

Gestión integral de herramientas en un centro productivo sin pieza seriada

Cutting tool management in a facility without serial production

Arkaitz Beristain-Aristondo¹, Luis-Miguel Cercadillo-Hernando², Raúl Fernández-Manchado³ y Oier Zelaieta-Garate¹

¹ IK4-IDEKO (España)

² GOIMEK (España)

³ Escuela Politécnica de Mondragón (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/9405>

En un centro productivo de fabricación de piezas por arranque de viruta una de las partes importantes, no la única, son las herramientas de corte. Una herramienta no puede abarcar todas las operaciones que son necesarias realizar para la fabricación de una pieza concreta pero diferentes herramientas si pueden realizar operaciones para poder obtener una misma característica final de la pieza. Este ultimo punto unido a que en un centro de fabricación existen diferentes técnicos en la definición de procesos de mecanizado, como resultado se tiene la convivencia de diferentes métodos de fabricación. El método de fabricación se entiende como el modo de hacer las cosas para obtener una característica de la pieza mediante estrategia de mecanizado, herramienta y condiciones de corte a utilizar.

La mezcla de diferentes métodos de fabricación contribuye en mayor o en menor medida a tener diferentes referencias de herramientas de características similares, lo que aumenta en cantidad el inventario sin necesidad aparente. De todos modos, es mejor tener en stock más herramientas (con el coste que supone de compra y almacenaje) que llegar a parar la máquina por falta de disponibilidad de herramientas [1].

La gestión de herramientas es el responsable de gestionar todas las actividades relacionadas con el manejo de las herramientas como el almacenaje, ensamble de herramientas, medición de herramientas, aprovisionamiento de herramientas, desmontaje de herramientas, mantenimiento de herramientas y la retirada de herramientas fuera de servicio. La alta disponibilidad de herramientas es uno de los grandes objetivos de la gestión de herramientas

[3]. Para asegurar la alta disponibilidad de herramientas, en entornos industriales se tiende a tener un gran inventario de herramientas, que supone un gran coste económico. El conflicto resultante entre una alta disponibilidad de herramientas y un bajo inventario de herramientas es uno de los más importantes en la gestión de herramientas [2]. Una alta disponibilidad de herramientas se refiere a tener la herramienta detallada, en el momento necesario, en el sitio necesario, en la cantidad requerida y en las condiciones correctas [5]. Mason [6] dice que el 20% del tiempo del operario se utiliza en la búsqueda de herramientas de corte. Reduciendo este tiempo de búsqueda se incrementa la disponibilidad de herramientas. Por otra parte, en un estudio de Jendoubi [7], en el que se estudian cinco compañías con una fabricación de componentes variable, expone que el 30% del tiempo total de preparación, que incluye las acciones de la búsqueda, ensamblaje, medición de herramienta, se necesita para la búsqueda de componentes.

Otro de los objetivos de la gestión integral de herramientas es la baja cantidad de inventario. Normalmente al acabar un trabajo se guardan en el almacén, pero no se registra el inventario de las herramientas que están en circulación. En algunos casos, además, una vez finalizado el pedido, las herramientas no vuelven a su sitio designado en el almacén, sino que se almacenan en sitios cercanos a la máquina para garantizar una alta disponibilidad en una máquina u operario. Se asume que el numero de herramientas que se encuentran en estas áreas es cercano al 15% [8]. De todos modos, estas herramientas no están disponibles para otros. Los operarios que necesitan estas herramientas tienen que pedir que se compren nuevas herramientas, resultando en un incremento de inventario. Otro de los factores que incrementan el inventario es el mantener en el almacén herramientas que no se han utilizado en un largo periodo [3].

El potencial que tiene la digitalización en la industria de la fabricación es muy fuerte. La digitalización es la conversión de texto, imágenes o sonidos en formato

digital que se pueda procesar por ordenador. La revolución no es la digitalización si no que establecer redes de sistemas técnicos que se comunican entre sí [3]. La cada vez mayor digitalización en la fabricación proporciona una multitud de oportunidades para poder aumentar la productividad y eficiencia [4]. En general no se tiene en consideración que las herramientas son responsables de un tercio del coste total de fabricación y existen varios aspectos potenciales de mejora, que se puede realizar gracias a la digitalización [3].

Aunque la digitalización puede proporcionar muchas mejoras potenciales, un estudio de Fraunhofer IPA expone que el 45% de 200 empresas consultadas no han realizado la inmersión en la digitalización [3].

Schaup et al [3] describe la Industria 4.0 como la conexión entre procesos físicos y virtuales mediante sistemas ciber físicos, que están conectados horizontalmente y verticalmente en tiempo real. La revolución no es la digitalización en si, si no que la posibilidad de establecer conexiones entre diferentes sistemas en tiempo real.

El presente trabajo viene a mostrar el primer paso hacia la integración de la gestión de herramientas en lo que se define como Industria 4.0, que es la digitalización. En este caso la digitalización en cuanto a la gestión de herramientas de una empresa de mecanizado con lotes de pieza muy reducidos y de tamaño medio-grande.

1. MÉTODOS DE ESTANDARIZACIÓN

El proceso de mecanizado para obtener una determinada forma es un conjunto de operaciones que posibilitan llegar a la forma final deseada. En centros de fabricación de cierto tamaño los encargados de plantear los procesos de mecanizado son los técnicos del departamento de ingeniería. En muchos casos prevalece la experiencia personal de cada técnico por encima de las opciones más optimas en cada caso. Esto no quiere decir que se descarte la opción que podría ser más optima, sino que puede que no se tenga conocimiento de otras posibilidades existentes. Por este motivo es posible que exista gran variación entre las definiciones de proceso entre diferentes técnicos. La convivencia de diferentes técnicos de procesos de mecanizado también dificulta la compresión de los operarios de máquina, siendo el proceso de mecanizado que se recibe diferente.

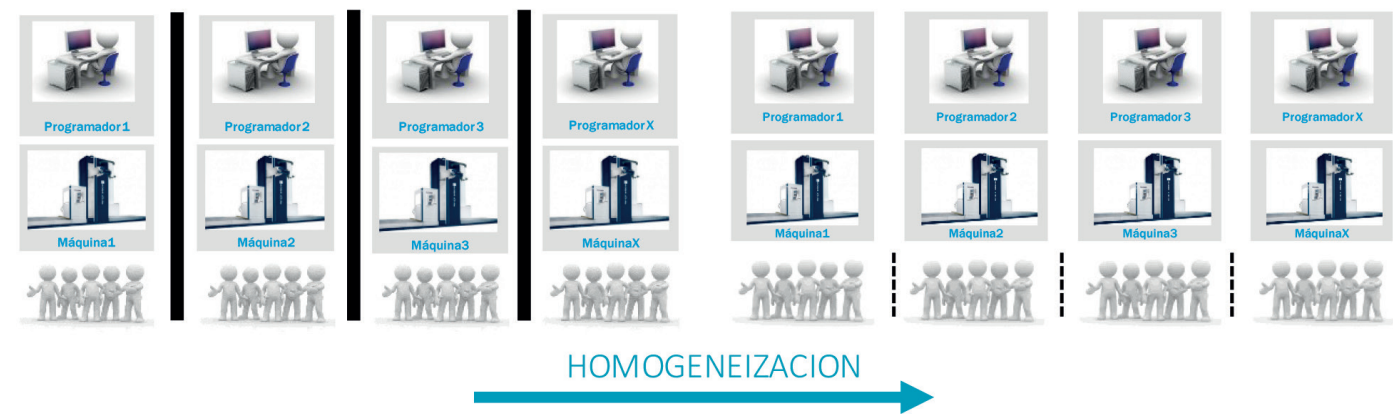


Fig. 1: Cambio de escenario entre estado inicial y después de la definición de métodos estándares

Esta variabilidad de proceso también influye en el número de referencias de herramientas existentes en inventario. Tal como existen diferencias en la definición de proceso en las herramientas también se da el caso de que para un mismo tipo de operación a realizar cada técnico tenga mayor predilección acerca de una referencia de herramienta.

En este sentido uno de los puntos importantes para poder llevar a cabo una gestión de herramientas eficiente es la de homogeneizar los procesos de mecanizado mediante la definición a nivel de toda la planta los métodos de fabricación a utilizar, tanto las estrategias de mecanizado como las herramientas y condiciones de corte. La definición de estas reglas hace que el modo de trabajar sea homogéneo para toda la planta sin la existencia de islas aisladas entre sí. De este modo se produce la demolición de paredes virtuales entre diferentes modos de trabajar como se muestra en la siguiente imagen.

Debido a la homogeneización quedan definidos con qué herramientas se van a realizar cada tipo de operaciones, esto conlleva que la evolución del inventario se vea reducido en cuanto a referencias diferentes concierne, facilitando de cierta manera la gestión de herramientas por la disminución de referencias.

2. DIGITALIZACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS

El nivel de digitalización en cuanto a herramientas al inicio del proyecto era reducido por no decir inexistente. Se trabaja con sistemas CAD/CAM para la generación de programas de mecanizado y también se hacía uso de herramientas de simulación de proceso para poder verificar, sobre todo, posibles interferencias entre cuerpos.

A la hora de digitalizar las herramientas se ha buscado una plataforma que pueda dar la opción comunicarse entre diferentes

plataformas. Los requisitos mínimos que se buscaban cumplir eran los siguientes:

- Comunicación con CAD/CAM.
- Comunicación con simulador de proceso.
- Capacidad de generar documentación detallada.
- Comunicación con máquinas presetting.
- Comunicación con máquinas.
- Módulos que posibiliten evolución en el futuro en la gestión de herramientas.

Después de analizar varias opciones la opción que más se acercaba a las necesidades requeridas era el sistema de TDM SYSTEMS (grupo SANDVIK).

En el estado inicial no existían apenas comunicaciones digitales entre diferentes plataformas como se muestra en la Figura 2.

Las herramientas, de una forma aproximada, se creaban en la herramienta CAM por ser necesario para el cálculo de trayectorias. Gracias al interface existente entre la plataforma CAM y el simulador era posible utilizar las herramientas creadas en el sistema CAM en el entorno de simulación. No existía ninguna más información acerca de las herramientas en formato digital.

La lista de herramientas de cada artículo a fabricar constaba de indicaciones generales de las herramientas, pero no se especificaba el montaje exacto de los mismos. En cuanto a los correctores medidos en la máquina presetting se apuntaba cada valor a mano y el operario los introducía manualmente en la máquina. El grado de digitalización y conexión entre diferentes al inicio del proyecto era mínimo por no decir que era inexistente.

2.1. INVENTARIO Y ADECUACIÓN

El primer paso después de definir los métodos de fabricación ha sido realizar el inventario existente en todo el centro productivo de elementos de herramientas de corte. Una vez se conoce el estado real del inventario se procede a adecuar este inventario a los métodos de fabricación que han sido definidos. Debido a que un cambio brusco del inventario para acercarse a la situación definida por los métodos de fabricación supondría una inversión considerable, se ha realizado la transición escalonadamente teniendo en cuenta el grado tecnológico de las herramientas y el número de referencias a sustituir. El orden

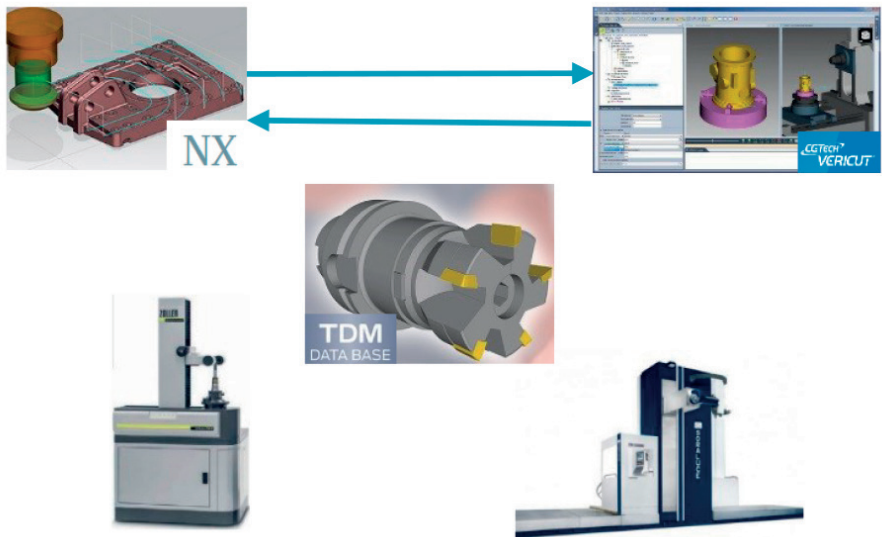


Fig. 2: Estado inicial de comunicaciones entre diferentes

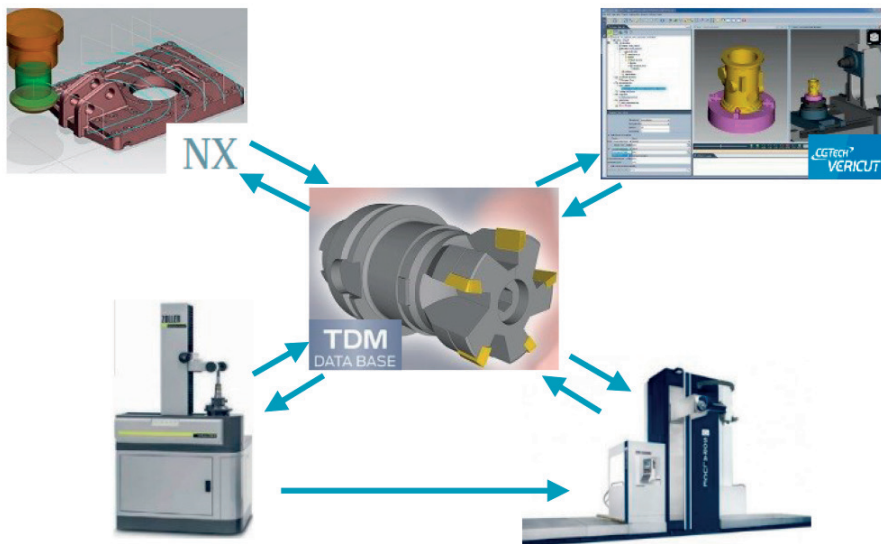


Fig. 3: Relaciones entre diferentes plataformas

de sustitución de herramientas ha sido el siguiente:

1. Herramientas de poca capacidad productiva que estaban almacenadas, pero no estaban en uso. Se guardaban "por si acaso".
2. Herramientas de poca capacidad productiva y sustitución por aquellas que se han definido en los métodos tecnológicos.
3. Herramientas de un nivel productivo adecuado diferente al definido en los métodos tecnológicos y con un inventario reducido.
4. Herramientas de un nivel productivo adecuado diferente al definido en los métodos tecnológicos y con un inventario alto.

Las herramientas de los dos primeros puntos se han retirado de circulación debido a que eran herramientas con los que se obtenía un grado de productividad reducido y en muchos casos estaban en desuso.

Por otro lado, la existencia en el inventario de herramientas con un nivel productivo cercano al proporcionado por las herramientas definidas en los métodos tecnológicos suponía un reto a la hora de justificar la inversión a realizar para su sustitución. En los casos en los que existían pocas herramientas de una misma familia se procedió a su retirada. En el caso de que existían varias herramientas de una misma familia se siguió utilizando las mismas herramientas hasta su fin de vida. Una vez llegados que era necesario su sustitución, se sustituiría por una herramienta definida en los métodos tecnológicos. De esta manera lo que se ha buscado es suavizar en el tiempo la inversión requerida para adecuar el inventario a la homogeneización definida.

2.2. CREACIÓN DE HERRAMIENTAS DIGITALES EN TDM

La creación de la base de datos ha sido un arduo trabajo de introducir todos los datos existentes acerca de las herramientas. En él se han introducido todos los elementos existentes en circulación en la empresa. La base de datos se ha creado piramidalmente. En la base se sustentan los elementos o ítems, la combinación de estos elementos o ítems resulta en ensambles o herramientas, y con la combinación de estos montajes se obtiene la lista de herramientas para el mecanizado de cada artículo a fabricar.

La relación entre ítems se realiza por la definición de los interfaces entre distintos cuerpos. Estos interfaces hacen posible realizar la conexión tal como se realiza en la realidad. De este modo es necesario definir todos los interfaces necesarios para poder realizar el montaje digital con las posibilidades que muestra el montaje real. Por consiguiente, se podrán realizar montajes entre interfaces compatibles entre ellos.

Es importante el crear correctamente los elementos desde un inicio, aportando toda la información necesaria. Los errores cometidos al inicio se arrastran en los siguientes pasos de montaje de herramientas.

Dentro de la base de datos se tiene toda la información acerca de:

- Elementos:
 - Referencia
 - Interfaces hacia la parte de pieza y hacia parte de máquina
 - 2D/3D
 - Etc.
- Ensamble de herramientas
 - Elementos por los que está formado.
 - 2D/3D del montaje.

- Condiciones tecnológicas de corte.
- CAD y parámetros de relación con CAM y presetting.
- Etc.
- Lista de herramientas
 - Herramientas y elementos que conforman la lista de herramientas para la fabricación de un artículo en particular.
 - Información particular de las herramientas concerniente al artículo detallado.
 - Etc.
- Lista presetting
 - Medidas reales después de realizar mediciones en presetting.

Cada ensamble de herramienta creado en la base de datos tiene un nombre o ID único. Esta vía posibilita en máquina realizar llamadas a las herramientas por nombre. De esta manera se ve la posibilidad de desvincular la posición de la herramienta en el almacén. En las máquinas del centro productivo las posiciones del almacén están relacionados con las herramientas de la tabla de herramientas, siendo el mismo número tanto para la posición en el almacén como el número de herramientas.

2.3. RELACIÓN ENTRE DIFERENTES PLATAFORMAS

Uno de los puntos fuertes que se han buscado con la digitalización de las herramientas es la de relacionar diferentes plataformas para poder mejorar en eficiencia y ganar en seguridad.

En la figura 2 se aprecian las relaciones residuales existentes al inicio del proyecto, pero en la Figura 3 se muestran las relaciones que se han creado a partir del trabajo descrito en este artículo.

Toda la información acerca de las herramientas esta centralizada en el gestor de herramientas.

- Relación TDM-CAM: Están disponibles en el CAM los montajes de herramientas realizados en la base de datos de herramientas. Es posible también cargar las condiciones de corte definidas en la base de datos a partir de la definición de material de pieza, calidad de herramienta y tipo de operación.
- Relación CAM-TDM: Una vez se crean todas las trayectorias necesarias en NX es posible transferir las herramientas utilizadas en el mismo a TDM. De esta manera se crea una lista de herramientas en TDM.
- Relación TDM-SIMULADOR: Desde el simulador se carga la lista de herramientas completa con su 3D de herramienta correspondiente para poder realizar las simulaciones.

- **Relación Simulador-TDM:** En este caso no existe ninguna relación directa. Únicamente se tiene la información acerca de posibles interferencias durante la simulación para después realizar posibles modificaciones en las herramientas.
- **Relación TDM-Presetting:** La máquina presetting es necesario que tenga una interface de comunicación con la base de datos del gestor de herramientas, como es el caso. De esta manera es posible cargar la herramienta a medir en la máquina presetting y una vez que se ha medido esta información esta tanto en la máquina presetting como en la base de datos de TDM.
- **Relación Presetting-Máquina:** Los correctores de herramientas que se han medido en la máquina presetting se transfieren directamente a máquina una vez que el operario certifique que se han cargado las herramientas en el almacén. Se evita de esta manera que se introduzcan manualmente los correctores en máquina, evitando posibles errores humanos.
- **Relación TDM-Máquina:** La relación es la documentación que el operario tiene acerca de toda la información de las herramientas; características de herramientas, correctores, etc. La información existente acerca de los correctores sirve de seguridad y contrastar que la información transferida a máquina es la correcta. Las relaciones de comunicación existentes entre diferentes plataformas posibilitan un flujo continuo de información de manera digital, con la consiguiente mejora en eficiencia en la definición de herramientas manteniendo una trazabilidad durante todas las fases.

3. GESTIÓN DE HERRAMIENTAS: REGLAS DE FUNCIONAMIENTO

Las plataformas y relaciones entre ellos descritas en el capítulo anterior son herramientas que facilitan la gestión de herramientas en un centro de fabricación. De todos modos, la eficacia de estas herramientas en gran medida depende del compromiso de la organización y las personas involucradas.

La organización creó un grupo de trabajo con personal de diferentes áreas para poder definir los pasos y actividades necesarias en cada fase. En cada uno de ellos existe un responsable que atiende aquellas demandas que se le han atribuido. Por otra parte, es necesario el compromiso de los involucrados para poder cumplir todos los pasos definidos. La rigurosidad es primordial para poder gestionar y controlar correctamente las herramientas.

El cambio en el funcionamiento ha sido enorme. El cambio que ha supuesto culturalmente ha sido muy importante. Ha sido necesario que todas las partes hayan creído en la nueva forma de gestionar las herramientas para poder limar asperezas ante imprevistos de diferente índole que salían durante el periodo de implantación. Durante el periodo de implantación el seguimiento realizado también ha sido importante para poder llevar a buen puerto las ideas iniciales.

4. DISCUSIÓN

Se puede decir que el cambio cultural ha supuesto uno de los mayores hándicaps a superar durante el proyecto y el asimilar los mismos para el funcionamiento diario ha supuesto el paso clave en la consolidación de la nueva etapa en la gestión de herramientas.

Los resultados obtenidos son consecuencia de las acciones que se han realizado con este cambio en la gestión de herramientas:

- **Acción: Homogeneización de métodos de fabricación para todo el sistema productivo.**
 - Estrategias de mecanizado unificados.
 - Herramientas de mecanizado unificados.
 - Procesos de mecanizado homogéneos con un grado de dependencia menor de los técnicos de programación.
 - Visión real de los procesos actuales existentes en los que buscar restos de mejora.
 - Sistema de control de inventario.
 - Adecuación de inventario según los métodos propuestos.
 - **Resultado:** Menor inventario y mayor disponibilidad de herramientas.
- **Acción: Digitalización de las herramientas:**
 - Seguridad de los procesos planteados debido a trabajar las simulaciones con herramientas digital twin.
 - Datos de herramientas precisas para toma de decisiones en cada caso.
 - Control de referencias del inventario.
 - Conocimiento registrado de en qué artículos a fabricar se utiliza cada ensamble de herramientas.
 - Conocimiento registrado de en qué ensambles de herramientas se utiliza cada elemento individual de las herramientas.
 - **Resultado:** paso necesario para la integración en un entorno de industria 4.0.

- **Acción: Conexión entre diferentes plataformas.**
 - Aumento de eficiencia por reducción de redundancias a la hora de definición de herramientas.
 - Seguridad en transferencia de correctores de herramientas a máquina por hacerlo de una manera directa y sin la intermediación humana.
 - **Resultado:** Introducción en sistema de gestión de herramientas alineado con un entorno de Industria 4.0.

Durante la realización de este proyecto se han establecido las bases para una gestión de herramientas integral que pretende llevar una evolución hacia nuevas metas. El trabajo que se pretende realizar en el futuro es el siguiente:

- **Acción: Control de inventario y estado de herramientas centralizado desde el gestor de herramientas TDM.**
 - Control de número y cantidad de referencias existentes en el inventario.
 - Situación en el que se encuentra cada elemento. (almacén, montaje, máquina, etc.)
 - Control de disponibilidad de herramientas para el lanzamiento de un trabajo a realizar.
 - Realización de pedidos desde el gestor de herramientas al llegar al número mínimo de stock o necesidad de herramienta.
 - **Resultado:** Integración completa de sistema de gestión de herramientas en entorno de Industria 4.0
- **Transferencia de información en herramientas.**
 - Valoración de sistemas RFID acoplados en herramienta para transferencia de información a máquina.

REFERENCIAS

- [1] Mansour Fallah S., Trautner T., Pauker, F. "Integrated tool lifecycle". *Procedia CIRP* 2019. Vol. 79 p.257-262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.060>
- [2] Boch E., Mettermich J., "Understanding and assessing complexity in cutting tool management". *Procedia CIRP* 2018. Vol. 72 p.1499-1504. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.108>
- [3] Schaupp E., Abele E., Mettermich J., "Potentials of digitalization in tool management", *Procedia CIRP* 2017. Vol. 63 p.144-149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.172>
- [4] Botkina D., Hedlind M., Olsson B. et al. "Digital twin of a cutting tool". *Procedia CIRP* 2018. Vol. 72 p.215-218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.178>
- [5] Perera T., Shafaghi M. Analysis of tooling problems in discrete manufacturing. In: *Int J Oper & Prod Mgmt* 1995; Vol. 15, No. 12, pp.76-85. DOI: <https://doi.org/10.1108/01443579510104510>
- [6] Mason F. Computerised cutting tool management. In: *American Machinist* 1986; Vol. 130, pp. 105-120
- [7] Jendoubi L. Management mobile Betriebsmittel unter Einsatz ubiquitärer Computersysteme in der Produktion. Heimsheim: Jost-Jetter Verlag; 2007
- [8] Enble M. Toolmanagement-Werkzeuge und Prozesse als Schlüssel für eine effiziente Produktion. In: Braun S., Walther M., Zirkelbach S., editors. *Intelligent produzieren*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag; 2010, pp. 88-96.