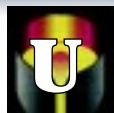


Fundamentos en la Preparación y Control de la Arena Verde

El conocimiento de las materias primas, pruebas y equipo para reducir las variaciones de la arena, optimizarán su proceso de arena en verde para una operación de moldeo más rentable.

*Scott M. Strobl
Simpson Technologies Corp., Aurora, Illinois, U.S.*



Un conocimiento básico de los materiales que constituyen un sistema de arena verde y del equipo requerido para preparar y mantener la integridad del sistema es en extremo importante para asegurar la calidad de los vaciados. La condición y tipo del equipo para preparación pueden tener un efecto pronunciado en el tipo y cantidad de las materias primas utilizadas en una operación particular. Además, el tipo de aleación, tamaño y geometría, junto con la característica de cantidad de corazón requerida por la pieza, también determinan la exacta recuperación por composición del sistema de arena.

La intención de este artículo es resumir brevemente un sistema genérico de preparación de arena. Presenta un repaso básico de las materias primas clave, equipos e instrumentos que son usados para controlar y preparar la arena verde. Para controlar y mantener correctamente un sistema de preparación de arena verde, se debe tener un conocimiento completo de las materias primas y las interrelaciones entre estos componentes y el equipo utilizado para la preparación.

Pruebas y Control

Existe una variedad de pruebas de laboratorio de arena para auxiliar a los operadores y al personal de control de calidad en la eliminación de los problemas de calidad asociados con vaciado y moldeo. Los resultados de las pruebas cuantifican importantes propiedades de la arena para establecer condiciones en el

sistema y finalmente ayudar a reducir la variación de la arena y las materias primas que se alimentan.

Estas mismas pruebas también son en extremo útiles para asegurar la eficiencia y precisión de las máquinas de producción y los dispositivos de control en línea. Es en extremo importante que los técnicos del laboratorio sigan los procedimientos de prueba estándares y mantengan un programa regular de calibración de instrumentos para asegurar la precisión de los resultados del laboratorio.

La humedad es un aditivo de la arena extremadamente crítico que puede impactar grandemente la calidad de los vaciados y la operación del equipo para preparación de arena. La prueba de compactabilidad es el mejor método para controlar las adiciones de agua en el molino. La adición de agua variará, puesto que la cantidad de agua agregada a la arena es una función de las variables de composición y proceso. Controlar la compactabilidad cuenta para los cambios ligeros en la composición de la arena y asegura que se efectúe la correcta adición de agua para alcanzar propiedades de moldeo constantes. Si la cantidad de agua cambia drásticamente para mantener un valor meta de compactabilidad, podría indicar que otro componente de la arena se ha salido de control. Los controladores de compactabilidad automáticos instalados en línea con el molino reducen la variación y aseguran un control apropiado.

Arenas

La arena es el principal componente de la arena verde. Las arenas verdes están normalmente hechas de arena

silíce (SiO₂). El tamaño y distribución de los granos de arena son en extremo importante para controlar el acabado superficial de las piezas. Estas características también afectan la habilidad del molde para apoyar la evacuación de gases formados durante la transformación de agua a vapor y la descomposición de los constituyentes orgánicos de los aglutinantes de los corazones y los aditivos de la arena verde. La correcta distribución de la arena es también crítica para reducir la ocurrencia de defectos por expansión de arena.

Capacidad refractaria – Un molde de arena verde debe resistir la temperatura de vaciado de la aleación fundida. Una arena silíce en forma pura, 98% SiO₂, tiene un punto de fusión de aproximadamente 3100 F (1704 C). Si el contenido de SiO₂ en la arena se reduce, entonces el punto de fusión también descenderá. Existen varios subgrupos de arena base silíce, como la arena de lago por ejemplo, que tienen porcentajes reducidos de SiO₂ y temperaturas correspondientes de fusión de aproximadamente 2800 F (1538 C) dependiendo de la composición de la arena. Las temperaturas de vaciado de los hierros fundidos y las aleaciones no ferrosas están generalmente bastante abajo que estas temperaturas de fusión.

Es más importante comprender que si el contenido de silíce de la arena del sistema se reduce a un nivel crítico, el acabado superficial de los vaciados de aleaciones con altas temperaturas de vaciado puede deteriorarse debido a la pérdida de capacidad refractaria. Una adición constante de arena nueva en el sistema ayuda a reponer el contenido de silíce del mismo y a drenar las

cantidades excesivas de ceniza, finos y arcilla destruida térmicamente. Este flujo de arena nueva puede ser el resultado de arena proveniente de corazones que es separada de las piezas durante el desmoldeo.

Tipos—Aunque el sílice y los subgrupos de sílice constituyen la mayoría en los sistemas de arena, otros tipos de arena pueden ser usadas. Dependiendo de la localización geográfica de la fundición y, más importante, debido a las cualidades técnicas, otros agregados pueden ser utilizados. Existe una amplia variedad disponible de agregados para el fundidor, incluyendo olivina, cromita y zirconio. Estas arenas pueden ser utilizadas como base o arenas de careo para reducir y/o eliminar defectos de expansión y penetración de metal mientras promueve la solidificación.

Area de Contacto—El área de contacto de la arena y las materias primas son también una consideración importante en la preparación y control de la arena verde. Cualquier desviación mayor en el área de contacto pudiera tener profundos efectos en las características físicas de la arena de moldeo. Esto podría ser causado por la tendencia del sistema a requerir más o menos agua para alcanzar un valor constante de compactabilidad. Obviamente, conforme el tamaño de la arena decrece, su superficie se incrementa.

Arcillas

La arcilla es el adhesivo que mantiene la forma del molde a temperaturas tanto ambiente como elevadas. La adición de agua se requiere para activar la arcilla. El contenido de humedad del sistema es extremadamente crítico y puede afectar casi todas las propiedades físicas que son medidas en una fundición. La relación entre el contenido de humedad y las resistencias a la compresión en verde, en

seco y en caliente se pueden ver en la Fig. 1. La mayoría de los problemas de vaciado y moldeo relacionados con la arena podrían ser causados por un exceso o deficiencia de humedad.

Tipos—Existen dos tipos de arcillas naturales—bentonitas sódica y cálcica—que son utilizadas en una mayoría de operaciones de fundición. Nuevamente, el tipo de equipo, aleación y la geometría de la pieza dictarán el tipo o mezcla de arcilla utilizados por una fundición.

Características Clave—Cada una realza ciertas características de la arena de moldeo. Al comparar arena de moldeo hecha con 8% de bentonita sódica con arena similar con la misma compactabilidad hecha con 8% de bentonita cálcica, la diferencia entre las arcillas puede ser vista (ver Tabla 1). La gráfica claramente indica que la bentonita sódica da como resultado resistencias a la compresión en seco y a elevada temperatura más altas. También muestra una resistencia a la tensión en húmedo sustancialmente más alta. Las elevadas propiedades en caliente y la alta resistencia en húmedo a la tensión de la bentonita sódica se requieren cuando se vacía hierro y acero para prevenir defectos tales como erosión de arena, inclusiones de arena y costras de expansión. Sin embargo, las propiedades en caliente incrementadas podrían aumentar la energía requerida para remover la arena de las piezas solidificadas, esto es incrementando el potencial de piezas rotas o con fracturas.

Las bentonitas cálcicas son mejor conocidas por su habilidad para rápidamente desarrollar propiedades en verde. Ellas ofrecen un mejor flujo que la bentonita sódica (la cual tiende a ser más plástica) y una mayor deformación a iguales porcentajes de humedad. Por lo tanto, tienen una mayor habilidad para fluir libremente a través del sistema de arena y dentro de profundas y/o cerradas cavidades en un modelo.

Ambas bentonitas pueden ser mezcladas en diferentes proporciones, lo cual es una práctica común. Al mezclar las arcillas, una fundición puede alcanzar en términos generales un promedio en las propiedades físicas.

Cantidad de Arcilla y Agua—Cambiar la cantidad total de arcilla y agua puede alterar la resistencia a la compresión de la arena verde, la permeabilidad y otras propiedades físicas. Generalmente, un porcentaje más alto de arcilla, hasta 12%, traerá como resultado aumento en la resistencia. La cantidad de agua puede también tener un gran efecto en las resistencias a la compresión en verde, en seco y en caliente (ver Fig. 1). Generalmente, incrementando el agua se incrementa la resistencia a la compresión en verde hasta un punto, referido como el punto de templado. Incrementos adicionales de agua traerán como resultado un decremento en la resistencia a la compresión en verde.

Ambas resistencias a la compresión, en seco y en caliente, muestran un incremento en la resistencia conforme se incrementa la humedad dentro de un rango normal.

Métodos de Control—La prueba del azul de metileno determina el porcentaje de bentonita disponible en una muestra de arena. Esta prueba de laboratorio proporciona información crítica acerca de las correctas adiciones de arcilla para mantener los niveles de ésta entre los límites de control superior e inferior. La prueba no puede diferenciar entre bentonita sódica y cálcica. Por lo tanto puede solo indicar la cantidad total de bentonita disponible en el sistema.

A diferencia de la prueba del azul de metileno, la prueba AFS de la arcilla es una prueba de laboratorio que indica el porcentaje total de material fino en la arena. Esto incluye materiales menores a 20 micrones y/o materiales que sedimentan en el agua a una velocidad menor a una pulgada/minuto. Estos materiales incluyen la arcilla disponible, arcilla muerta, granos finos de arena, ceniza, coque, carbón y celulosa. Los porcentajes AFS de arcilla siempre serán más altos cuando se comparan a los del azul de metileno, debido a que contiene ambas bentonitas, disponible y térmicamente destruida, junto con cualquier otra partícula extremadamente fina. Rastreando la diferencia entre los porcentajes de la arcilla AFS y los de azul de metileno, una fundición puede

Tabla 1. Las Características a Resistencias por la Bentonita.

| Características de Arena | 100% Bentonita Sódica | 100% Bentonita Cálcica | 50:50 Na:Ca |
|----------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Resistencia a la Compresión en Verde | 11.8 psi | 14.3 psi | 12.6 psi |
| Deformación Verde a Resistencia Maxima | 1.3% | 0.95% | 1.1% |
| Resistencia a la Tensión en Húmedo | 0.466 N/cm ² | 0.071 N/cm ² | 0.346 N/cm ² |
| Resistencia a la Compresión Caliente | 575 psi | 110 psi | 320 psi |

Los resultados de las pruebas de laboratorio fueron tomadas de materiales crudos virgenes molidos por 10 min en un molino de laboratorio.

determinar si el contenido de material fino se está incrementando. Esta diferencia puede ser grandemente afectada por las adiciones de arena nueva o la dilución de arena de corazones. Generalmente, conforme el porcentaje de arcilla AFS se incrementa mientras el nivel de arcilla de azul de metileno permanece constante o disminuye, se requiere más agua para mantener una compactabilidad constante debido a un incremento en la superficie de contacto del sistema (Fig. 2a-2b).

Carbones

Los aditivos de carbón son generalmente agregados a los sistemas de arena de fundiciones de hierro vaciado para ayudar a reducir la ocurrencia de la penetración de metal y mejorar el acabado superficial. Existen muchas teorías sobre el porqué los aditivos de carbón, tales como carbón marino, ayudan a reducir la penetración. Estas teorías incluyen la ayuda para crear una atmósfera reductora, cubriendo la superficie del molde con carbón lustroso y expansión de carbón.

Métodos de Control – Ambos, el material combustible y la materia volátil, son útiles en la determinación del porcentaje de carbón en el sistema de arena. La prueba de pérdidas por ignición (PPI) indica el porcentaje total de combustibles presentes en la arena incluyendo carbón, coque, residuos de aglutinantes orgánicos de corazones, celulosa, cereales y el agua cristalina contenida en la bentonita disponible. La materia volátil contenida en el carbón es el ingrediente que ayuda a reducir la penetración del metal. A diferencia de la prueba de pérdidas por ignición (PPI), la cual mide todos los materiales combustibles incluyendo carbón y coque, la prueba de volátiles determina la cantidad de carbón activo en el sistema de arena.

Molienda

La molienda es uno de los aspectos más importantes en el control de la arena verde. Una fundición puede mantener todas las materias primas que restituyen la arena con una especificación muy cerrada. Si tienen una molienda y/o prácticas de molienda deficientes, los problemas del control de la arena persistirán. La función de un molino es activar la bentonita disponible dentro de la arena. Esta es una tarea en extremo difícil que requiere una cantidad ex-

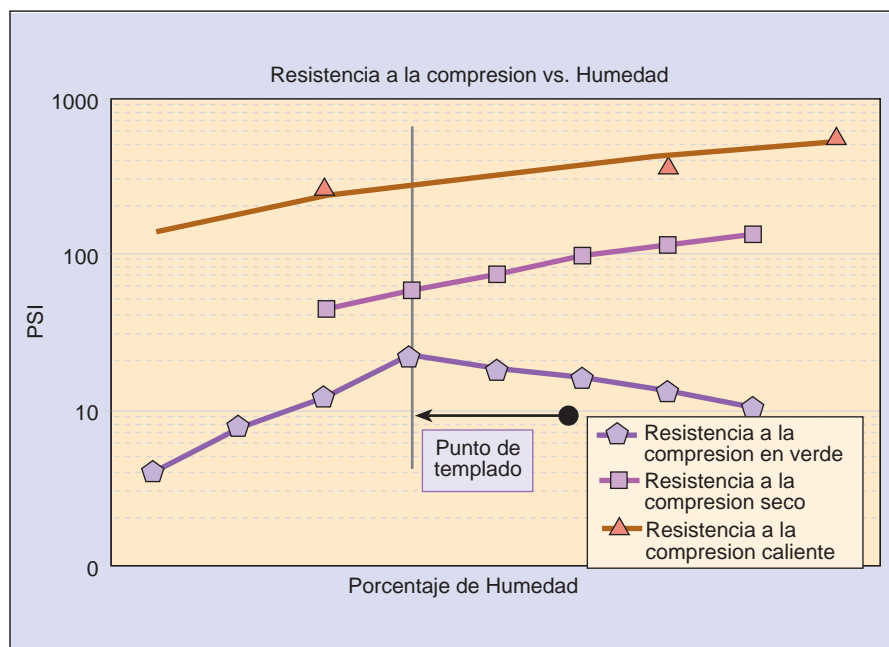


Fig. 1. Esta gráfica muestra la resistencia a la compresión vs. humedad en la arena verde.

trema de energía. Debido a que una mezcla de agua y arcilla es en extremo tenaz, el molino utiliza ruedas que incorporan fuerzas tanto de compresión como de corte para activar las partículas de bentonita y untar la masilla de bentonita sobre los granos de arena. Las ruedas del molino son extremadamente importantes para generar las cargas apropiadas de compresión y corte requeridas para desarrollar plenamente las propiedades físicas de la arena de moldeo. Un completo conocimiento de la secuencia del ciclo de molienda debe ser mantenido para ayudar a minimizar el tiempo de ciclo y optimizar la efectividad del molino. Adicionalmente, las variaciones en las adiciones de materias primas deben ser minimizadas.

Desarrollo de la Resistencia—La prueba de la resistencia a la compresión en verde es extremadamente útil para ayudar en la determinación del grado de molienda alcanzado. Un incremento en la resistencia a la compresión en verde se dará de acuerdo a cómo está procediendo el proceso de molienda. Para maximizar la eficiencia de la molienda, todo esfuerzo debe hacerse para mantener los elementos mecánicos del molino. Es en extremo importante reemplazar las piezas de desgaste ya gastadas, tales como ruedas y arados y rutinariamente ajustar estos componentes a los ajustes recomendados para maximizar su desempeño y minimizar su desgaste. Un programa de mantenimiento preventivo debe ser

establecido para asegurar que el molino es efectivo. Es también importante que tanto el personal de mantenimiento como el de operación sea detalladamente entrenado. En el ambiente actual de incrementos en producción y carga proveniente de corazones al sistema, es imperativo que se efectúe todo intento para maximizar la efectividad de los molinos y el proceso de molienda.

Factores que Afectan el Desarrollo de la Resistencia—La resistencia a la compresión en verde puede incrementarse o disminuirse por la cantidad y/o efectividad de la molienda. Existen también una variedad de otras variables del proceso que pueden contribuir a la variación de la resistencia a la compresión en verde. Estos podrían incluir, pero ciertamente no limitado a: arena caliente, contenido de humedad, dilución de arena de corazones, adición de arena nueva, contenido de arcilla, compactabilidad, finura del grano de arena, calibración del equipo de laboratorio, calidad y variaciones de las materias primas, mejores y más eficientes sistemas de desmoldeo y cambios en la relación arena/metal.

Manteniendo el Sistema

Mantener un sistema de arena involucra la reducción de fluctuaciones y variaciones. Esto requiere no solamente un balance de los materiales que entran y los que salen sino también un balance de energía. En otras palabras, las adiciones de nueva

arcilla deben ser efectuadas para compensar las pérdidas por destrucción térmica, colección de polvos, etc. La energía requerida para activar la arcilla en el molino debe ser mantenida y la energía calorífica inducida en la arena durante la solidificación del vaciado debe ser removida para mantener constante y balanceada.

Pérdidas de Material/Cambios Durante el Reuso—La arena verde está siempre en un estado de trabajo ya sea que se encuentre en el proceso de enfriamiento, molienda, moldeo, en espera del proceso de solidificación de vaciados o templándose en un silo de arena de retorno. El hecho de que la arena verde es constantemente reciclada con pequeñas adiciones de materias primas es una de sus ventajas inherentes. Sin embargo, para conocer y controlar un sistema de arena verde, existen ciertos cambios que deben ser entendidos cuando la temperatura de la arena es elevada durante el proceso de vaciado y enfriamiento de piezas dentro del molde.

Primero, el agua es removida en forma de vapor. Si la temperatura de la arena es elevada arriba de 212F (100C) el agua libre en la superficie es removida. La cantidad de agua libre removida puede ser estimada por el contenido de humedad determinado en el laboratorio de arena. Este cambio es reversible. Si la adición de calor fuera detenida en un punto debajo de aproxi-

madamente 600F (316C), una adición de agua y molienda podría restituir la mezcla de arena-arcilla a las propiedades normales de trabajo.

Segundo, a temperaturas mayores que aproximadamente 600F (316C) para la bentonita cálcica y 1200F (648C) para la bentonita sódica, el agua cristalina, a menudo referida como agua combinada químicamente, es removida de la estructura enrejada de la bentonita. Esta etapa es irreversible y la fuerza aglutinante de la bentonita se pierde. Cuando secciones de la arena de moldeo alcanzan estas temperaturas, las bentonitas contenidas en estas áreas son térmicamente destruidas y son algunas veces llamadas arcilla muerta.

Una cierta cantidad de bentonita nueva debe ser agregada después de cada ciclo del sistema para reemplazar la bentonita destruida térmicamente. Aún más, arcilla adicional debe ser agregada para cubrir la arena proveniente de los corazones, así como para reemplazar las pérdidas por colección de polvos y las pérdidas naturales.

Dependiendo de la temperatura y la atmósfera del molde durante el vaciado, el aditivo de carbón que regresa al molino consistirá de una combinación de carbón, coque y ceniza. Si existiera oxígeno presente en el molde, a elevadas temperaturas, el carbón se quemará y formará partículas de ceniza. Si la atmósfera en el molde fuera inerte a elevadas temperaturas,

el carbón sería transformado en coque. Coque y ceniza son a menudo referidos como formas muertas de carbón y deben ser reemplazados.

Aditivos especiales, tales como celulosa y cereal, son térmicamente destruidos a temperaturas de 250-400F (93-204C). Estos aditivos deben ser reemplazados.

Arena Caliente—Debido a que la arena verde circula y el silicio es un excelente aislante, existe una tendencia en la temperatura de la arena a incrementarse después de múltiples ciclos. La arena caliente es uno de los más grandes problemas asociados con la arena en las actuales modernas instalaciones de fundición. La arena de retorno que entra al molino a temperaturas en exceso de 120F (48C) es considerada arena caliente. Las arenas calientes de moldeo causan una variedad de problemas incluyendo arena pegada en las tolvas y transportadores, secado incontrolable de la arena, difícil sino imposible control de la humedad en el molino, pérdida de las propiedades de la arena preparada, penetración de metal, condensación, inclusiones de arena, moldes rotos, arenas frágiles e incremento en las adiciones de arcilla.

Enfriamiento de Arena—Un enfriador es el único método para enfriar arena caliente sin cambiar el tipo de vaciados, la relación arena/metal, programación de la producción y/o almacenamiento del sistema de arena. La instalación de un enfriador es a menudo la única solución práctica para un problema de arena caliente. Los enfriadores de arena de moldeo utilizan la vaporización y evaporación como el medio para reducir la temperatura de la arena. Cambiar el estado del agua de líquido a vapor requiere una considerable energía térmica y resulta en un enfriamiento de arena extremadamente eficiente. Los aspectos a considerar cuando se selecciona un enfriador incluyen el control de la humedad en la descarga, mantenimiento del equipo, pre-mezclado de la arena, tiempo adecuado de retención, habilidad para mantener el tamaño de la arena y su distribución (p.e. no crear aglomeraciones o remover material fino) y alcanzar una temperatura constante de descarga debajo de 120F (48C). Las condiciones atmosféricas, localización geográfica y las temperaturas de entrada de la arena y el agua deben ser conocidas para asegurar con precisión el tamaño correcto del enfriador. ▼



Fig. 2a-2b. Fotografía de los instrumentos para las pruebas de arcilla AFS y AM. Tanto la lavadora de arcilla de la AFS (izquierda) como el analizador de arcilla MB son importantes para el control de la arena verde.