado CNC para dominar el movimiento de la plataforma de control, la deposición del cabezal de impresión y otros controles de parámetros. Si alguna de las partes tiene un pequeño error, todo el sistema causará resultados impredecibles, lo que dará como resultado pérdidas impredecibles. Para las pruebas de conformidad entre sistemas CAD y sistemas CAM, las normas STEP deben cumplir con la información de diseño relacionada, la información del material, la información de tolerancia y la información de planificación de procesos. Sin embargo, las pruebas de conformidad para la planificación de procesos en FDM son imposibles de ignorar para la validación y verificación desde los datos del producto hasta la fabricación posterior. Por ejemplo, la ruta de planificación establecerá muchos criterios específicos para verificar las pruebas de conformidad de elementos específicos en FDM, incluida la desviación de ruta, el índice de pérdida de información, etc. Como sabemos, el estándar STEP-NC se aplica principalmente en el dominio de fabricación al definir las estructuras de datos entre CAM y CNC. Debido a las diferencias entre la fabricación tradicional y la fabricación aditiva, los datos detallados del proceso en los sistemas CAM necesitan redefinir parte del modelo geométrico y la información de la capa de fabricación. En el proceso general, los sistemas CAM producen datos STEP-NC, y luego la máquina CNC leerá la salida de los datos STEP-NC. El intercambio y la compartición de datos deberán probar su conformidad en el futuro.

5. CONCLUSIONES

En este artículo, hemos ampliado las definiciones de datos basadas en los estándares STEP / STEP-NC para representar los modelos de datos de proceso para la planificación de procesos y el proceso de fabricación en subprocesos digitales de AM. Hemos especificado el modelo de datos de planificación de procesos FDM utilizando el lenguaje EXPRESS-G, incluido el aspecto de la forma FDM, las especificaciones, el material, el proceso de deposición, la actividad del plan de procesos y los parámetros de propiedad. El modelo de datos representa los datos de planificación de procesos y sus relaciones para proporcionar estrategias de fabricación y parámetros optimizados en FDM. Además, se ha propuesto el modelo de datos de proceso para FDM desde el diseño hasta la impresión final del producto y durante todo el ciclo de vida de la fabricación. La información del proceso extiende los planes de proceso a la pieza de trabajo, la capa de fabricación, las operaciones de depósito y los pasos de trabajo de deposición para FDM. Las pruebas de conformidad e interoperabilidad hacen que la validación y verificación del modelo de datos de proceso comparen los criterios propuestos en la planificación del proceso y el proceso de fabricación, que depende principalmente del análisis de los resultados de los datos. En resumen, STEP y STEP-NC se convertirán en una tendencia a integrarse desde el diseño del producto hasta el proceso de fabricación en el subproceso digital de AM.

REFERENCIAS

[1] Pratt M. J. Introducción a ISO 10303-el paso estándar para el intercambio de datos del producto. Revista de Informática y Ciencias de la información

en el campo de la ingeniería. 1(1), 102-103 (2001).

[2] Ford S. fabricación aditiva tecnología : implicaciones potenciales para la manufactura de Estados Unidos. En: Revista de Comercio Internacional y Economía. 1-35. Washington DC, USA; 2014:

[3] Monzón, M. D., Z., Ortega, Ortega Martínez A. F. la normalización en fabricación aditiva: actividades realizadas por las organizaciones internacionales y de los proyectos. La revista internacional de avanzada tecnología de fabricación. 76(5-8), 1111-1121, (2015).

[4] Campbell I., D. Bourell, Gibson I. fabricación aditiva: prototipado rápido llega a la mayoría de edad. Rapid Prototyping Journal. 18(4), 255-258 (2012).

[5] ASTM F2792-12A. Terminología estándar para las tecnologías de fabricación aditiva. ASTM Inter. West Conshohoken, Pennsylvania (2012).

[6] Pande S. S. S. Kumar, un sistema de planificación del proceso generativo de piezas producidas por el prototipado rápido. Revista Internacional de Investigación sobre la producción. 46(22):6431-6460 (2008).

[7] S. M., Amaitik Kiliç S. E. Un proceso inteligente sistema de planificación para piezas prismáticas usando el paso características. La Revista Internacional de avanzada tecnología de fabricación. 31(9-10):978-993 (2007).

[8] ISO 10303-224. Sistemas de Automatización Industrial y la Integración - Parte 224: Protocolo de aplicación: definición de producto mecánico para el proceso de planificación con función de mecanizado. (2006).

[9] ISO 10303-240. Sistemas de Automatización Industrial y la Integración - Parte 240: Protocolo de aplicación: Proceso planes para productos mecanizada (2005).

[10] ISO 14649-10. Sistemas de automatización industrial y la integración -- modelo de datos para los controladores numérico computarizado - Parte 10: Proceso general (datos de 2006).

[11] Xiao J, respuesta N Durupt A., Le Duigou J, Eynard B, normas para el intercambio de información para el diseño, la tolerancia y la fabricación aditiva: un examen de la investigación. Revista Internacional sobre Diseño Interactivo y manufactura, 12(2), 495-504 (2018).

[12] Kim, D. B., Witherell, P., Lipman, R. & Feng, S. C. Racionalización de la fabricación aditiva espectro digital: un enfoque de sistemas. Fabricación aditiva, 5, 20-30 (2015).

[13] Newman, S. T., Zhu, Z., Dhokia, V. & Shokrani, A. planificación de procesos para tecnologías de fabricación, aditivos y sustractivos. CIRP anales, 64(1), 467-470 (2015).

[14] Burkett, W. C. & Yang, Y. El paso de la integración de la arquitectura de la información. Con los equipos de ingeniería, 11(3), 136-144 (1995).

[15] Pratt, M. J. La norma ISO 10303, el paso estándar para intercambio de datos del producto, y sus capacidades de PLM. Revista Internacional de Gestión del ciclo de vida del producto, 1(1), 86-94 (2005).

[16] Xiao J, respuesta N, un Durupt, Le Duigou J, Eynard B. Normalización centrarse en el proceso de planificación y gestión de operaciones para fabricación aditiva. En el avance de la mecánica, la ingeniería de diseño y fabricación (págs. 223-232). Springer, Cham (2017).

[17] Danjou ha, C. Le Duigou, J. & Eynard, B. Gestión de conocimientos de fabricación basado en paso-NC estándar: un enfoque de fabricación de bucle cerrado. Revista Internacional de la fabricación integrada por ordenador, 30(9) 995-1009 (2017).

[18] Suh, S. H., Chung, D. H., Lee, B. E., Shin, S., Choi, I., y Kim, K. M.. Paso-compliant sistema CNC para girar: modelo de datos, arquitectura e implementación. Diseño Computer-Aided, 38(6), 677-688 (2006).

[19] Živanović, S. T., & Vasilij, G. V.. Un nuevo método de programación CNC usando el paso-NC protocolo. FME Transacciones, 45(1), 149-158 (2017).

[20] ISO 10303-31, sistemas de automatización industrial y la integración -- Producto de intercambio y representación de datos - Parte 31: metodología de pruebas de conformidad y marco: Conceptos generales (1994).