

F

PREDICIENDO EL PROCESO

Por Nigel P. Yeomans (Ashland Specialty Chemical, Dublin, Ohio U.S.A.) y Peter Blaser (Arena-flow LLC, Albuquerque, New Mexico, U.S.A.)

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, modelos de proceso han estado disponibles para el ingeniero de fundición que le permiten verificar y analizar el flujo y la solidificación del metal de los sistemas de llenado y de alimentación del molde. Ahora también hay un modelo de proceso que le permite al diseñador de herramientas un acercamiento más científico a su diseño y menos dependencia de la práctica acostumbrada y del conocimiento local. El diseño de herramientas a través de métodos tradicionales de prueba y error es costoso y consume tiempo al proceso, y generalmente dan por resultado modificaciones extras al método de soplado y de venteo, la aceptación de un método no-óptimo, retrasos y aumentó de costos iniciales del proyecto. La capacidad de realizar estos cambios de diseño en una computadora más bien que en el herramental dará lugar a una mejor productividad y una mayor capacidad tanto para el diseñador como para la fundición.

Además de los beneficios tangibles de reducción de tiempos de punta a puesta del herramental y de la disminución de re-trabajo por fallas de diseño, el potencial de realmente entender el proceso de soplado de arena es enorme. Hay muchas publicaciones y papeles técnicos que tratan de explicar los requisitos del proceso pero la investigación y la experimentación para validar estos modelos de proceso demuestran que no son lo bastante robustos para diseñar cada herramental por el mismo sistema de reglas.

La computadora nunca substituirá al ingeniero de herramientas. Los modelos computacionales en todas sus aplicaciones, aunque son capaces de hacer predicciones realistas, no pueden considerar cada variable posible que exista dentro de un ambiente de fundición. La utilización de estas predicciones de cómputo para desarrollar proce-

sos y para asistir a los ingenieros en tomar mejores decisiones de diseño ayudará no solamente a entender la física que influyen el proceso de fabricación de corazones pero también proporcionará datos significativos que asistirán a la selección del equipo y a las mejoras de proceso.

DIVERSAS ALTERNATIVAS PARA LA SIMULACIÓN DEL PROCESO

Hay varias opciones computacionales que se pueden utilizar para modelar el soplado de corazones y de moldes de arena. Todos comienzan con leyes básicas de la conservación tales como la conservación de la masa y del momento. La formulación de estas ecuaciones se puede clasificar ampliamente como continua o discreta. Un acercamiento continuo subdivide el dominio de interés en un número finito de volúmenes de control. Todo material que entra o sale de cada volumen de control es tabulado y los sistemas de flujo generados se solucionan en varias localizaciones dentro del dominio. Esto es un acercamiento muy común para modelar líquidos. Un acercamiento discreto subdivide el material de interés en un número finito de masas de control. Las fuerzas que actúan en cada masa de control se tabulan y se resuelve para el movimiento de estas. Esto es un acercamiento muy común para modelar partículas.

El desafío para modelar exactamente el llenado de corazones y de moldes de arena es que el movimiento del aire y de la arena es importante es de igual importancia para el comportamiento de llenado. La fricción aerodinámica inicia el movimiento de arena la cual genera una compactación de arena convirtiendo regiones densas dentro de la geometría; el aire debe de desplazarse y escapar a través de los vientos así como de los pernos de liberación y las líneas de partición. De esta manera el aire y la arena son su-

mamente importantes para el proceso, por lo que ni un acercamiento puramente continuo o ni un acercamiento puramente discreto podrían ser capaces de capturar exactamente la física del sistema. Un acercamiento monofásico continuo, o descuidaría la arena enteramente, o modelaría la mezcla de aire-arena como un líquido pesado o denso. Un acercamiento monofásico discreto, descuidaría el campo del aire enteramente.

El método polifásico más común para modelar el llenado de corazones de arena es conocido como "Euleriano - Euleriano" o "continuo - continuo". Esto significa que hay dos fases distintas en el modelo, ambos utilizando una formulación continua dando por resultado campos separados para el aire y la arena. Ambas fases son tratadas como líquidos con diversas densidades y viscosidades. El problema con el acercamiento continuo euleriano - euleriano es la asunción subyacente que la arena es un líquido. En realidad, un material granular tal como la arena no se deformará bajo ninguna tensión aplicada como un líquido, de igual manera los materiales granulares apoyan su peso a través de fuerzas de contacto inter - partícula y no crean un gradiente hidrostático de presión como un líquido. De esta misma manera, un material granular es cuántico en la naturaleza y no se puede subdividir infinitamente como un líquido. Además, que la arena cuenta con una distribución de tamaño. A pesar de todos estos defectos, acercamientos continuo, Euleriano - Euleriano todavía están disponibles en software existentes para flujo y solidificación del metal.

Arena-flow® es un Software de aproximación CPFD (Computational Particle Fluid Dynamics), dos-fases (partícula y fluido) con formulación tridimensional basado en MP-PIC (Multi-Phase, Particle-in-Cell); método que se formuló específicamente para el movimiento inherente de un líquido - sólido dentro de flujos densos de partícula. Las ecuaciones que gobiernan la fase "fluido" (aire) se trata con un modelo continuo mientras que las partículas de la arena se tratan con entidades discretas dando por resultado una aproximación "continuo - discreto" para el computo del soplado de corazones de arena. Las dos fases se juntan con la relación de fracción de volumen y transferencia de momento "partícula - líquido".

VALIDACIÓN FUNDAMENTAL

Debido al básico acercamiento utilizado por el código Arena-flow®, este captura una variedad elemental de la física granular del flujo así como de la física más compleja asociada a la ingeniería de llenado del corazón. Para validar esta física fundamental, se condujeron una serie de experimentos, que en un primer vistazo podrán aparecer muy simples. En términos de la complejidad experimental, estos están diseñados para que cualquier fundidor este familiarizado con la física que en estos se demuestra. La complejidad llega a ser evidente cuando se modela un proceso y la

respuesta generada es estudiada y comparada con datos reales. Dos de estos procesos se muestran a continuación:

EXPERIMENTO "TUBO - U"

El "Tubo - U" es un experimento geométrico simple utilizado para evaluar el flujo granular. La arena cae por gravedad alrededor de un tubo cuadrado de forma en "U" de poli carbonato claro, con dimensiones internas de 22 mm x 22 mm. Una cantidad medida de arena se dejó caer a partir de un lado del tubo y datos de video de alta velocidad fueron recogidos mientras la arena se apiñaba alrededor del fondo.

La figura 1 compara el resultado actual con varios resultados calculados por Arena-flow®. La figura 1^a muestra la medida de arena dentro del tubo U. La figura 1b muestra el resultado final obtenido por Arena-flow®. La figura 1c muestra el resultado final obtenido por un modelo utilizando el principio de fluido de una fase comentado con anterioridad. En estas imágenes, se puede observar como los cálculos hechos con Arena-flow® son capaces de predecir con bastante precisión la forma final de la arena mientras que un modelo de una sola fase no puede ser observado debido al comportamiento hidrostático de los fluidos observado en la Fig. 1c.

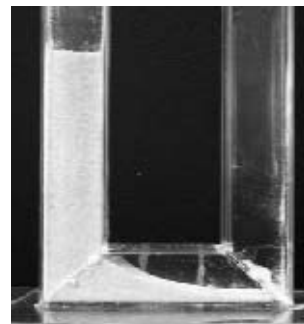


Figura 1a. Resultados experimentales.



1b. Resultados calculados utilizando Arena-flow®.



1c. Resultados calculados utilizando un acercamiento de una sola fase.

EXPERIMENTO DEL "RELOJ DE ARENA"

El "reloj de arena" es un objeto familiar, y el comportamiento de las partículas de arena fluyendo a través de él es muy similar al flujo de arena desde las tolvas de almacenamiento o los silos de arena en cualquier fundición. Los experimentos se realizaron utilizando esta geometría simple mostrada en la figura 2. La cual muestra los cál-

culos realizados por Arena-flow®. La arena inicialmente es densamente colocada en la parte superior, para después dejarla caer bajo la influencia de la gravedad. El aire en el fondo del recipiente tendrá que ser desplazado y fluye hacia arriba para llenar el vacío creado por la arena cuando cae.

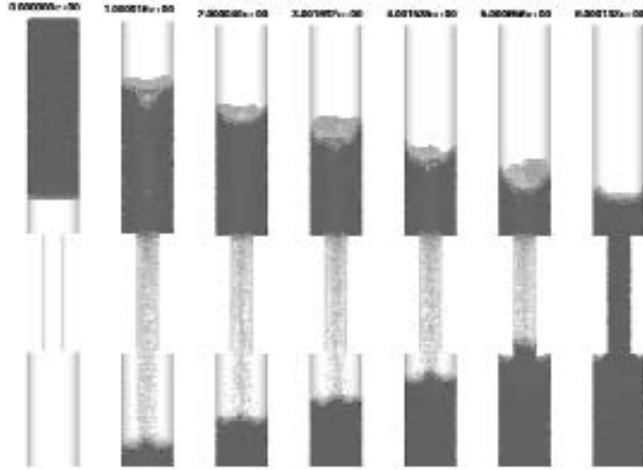


Figura 2. Cálculos de Arena-Flow de la caída de arena bajo el efecto de la gravedad en un reloj de arena.

Aunque la visualización del flujo de arena es muy familiar, la física involucrada puede llegar ser muy desafiadora para calcularse. Los relojes de arena han sido muy utilizados por milenios como mecanismos para el control del tiempo debido a su cualidad en la que la masa de arena que fluye a través del cuello es lineal en el tiempo. El flujo de un fluido a través de la misma geometría po-

dría producir un flujo de masa cuadrático, de esta manera si uno fuese a modelar el flujo de arena utilizando un paquete tradicional CFD, el resultado que se obtendrá será el incorrecto. No obstante, los resultados de Arena-flow® mostrados en la Figura 2, concuerdan bien tanto con la forma final de la arena, así como con el tiempo de evolución de la prueba.

GASEO "CATALIZADOR"

Un reciente avance en Arena-flow® es la mejora de un modelo de gaseo patentado. La investigación y el desarrollo en el gaseo de mezclas de arena y resina con amina como catalizador, para la producción de corazones de resina poliuretana, en conjunto con modelos de proceso para interpretar y generar datos, han mostrando características primordiales del proceso que no han sido completamente entendidas o investigadas en el pasado. Actualmente la investigación esta en curso, pero los resultados iniciales de la prueba han sido implementados en el modelo lo cual demuestran una remarcable correlación con las pruebas de laboratorio y el desarrollo del sistema de resina.

Experimentos han sido llevados a cabo utilizando la caja de corazones T de Ashland, con la ayuda de indicadores en la mezcla de arena con resina que permiten capturar datos de video durante el proceso de curado. La Figura 3 muestra la comparación entre los datos de video y los cálculos transitorios de curado con Arena-flow®. El área oscura en la simulación indica dos regiones la primera región muestra el área con mayor probabilidad de cu-

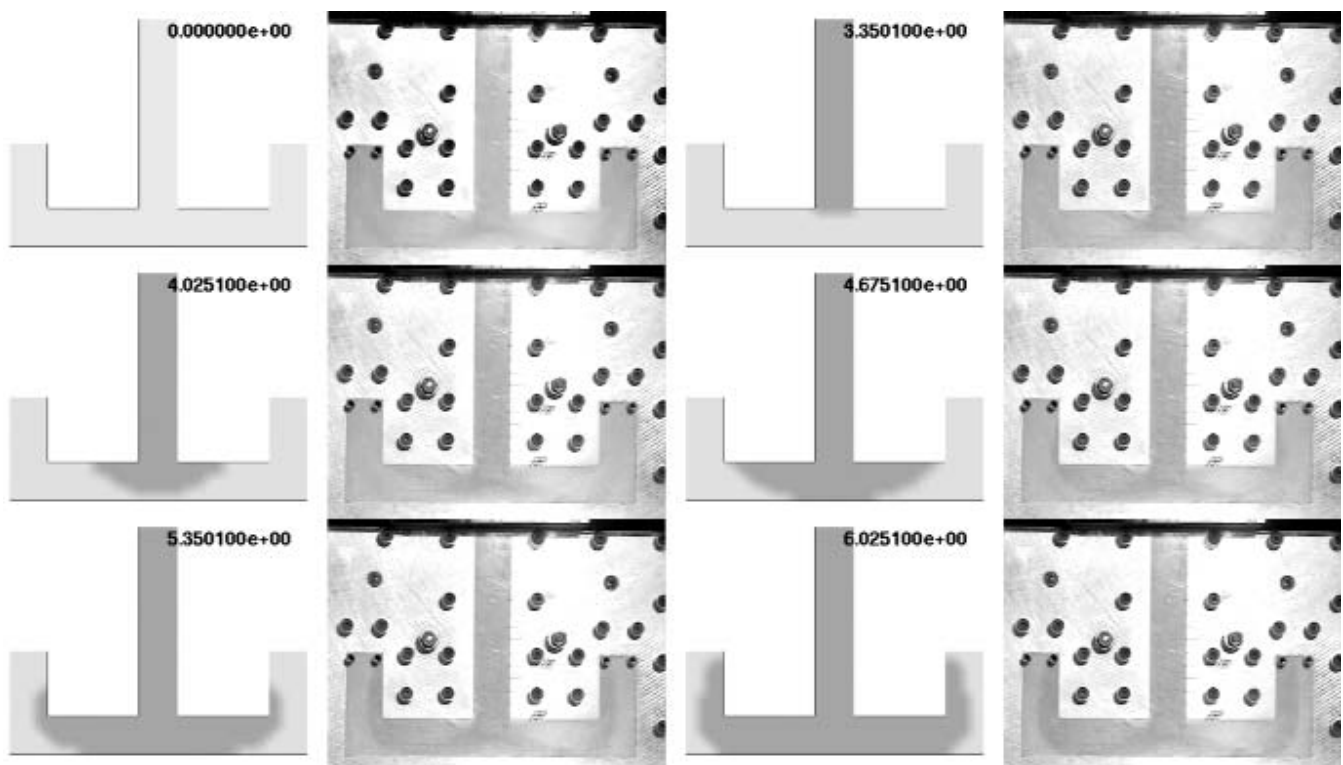


Figure 3: Transient gassing calculation compared to video data.

rarse y segunda muestra la región en la que hay suficiente amina presente para provocar una reacción catalítica.

Excelente correlación.

CONCLUSIONES

El patrón de comportamiento de llenado de corazones y moldes de arena es controlado por un complejo, tridimensional y multifacético flujo de aire y arena. La naturaleza granular de la arena ha sido demostrada, y así como muchos de los modelos en los cuales se intenta predecir correctamente el llenado del corazón el primer paso para lograrlo es el hecho de no asumir que la arena es un fluido, porque No lo es. Aunque siempre es preferible mezclar la arena con altos volúmenes de aire para “fluidizarla”, al final del día el aire y la arena sigue siendo una mezcla de un líquido que transporta un material granular. Las partículas discretas son transportadas por la fricción generada por el flujo de aire, mientras que al mismo tiempo el flujo de aire es fuertemente influenciado por las partículas dentro y alrededor del flujo. Otras fuerzas que no son aerodinámicas como el contacto íter – partícula, el contacto con la pared y fuerzas de fricción inter-granulares tienen un gran efecto en la arena.

La herramienta matemática Arena-flow® realiza eficientemente cálculos para el flujo de aire, el movimiento de la arena y la compleja interacción entre los dos. La concordancia con experimentos fundamentales de física y con situaciones reales de soplos de corazones es excelente. El uso de las técnicas bien validadas de reducción de problema de diseño, el juicio sano de ingeniería en conjunto con la herramienta matemática Arena-flow® han demostrado rendir resultados de cómputo eficientes manteniendo predicciones exactas del proceso.

Servicio Lector 00 ■