

MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD MEDIANTE LA INSPECCIÓN POR CÁMARA DE LA VISIBILIDAD DE LOS DEFECTOS EN LA CERÁMICA IMPRESA POR CHORRO DE TINTA

Joerg Eberhardt, Robert Massen, Christoph Schmitt

Baumer Inspection GmbH, Constanza, Alemania

RESUMEN

Se presenta una novedosa tecnología de inspección que utiliza la exploración óptica de los bizcochos cerámicos decorados por chorro de tinta antes de la cocción y los algoritmos de procesamiento de la imagen basados en la percepción, tanto para la detección temprana de los defectos típicos de las boquillas de chorro de tinta, como para la predicción de la visibilidad de estos defectos en las baldosas cocidas acabadas.

1. EL MALFUNCIONAMIENTO DE ALGUNAS BOQUILLAS CONSTITUYE LA NORMA, NO LA EXCEPCIÓN

El mercado de rápido crecimiento de las superficies cerámicas decoradas por chorro de tinta está impulsado por las muchas ventajas incuestionables de esta tecnología: la flexibilidad de las dimensiones del lote, el cambio rápido de la decoración, la huella bastante pequeña del equipo, el flujo de datos "digitales" etc. Sin embargo, la decoración por chorro de tinta introduce también una nueva categoría de problemas de producción asociados directamente a la tecnología en la cual se sustentan las boquillas de expulsión de las gotitas, delicadas y extremadamente miniaturizadas, de los cabezales de impresión.

Con una deposición típica de 100 millones de gotitas por metro cuadrado, expulsadas a frecuencias de hasta 12000 gotas/segundo por unas 4000 boquillas de impresión, no es de sorprender que unas pocas boquillas presentan siempre un mal comportamiento, a pesar del MTBF (tiempo medio entre fallos) muy alto del eyector individual.

Las boquillas "malas" pueden bloquear de forma permanente la expulsión de la gotita debido a las contaminaciones, tinta atascada, aire ocluido, etc. Asimismo, las boquillas malas también pueden dejar de cerrar, generando una línea continua de gotas de tinta expulsadas. Los defectos de las boquillas pueden detectarse mediante sensores electrónicos incorporados en la boquilla o simplemente mediante el seguimiento visual del bizcocho decorado de forma digital. Sin embargo, el contraste cromático bastante débil de las tintas todavía sin cocer supone un reto para la detección visual.

La reacción habitual a la hora de detectar una boquilla que realiza la expulsión de forma incorrecta es la parada de la línea de producción para poder iniciar un ciclo automático de limpieza y lavado de la boquilla. Esta parada de la producción dura unos 10 minutos y supone una pérdida importante de productividad de la línea de decoración digital.

Sin embargo, un número bastante elevado de estos defectos típicos de boquilla son apenas visibles para el ojo humano en la decoración final, completamente coloreada y cocida. Por consiguiente, parar la decoración de la baldosa para cada defecto de boquilla supone, por tanto, una pérdida injustificada de la productividad.

En este trabajo presentamos una solución a este problema que se basa en las tecnologías avanzadas de aprendizaje de máquina y de tratamiento de las imágenes. Hemos introducido comercialmente ya un sistema algo similar para ayudar a las impresoras de heliograbado de los paneles decorados a base de madera para la industria del recubrimiento del suelo y de los muebles [2]. Ahora ampliamos y modificamos esta tecnología para la inspección automática por cámara de la decoración por chorro de tinta de las baldosas cerámicas.

2. DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE LOS DEFECTOS DE LA IMPRESIÓN POR CHORRO DE TINTA ANTES DE LA COCCIÓN

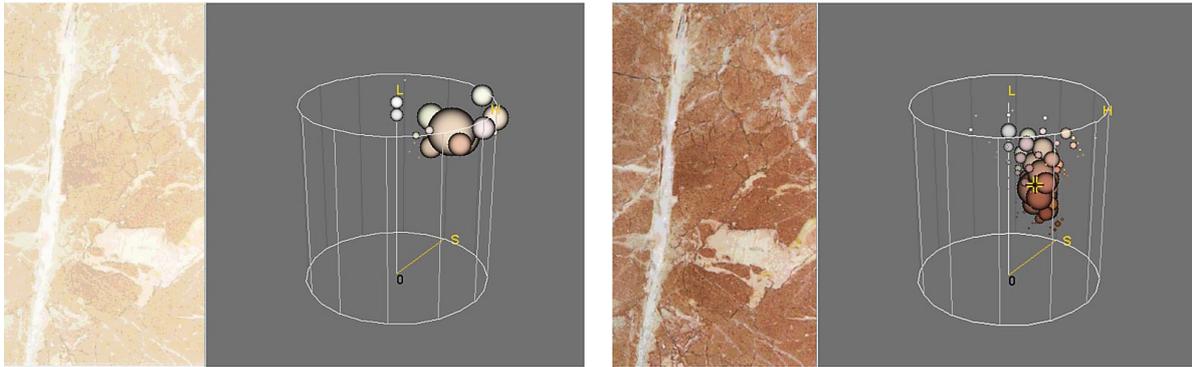
Para poder detectar y clasificar, de forma fiable, los defectos de la impresora de chorro de tinta sería necesario poder explorar los bizcochos decorados inmediatamente después de la impresora (y, por supuesto, bastante antes de la cocción). Esto permitirá eliminar las decoraciones deficientes lo antes posible y reducir notablemente los costes de las bajas de las baldosas defectuosas. Como han señalado Peris-Fajarnés *et al.* en [2], la gran mayoría de los defectos en la producción cerámicas se asocian al proceso de decoración y esta situación no ha cambiado realmente con la impresión digital. Estos investigadores se centraron en los defectos cromáticos *globales* y han propuesto un modelo de predicción matemático para computar los colores finales de la baldosa cocida, sobre la base de los colores medidos de forma espectral inmediatamente después la impresora de chorro de tinta.

Nosotros enfocamos nuestra aportación en los defectos *locales* específicos para las impresoras de chorro de tinta:

- dibujos en forma de rayas, generadas por las boquillas que no se cierran o no se abren
- boquillas "ruidosas" con un funcionamiento aleatorio
- defectos de bandas, es decir rayas más grandes de diferentes intensidades

Deseamos ofrecer una herramienta para la detección temprana de las boquillas de la impresora que presentan un "mal comportamiento", ADEMÁS DE una herramienta de clasificación para medir la visibilidad de estos defectos posteriormente en las baldosas cocidas finales.

El aspecto cromático de los bizcochos no cocidos es, por supuesto, muy diferente del aspecto de la pieza final, por ejemplo como la que se observa en la fig. 1: un bizcocho decorado, explorado inmediatamente después de la impresión digital, presenta unos colores muy débiles, perceptibles como número más bien pequeño de diferentes colores con altos valores de L en el histograma HSL (tono, saturación y luminosidad). Únicamente después de la cocción podemos observar la gama cromática completamente desplegada.



*Fig. 1 izquierda: Histograma de color HSL del bizcocho impreso de forma digital antes de la cocción: colores débiles
derecha: Histograma de color HSL de la baldosa cocida; colores completamente desarrollados*

Por tanto, tenemos que resolver dos problemas muy diferentes:

- a) asegurar una detección visual automática robusta de los defectos de boquilla inmediatamente después de la impresión mediante la adquisición de imágenes y el tratamiento de las imágenes en tiempo real, trabajando con los bizcochos muy débilmente coloreados, es decir sobre imágenes con un histograma de color escasamente poblado
- b) predecir de antemano la visibilidad posterior de un defecto de boquilla en las baldosas cocidas y tomar automáticamente la decisión sobre la expulsión de la baldosa inmediatamente después de la impresión.

Pensamos que un número elevado de defectos de boquilla se ocultarán adecuadamente dentro del dibujo de la decoración y, como tal, será necesaria ni la expulsión de la baldosa ni la parada de la impresora para su mantenimiento. Nuestro objetivo es aumentar la productividad de un sistema de decoración digital de la baldosa al suprimir las paradas de producción innecesarias.

3. DETECCIÓN POR CÁMARA DE LOS DEFECTOS DE BOQUILLA

Nuestro objetivo es la detección de los defectos de boquilla inmediatamente después de la impresión, es decir antes de cocción. Detectamos los defectos muy específicos de la boquilla sobre la base de su geometría de tipo línea dentro de la textura de la decoración, sea una decoración artística (sintética) o una decoración que imita las superficies naturales. Este planteamiento de detección directo del defecto simplifica enormemente la tarea de inspección para el usuario, ya que no se requiere ninguna correlación o emparejamiento con los archivos RIP de diseño gráfico.

Las baldosas sin cocer se exploran con cámaras fotográficas de alta resolución que utilizan iluminadores LED específicos de múltiples longitud de onda. Las imágenes multicanal adquiridas se transforman numéricamente en el aspecto aproximada de la decoración después de la cocción mediante un modelo de predicción y pequeños conceptos de aprendizaje de máquina de muestra. Esta "imagen de predicción" potencia la diferencia entre la decoración correcta y los defectos individuales de boquilla. Esto permite una discriminación robusta entre la buena decoración de la baldosa y el defecto local de la boquilla a través de un análisis multifase bastante sofisticado de la textura (fig. 2).

En una fase final, el sistema de inspección computa la "visibilidad" de un defecto de boquilla, es decir el aspecto del dibujo gráfico lineal de un defecto de boquilla dentro de la decoración de la baldosa cuando es observado por el ojo humano a una distancia típica de visión (patentes pendientes).

Al operador se presenta una medida numérica del "Grado de Visibilidad". Únicamente aquellos defectos de boquilla que superan el umbral de visibilidad seleccionable por el usuario generan una alarma y la parada a continuación de la impresora para un ciclo automático de limpieza del cabezal de la boquilla.

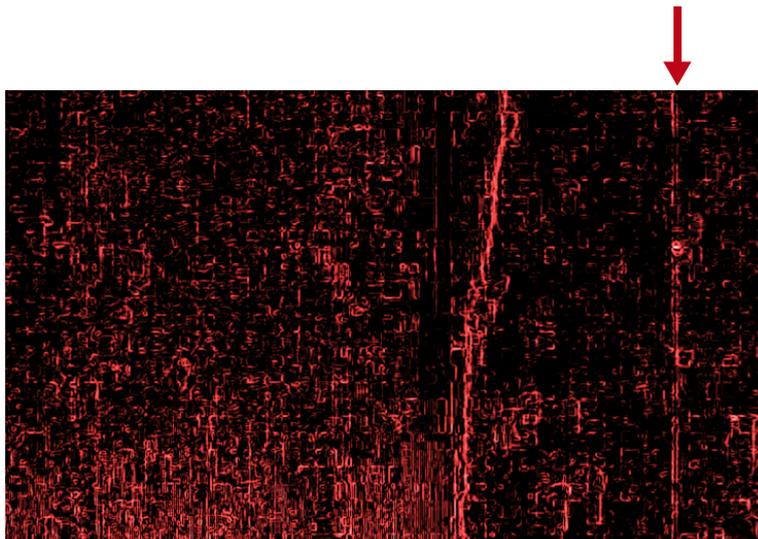
Los defectos de boquilla por debajo del umbral de visibilidad se cuentan y se almacenan en el sistema de gestión de calidad de la inspección óptica; se identifican como las características de una boquilla potencialmente débil que requiere una observación continua más atenta.

Para aquellas decoraciones insólitas que puedan incluir elementos gráficos lineales que se desplazan exactamente en el sentido del transporte de la baldosa, utilizamos el archivo gráfico digital para definir de antemano unos márgenes estrechos de inspección, donde los algoritmos de detección de los defectos sobre la base de la textura se ajustan para medir la definición correcta de los gráficos de tipo línea generados por los cabezales de boquilla de CMYK.



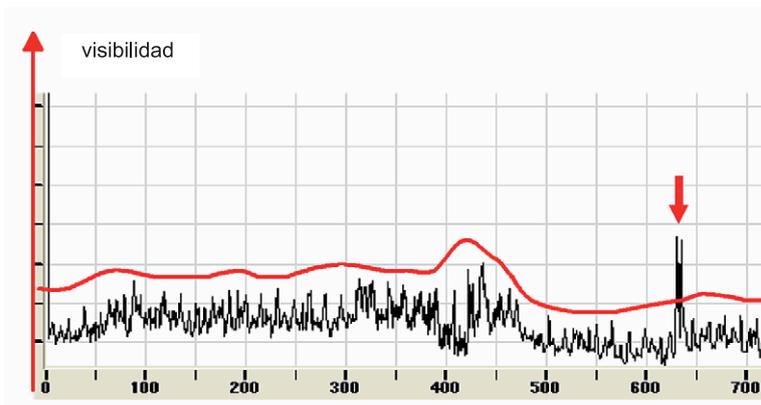
Fase 1:

Predicción del contraste cromático después de la cocción



Fase 2:

Detección sobre la base de la textura de los defectos de boquilla



Fase 3:

Clasificación de la visibilidad de los defectos de boquilla

Fig. 2 Detección y clasificación de la visibilidad de los defectos de boquilla en el bizcocho explorado sin cocer

4. ALTA PRODUCTIVIDAD DE LA DECORACIÓN A PESAR DE UNA TECNOLOGÍA DE CHORRO EXIGENTE

Reconocemos el esfuerzo de los fabricantes de cabezales de las impresoras de chorro de tinta para aumentar la fiabilidad del funcionamiento correcto de la boquilla y de la formación y expulsión de la gota. Al mismo tiempo, sin embargo, vemos una tendencia hacia mayores densidades de punto, boquillas más pequeñas, frecuencias más altas de expulsión de la gotita y una gama más amplia de tintas que presentan propiedades físicas muy diferentes. El número creciente y las frecuencias más elevadas de las gotitas expulsadas por metro cuadrado de decoración reducirán, por lo menos parcialmente, la fiabilidad más alta alcanzada de los cabezales de impresión.

Por consiguiente, los defectos de boquilla específicos de las impresoras de chorro de tinta no van a desaparecer ni ser irrelevantes, pero los vemos como un comportamiento característico de esta tecnología con el cual el diseñador tendrá que aprender a convivir. Dejar que una impresora de chorro de tinta funcione sin

una inspección al 100%, en tiempo real, del proceso de expulsión de la gota llegará a ser simplemente un planteamiento demasiado arriesgado y demasiado costoso. La inspección manual periódica de hoy será demasiado poco fiable y costosa.

Por ese motivo, prevemos que la inspección por cámara integrada en la impresora de chorro de tinta va a ser imprescindible para la producción de una buena calidad con una alta productividad.

La consideración de los inevitables defectos del chorro de tinta desde un punto de vista orientado a la productividad significa que podemos tolerar los defectos de boquilla cuando se encuentran por debajo de un umbral dado de visibilidad. Una filosofía de calidad tan templada reduce, de forma notable, el número de paradas de la impresora para los ciclos de limpieza/lavado, con el consiguiente aumento de productividad.

La expulsión de las baldosas con un defecto de impresión demasiado visible inmediatamente después de la decoración y antes de la cocción ahorrará también una cantidad sustancial de materias primas y de energía del horno, comparada con la inspección tradicional después del horno (véase los argumentos similares en [1]).

La exploración de los bizcochos decorados sin cocer y la presentación de la decoración final anticipada (numéricamente) en una pantalla de color calibrado proporcionarán al operador del turno en cuestión una previsión anticipada de la productividad del sistema y de la estabilidad del equipo de decoración.

La inspección continua también genera los datos para poder descubrir los puntos débiles asociados al proceso de decoración por chorro de tinta, es decir todos que los datos que el departamento de calidad desea obtener urgentemente para mejorar el proceso de decoración.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Peris-Fajarnés *et al.* Evaluation of color prediction models in the decoration of ceramic tiles. *Journal of the Ceramic Society of Japan* 116 [1], pp. 146–152, 2008
- [2] Baumer Inspection GmbH. Technical Information on the “ColourBrain® DecoProof” system, www.baumerinspection.com