

Refractarios para cucharas de acería



Dr. Ing. Nelson Santander

Apunte preparado con ocasión de dictar el curso de "Teoría de los Materiales Refractarios", a los ingenieros del Grupo Gerdau de Porto Alegre, Brasil, en mayo de 1983.

1. INTRODUCCION

Las cucharas ("calderos" o "cazos de colada") son recipientes cuyo objetivo fundamental es el trasvase de líquidos metalúrgicos (metales, aleaciones, matas, escorias, etc.) desde una determinada unidad de alta temperatura, hasta otra unidad o depósito. Pueden por ejemplo servir para traspasar líquidos a otra cuchara, a una artesa distribuidora, a un horno, a una nave de colada, o a un botadero.

En Siderurgia hay dos grandes grupos de cucharas: las cucharas-termo, que van montadas en un sistema especial de ferrocarril, y las cucharas de colada, cuyo desplazamiento es mediante grúas. Las primeras se originaron al colocar cucharas comunes sobre vagones ferroviarios, las que fueron sufriendo una metamorfosis hasta llegar a transformarse en las actuales cucharas-torpedo tan conocidas para el trasvase de arrabio. Es con respecto al segundo grupo, sobre el cual se referirá el material contenido en el presente trabajo.

Las cucharas de colada usadas en acería son posiblemente las unidades que han sufrido más cambios, en lo que a diseños refractarios se refiere. De la modesta cuchara de vaciado superior se pasó a la de vaciado superior con sifón, y de ésta a las cucharas con vaciado inferior. Las primeras cucharas vaciadas por el fondo tenían un mecanismo de tapón y vástago. Las actuales cucharas tienen sistemas de vaciado basados en cierres deslizantes, existiendo la modalidad unidireccional y la variedad de cierre giratorio. La Figura 1 ilustra los diseños básicos de cucharas de acería.

La última palabra en diseño de cucharas ha surgido a raíz del continuo avance de la llamada Metalurgia de Cucharas, y corresponde a lo que podríamos llamar "hornos-cucharas", ya que han llegado a tener su propio sistema de calentamiento durante la operación.

Para finalizar esta introducción, y con el objeto de homogenizar el lenguaje, definiremos, con

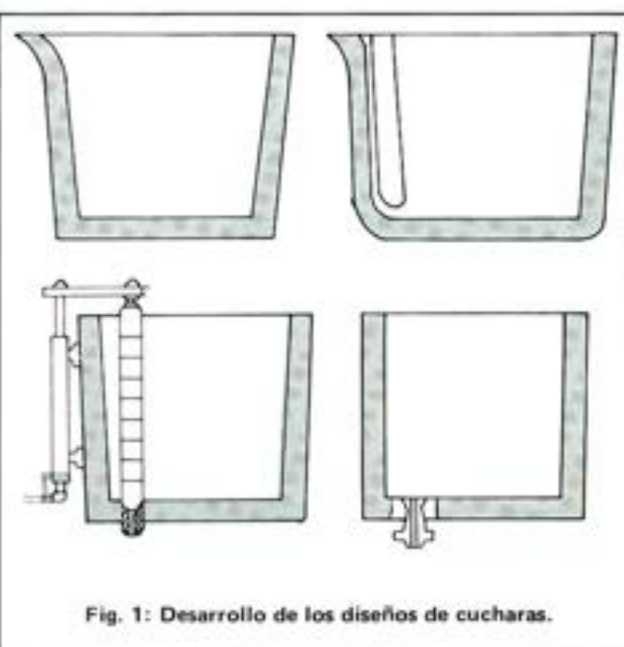


Fig. 1: Desarrollo de los diseños de cucharas.

la ayuda en la Figura 2 las partes y zonas estructurales fundamentales del revestimiento de una cuchara de acería:

- Tapa (opcional), empleada para minimizar pérdidas térmicas, sobre todo en aquellos casos de tiempos prolongados de retención.
- Zona superior de la pared, fuera del contacto directo con metal y/o escoria.
- Zona de escoria, en contacto directo con la pequeña cantidad de escoria que flota sobre el acero líquido.
- Paredes, constituida por dos capas de revestimiento.
- Zona de impacto, que es aquella área sobre la cual choca o impacta el acero líquido que se carga a la cuchara. Esta zona puede estar en la pared o en el fondo.
- Fondo, formado por dos capas de revestimiento.

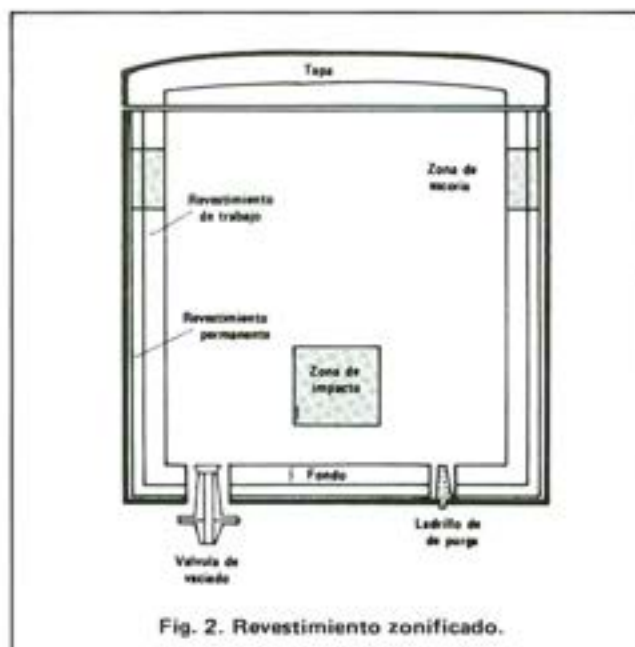


Fig. 2. Revestimiento zonificado.

- Sistema de vaciado, localizado en el fondo.
- Sistema de burbujeo gaseoso, también localizado en el fondo.
- Revestimiento permanente, constituido por refractario de apoyo y material aislante.
- Revestimiento de trabajo, que corresponde a la "cara caliente" de la cuchara.

2. CONSIDERACIONES METALURGICAS

Para los efectos de analizar el proceso metalúrgico que se lleva a cabo en el equipo que nos preocupa, consideremos una cuchara con procesamiento metalúrgico de afinado final, tal como ocurre en las acerías modernas.

Para comenzar, analizaremos las condiciones que pueden llamarse "típicas" en cuanto a las etapas y tiempos de operación de cucharas:

- 6 min de llenado.
- 7 min de desoxidación
- 22 min de desgasificación
- 5 min de recubrimiento
- 15 a 40 min de retención
- 5 min de inyección de Argón
- 45 min de vaciado

lo que da 130 min en el peor de los casos; sin embargo, en ocasiones puede llegarse a períodos de varias horas de trabajo.

Si se supone que la primera etapa química de la aceración, o sea, la oxidación, ya se cumplió en el horno, el afinado propiamente tal se ha traspasado aquí a la cuchara, y la tendencia actual es sólo hacer fusión en el horno, y aceración en cuchara; en otras palabras, la cuchara de mero

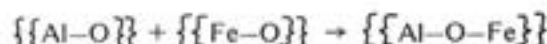
recipiente para trasvasije de líquidos está pasando a ser reactor.

Desde el punto de vista metalúrgico entonces, el primer proceso consiste en la extracción del oxígeno disuelto en el acero, para lo cual se usa aluminio metálico y/o ferroaleaciones. Las reacciones aquí involucradas son:



donde la notación con doble paréntesis de llave señala la formación de coágulos atómicos dipolares disueltos en la fase líquida y formados a raíz de la enorme afinidad que tiene el aluminio por el oxígeno disuelto en el acero.

Como también coexisten en el baño los coágulos $\{\{Fe-O\}\}$ ambos tipos de coágulos pueden interactuar por acomplejamiento:

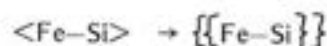


y bajo condiciones de saturación:

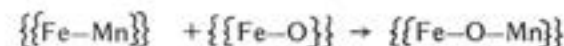
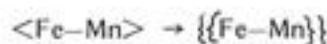
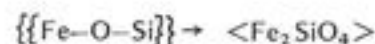


compuesto que de no ser absorbido en la escoria, pasaría a constituir una suspensión en el líquido y más tarde una inclusión en el acero sólido.

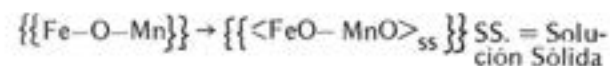
Para las ferroaleaciones la situación sería la siguiente:



y



y



en ambos casos son válidos los comentarios hechos en torno al Al. Por supuesto que seguirán coexistiendo al final coágulos de todo tipo en el acero ya que parte del Si y del Mn quedan en forma residual.

En el caso de laminar o trefilar el acero a niveles muy finos, es preciso poner límite a la compo-

sición del silicio. Si se considera que la mitad o las 2/3 partes del silicio contenido en el acero proviene de la cuchara (arcilla, o material silicoso) o del distribuidor, se ve la importancia de controlar las inclusiones generadas por este ítem.

La segunda etapa químico-metalúrgica se refiere a la desgasificación mediante vacío. La cuchara debe soportar vacíos moderados que permiten la remoción de gases que no han alcanzado una suficiente presión de vapor, como el caso del CO , H_2O , y SO_2 , según los conocidos equilibrios:



Para los gases es válida también la teoría de la coagulación antes expuesta.

Algo similar ocurre al insuflar gas inerte Ar frío, ya que no sólo se produce una homogenización térmica y composicional del baño sino que además, el gas sirve de purificante al actuar las burbujas como arrastradoras de coágulos pseudo-gaseosos que se integran a la burbuja con una baja presión de vapor y sin tener que efectuar trabajo de interfases.

Existe además un marcado interés por llevar a cabo también la desulfuración en la cuchara, proceso que se efectúa según el mecanismo:



existiendo la probabilidad de formación de coágulos cuaternarios Ca-S-O-Fe que pueden ser absorbidos en la escoria donde posteriormente precipitan por saturación.

Resumiendo, de las consideraciones metalúrgicas aquí expuestas pueden concluirse las siguientes solicitaciones a la mampostería de la cuchara:

- Solicitaciones químicas a nivel del baño, debido a la presencia de coágulos oxidados, o bien de precipitados complejos que pueden ayudar a escorificar las paredes internas de las cucharas (ej.: FeAl_2O_4). Las solicitaciones químicas a nivel de la escoria son obviamente las peores ya que permiten la interacción directa óxido-óxido que es químicamente lejos más virulenta que la interacción óxido-metal.
- Solicitaciones térmicas por períodos de tiempo cada vez más prolongados. La tendencia moderna ha sido hacia mayores temperaturas de colada, principalmente debido al empleo de los largos tiempos de retención requeridos en colada continua.

iii) Severas solicitaciones de abrasión mecánica particularmente en la "zona de impacto" del chorro de acero al cargar las cucharas, y en la zona de sangrado por el fondo.

iv) Tanto la cara caliente de la pared, como la válvula de sangrado deben soportar condiciones de bruscas alternancias térmicas lo que origina serias solicitaciones de spalling térmico en la mampostería y en la zona de sangrado.

3. TIPOS DE ALBAÑILERÍAS

Por la naturaleza de su operación, todas las cucharas de acería van revestidas interiormente con materiales refractarios. Como nota curiosa se puede comentar aquí que las cucharas para cobre blister y para matas de cobre, dadas las condiciones de trabajo, no llevan revestimiento refractario alguno.

Los diseños de las cucharas modernas contemplan dos características geométricas de interés:

a) Relación altura/diámetro (medidas externas)

$(H/\Phi) > 1$, para los diseños clásicos.

$(H/\Phi) = 1$, para minimizar la relación superficie a volumen.

$(H/\Phi) < 1$, para minimizar costos de edificación en altura (de los talleres de acería y de colada).

b) Conicidad (dimensiones internas)

$$\left(\frac{\Phi_{\text{(superior)}} - \Phi_{\text{(inferior)}}}{H} \right) \times 100$$

empleándose en la actualidad conicidades del orden de 1,50/o y menores.

En lo que a construcción refractaria se refiere, es necesario agrupar las cucharas en 2 grandes grupos, las enladrilladas y las monolíticas, y analizar ambos tipos por separado. Luego revisaremos las válvulas de vaciado.

3.1. CUCHARAS ENLADRILLADAS

A modo de referencia podemos comentar que una cuchara moderna de gran capacidad tiene la siguiente distribución de peso:

palastro o carcasa	160/o
refractarios	120/o
acero líquido	700/o
escoria	10/o

Consideraciones energéticas elementales y de costo señalan que el esfuerzo de los diseñadores se

ha centrado en minimizar el peso de la cuchara en todo lo que es mampostería.

Tanto para cucharas con conicidad como para cucharas cilíndricas, el enladrillado más convencional es el constituido por anillos de trabajo hechos con ladrillos arcos combinados adecuadamente con rectos (Figura 3a.). Como alternativa se han venido usando en forma más preferente, ladrillos radiales, como el que muestra la Figura 3b., la razón es que este diseño permite una mayor área basal al ladrillo lo que le da a la cuchara una construcción más estable. Además, con ladrillos arco es virtualmente imposible construir un revestimiento directamente adosado al revestimiento de seguridad y paralelo a la carcaza. Es esencial usar ladrillos radiales cuando se desea enladrillar directamente frente de un revestimiento de seguridad y sin usar un mortero.

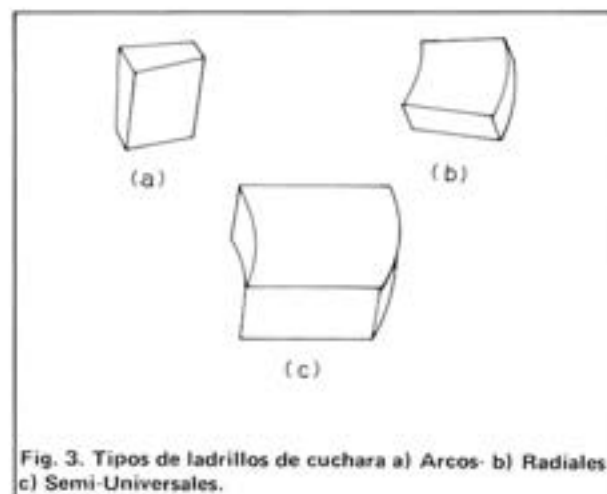


Fig. 3. Tipos de ladrillos de cuchara a) Arcos- b) Radiales c) Semi-Universales.

Recientemente se ha introducido un ladrillo de forma semi-universal que permite confeccionar un enladrillado en forma helicoidal (espiral). Este diseño se muestra en la Figura 3.c. Al parecer, este tipo de diseño permite un enladrillado más fácil y más rápido, una mayor duración y no habrían infiltraciones de acero detrás de los ladrillos.

El enladrillado de cucharas requiere emplear expansiones muy precisas, ya que una expansión con mucha tolerancia puede originar penetraciones de metal y escoria, de preferencia en las uniones. Por otro lado, una dilatación insuficiente puede causar un spalling por compresión en la cara caliente. Obviamente que ambos tipos de diseños deficientes provocan fallas prematuras en el revestimiento.

Algo muy importante de tener en cuenta en el diseño de cucharas básicas, es que los refractarios básicos tienen conductividades térmicas mucho mayores que las de los refractarios convencionales silico-aluminosos. Por consiguiente es preciso minimizar las pérdidas de calor a través de las

paredes de las cucharas debido a lo siguiente:

- Para prevenir la solidificación de metal en la cara caliente.
- Para evitar un calentamiento excesivo de la carcaza, lo que puede deformar en forma crítica la cuchara.
- Para minimizar las pérdidas de energía.

Al emplear aislación se reducen las pérdidas de calor, pero aumenta el desgaste de los ladrillos ya que el revestimiento de trabajo, al tener un menor gradiente de temperatura entre caras, facilita la penetración y ataque de la escoria. La experiencia señala que cuando se trabaja con cucharas básicas, el uso adecuado de ladrillos aislantes y papel de fibra aislante origina temperaturas de la carcaza que son comparables a las que se logran al usar ladrillos de alúmina y de arcilla.

Es usual usar mortero al enladrillar cucharas de alta alúmina y silico-aluminosas. No es necesario en cambio al enladrillar con ladrillos de magnesita o de magnesita-cromo. En cualquier caso, es fundamental que el mortero tenga una alta resistencia al ataque de escoria, comparable o incluso mejor que la de los ladrillos mismos, y además debe tener estabilidad volumétrica al calentar a las temperaturas de trabajo.

3.2. CUCARAS MONOLÍTICAS

En los últimos años se ha producido un traspaso de mamposterías enladrilladas a monolíticas debido principalmente a:

- El enladrillado es un trabajo de baja productividad.
- El desarrollo industrial ha provocado escasez de hábiles albañiles (sobre todo en países desarrollados).
- Consideraciones de costo energético de los refractarios cocidos frente a los no cocidos.

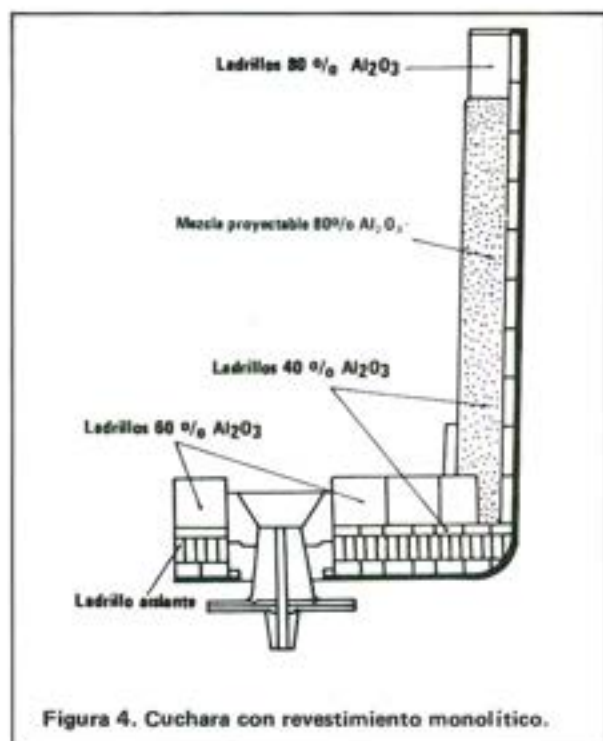
La Figura 4 ilustra el resultado de revestir en forma monolítica la pared de trabajo de una cuchara de acería. Se puede observar que tanto los revestimiento de apoyo del muro, como el piso completo siguen siendo enladrillados.

Para construir paredes de trabajo monolíticas se han diseñado máquinas especiales que permiten obtener densidades de compactación altas y homogéneas.

Como una alternativa al uso de apisonados, se puede citar el uso de mezclas proyectables, técnica que ha venido empleándose ya por cierto tiempo.

3.3. VALVULAS DE VACIADO INFERIOR

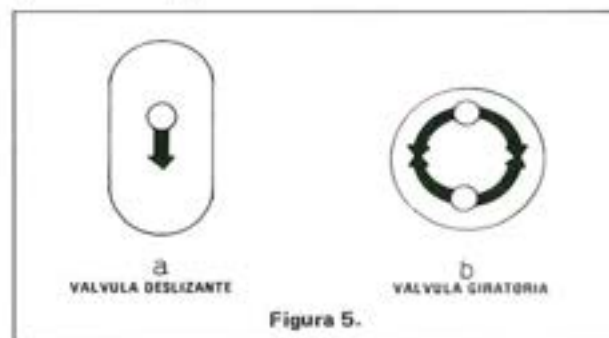
El corazón de una cuchara moderna de acería es el sistema de vaciado inferior, que llamaremos válvula de vaciado inferior. Este órgano, dadas las exigencias mismas de su operación, es el que ha



sufrido mayores mejoras y es al cual se le ha dedicado mayor atención tanto por parte de los diseñadores, como por parte de los refractaristas.

La Figura 5 muestra los 2 tipos de diseño que actualmente se encuentran en operación a nivel comercial:

- a) es el llamado cierre deslizante.
- b) es el cierre giratorio.



En lo que sigue examinaremos con más detalle estos importantes órganos estructurales de las cucharas de acería.

a) CIERRE DESLIZANTE

Tal como se aprecia en la Figura 5a, un cierre deslizante es un dispositivo de sangrado inferior de cucharas basado en el desplazamiento de una placa perforada móvil en una dirección única (en ambos sentidos eso sí) con relación a otra placa perforada fija, de manera que el sistema permite el sangrado cuando las perforaciones de ambas placas se sobreponen. Anexo al sistema van ubica-

das por encima de la placa móvil una boquilla tronco-cónica adosada a la base de sangrado de la cuchara misma, y otra boquilla adosada a la placa móvil y que sirve para guiar el chorro de líquido. El movimiento deslizante de la placa inferior se consigue mediante un accionamiento hidráulico.

En la actualidad los materiales más comúnmente usados en las placas son: alta alúmina, circón y magnesita. Las estadísticas señalan duraciones más prolongadas para las placas alquitranadas y las ligadas con grafito (del orden del 100/o). El uso de adiciones de óxido crómico a la alúmina ha dado buenos resultados particularmente para vaciados de aceros muy erosivos.

b) CIERRE GIRATORIO

En la Figura 5b se puede apreciar que la base del diseño del cierre giratorio es el desplazamiento de una placa doblemente perforada que es móvil, en forma rotatoria (y con el eje geométrico colineal) con relación a otra placa de igual diseño en su área de contacto, pero que está fija. El sistema hace posible el sangrado cuando las perforaciones superior e inferior coinciden.

Este diseño permite mantener una superficie de contacto constante admitiendo que las 2 placas estén fuertemente apretadas una contra la otra minimizando así el riesgo de penetración del acero líquido entre las placas.

Como el diseño tiene 2 aberturas en la placa giratoria, y el accionamiento puede ser levógiro o dextrógiro, existen entonces 4 posibilidades de desgaste, de manera que una vez producido éste, no se encuentra orientado hacia el interior de la placa.

Finalmente puede aprovecharse de disponer sangrados con diferentes diámetros lo cual es muy conveniente si se desea contrarrestar la enorme diferencia de presión ferrostática que existe entre el comienzo y el término del vaciado.

3.4. LADRILLO DE PURGADO GASEOSO.

Originalmente se empleaban refractarios de arcilla. Posteriormente los ladrillos de mulita lograron dar mejores rendimientos. Para condiciones más severas se ha pasado al uso de magnesita. Tanto en el caso de ladrillos de mulita como en el de magnesita, se emplean en su fabricación mezclas de una sola granulometría. Al cocer los ladrillos a elevada temperatura, se obtiene un buen sinterizado a pesar que no existen finos en la mezcla. Se logran así porosidades de 300/o, con un tamaño de poros que queda definido según el tamaño de los granos de la materia prima prensada. La resistencia mecánica obtenida es similar a la de los ladrillos densos.

4. MATERIALES REFRACTARIOS USADOS EN CUCHARAS

Quien examine el desenvolvimiento de los materiales usados para revestir cucharas de acería podrá darse cuenta que la gama de ellos cubre prácticamente todo el espectro de los materiales refractarios comerciales, desde los materiales silíceos ácidos hasta los muy básicos de dolomita. Esto pone una vez más de manifiesto que para conocer bien las potencialidades de las diversas alternativas en cucharas, es preciso conocer a fondo todos los materiales refractarios empleados industrialmente.

ligados, cuya composición corresponde prácticamente a la de arenas ácidas de proyectado (85 a 90% SiO_2). Además, la formación de juntas se compensa con la dilatación de cuarzo, que provoca un deslizamiento superficial. Por ello los ladrillos de sílice generan una superficie monolítica que no permite el ataque localizado sino más bien una erosión homogénea que hace posible hacer mejores estimaciones del desgaste de las cucharas durante la campaña.

Experiencias realizadas en Bélgica agregando 7 a 8% Cr_2O_3 a las arenas arcillosas ácidas han demostrado mejorar sensiblemente la resistencia al ataque de escorias. Bastante buen éxito ha tenido

La TABLA 1 muestra algunas sugerencias propuestas por la firma Didier-Werke.

TABLA 1: MATERIALES SUGERIDOS PARA USO EN CUCHARAS						
BASICIDAD ESCORIA	media	alta	alta	alta	baja	baja/alta
ATMOSFERA	—	reduct.	reduct.	fuertemente reduct.	oxidante	oxidante/reductora
EJEMPLOS DE PROCESOS	desgasificado	desulfuración	desulfuración (VAD)	desulfuración IN	VOD VAD	VOD con desulfuración
ZONA ESCORIA	Mg-Cr 60 ó 65	dolom.	MgO	MgO o	Mg-Cr 50	Mg-Cr 65
MUROS	Mg-Cr	dolom.	cromita o baux.	dolom. o	cromita	cromita
ZONA IMPACTO	Mg-Cr 60	Mg-Cr 60	cromita o baux.	materiales básicos	cromita	cromita
FONDO	Mg-Cr 60	Mg-Cr 60	baux.	proyect.	Mg-Cr 50 ó 65	Mg-Cr 65

Aunque el espectro aquí mostrado está restringido principalmente a cucharas básicas sigue aún operándose con cucharas no-básicas para diversos propósitos, razón por la cual conviene hacer un recorrido por todo el espectro a que anteriormente se hizo mención.

4.1. LADRILLOS DE SILICE.

En los ladrillos cocidos es típico el encogimiento, la erosión en las juntas y la posterior formación de "endentado" (cobble stone). Por ello, en los fondos de las cucharas por ejemplo, ellos se reemplazan por ladrillos de sílice químicamente

en Japón el material silíceo conocido como Roseki, que se emplea tanto en apisonados monolíticos como en ladrillos. Con contenidos de 81 a 83% SiO_2 y 16 a 17% Al_2O_3 , se trata fundamentalmente de un mineral pirofilitico, con cuarzo anexo y un bajo residual alcalino.

4.2. LADRILLOS SEMI ACIDOS.

Para cucharas en las que se requiere una mayor resistencia a la escoria y a la erosión, se prefiere usar ladrillos cocidos de arcilla en lugar de las de arenas. Estos ladrillos semi-ácidos contienen 20 a 22% Al_2O_3 , combinan las ventajas de los

ladrillos de arena con las de los arcillosos. Sus buenas propiedades se deben al contenido de mulita, material altamente refractario.

4.3. MATERIAL BAUXITICO.

Este tipo de material refractario, que tiene como principales constituyentes mineralógicos el corindón y la mulita, es altamente resistente a la acción de la escoria. Además, debido a la buena resistencia al choque térmico que tiene la bauxita es factible tener enfriamientos repetidos de cucharas recubiertas enteramente con bauxita, sin producir spalling o agrietamientos, evitando inclusiones en los aceros.

Por otra parte, debido a la alta conductividad térmica de este material, se recomienda usar aislantes en la cuchara.

4.4. ARENA DE CIRCON.

El silicato de circonio llamado también circón o arena de circón, es otro material altamente resistente a la escoria.

Las mezclas de circón ligado con arcilla tienden a producir grietas por contracción puesto que el silicato de circonio, a diferencia del cuarzo, no se transforma con aumento de volumen. Por ello se agrega cuarzo a la mezcla para disminuir el encogimiento aunque disminuye eso sí la resistencia a la escoria.

4.5. MINERAL OLIVINICO Y DE CROMO.

Es posible utilizar en cucharas de acería ladrillos olivínicos que contienen una materia prima relativamente barata, la olivina ferrosa $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ (+80/o FeO), es decir una forsterita impura. Este material es más resistente a la escoria que la arcilla, sin embargo, como no sinteriza para formar una superficie sellada, puede ser infiltrado por la escoria. Los ladrillos cocidos fabricados con olivina tienen una pobre resistencia al choque térmico, y al ser infiltrados en su cara caliente, tienden a desconcharse. Los químicamente ligados no son tan sensibles como los cocidos.

Estas debilidades pueden mejorarse mediante adiciones de cromita. Puede llegarse al extremo de fabricar ladrillos sólo de cromita ya que son incluso más resistentes a la escoria que los de olivina-cromita, aunque son obviamente más caros.

4.6. MATERIALES BASICOS.

Se entiende como cucharas revestidas con materiales básicos, aquellas que usan como materias primas magnesita, cromita, dolomita, o mezclas entre ellas. Como estos materiales tienen mayores dilataciones, altas conductividades térmicas, baja resistencia al choque térmico, alta capacidad de almacenaje térmico etc., requieren una albañi-

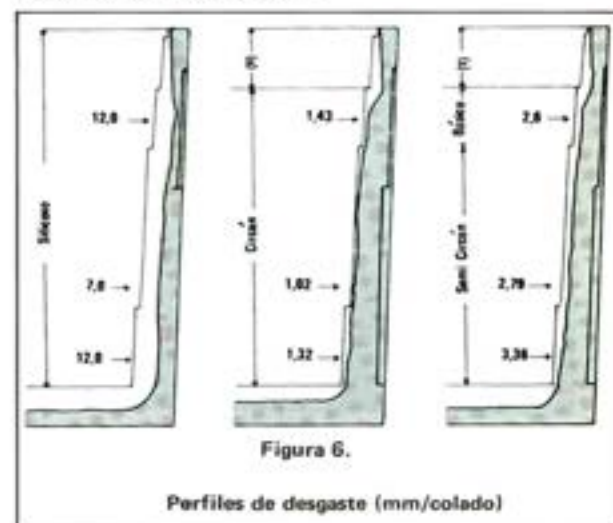
lería más cuidadosa, prolija y cara. Hay que tomar las precauciones de mantener calientes las cucharas básicas. Una manera de abaratar los costos de estas cucharas, es recurrir al empleo de mezclas básicas proyectables, aunque la vida de cucharas básicas revestidas por proyectado es mucho menor que la de las cucharas básicas enladrilladas. Los refractaristas han logrado desarrollar mezclas expandibles formadoras de espinelas, que permiten reducir el encogimiento y con ello el problema de propagación de grietas.

Los materiales básicos pueden usarse ligados con alquitrán (tar-bonded) o bien impregnados en alquitrán (tar-impregnated).

5. MECANISMOS DE DESGASTE DE CUCCHARAS

Con cifras de consumo de 3 a 5 kg de refractarios por tonelada de acero procesada no cabe duda que se debe dedicar tiempo y atención al desgaste de las cucharas, más si se piensa que el consumo en cucharas es comparable con el de los hornos LD.

Otra manera práctica de cuantificar los consumos o los desgastes es evaluar el espesor de refractarios consumido por colada. Al respecto puede tomarse como referencia un desgaste de 5 mm colada para cucharas de 340 t enladrilladas, tal como se puede apreciar en los perfiles de desgaste mostrados en la Figura 6.



Como ocurre en la mayoría de los fenómenos de corrosión refractaria por contacto directo con líquidos a alta temperatura, la cara caliente muestra las siguientes zonas, a medida que nos internamos ortogonalmente hacia su interior:

- zona escoriificada
- zona infiltrada
- zona densificada
- zona de transición
- zona inalterada

cuyos espesores variarán según las circunstancias propias de cada situación en especial.

Observaciones hechas en la línea de escoria con refractarios de magnesita-cromo directamente ligados señalan el siguiente mecanismo de corrosión:



el ataque preferencial por los granos de magnesita ha dejado inalterados los granos de cromita y los de liga directa. La solubilidad del MgO en diversos sistemas oxidados líquidos se ha encontrado que depende del recíproco de la temperatura absoluta según:

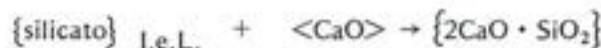
$$\ln [\text{MgO}] \cong -\frac{A}{T} + B$$

donde

$$[\text{MgO}] = \text{moles de MgO disueltos}$$

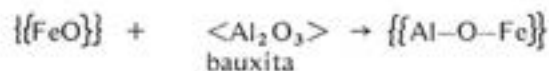
A;B constantes

En el caso de usar revestimientos de dolomita ligada con alquitrán, el ataque preferencial ocurre en la fase CaO que es más básica que la magnesita:



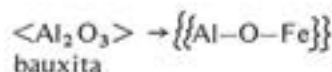
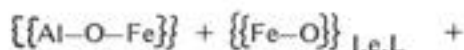
esta fase tiene menor difusividad que la fase montichelítica formada en el caso del ataque al MgO. Sin embargo, debido a su conversión $\alpha \rightarrow \gamma$, es responsable de un fenómeno destructivo muy indeseable denominado "dusting". Al enfriarse el ortosilicato α formado a alta temperatura, se transforma en ortosilicato γ (según otros autores) causando una expansión del 12% que provoca un escamado similar a la formación de polvos y por ello en inglés se conoce como "dusting".

Estudios hechos con revestimientos de alúmina en la cara caliente en contacto con el acero señalan que ocurre aquí el siguiente mecanismo:



coágulo que al enfriar genera $\langle \text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \rangle$, pero que puede seguir disolviendo bauxita hacia el interior en presencia de Fe-O infiltrado previamente, según:

* l.e.L. = infiltrado en el ladrillo



El desgaste de las válvulas de vaciado responde a solicitaciones más dramáticas, y es por ello que se fabrican según la mejor tecnología disponible hoy en día.



Figura 7: Solicitaciones en los cierres deslizantes.

La Figura 7 es muy ilustrativa en explicar lo que ocurre en los diferentes instantes de acción del cierre:

- Antes de sangrar existe poca solicitación térmica.
- Al sangrar hay un efecto erosivo en las paredes provocado por el chorro de acero líquido que escurre, hay solicitaciones térmicas y químicas; además ataque a la junta de las placas.
- Al estrangular se provoca un efecto erosivo en las aristas, turbulencia y desvío del chorro en la boquilla inferior.
- Al cerrar se promueve un efecto de roce entre las placas, y un choque térmico en la boquilla inferior.

Al abrir la válvula, la temperatura de la placa móvil sufre un severo choque térmico (sobre los 1000°C por minuto). Antes de la primera colada, la temperatura de la placa deslizante es inferior a 100°C, pero ya en la segunda colada se encuentra entre 200 y 400°C, dependiendo obviamente del lapso transcurrido entre colada y colada. Se han hecho cálculos matemáticos de los esfuerzos a que queda sometida la zona vecina a la perforación de sangría, debido a este choque térmico, y se ha encontrado que ellos justifican la fracturación radial que ocurre en estas placas. Para minimizar este agrietamiento se requiere emplear material refractario con alta resistencia a la tracción y a la flexión, un bajo módulo E y un bajo coeficiente de expansión térmica.

Al cerrar la válvula, la zona de la placa móvil

que queda ahora en contacto con el acero, experimenta un calentamiento casi instantáneo desde unos 500 a 800°C hasta 1500°C, lo cual provoca desconchamiento y escamamiento. En la práctica se evalúa la resistencia de los materiales a este efecto usando un soplete. Se ha observado así que aquellos materiales que tienen alta resistencia en caliente y bajo coeficiente de expansión pueden sobrevivir al test sin desconcharse. Es muy importante que exista una buena liga cerámica, como es la que produce la mulita en las placas silico-aluminosas. Las placas de magnesita se comportan muy bien en el test del soplete, no se encuentran destrucciones en la textura, aunque muy a menudo las placas se fracturan. Si se efectúa en forma repetida el ensayo del soplete, en el mismo lugar de la placa, para simular varias acciones de apertura y cerrado de la válvula, se ha detectado que la alúmina sobrevive estos ensayos sin mostrar daño, pero las placas de magnesita se deterioran al destruirse la textura ya en el primer calentón.

Al accionar repetidamente la válvula, se depositan partículas de acero y de escoria, luego el acero solidifica y las superficies en contacto (entre placas) se van erosionando. Para minimizar este desgaste, se requiere superficies sin poros en los que puedan penetrar partículas líquidas o sólidas. La resistencia a la erosión puede evaluarse midiendo la resistencia a la compresión. En este

aspecto, las placas de magnesita son tanto o más buenas que las de alúmina.

El acero y la escoria provocan además un ataque químico a las placas; son especialmente peligrosos el FeO del acero y las escorias muy básicas o muy ácidas. Comparativamente, el MgO resiste, pero la alúmina sufre ataque. La mulita muestra un vigoroso ataque.

En general, la experiencia señala que para molde de lingotes y uso repetido, se adecúan las placas de Al_2O_3 .

Las placas de MgO en cambio pueden usarse en todas aquellas plantas de colada continua en que se trabaje con aceros de bajo carbono, y oxígeno relativamente alto, como es el caso de aceros para alambres y para bandas. Como la temperatura de sangrado es alta ($\sim 1650^\circ C$) y los tiempos de colada son largos (60 a 90 min), el ataque químico a las placas de Al_2O_3 es mayor, más aún en vaciados controlados (con estrangulamiento de la válvula), ya que además aparece un severo efecto de abrasión.

Para concluir revisaremos el desgaste de los ladrillos de purgado gaseoso.

Es importante considerar la resistencia mecánica de este tipo particular de ladrillo por cuanto su desgaste se debe principalmente a una erosión en la superficie. Al diseñar la albañilería es preciso coordinar la vida del cono de purgado con la vida del bloque-soporte y del piso de la cuchara,

