

MANUFACTURA E INSPECCIÓN EN LAZO CERRADO BASADO EN STEP-NC, AP238 Y AP219

Email:

Resumo— En este artículo se presenta una descripción general del modelo de datos soportados por STEP-NC y su estructura, que permite implementar conjuntamente, tareas de manufactura e inspección apoyadas con los protocolos de aplicación AP238 Y AP219. Se expone el Flujo de información para un sistema en lazo cerrado de manufactura e inspección y el modelo de datos que soporta las actividades funcionales requeridas para una correcta integración en todos los niveles y fases del proceso de producción. El artículo finaliza presentando distintos enfoques investigativos derivados de los sistemas de manufactura e inspección en lazo cerrado que demandan atención y profundización, con el objetivo de incentivar investigaciones, promover discusiones y contribuir en la generación de propuestas de estudio.

Palabras-chave— Planificación de Procesos Asistida por Computadora, Integración, Sistemas de Manufactura, STEP, STEP-NC

1. Introducción

Los avances en la industria automovilística, aviación y otras áreas están soportados por la fabricación de piezas las cuales requieren tecnologías que garanticen precisión, repetibilidad en función de la máxima eficiencia. Es necesario integrar los distintos procesos involucrados en el desarrollo de una pieza, así como crear posibilidades para la generación de nuevas estrategias de control y formulación de soluciones a las actuales limitaciones que presenta la industria de manufactura.

Los sistemas en lazo cerrado de manufactura (CLMS) se emplea para optimizar un proceso de fabricación a través de los datos recopilados con el uso de tecnología de medición, que permiten obtener información de las piezas fabricadas y del comportamiento operacional de las maquinas herramienta. En un sistema de lazo cerrado se incorpora una estructura de datos con información de distintas fuentes como lo son resultados de inspección, tecnologías de Diseño asistido por Computador (CAD) y manufactura asistida por computador (CAM) para ser integrada en el proceso bajo la premisa de ser interoperable (Majstorovic et al., 2014; Hu et al., 2015).

La designación oficial de STEP es el estándar ISO10303. STEP proporciona una representación de la información de productos, junto con los mecanismos y las definiciones necesarias para que los datos se puedan intercambiar, almacenar, transferir, y acceder a ellos con distintas tecnologías. El estándar define los principios básicos de la representación de datos y el intercambio de productos utilizados en la norma ISO 10303. Para cada aplicación específica, STEP usa protocolos de aplicación (AP) entre los cuales se encuentran el protocolo AP219 destinado para el intercambio de información obtenidos de la medición en procesos de inspección y AP238 que permite asociar y conectar los lenguajes de sistemas de diseño (CAD) con procesos de manufactura asistida por computador (CAM) para determinar los requerimientos

de maquinado. STEP establece un entorno unificado para el intercambio de información entre el diseño del producto, mecanizado y planificación de procesos e inspección (Garrido et al., 2009).

Se han desarrollado las normas STEP (ISO 10303), AP219, y STEP-NC (ISO 14649) para utilizarlas como base en la normalización del proceso de inspección. Los sistemas de inspección emplean software basados en el formato STEP para procesamiento, donde se definen las instrucciones como posición, orientación, trayectorias para la máquina, puntos de medición sobre la pieza y punto de referencia, configuración de sistema de coordenadas, para finalizar con la captura de datos de medición (Zhao et al., 2011; Zhou et al., 2015; Laguionie et al., 2009).

2. Trabajos Relacionados con CLMS basados en STEP-NC.

Existen gran cantidad de trabajos relacionados con CLMS y se vislumbra una tendencia creciente producto de la incorporación de sistemas de inspección dentro del lazo. En esta sección se mencionan algunos trabajos relacionados con el manejo de datos soportados por STEP-NC que permiten formar un conocimiento sobre las bases fundamentales para la integración de CAD, CAM, CAPP, CAI Y CNC.

Po Hu, propone e implementa un CLMS basado en un controlador OPEN CNC y STEP-NC para realizar un control de mecanizado en línea y tiempo real. La arquitectura de CLMS es construida con las actividades funcionales, los mecanismos para información e interoperación y los principios para el control del mecanizado (Hu et al., 2015).

Qiu Huiying, Creó un subsistema CAM para maquinas herramientas de precisión CNC. Desarrolló tres modelos para incorporar automáticamente la información de características dentro de programas NC y obtener una simulación dinámica. Diseñó procesos de trabajo APP para extracción de características de maquinado con las cua-

les construyo las estructuras de subsistemas CAM y los módulos asistentes de mecanizado. Los subsistemas CAM los dividen en dos Modulo CAPP y NC Programming sobre el cual desarrollo su trabajo (Huiying, 2014).

X.W. Xu, presenta una recopilación de información sobre la integración e intercambios de datos en sistemas de manufactura tomando como referencia el estándar ISO 6983; mostrando las razones que promovieron y permitieron el surgimiento del estándar STEP y la evidente necesidad que la industria manufacturera presentaba por carecer de un estándar con las características de STEP para promover su evolución (Xu e He, 2004).

Christophe Danjou, enfoca su investigación en crear una propuesta basada en modelo OntoSTEP-NC para la configuración de lazo de manufactura basado en sistemas PLM. El objetivo principal es gestionar el conocimiento para el maquinado CNC en los sistemas CAM con la función de ayudar al programador CAM en hacer cambios para planeación de nuevas secuencias de maquinado buscando la retroalimentación de sistemas CNC para sistemas CAM. Considera importante integrar la información del reconocimiento de características con el conocimiento y razonamiento obtenido en operaciones de manufactura (Danjou et al., 2015).

Raphaël Laguionie, describe una propuesta para programación de trayectorias por la creación de un patrón repetitivo a lo largo de una curva guía. La integración de estrategias de patrones en el estándar STEP-NC impulsa al desarrollo de nuevas estrategias con mejores rendimientos y genera nuevas posibilidades para STEP-NC. Una completa cadena numérica soportada por STEP-NC y herramientas creadas para trabajar en el ciclo completo de manufactura permitió la integración de estos patrones dentro del contexto de manufactura inteligente. Varios casos de aplicación fueron experimentados en máquinas herramienta para validar este enfoque y la eficiencia de las herramientas desarrolladas (Laguionie et al., 2009).

X. W. XU, presenta una revisión comprensiva de desarrollos STEP-NC para un rango de procesos CNC. Incluye desarrollos con importantes contribuciones a nivel internacional así como los realizados por diferentes grupos de investigadores. Muestra una visión y perspectivas de aplicaciones STEP-NC para integración CAD, CAPP, CAM y CNC. Formula algunas cuestiones y desafíos para STEP-NC y provee un enfoque de cadena de proceso STEP-NC-COMPLIANT soportada para un producto y modelo de manufactura (Xu* et al., 2005).

C. Grabowik, describe en detalle una metodología para integración de sistemas CAD, CAPP, PPC basado en sus características tanto tecnológicos como de construcción, descomponiendo en módulos para estandarizar el proceso. Con la apli-

cación de este método es necesario descomponer el producto en sus características constructivas y generar un nuevo producto con la información analizada (Grabowik et al., 2005).

Fiona Zhao, proporciona un modelo de datos STEP-NC para una línea de inspección dentro de marco estructural de STEP-NC que permite maquinado en lazo cerrado. En la investigación el propósito principal es conseguir una total cadena cerrada de diseño asistido por computador, planeación de procesos, maquinado e inspección. Se desarrolla un nuevo interpretador para implementar la estructura propuesta y validarla con un caso de estudio (Zhao et al., 2008).

De acuerdo con esta corta investigación sobre el estándar STEP-NC como soporte para sistemas de manufactura en lazo cerrado, demuestra que la industria manufacturera y especialmente los procesos de fabricación de piezas estas enfrentando un cambio revolucionario por el aporte que ofrece el estándar en la comunicación bidireccional, interoperable y de fácil acceso para todos los niveles y fases del proceso de fabricación.

3. Arquitectura en lazo Cerrado de un Sistema de Manufactura e Inspección Basado en STEP-NC

En los sistemas de maquinado convencionales, las trayectorias de herramienta son generadas por plataformas CAM partiendo de un prototipo virtual CAD y son compactadas en un archivo de control numérico computarizado (NC) para un posterior procesamiento. El controlador numérico computarizado y la máquina de medición de coordenadas ejecutan el archivo de programa NC sin que exista la posibilidad de adaptar o corregir el archivo para enfrentar cambios producidos en el entorno de fabricación.

En el sistema de maquinado en lazo cerrado (CLMS) el proceso inicia con un modelo CAD 3D que transmite en un formato ya normalizado (AP203 o AP214) las características geométricas (feature) y datos de la pieza para ser extraídas posteriormente con el protocolo de aplicación (AP224). En las tecnologías CAPP/CAM/CAI se asigna una secuencia de operaciones normalizadas de maquinado (AP240, AP238, AP219), con valores óptimos para los parámetros de proceso, como son herramientas a utilizar, material e intercambio de información de los resultados de inspección, etc. El conjunto de operaciones asignadas a las características (feature) del producto se pueden agrupar y comparar con una base de conocimiento; esta tecnología permite la fabricación de la pieza bajo el modelo de datos STEP-NC que proporciona una interfaz de programación transparente e integrada para inspecciones off-line y on-line, así como también facilita la fabricación interoperable (Zhao, 2012; Xu, 2006).

El estándar STEP y STEP-NC define los principios básicos de la representación de la información y el intercambio de productos utilizados en la norma ISO 10303, también para cada aplicación específica, STEP usa protocolos de aplicación (AP). Una extensión es el estándar STEP-NC que define trayectorias independientes de herramientas, funciones para eliminación de volumen basado en características geométricas de la pieza, agrega dimensiones y datos de tolerancia para el sistema de inspección. Básicamente se combina el estándar ISO10303 con ISO 14649 que es el modelo de datos para control numérico computarizado que define los requerimientos para fabricación, compactados en el protocolo AP238 (Application Protocol 238)(Garrido et al., 2009).

3.1. Flujo de Datos en un Sistema de Manufactura en lazo Cerrado.

Un flujo integrado de información de manufactura del producto y un lazo cerrado son condiciones necesarias para implementar CLMS. Datos tecnológicos como condición de proceso de mecanizado y resultados de inspección, son necesarios para construir el flujo de información bidireccional en CLMS. El flujo de información en un sistema en lazo cerrado soporta básicamente cuatro actividades funcionales.

- Diseño y Creación de Piezas.
- Integración y Planeación de Procesos.
- Control de Procesos y Mecanizado e Inspección.
- Gestión del Conocimiento.

Los datos de salida en cada actividad funcional deben ser en formato neutral, que permita ser integrados con otra información. Mecanizado y procesos de inspección son definidos con información de alto nivel, los cuales pueden ser interpretados por el controlador evitando el post procesamiento.

Los parámetros de maquinados determinados por la planeación de procesos se realizan de manera online y en tiempo real, para analizar las condiciones de mecanizado y los resultados de inspección. La salida de datos de actividades funcionales como Integración y Planeación de Procesos y Control de Procesos y Mecanizado son retroalimentados a las actividades previas para ajustar el proceso de manufactura de forma continua, promoviendo la generación de conocimiento para futuros análisis donde se preserve la información que permita guiar y mejorar el proceso de manufactura.

La función "Integración y planeación de procesos" se encarga del reconocimiento y creación de fases de trabajo, tanto en mecanizado como en tareas de inspección online para formar un óptimo e

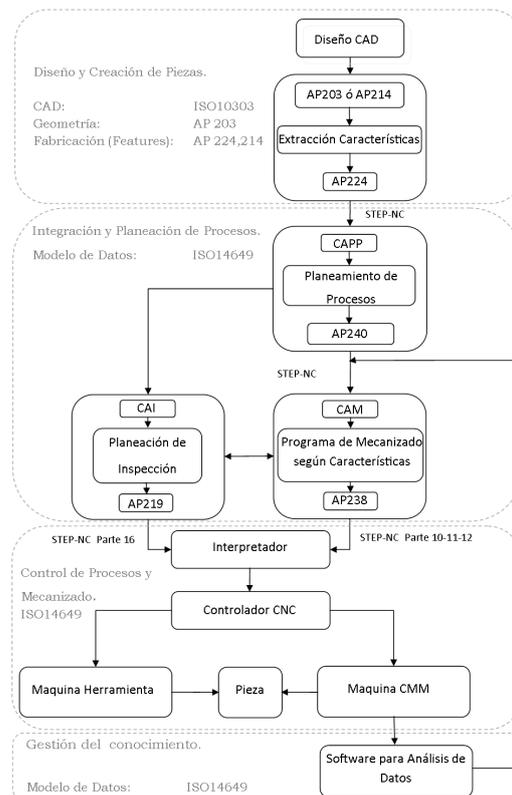


Figura 1: Descripción general del modelo de datos soportado por STEP para un CLM.

integrado plan de proceso. La información geométrica e información tecnológica son examinadas en cada fase y las modificaciones son enviadas para formar actividades.

En la figura.1. se presenta un esquema simplificado de la estructura de datos que soporta un lazo cerrado de manufactura e inspección, el cual incorpora las actividades funcionales soportadas por STEP-NC para mecanizado de piezas. En un sistema en lazo cerrado STEP-NC proporciona una estructura de datos en un formato neutral que representan el proceso y el producto para interrelacionarse e integrarse con otros datos generados posteriormente.

Existen varios estándares para transferencia de datos, los cuales conducen, separan y fragmentan el flujo de información. El diseño de piezas es usualmente ejecutado en plataformas CAD comerciales como Autocad, CATiA y UG/NX donde sus formatos por defecto son incompatibles y la conversión para un formato de datos neutral, tal como IGES, y STEP puede generar pérdidas de información.

Los planes de proceso de mecanizado son generados por plataformas CAM las cuales se focalizado en generación de trayectorias de herramienta sin contener información de alto nivel acerca de maquinados. Las trayectorias de herramienta son utilizadas para post- procesamiento o simulación

de mecanizado. Los planes de proceso de inspección y resultados de inspección son administrados por interfaces de medición DMIS (Dimensional Measuring Interface Standard) que definen un lenguaje neutral de comunicación entre sistemas de información y equipos de medición dimensional.

El estándar STEP Y STEP-NC integra información a través entidades. La mayoría de los controladores CNC existentes pueden ejecutar archivos de programa NC de G-CODE u otros comandos de control de movimiento ya sea para mecanizado o tareas de inspección. Los formatos para resultados de inspección son definidos por DML (Dimensional Markup Language), DMIS y STEP AP 219 y son usualmente grabados en archivos independientes y analizados por sub sistemas de alto nivel fuera de línea. Por consiguiente post procesamiento sigue siendo muy utilizado en el entorno actual.

3.2. Estructura, intercambio e integración de datos CAD/CAM.

Uno de los propósitos del modelo de datos STEP-NC es ofrecer una programación orientada a objetos en términos de características de manufactura y evitar las secuencias de funciones con código directo como estaba definido en la norma ISO 6983. Los objetos en este caso son características de manufactura y están asociadas a datos de proceso. El modelo de datos es una capa que provee una conexión estándar entre el interpretador del controlador y los datos suministrados por diferentes fuentes como sistemas CAD/CAM, librerías e interface de usuario gráficas (Xu e He, 2004).

El modelo de Datos STEP-NC es descrito en un archivo con formato acorde a ISO 10303- 21 con dos secciones encabezado y datos de proceso. La sección encabezado (Header) contiene solo información general y comentarios sobre el programa (Filename, author, Date, Organization). La sección datos de proceso (Data) contiene información como geometría, características y tareas de manufactura (Danjou et al., 2015; Kumar et al., 2010). El contenido de esta importante sección se subdivide en:

- Workplan and executables.
- Workingstep and Machine Operations.
- Manufacturing feature description.
- Geometric description.

La figura 2 muestra la relación de los datos ISO14649. La estructura y el propósito del conjunto de datos que definen características y datos de procesos son descritos en la norma (ISO 14649-10).

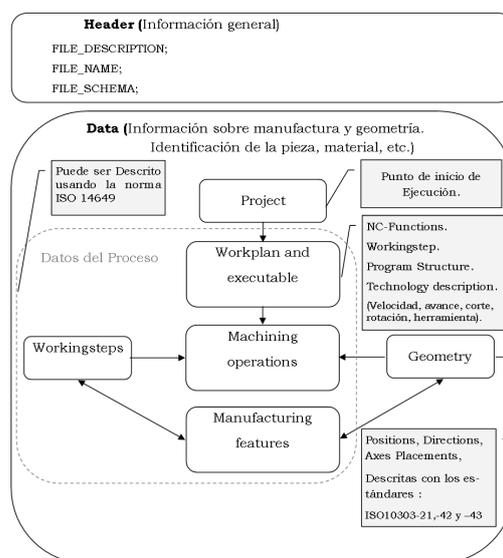


Figura 2: Estructura general de datos de ISO 14649.

La entidad “project” en la sección “Data” sirven como referencia para el inicio de las tareas de manufactura, puede contener un plan de trabajo principal (Workplan) con secuencias, subconjuntos de tareas y ejecutables o comandos de manufactura (Executables), también pueden incluir información de piezas de trabajo para sus maquinados (Danjou et al., 2015; Kumar et al., 2010).

Datos del proceso: Esta parte de ISO 14649 especifica los datos del proceso que son necesarios para programación NC dentro de todas las tecnologías de maquinado. Establecen la relación entre el control numérico computarizado y el sistema de programación encargado de proporcionar la estructura de control para la ejecución del programa en el controlador numérico, las secuencias de fases de trabajo y funciones asociadas a la máquina además de contener información geométrica y tecnológica. Otras tecnologías de maquinado son introducidas en la norma ISO 14649-12 en tecnologías específicas.

Workplan and executables: Los “executables” inician acciones en una máquina y son ordenados por el plan de trabajo (Workplan), puede ser de tres tipos: Workingstep, Program Structure y NC-Functions. “Workingstep” representan los bloques para construir las tareas de manufactura, cada bloque describe una operación. El “Program Structure” puede seguir el flujo de sentencias como “Parallel”, “if” y “while” y en un “Workplan” combinar varios ejecutables de forma secuencial o paralelo, dependiendo de las condiciones dadas. El orden de ejecución de las operaciones de manufactura es dada por los “executables”. Sentencias “NC-Function” son incluidos en el programa, las posibles sentencias “NC- Functions” son definidas

en el estándar ISO 14649-10(Organisation, 2002).

Workingstep and Machine Operations:

Contiene en detalle y definidos completamente todos los workingstep usados en el plan de trabajo (Workplan). Incluye la descripción de tecnología, datos de herramienta, funciones de maquinado, estrategias de maquinado y otros datos de proceso. En esta descripción esta una definición del "Work-piece" y todas las características de la pieza finalizada. La descripción de las herramientas incluye las dimensiones, tipo y otros datos usados para identificar el uso y condiciones de la herramienta. Todos los datos para fresado están especificados en la norma ISO 14649-111. La descripción de la tecnología será extensa para varias operaciones y es destinada para ser usada por computadores o manipulada a través de interfaces gráficas para usuarios(Organisation, 2002).

Geometric description: Sistemas CAD y CAM tienen estandarizados sus datos de intercambio de producto, especialmente la descripción geométrica con (ISO 10303-21,-42 y -43). Todos los datos de geometría para "WORKPIECES" y "MANUFACTURING FEATURE" son descritos usando ese formato. Estos datos pueden ser usados directamente por el CNC para evitar conversiones a otros formatos de datos que puedan resultar en reducción de exactitud(Organisation, 2002).

Manufacturing feature description: ISO 10303-224 (and ISO 10303-214) definen las características de manufactura que ayudan al desarrollo de un plan de proceso de maquinado. ISO 14649 toma este formato y define características que son referenciadas dentro del plan de proceso, extrayendo las características de ISO 10303-224 y direccionándolas para la máquina herramienta que producirá la pieza. Las relaciones son determinadas entre la asignación de las características de manufactura y la configuración de la herramienta de corte de la máquina(Organisation, 2002; Organisation, 1992).

4. Lazo Cerrado de Manufactura e Inspección.

Un lazo cerrado de manufactura (CLM) es considerado un método para optimizar eficientemente un proceso de manufactura. Esto implica el uso de tecnología de medición, por lo general obtienen información de sensores de tacto o máquinas de medición de coordenadas, para determinar las dimensiones geométricas de piezas fabricadas con máquinas herramienta. Los ciclos de CLM consisten en la medición, recopilación de datos, análisis de los datos, y ajuste o planificación de proceso. El lazo se cierra cuando se controlan las mediciones y cuando se están utilizando para mejorar el proceso de fabricación. Los datos que se recogen durante las mediciones es la base para optimización orientado a diferentes aspectos del

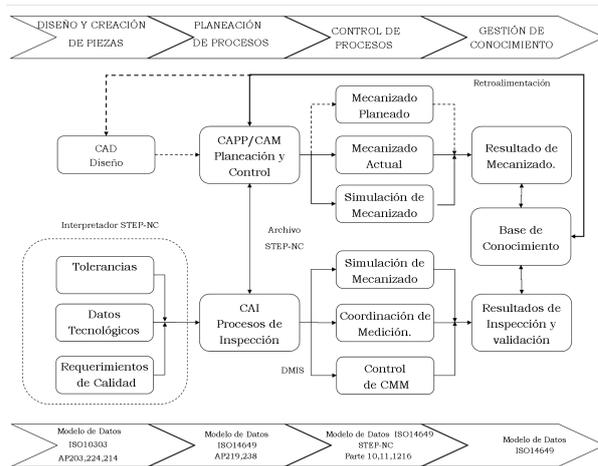


Figura 3: Esquema en lazo cerrado de manufactura e inspección basado en STEP-NC AP238 y AP219.

proceso de fabricación. Estos datos no sólo se utilizan y se aplica dentro del control de la máquina para ajustar las compensaciones, sino que también es utilizado para analizar los datos de proceso a través del tiempo para evaluar las configuraciones, modificar los requisitos de tolerancia o para utilizar los conocimientos adquiridos para un mejor diseño(Zhao et al., 2011; Lucena, 2009; Fecova e Kocisko, 2013).

En la figura.3 se presenta el esquema en lazo cerrado de manufactura e inspección que soporta las actividades funcionales y el modelo de datos utilizado.

4.1. Planificación e Inspección Asistida Por Computador (Caip).

CAIP (Computer-Aided Inspection Planning) se han desarrollado en la mayoría de veces para máquinas de medición de coordenadas (CMMs). La planificación de inspección asistida por computador se puede clasificar en dos tipos, control de tolerancias y sistemas basados en la geometría. La planificación del proceso de inspección es una parte integral en el diseño y las actividades de manufactura, determina qué características de un producto han de ser inspeccionados, dónde y cuándo (Abouel Nasr, 2012; Organisation, n.d.).

La Inspección de piezas y productos es un módulo importante en la fabricación integrada, las decisiones tomadas en el curso de planificación de procesos tienen un efecto significativo en la calidad del producto resultante, en el tiempo de producción y el costo. Acoplar procesos de planificación de manufactura con procesos de planificación de inspección permite obtener un lazo que asegura la calidad del producto deseada.

On-Machine Inspección (OMI) o On-Machine Medición (OMM) ha sido ampliamente utilizado como equipo de medición para inspecciones direc-

tas en la industria manufacturera y control de calidad. OMI es un proceso que integra el diseño, mecanizado, inspección y aspectos de la fabricación que permiten a un producto ser inspeccionado directamente en una máquina herramienta mediante el uso de la máquina como dispositivo de inspección mientras que la pieza conserva su sistema de coordenadas de fabricación para la inspección.

El modelo de datos STEP-NC permite una interfaz de programación transparente e integrada para OnMachine inspecciones, así como la fabricación interoperable. Por el suministro de información de alto nivel para el mecanizado de los sistemas, no sólo elimina el proceso costoso e ineficiente de post-procesamiento de datos, también establece un entorno unificado para el intercambio de información entre el diseño del producto, mecanizado planificación de procesos y la inspección

5. Conclusiones y tendencias de la investigación.

En esta sección del artículo, se presenta distintos enfoques investigativos derivados de los sistemas de manufactura e inspección en lazo cerrado que demandan atención y profundización, con el objetivo de incentivar investigaciones, promover discusiones y contribuir en la generación de propuestas de estudio.

El estándar STEP-NC se está consolidando como una importante solución para el manejo de datos y el intercambio de conocimiento. Funciones como extracción de características soportan las actividades tanto de manufactura como de inspección. Crear soluciones tecnológicas que automaticen el proceso de creación y extracción de características de un producto, asistan la etapa de diseño en función de los aspectos técnicos que soportan las fases de desarrollo y producción y brinde un entorno para simulación, análisis y validación, permitirá optimizar los recursos en función de las capacidades propias de la planta de producción. Es un camino abierto para incorporar en estas soluciones métodos de inteligencia artificial. La fase de diseño es la actividad creadora que brinda las propiedades formales de un producto y las decisiones adoptadas en esta fase fijaran los costos de calidad y de facilidad de fabricación de un producto.

Es necesario generar soluciones tecnológicas basadas en el estándar STEP-NC para manejo de datos que faciliten el intercambio en los distintos niveles de manufactura y fases del proceso de producción. Las soluciones deben promover la comunicación bidireccional, interoperabilidad, libre acceso, evitar la pérdida de información que ocurre con el manejo de distintos formatos y sobre todo salvaguardar el conocimiento que puede ser adherido en cualquiera de las fases y niveles. El correcto manejo del conocimiento permitirá opti-

mizar la producción, promover la mejora continua en todos los niveles, evitar el retrabajo, ahorrar tiempo y soportar el concepto de ingeniería concurrente en sistemas de producción.

El proceso de inspección está fuertemente ligado a la experiencia del operario, piezas con formas irregulares y superficies complejas dificultan el proceso de medición. El resultado de este proceso depende de las decisiones que se tomen sobre: número de puntos para medición, posicionamiento de estos puntos sobre la pieza, trayectorias para recorrer estos puntos con la sonda de medición. Es necesario crear alternativas y métodos para optimizar la ejecución de estas tareas basadas en la información contenida en un archivo STEP-NC. Algoritmos genéticos, métodos soportados por inteligencia artificial, controles inteligentes como fuzzy ya están siendo vinculados en la generación de soluciones. El objetivo es encontrar el número de puntos óptimos, su posición sobre la pieza y la mejor trayectoria a seguir para ejecutar la inspección que permita, capturar información de calidad, cuantificar el error con la menor incertidumbre posible y reducir el tiempo y los recursos utilizados el proceso de inspección. Aunque progresos significativos se han logrado, la inspección de piezas presenta aun vacíos como es la identificación de restricciones asociadas a piezas complejas que dificultan la implementación en procesos automatizados.

Las bondades del estándar STEP-NC permiten que el sistema de control de procesos de mecanizado e inspección ya no solo ejecute las secuencias de instrucciones y las transforme en posiciones articulares de la máquina CNC, sino que tome un rol más activo dentro del lazo de manufactura. Es un área amplia con infinidad de posibilidades si se involucran una instrumentación adecuada de las cuales se pueden obtener resultados como: controles inteligentes capaces de optimizar el orden de ejecución de operaciones de manufactura para reducir el tiempo, mejorar la calidad del producto, evitar colisiones y accidentes, velocidades de corte autorreguladas para mantener la temperatura de la herramienta en valores ideales, autoajuste de los parámetros óptimos de mecanizado e inspección cuando se ven afectados por perturbaciones externas o cambio del entorno de trabajo. Estrategias de control ya muy estudiadas como control adaptativo, predictivo, óptimo, multivariable, inteligente pueden ser vinculadas en los sistemas de control de máquinas para de mecanizado e inspección.

En un ciclo de trabajo de un sistema de manufactura e inspección en lazo cerrado se genera información que puede ser muy útil compartir, analizar y almacenar. Crear distintos modelos y estructuras para administrar este flujo de información adquirida, que permita el mayor aprovechamiento es aun objeto de estudio y análisis. Conservar la

información más relevante con la que se obtiene los mejores resultados requiere de una estructura que permita tomar decisiones sobre qué datos deben prevalecer y cuales se deben transformar. Se requiere crear distintos modelos y estructuras de datos con definiciones para dispositivos de medición, dimensionamiento geométrico y tolerancias que soporten la planeación de inspección y que integre completamente las etapas de diseño manufactura e inspección en un sistema de lazo cerrado soportado por el estándar STEP-NC.

Referencias

- Abouel Nasr, E. S. (2012). A methodology for integrating cad and automatic inspection of standard manufactured features, *International Journal of Rapid Manufacturing* **3**(1): 70–88.
- Danjou, C., Le Duigou, J. e Eynard, B. (2015). Closed-loop manufacturing process based on step-nc, *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)* pp. 1–13.
- Fecova, V. e Kocisko, M. (2013). The principle of measuring by coordinate measuring machines and new possibilities of work with these machines, *Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), 2013 IEEE 11th International Symposium on*, IEEE, pp. 101–104.
- Garrido, J., Marin, R. e Ignacio, J. and Saez, J. (2009). Extensión del estándar iso 10303 ap-238 para la automatización del acceso a datos de procesos cnc., *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI* **6**(1): 105–116.
- Grabowik, C., Kalinowski, K. e Monica, Z. (2005). Integration of the cad/capp/ppc systems, *Journal of Materials Processing Technology* **164**: 1358–1368.
- Hu, P., Han, Z., Fu, H. e Han, D. (2015). Architecture and implementation of closed-loop machining system based on open step-nc controller, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* pp. 1–15.
- Huiying, Q. (2014). Research on nc simulation technology integrating CAD/cam/capp, *Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2014 7th International Conference on*, pp. 551–554.
- Kumar, S., Newman, S. T., Nassehi, A., Vichare, P. e Tiwari, M. K. (2010). An information model for process control on machine tools, *Proceedings of the 6th CIRP-Sponsored International Conference on Digital Enterprise Technology*, Springer, pp. 1565–1582.
- Laguionie, R., Rauch, M. e Hascoët, J.-Y. (2009). Toolpaths programming in an intelligent step-nc manufacturing context, *arXiv preprint arXiv:0905.3079*.
- Lucena, H. (2009). *Geração de estratégias de medição de superfícies complexas em sistema CAD para máquinas de medir por coordenadas*, PhD thesis, Dissertação de Mestrado, Universidade Metodista de Piracicaba (UNI-MEP).
- Majstorovic, V., Sibalija, T., Ercevic, M. e Ercevic, B. (2014). Cai model for prismatic parts in digital manufacturing, *Procedia CIRP* **25**: 27–32.
- Organisation, I. S. (1992). Iso 10303 industrial automation systems product data representation and exchange part 11: Description methods: The express language reference manual, *ISO DIS* pp. 10303–11.
- Organisation, I. S. (2002). 14649-1. industrial automation systems and integration physical device control-data model for computerized numerical controllers-part 1: Overview and fundamental principles draft international standard.
- Organisation, I. S. (n.d.). 10303-224 (1995) industrial automation systems product data representation and exchange part 224: Mechanical product definition for process planning using machining features, *ISO Document ISO CD* pp. 10303–224.
- Xu, X. (2006). Realization of step-nc enabled machining, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* **22**(2): 144–153.
- Xu, X. e He, Q. (2004). Striving for a total integration of cad, capp, cam and cnc, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* **20**(2): 101–109.
- Xu*, X., Wang, H., Mao, J., Newman, S., Kramer, T., Proctor, F. e Michaloski, J. (2005). Step-compliant nc research: the search for intelligent cad/capp/cam/cnc integration, *International Journal of Production Research* **43**(17): 3703–3743.
- Zhao, F., Xu, X. e Xie, S. (2008). Step-nc enabled on-line inspection in support of closed-loop machining, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* **24**(2): 200–216.
- Zhao, Y. F. (2012). *An integrated process planning system for machining and inspection*, PhD thesis, University of Auckland.

Zhao, Y., Kramer, T., Brown, R. e Xu, X. (2011). *Information modeling for interoperable dimensional metrology*, Springer Science & Business Media.

Zhou, Q., Yang, J., Wu, J., Tian, Y., Wang, J., Jiang, H. e Li, K.-C. (2015). An improved algorithm to convert cad model to mcnp geometry model based on step file, *Annals of Nuclear Energy* **78**: 81–88.