UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

2ej. 15

TRABAJO MONOGRAFICO

EL HORNO ELECTRICO DE ARCO Y SU EMPLEO EN LA FABRICACION DE ACEROS PARA HERRAMIENTA

Alfredo López Cervantes

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

1981

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I.- INTRODUCCION

II.- LOS HORNOS ELECTRICOS DE ARCO

1.- BREVE RESEÑA HISTORICA

2.- IMPORTANCIA DE LOS HORNOS ELECTRICOS DE ARCO

3.- CLASIFICACION DE LOS HORNOS ELECTRICOS DE ARCO

4.- DESCRIPCION DE LOS HORNOS DE ARCO MAS IMPORTANES

5.- VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL ARCO LIBRE Y DEL ARCO DE CAJA.

III.- LOS ACEROS PARA HERRAMIENTA

1.- PRINCIPALES TIPOS DE ACEROS DE HERRAMIENTA

2.- ACEROS PARA TRABAJOS EN CALIENTE

IV.- EQUIPO ELECTRICO UTILIZADO PARA LOS HORNOS ELECTRICOS DE ARCO

1.- TRANSFORMADORES.

2.- CIRCUITO DE MEDICION

3.- REGULADORES DE ELECTRODOS

V.- EQUIPO MECANICO Y DE OPERACION

1.- ELECTRODOS

2.- MORDAZAS

3.- BRAZOS PORTA ELECTRODOS.

4.- MECANISMO DE VOLTEO

5.- METODOS DE CARGA

VI.- EL HORNO

1.- EL CASCO

2.- REFRACTARIOS

3.- LA BOVEDA

VII.- OPERACION Y MANTENIMIENTO

1.- PERIODO DE OXIDACION

2.- PERIODO DE REDUCCION

3.- MANTENIMIENTO

VIII.- CALCULOS DE CARGA

1.- CALCULOS DE CARGA

2.- ORDEN DE ADICION DE LOS ELEMENTOS ALEANTES

IX.- EPILOGO

X.- BIBLIOGRAFIA

C A P I T U L O I

I N T R O D U C C I O N

I.- INTRODUCCION.

El objetivo primordial que me ocupa al desarrollar el presente trabajo, es el de proporcionar una información bibliográfica acerca de uno de los procesos más importantes e interesantes de la industria metalúrgica, el cuál es el proceso del Horno Eléctrico de Arco y su operación durante la preparación de los Aceros para Herramienta, considerando como principal objetivo la descripción correspondiente a la constitución del horno y sus partes auxiliares. Así mismo se hará mención de algunos de los tipos de equipos auxiliares, que se han desarrollado de acuerdo a las necesidades de esta tecnología.

En la primera parte se tratará de hacer una breve reseña de los factores que han intervenido en la evolución de este tipo de hornos y el equipo. Así también hablaremos de las características más importantes de las partes y de los materiales para este caso específico, usados actualmente.

En la segunda parte se tratará de explicar el funcionamiento del horno aplicado a un proceso de aceración en el que intervendrán algunos elementos propios para la aleación de aceros tipo herramienta, y muy en particular los aceros para trabajos en caliente, tomando como ejemplo un acero tipo AISI H-21, y considerando las propiedades físicas que le impartirá cada uno de los elementos que intervienen en su elaboración.

CAPITULO II

LOS HORNOS ELECTRICOS DE ARCO

II.- LOS HORNOS ELECTRICOS DE ARCO.

I.- Breve Reseña Historica.

Es debido a la gran importancia que en la actualidad tienen los hornos eléctricos de arco para la fabricación de acero, que es conveniente hacer una breve reseña historica para observar los cambios que éstos han sufrido en su diseño, desde los primeros en su tipo hasta los modernos hornos de arco que existen en la actualidad.

Transcurrierón casi ochenta años desde que se descubrió el arco hasta que se consiguió producir una cantidad grande de metal. Sólo hasta después que se inventó la dínamo, como una fuente de corriente más potente que las celdas electroquímicas.

Fué en 1880, cuando Sir Williams Siemens, formuló el fundamento teórico del horno de arco, cuando descubrió que podría emplearse un arco eléctrico para fundir metales en un espacio confinado, y que permitiríala realización de las reacciones metalúrgicas.

Posteriormente, Stassano en 1898, proyectó en Roma, un horno horizontal, empleando un arco indirecto para la reducción del mineral de hierro. Un año despúes en Francia, el Dr. Heroult, aplicó el principio delarco eléctrico directo, en un horno abierto por arriba para producir ferrocromo, y a comienzos de 1902, se inició la producción de acero en un horno cerrado por arriba.

Después de un período de desarrollo en Europa, el primer horno dearco instalado en Norteamérica, bajo la dirección del mismo Dr. Heroult, fué un horno para producir minerales en Sealt Ste. Marie; a éste le siguió un horno de tres toneladas en la Halcomb Co. de Syracuse N.Y., un año después se trata de un horno monofásico, que funcionaba junto con un horno Siemens Martín; después en 1909, la United States Steel Corporatión, instaló dos hornos de 15 toneladas que fueron los primeros trifásicos y operaban con metal proveniente de convertidores.

Este proceso fué substituyendo gradualmente el proceso del crisol-

para acero de herramienta, aunque después de la primera guerra mundial le siguió un lento desarrollo aumentando gradualmente el tamaño hasta llegar al horno elíptico de seis electrodos de la Timken Roller Bearing Co., en 1927, y desde entonces el desarrollo se ha limitado a los hornos de tipo circular, luego desde 1929 a 1935 fué muy poco el desarrollo, reasumiendo un régimen moderado hasta 1940, cuando se acelera grandemente, triplicándose entonces la capacidad en sólo tres años. Durante este período se adoptarón diferentes formas, particularmente en lo relativo a la disposición del arco.

Existía el arco independiente, que se forma entre los electrodos, transmitiendo el calor a la carga únicamente por radiación como era característico en los diseños de Stassano. Otros diseños típicos como los de Greaves, Etchel, Girod y otros empleaban un arco desde uno o más electrodos al baño pasando la corriente por el mismo y saliendo por otro electrodo. Otro tipo fué el horno de arco directo, que es el que predomina en la actualidad y que comprendió los diseños del Dr. Heroult, Swindell, Lectromelt y Volta.

Los hornos posteriores a los mencionados, podrían considerarse casí como contemporáneos nuestros, además de que básicamente han sufrido variaciones mínimas en cuanto a su principio de operación se refiere.

2.- Importancia de los Hornos Eléctricos de Arco.

Un horno eléctrico de arco para la fabricación de acero está esencialmente formado por una coraza de acero con fondo esférico o plano, recubierto interiormente con material refractario, tiene un mecanismo de volteo y un pico para vaciar el acero líquido, tiene además una puerta diametralmente opuesta al pico de vaciado, para observar el horno, sacar la escoria, tomar muestras etc.

La energía eléctrica transformada en energía calorífica mediante el arco, hace que éste arco concentre más el calor en el punto que se produce y cuando los electrodos trabajan verticalmente, el calor no irradia casí nada hacia arriba, lo cuál es una ventaja, pués con ello se impide-

que se caliente el revestimiento superior de los muros y la bovede, prolongando así su vida y significando gran economía en la producción, en relación a otra clase de hornos.

El horno eléctrico de arco es un equipo de proceso maravilloso, que permite la obtención de cualquier aleación, pasando por toda la gama de aceros y hierros, usando carga líquida o sólida, fría o precalentada, continúa o intermitente, y que trabaja con mineral reducido o metal.

A pesar de las dificultades iniciales en la técnica, el horno eléctrico se usa actualmente para la manufactura de aceros de herramienta de alto grado y aceros de aleación, Aun cuando la electricidad es una fuente de calor costosa, la utilización de pedacería de grado medio, que es barata, hace posible este proceso, ya que las condiciones favorecen la remoción del fósforo y del azufre. El alto costo de la electricidad, queda hasta cierto punto compensado así.

Para la obtención y refusión del acero sólo se emplean los hornos de arco y los de inducción, en los que pueden alcanzarse temperaturas hasta de 3500ºC. Además de que la carga queda por completo libre de contaminación del gas combustible, y puede controlarse la elevación de temperatura y mantener ésta entre limites muy preciosos con regulación completamente automáticas.

Así también encontramos que puede controlarse perfectamente la atmosfera en contacto con la masa fundida, haciéndola oxidante o reductora a voluntad, e incluso en algún tipo de horno puede operarse en vacío. Además tienen mayor duración los revestimientos que en los demás tipos de hornos, y su operación se realiza con mayor limpieza en comparación con los otros tipos de hornos.

3.- Clasificación de los Hornos Eléctricos.

Dentro del tipo de hornos eléctricos, existen varios tipos adoptados actualmente en las fundiciones y podemos hacer una clasificación como sigue:

4.- Hornos eléctricos de resistencia.

a).- Hornos de resistencia no metálica o de electrodo radiante ,(fig.1).

b).- Hornos de resistencia metálica,(fig.2 y 3).

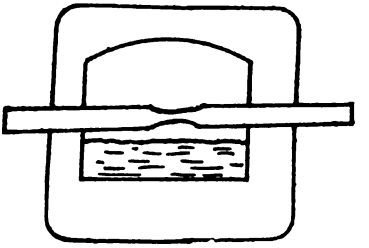


Fig. 1.- Horno radiante de resistencia no metálica.

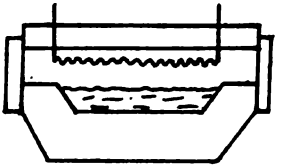


Fig. 2.- Horno de cámara con resistencia metálica.

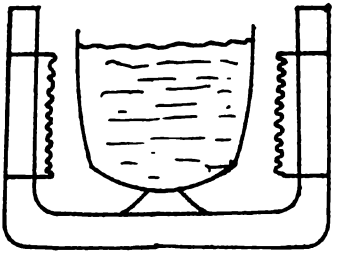


Fig. 3.- Horno de crisol de resistencia metálica.

B.- Hornos eléctricos de inducción.

a).- Hornos de inducción de baja frecuencia (fig. 4).

b).- Hornos de inducción de alta frecuencia (fig. 5).

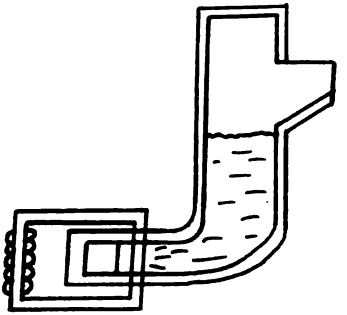


Fig. 4.- Horno de inducción de baja frecuencia de núcleo magnético.

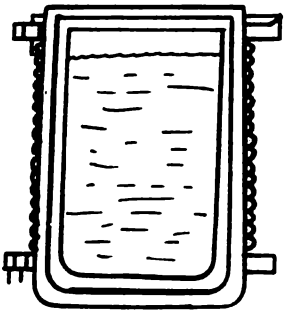


Fig. 5.- Horno de inducción de alta frecuencia sin - núcleo magnético.

C.- Hornos eléctricos de arco.

a).- Hornos de arco entre electrodos sin pasar la corriente por la carga, disposición Stassano (fig. 6).

b).- Hornos de arco entre electrodos, pasando la corriente - por la carga, disposición de Girod (fig. 7).

c).- Hornos de arco entre él o los electrodos y la carga, -- disposición Heroult (fig. 8).

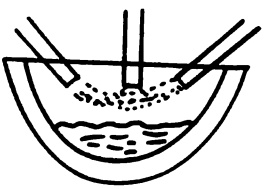


Fig. 6.- Diseño de Stassano.

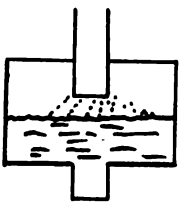


Fig. 7.- Diseño de Girod.

. Este último, en una de sus variantes, con tres electrodos inclinados, como se muestra en la figura 8. En los del segundo tipo encontramos el tipo de horno más caracterizado que es el diseño del Dr. Heroult con tres electrodos verticales, utilizando el acero como productor y como resistencia para el paso de la corriente eléctrica.

En la figura 8, se muestra además el diagrama esquemático de las conexiones para tres electrodos, empleando corriente trifásica y que es el tipo más generalizado para la fabricación de acero eléctrico.

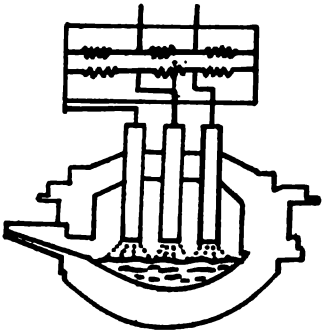


Fig. 8.- Horno Heroult.

Los hornos de arco de la industria siderúrgica pueden agruparse en dos clasificaciones: Hornos Básicos y Hornos Acidos, de acuerdo a su recubrimiento y su proceso de fusión.

En horno básico tiene el fondo vestido con materiales básicos como la Dolomita y la Magnesita, utilizando una escoria óxidante para reducir el fósforo, y una segunda escoria fuertemente reductora para bajar el contenido de azufre.

En el horno ácido el revestimiento suele ser de materiales de Silice que es un material ácido.

Los elementos estructurales de los hornos, para cualquiera de los dos tipos, son fundamentales los mismos aunque los hornos ácidos general

pente sean de mayor tamaño a causa de la naturaleza del trabajo a que son aplicados.

4.- Descripción de los Hornos Eléctricos de Arco más Importantes.

Horno Heroult.- Está formado por una cuba de acero en forma cilíndrica recubierta interiormente por un revestimiento refractario.

La cuba está provista de tres aberturas; una para la colada, provista de una piquera; otra, diametralmente opuesta para el desescoriado y a veces para la carga o adiciones, y generalmente aún hay otra abertura situada perpendicularmente al eje de las anteriores utilizada como puerta de trabajo.

El horno está herméticamente cerrado por una bóveda atravesada por los electrodos a través de orificios ajustados por camisas refrigeradas por agua. Los hornos pueden cargarse por una de las aberturas laterales o más generalmente por la parte superior, desplazando la cubierta o la cuba, o girando la cubierta, según como se muestra en la fig. 9 y 10.

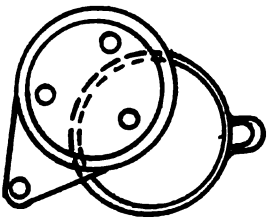


Fig. 9.- Rotación de bóveda sobre un eje vertical.

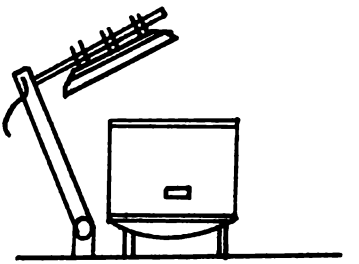


Fig. 10.- Rotación de la bóveda sobre un eje horizontal

Horno Girod.- Es un tipo de horno monofásico, es también un horno cilíndrico, se transporta por una media celda eléctrolitica. La coraza es soportada por un par de patas o soportes que evidentemente deben ser de metal tratado para tener la suficiente resistencia. Estas patas deben tener una longitud de 5 a 10 cm. libres para que permitan el balanceo del horno cuando éste se báscula para vaciar. Este tipo de hornos tienen el inconveniente de que la solera debe ser conductora, generalmente construída con ladrillo de magnesita y resulta frágil, por lo que han caido en desuso.

Horno Fiat.- Su comportamiento es el de un cilíndro reposado en un sistema basculante.

Tiene diferentes aberturas y tiene también una linea en los senos de la coraza para obtener una mayor resistencia a la deformación. Estas aberturas son manejadas en diferentes formas, ya sea para carga, limpieza o desescoriado, el horno trabaja con un par de electrodos que son conectados permanentemente, son muy económicos y permanecen siempre cargados de un alto voltaje.

Las reparaciones que se le pueden hacer a este tipo de horno son meramente maquinales.

En la actualidad casi no existen hornos de este tipo ya que han sido desplazados por su poca capacidad.

Horno Greaves.Etchelss.- Este horno es de tipo trifásico, pero se puede transformar a monofásico, puede estár conectado en triángulo o secundariamente con puentes.

Los electrodos son extremadamente cargados y se conectan a una pata con el fín de hacer que la corriente sea aprovechada en su máxima potencia. Es un horno en forma de paralelepipedo que la única ventaja que tenía es que era basculante.

C A P I T U L O I I I

L O S A C E R O S P A R A H E R R A M I E N T A

III.- LOS ACEROS PARA HERRAMIENTAS

En este grupo se incluyen todos los aceros que normalmente se emplean para la fabricación de útiles o herramientas destinados a modificar la forma, tamaño y dimensiones de los materiales por cortadura, por presión o por arranque de viruta.

Todos los tipos que se estudian a continuación corresponden a aceros que después del temple y revenido quedan en general con gran dureza y son capaces de cortar y romper la mayoría de los materiales.

Los aceros de herramienta tienen generalmente un contenido de carbono superior a 0.30%, aunque a veces también se usan para la fabricación de ciertas herramientas aceros de bajo contenido en carbono - - - (0.10 a 0.30%). Sin embargo, a pesar de que estos materiales pueden - servir, en algunos casos, perfectamente, para ese fín, conviene destacar que el empleo normal de los aceros de 0.10 a 0.30% de carbono es — muy diferente del que acabamos de citar.

La fabricación de aceros de herramienta es muy antigua, pues 1000 años antes de Jesucristo se fabricaban ya en Egipto, herramientas con hierro cementado que luego en el temple adquirían una dureza superficial extraordinaria. Durante muchos siglos la cementación del hierro - dulce fué prácticamente el único método empleado para la fabricación - de las herramientas. En la Edad Media se forjaban las herramientas, — soldando el hierro por martilleado en caliente, bandas o tiras de acero que luego después del temple adquirían gran dureza.

Hasta mediados del siglo XIX todas las herramientas se construían con acero al carbono y, aunque a partir de 1870 se empezarón a fabricar algunos aceros de herramienta aleados, se puede considerar que hasta el año de 1902 prácticamente todas las herramientas se fabricaban - con aceros ordinarios al carbono. Ha sido hasta el siglo XX cuando se han comenzado a emplear en gran escala los aceros de herramienta aleados, cuyas ventajas y propiedades se describirán más adelante.

Antes de comenzar a estudiar las particularidades de los diferentes aceros ordinarios y especiales de herramienta, es interesante mencionar primero los aceros al carbono, que han sido durante muchos años los que sirvieron para fabricar todo tipo de herramientas. Después ya será fácil el estudio de los aceros especiales, cuyas propiedades y tratamiento son, a veces, algo complicados y difíciles de comprender, sobre todo, si previamente no se conocen bién las particularidades de los aceros ordinarios.

Es interesante señalar que en la actualidad está bastante generalizada la idea de que es necesario, o casi imprescindible, emplear aceros especiales o aleados para la fabricación de herramientas. Esto ocurre a veces por falta de conocimiento de las posibilidades de los aceros de baja aleación y por creer que no se pueden realizar ciertos trabajos si no se dispone en un momento determinado de aceros aleados de precio muy elevado. No se debe olvidar que hasta hace pocos años no existían los aceros aleados o especiales y con los aceros al carbono se forjaban y estampaban toda clase de materiales, se fabricaban troqueles y cizalles con éxito muy aceptable y se cortaban, torneaban y fresaban miles de piezas de las formas más diversas.

Sin embargo, a pesar de lo que se acaba de exponer, también es interesante destacar que, aunque los aceros al carbono y de baja aleación son muy útiles para numerosos usos, en bastantes ocasiones no pueden ser utilizados por falta de dureza en caliente, por dar lugar a grandes deformaciones en el temple, por no adquirir dureza suficiente cuando se trata de grandes espesores, etc., y entonces es necesario recurrir a los aceros aleados que en esos casos especiales son insustituibles y en los que la presencia de los elementos de aleación permite obtener características y propiedades muy superiores a las de los aceros ordinarios.

1.- Principales Tipos de Aceros de Herramienta.

Hay numerosas clasificaciones que pueden servir para agrupar los aceros de herramienta y, entre todas a continuación se señalan las de mayor interés.

En ellas se hace primero una clasificación por el procedimiento de fabricación, ya que en general hay una gran diferencia entre las calidades que se obtienen en los distintos procesos de fabricación y es muy interesante conocer siempre el método empleado para la fabricación del acero que se utiliza.

De acuerdo con este criterio, clasificaremos los aceros de herramienta en:

Aceros de herramienta fabricados en convertidos Bessemer.
Aceros de herramienta fabricados en horno Siemens y
Aceros de herramienta fabricados en hornos Eléctricos.

La diferencia que se establece entre los aceros Bessemer, Siemens y los Eléctricos, es debido no sólo al menor contenido de fósforo, azufre y óxigeno que se refleja en general en un más elevado grado de limpieza, sino además en la garantía que ofrece cada proceso de fabricación.

En general, en la mayoría de las fabricas donde se obtienen los aceros en convertidores Bessemer y hornos Siemens, no se tiene el cuidado y atención que se tiene en los hornos eléctricos, ni la selección y control de calidades se hace, en general con precauciones especiales, Por todo ello es interesante establecer entre ellos una primera clasificación de carácter general.

Las características mecánicas que se obtienen con ellos no son, sin embargo aparentemente muy diferentes. Para un mismo contenido en carbono, las durezas serán sensiblemente similares y la selección del tipo de acero para un determinado uso se puede hacer casi con el mismo criterio. Convendrá tener en cuenta que los aceros de horno eléctrico suelen contener menos manganeso que los de Siemens y Bessemer y, por lo tanto, estos últimos tendrán mayor templabilidad y una velocidad crítica de temple ligeramente inferior que la de los aceros de horno eléctrico. Se suele emplear un mayor contenido de manganeso en los hornos Siemens y Bessemer, principalmente para contrarrestar la perniciosa influencia de su elevado contenido de azufre y para facilitar tem-

bién la desoxidación del acero.

La inferior calidad que en general tienen los aceros Siemens y Bessemer se suelen apreciar en la práctica industrial por el mayor porcentaje de grietas, roturas y deformaciones en el temple y menor tenacidad de las herramientas fabricadas con esos aceros.

Los aceros de herramienta de horno eléctrico se pueden dividir a su vez en los siguientes grupos:

Aceros al carbono,
Aceros rápidos,
Aceros indeformables,
Aceros para trabajos en caliente,
Aceros de corte no rápidos,
Aceros para trabajos de choque y corte en frío,
Aceros austeníticos resistentes al desgaste y
Aceros grafíticos.

A continuación describiremos los grupos más importantes, señalando además sus principales características.

Aceros al carbono.-

Para la fabricación de herramientas para los usos más diversos, se emplean aceros sin elementos de aleación, con porcentajes de carbono variables de 0.50 a 1.40%. Para herramientas que deban tener gran tenacidad como martillos, picos, etc., se emplean bajos contenidos de carbono 0.50 a 0.70%. Para herramientas de corte como brocas, cuchillas, etc., se utilizan aceros de 1.0 a 1.40% de carbono y para matrices de forja, estampas etc., calidades intermedias de 0.70 a 1.0% de carbono. Para conseguir en cada caso la máxima dureza deben ser templados en agua y como los enfriamientos enérgicos producen con facilidad grietas y deformaciones es necesario realizar, con gran precaución y cuidado los tratamientos.

Aceros rápidos.-

La característica fundamental de estos aceros es conservar su filo en caliente, pudiéndose trabajar con las herramientas casi al rojo - - (600 ºC) sin disminuir su rendimiento. En cambio en los demás aceros,- al corte, al calentarse a temperaturas superiores a 300 ºC, pierde gran parte de su poder cortante. Algunas composiciones típicas de aceros rápidos son:

C= 0.75%, W= 18%, Cr= 4% y V= 1.0% y otra
C= 0.75%, W= 18%, Cr= 4%, V= 1.25% y Co= 5%.

Aceros indeformables.-

Reciben este nombre los aceros que en el temple no sufren casi deformaciones y con frecuencia después del temple y revenido quedan condimenciones prácticamente idénticas a las que tenían antes del tratamiento. Esto se consigue empleando principalmente el cromo y el manganeso como elemento de aleación. Estos aceros templan con un simple enfriamiento al aire o en aceite sin necesidad de someter al acero a bruscas variaciones de temperatura. Además, en estos casos las transformaciones microscópicas que ocurren en el temple van acompañadas de muy pequeños cambios de volumen, algunas composiciones típicas de aceros indeformables son:

C= 2.0% y Cr= 12.0%; C= 1.0% y Cr 5%;otra C= 1.0% Mn= 1.0%

Aceros para trabajos en caliente.-

Estos aceros, que se emplean con dureza inferior a todos los demás, deben tener gran tenacidad para resistir los continuos choques a que - estén sometidos, a la vez que deben tener buena resistencia a los cambios bruscos de temperatura, ya que durante el trabajo sufren continuos y repetidos calentamientos y enfriamientos, que tienden a agrietar el - acero. Con el empleo del Wolframio en porcentajes variables de 4 a 9% - y pequeñas cantidades de Cromo y Molibdeno se obtienen los mejores resultados. Algunas composiciones típicas son las siguientes:

C= 0.30%, W= 9.0% y Cr 3.0%; Otra, C=0.30%, W=4.0% y
Cr= 1.0% y finalmente otra; C= 0.32%, Cr= 5.0%.

Aceros de corte no rápidos.-

Con el nombre de aceros de corte no rápidos se agrupan varios aceros aleados, principalmente con cromo y wolframio, muy empleados en la fabricación de herramientas de corte que no deben trabajar en condiciones muy forzadas. Pueden considerarse como unas calidades intermedias entre los aceros rápidos y los aceros al carbono, y la mayoría de las herramientas fabricadas con ellos suelen quedar con durezas comprendidas entre 60 y 66 Rockwell-C.

La adición de cantidades variables de wolframio y cromo les aumenta notablemente su resistencia al desgaste, que es muy superior a la de los aceros al carbono; esos elementos contribuyen también a reducir las deformaciones en el temple y aumentar su tenacidad al afinarse extraordinariamente el tamaño de grano.

Aceros para trabajos de choque y corte en frío.-

En las herramientas fabricadas con estos aceros, deben combinarse una dureza suficiente para el corte con una tenacidad aceptable para que no se rompan en los choques a que están sometidos. Se suelen emplear aceros aleados con cromo y wolframio, algunas composiciones típicas son:

C= 0.55%, W= 2.0%, Cr= 1.25%; otra C= 0.45%, W= 2.0%, y Cr= 1.25% Otro acero que para este fín se usa con éxito es el clásico acero de muelles manganosilicioso de la siguiente composición C= 0.55%, Mn= 0.80%, y Si= 1.70%

Aceros austeníticos resistentes al desgaste.-

Para ciertas aplicaciones como bocas de dragas, mandibulas, placas de molinos, trituradoras, etc., interesa emplear materiales de gran resistencia al desgaste.- Esas piezas se suelen fabricar con mucho éxito con un acero de Mn= 12.5% y C= 1.20%, que es austenítico a la temperatura ambiente. Aunque su dureza no es muy elevada, tiene una resistencia al desgaste extraordinaria, y para esos usos da mejores resultados

que ningún otro acero.

Aceros grafíticos.-

Estos aceros se caracterizan por la presencia de grafito en su microestructura. En los demás aspectos son similares a los aceros de herramienta clásicos que después del temple quedan con una estructura, en su mayor parte, martensítica, con gran dureza. La presencia de grafito favorece el rozamiento de las herramientas y reduce el desgaste de las mismas. En estos aceros el contenido de carbono y en silicio suele ser bastante elevado (1.0 a 1.50% aproximadamente)

2.- Aceros Para Trabajos en Caliente.

En este grupo se incluyen todos los aceros de herramientas que se usan para realizar trabajos en caliente, detallándose a continuación las composiciones y principales propiedades de los aceros de herramienta que durante el trabajo están sometidos a temperaturas superiores a unos 200ºC., con la excepción de los aceros rápidos de los cuales ya se ha hecho mención.

Cada día son más numerosos los procesos en los que las herramientas deben trabajar a altas temperaturas, pues además de los antiguos y clásicos trabajos de forja, hoy se han desarrollado extraordinariamente otros nuevos procesos, entre los que destacaremos la estampación de aceros y aleaciones no férricas en grandes series, la fundición por gravedad o por inyección de metales no férricos y de aleaciones ligeras el moldeo de materia plástica, etc.

Para la fabricación de herramientas se han hecho numerosos ensayos con diversos tipos de aceros especiales, obteniéndose muy buenos resultados con aceros aleados con cromo, wolframio, y molibdeno, que son elementos que tienden a afinar el grano y como consecuencia sirven también para mejorar la tenacidad de los aceros y aumentar también su resistencia en caliente, etc.

A este grupo pertenecean varios aceros de 0.30 a 0.40% de carbono,

con porcentajes de wolframio variables de 9.a 15%, y con 2 a 4% de cromo. En ocasiones, para conseguir determinadas características que conviene que posean estos aceros, se les añade, también, pequeñas cantidades de molibdeno, vanadio y níquel.

Estos aceros son muy útilizados para matrices y estampas que durante el trabajo llegan a calentarse a temperaturas muy elevadas y deban conservar gran dureza y resistencia. Con estos aceros se fabrican los contenedores y mandriles de las grandes prensas de extrusión de metales no férrosos y aleaciones ligeras, herramientas de máquinas de forjar horizontales, cuchillas para cortar en caliente, etc. Cuando las herramientas deben trabajar a temperaturas próximas a 600ºC., con fuertes presiones y sufriendo grandes rozamientos, el rendimiento de estos aceros es excelente. En cambio, no es recomendable su uso cuando las herramientas sufren fuertes choques o golpes, pudiendo ser preferible entonces utilizar aceros de baja aleación con menor resistencia en caliente pero de mayor tenacidad. Tampoco conviene dar a éstos aceros una fuerte refrigeración ya que por efecto de los cambios bruscos de temperatura se agrietan con bastante facilidad. En esos casos es preferible utilizar los aceros de 5% de cromo. Sin embargo, dentro de este grupo de aceros altos de wolframio el comportamiento de las diversas clases a este respecto es diferente, siendo el de 9% el que tiene mayor resistencia al choque y admite incluso, también, una ligera refrigeración. En cambio, la resistencia y dureza a elevada temperatura de estos aceros de 6- 9% es algo inferior a la de los de más alta aleación.

Las características de estos aceros son en general muy similares a la de los aceros rápidos, diferenciándose principalmente por que al ser de más bajo contenido de carbono, son algo más blandos que aquellos.

C A P I T U L O I V

E Q U I P O E L E C T R I C O U T I L I Z A D O P A R A L O S H O R N O S E L E C T R I C O S D E A R C O

IV.- Equipo eléctrico utilizado para los hornos eléctricos de arco.

Descripción general del equipo utilizado.

Se propone en este capítulo enumerar las partes principales que - componen el equipo que se utilizará en el proceso de fabricación, así como algunas de las características de mayor importancia de cada una- de ellas en particular

Siendo los transformadores los primeros que reciben la energía para fundir el acero, y al mismo tiempo uno de los elementos más importantes de todo el equipo, hablaremos primeramente de ellos.

1.- Transformadores.

Los transformadores para el servicio de horno eléctrico son en general similares a los transformadores standard, pero a causa de la gran - fluctuación de la corriente de este servicio, es necesario que sean de fuerte construcción con arrostramiento especial de los embobinados, para darles gran resistencia mecánica así como aislamiento extraordinario entre las espiras. Se puede decir que difieren de los demás en:

1).- Que los voltajes del circuito secundario (baja tensión) son - menores.
2).- Que las intensidades de corriente en este mismo circuito, son más elevados.
3).- En que hay irregularidad del suministro de corriente al horno

Los voltajes de baja tensión dependen del tipo de horno y oscilan de 60 a 120 Volts, aunque pudierán llegar hasta 250 y más en algún tipo de núcleo ó acorazado, prefiriendo los fabricantes éste último para hornos grandes, y cualesquiera de los dos para hornos chicos.

Es conveniente que todos los hornos tengan para su regulación tres voltajes diferentes para usarse, según sea necesario, en los diferentes períodos por los que pasa la carga dentro del horno.

Para lograr esto, los transformadores deben llevar un "cambiador de derivaciones", con un mínimo de tres Taps en el secundario y que pueden operarse mediante un juego mecánico de palancas desde el tablero de control del horno.

Deben además de contar estos transformadores con la suficiente reactancia, bién sea interna o externa con el fín de regular o reducir las sobrecorrientes que se tienen a la hora que los electrodos entran en corto circuito con la carga, a límites que no sean peligrosos para el transformador mismo y al mismo tiempo para ayudar a restablecer el arco y mantenerle encendido estabilizando así el funcionamiento. La reactancia normal del transformador depende de su diseño, variando del 4 al 6% y en ciertos casos puede llegar a un 8 ó 10%. En general, la cantidad mencionada debe ser suficiente para limitar corriente de corto circuito a un valor no mayor de 2 a 3 veces la intensidad de la corriente a plena carga.

El embobinado de baja tensión esté en una posición vertical, formado por barras de cobre macizas, sumergido en aceite, con una resistencia bastante aceptable así como su capacidad térmica, Son enfriados mediante agua por medio de un serpentin interior y puede tener también circulación forzada de aceite el cual pasa por enfriadores exteriores con circulación de agua, pero el método de enfriamiento depende primordialmente de las condiciones especiales de cada instalación en particular.

2.- Circuitos de Medición.

En el tablero de control del horno se encuentran los instrumentos de medición tales como:

a).- Medidor de potencia activa (KW).
b).- Medidor de energía (KWH).
c).- Medidor de potencia reactiva (KVAR).
d).- Medidor de voltaje (KV) o (V).
e).- Medidor de corriente (KA) uno para cada fase.

Los tres primeros toman la señal de medición de tres transformado-

res de corriente y un transformador de potencia del circuito primario del transformador del horno; el medidor de voltaje toma la señal directamente del secundario del transformador, una para cada fase, de tal forma que se pueden detectar los voltajes entre fases, y fase al neutro a través de un selector.

Los medidores de corriente de las tres fases toman la señal de sus correspondientes transformadores de corriente, del secundario del transformador del horno.

3.- Reguladores de electrodos.

Para obtener plena satisfacción en el funcionamiento de un horno eléctrico de arco, es necesario un control automático de los electrodos, el cual permitirá la regulación rápida y exacta de la energía eléctrica absorbida. Con este control, automáticamente podemos regular con presición la corriente en los electrodos y mantenerla constante en cada uno de ellos. Para esto hacemos uso de un regulador de electrodos.

Las señales tipicas de referencia aplicadas al control y regulación de posición de los electrodos, son la corriente y el voltaje.

Estas dos señales se comparan eléctricamente en el circuito regulador para mantener una potencia óptima (KW) de operación.

Las señales de corriente para cada fase y voltaje respectivamente están referidas a un mismo sistema de tierra.

El regulador tiene por objeto ajustar en todo momento la distancia vertical de los mismos, para compensar su desgaste y acomodar las diferencias de nivel interior de la carga haciendolos subir o bajar según se requiere.

Existen varios tipos de reguladores automáticos que son utilizados en los hornos eléctricos de arco, los cuales son enumerados a continuación:

1.- De acción y frenado (balancin o viga balanceada). (Fig. 11)
2.- Regulador de motor de par (Fig. 12)
3.- Regulador rotatorio.
   a).- Regulex de Allis Chalmers (Fig. 13).
   b).- Rototrol de Westinghouse (Fig. 14).
   c).- Amplidina de General Eléctric. (Fig. 15)
4.- Reguladores de electrohidraúlicos.
5.- Reguladores de embrague magnético.

A continuación describiremos el tipo de regulador de empleo más generalizado; consiste de dos electroimanes conectados uno entre el electrodo y el casco del horno (bobina de voltaje) y el otro a un transformador de corriente (bobina de corriente) en el circuito de los electrodos.

Los núcleos metálicos de éstas bobinas van conectadas (uno a cada extremo) a una palanca con eje de giro en el centro y que lleva un juego de contactos en cada extremo. De este modo, y mediante las atracciones opuestas de las bobinas sobre sus respectivos núcleos, la intensidad de corriente del arco, (regulada al punto deseado con un reóstato graduador de corriente) es equilibrado con el voltaje del arco. Cualquier desequilibrio origina el movimiento de la palanca sobre su eje de giro y cierra un juego de contactos, lo que a su vez actúa un contacto inversor magnético y pone en marcha el motor eléctrico de cada electrodo; el sentido de rotación del motor, y por tanto del sentido en que se mueve el electrodo, depende del juego de contactos y del contactor que se haya cerrado en un momento dado.

Si aumentase la intensidad de corriente del arco (ó si disminuyera el voltaje del mismo), hasta el punto de desequilibrio, la atracción del electroimán de corriente cierra los contactos que hacen que suba el electrodo. Inversamente, si disminuyese la intensidad de corriente (o aumentará el voltaje), hasta el punto de desequilibrio el otro juego de contactos es cerrado, haciendo que bajen los electrodos.

Cada contactor inversor tiene un juego de contactos auxiliares mecánicamente acoplados a él, de manera que el cierre del contactor cig

rra también dichos contactos poniendo en derivación una parte de la bobina del electroimán haciendo que funcione este, con tendencias a permitir que la palanca gire sobre su eje para recuperar su posición normal, a menos que sea todavía demasiado grande el desequilibrio. Mediante esta disposición, se consigue una regulación rápida y sin - rebasar más allá de lo necesario.

Con esta regulación, el arco es mantenido a tal longitud que su intensidad de corriente esté en equilibrio con la determinada por - unos reóstatos graduadores o con la que indican los amperímetros del tablero de control del que hablaremos a continuación. En la figura - No. se muestra un diagrama eléctrico de un regulador de este tipo, llamado de "Viga Balanceada". Así también se muestran en las figs. - 12 a 15 , los otros tipos.

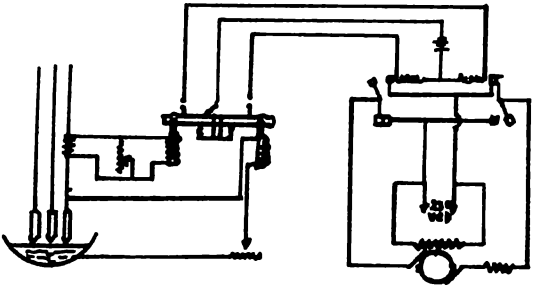


Fig. 11 .- Diagrama esquemático del regulador de viga Balanceada de Westinghouse.

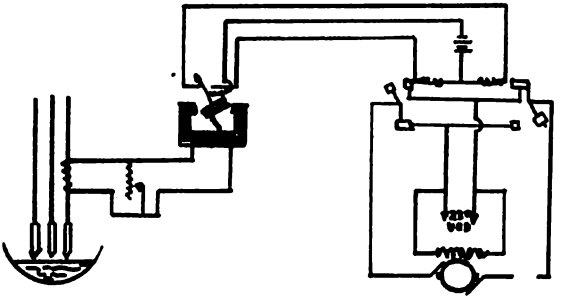
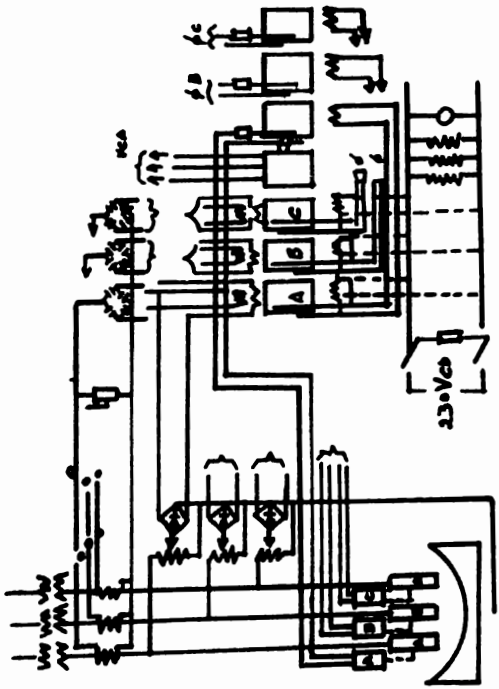


Fig. 12 .- Diagrama esmático del regulador motor de par de General Eléctric.

Fig. 13.- Diagrama esquemático para regulex de Allis-Chalmer.



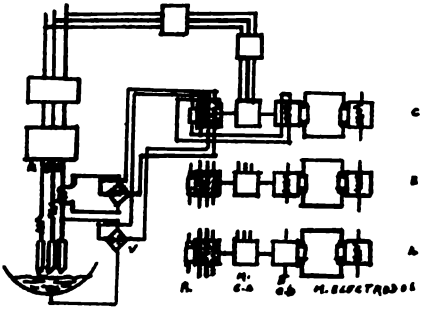


Fig. 14.- Diagrama esquemático del Rototrol de Westinghouse.

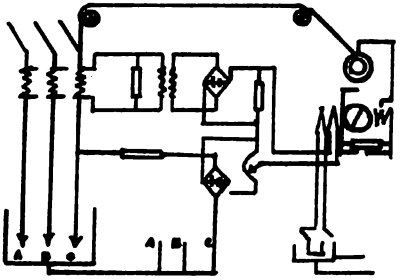


Fig. 15.- Diagrama esquemático del regulador de Amplidina de General Eléctric.

C A P I T U L O V

E Q U I P O M E C A N I C O Y D E O P E R A C I O N

V.- Equipo mecánico y de operación del horno eléctrico de arco.

1.- Los electrodos.

Los electrodos para hornos de arco, son de dos tipos:

a.- Electrodos de carbón amorfo.

b.- Electrodos de grafito (carbón grafitado).

La corriente eléctrica se conduce al espacio de fusión por medio de los electrodos. La calidad de estos y la forma en que la corriente llega a ellos, tiene una enorme importancia, porque en los electrodos y en los contactos se puede llegar a perder hasta el 10% de toda la energía eléctrica suministrada al horno. El precio de los electrodos es elevado y por eso mismo tiene una gran influencia sobre los costos de producción de acero.

Sólamente los productos carbonosos soportan muy altas temperaturas y al mismo tiempo son suficientemente conductores de la eléctricidad.

Para disminuir las pérdidas eléctricas, es necesario que el electrodo tenga la mínima resistencia eléctrica ó lo que es lo mismo, una alta conductividad.

El electrodo debe tener una porosidad mínima para que durante el calentamiento se óxide menos con el oxígeno del aire. Además debe ser suficientemente resistente para que no se fracture por su propio peso, ni se rompa durante el sangrado del metal, al inclinar el horno y para que soporte algunos golpes de la chatarra al caer durante la fusión.

La forma del electrodo debe ser geométricamente regular, para que el contacto entre éste y la mordaza sea lo más perfecto posible.

Los electrodos deben ser fabricados de tal manera que durante su uso no se genere desperdicio.

Los electrodos de carbón amorfo.- La materia prima básica para la fabricación de este tipo de electrodos lo constituyen: la antracita na-

tural o calcinado, el coque, gráfito natural y el alquitrán de carbón de piedra. Estos materiales carbonosos se seleccionan cuidadosamente, se trituran, se calcinan, se muelen a cierto tamaño de partículas, se clasifican y se mezclan en caliente, con los aglutinantes. La forma de los electrodos se obtiene sometiendo a altas presiones, en prensas hidráulicas, los materiales preparados y colocados en una matríz o molde, hecha exprofeso.

De esta manera se obtienen los electrodos verdes, los cuales son quemados a temperatura de 1200 a 1300ºC. La última operación del proceso productivo es el torneado de las roscas en ambos extremos del electrodo y la fabricación de los niples de unión.

Los electrodos de carbón suelen utilizarse en hornos en los cuales el contenido de cenizas no afecta a la calidad del metal, por ejemplo: durante la producción de aceros al carbóno (en hornos pequeños), ferroaleaciones, carburo, corundo, electrocemento, etc.

Los electrodos de carbón se han fabricado no tan solo de distintos tamaños y calidades sino que también en variadas formas. Mientras que en los hornos de aceración se trabaja con electrodos redondos, en los hornos de reducción para la producción de ferroaleaciones y carburo, se utilizan electrodos de sección cuadrada.

Para que los electrodos de sección circular puedan trabajar en forma contínua, se unen entre sí por medio de niples de forma cónica o cilíndrica, que se atornillan en los extremos correspondientes de los electrodos.

La cuerda tanto en los electrodos de carbón como en los niples es más gruesa que en los electrodos y niples de grafito. Los niples y la cuerda de los electrodos de carbón se recubren con una pasta antes de colocarse para mejorar el contacto en la unión. La mezcla se prepara con grafito en polvo, dextrina y agua.

Electrodos de grafito.- Estos electrodos se fabrican en forma semejante a los electrodos de carbón. La materia prima puede ser coque de-

petróleo o de alquitrán, con bajos contenidos de cenizas y aglutinante. Primeramente se fabrican electrodos de carbón de composición especial de acuerdo con el proceso anteriormente descrito y estos electrodos, posteriormente son sometidos a un proceso de grafitización a una temperatura de 2000 a 2700ºC. en hornos de resistencia. Mediante una grafitización completa homogénea y perfecta de la mezcla original de materiales, se obtiene el electrodo, el cual casi todo es de grafito. El tiempo necesario para la grafitización y extracción del horno es de aproximadamente tres semanas; posteriormente a los electrodos se les tornea la rosca interior en ambos extremos y se les dá el acabado necesario, como en el caso de los electrodos de carbón, fig. 16 .

El grafito es un conductor eléctrico muy bueno; su resistencia específica en relación con la temperatura es baja pues la gran parte de esta resistencia es debida al efecto joule.

Debido a que los electrodos de grafito son buenos conductores, nó existe el peligro de una excesiva combustión, (oxidación) mientras nó sean sobre-cargados excesivamente (densidad de corriente). La resistencia de contacto, entre dos electrodos de grafito es pequeña; también entre el grafito y el acero, así que no se tienen grandes pérdidas en las mordazas.

Para una buena duración de los electrodos de grafito, es muy importante mantener su carga de corriente apropiada.

Tanto los electrodos de carbón como los de grafito se alargan con ayuda de un niple. Como el grafito tiene una buena maquinabilidad, la cuerda en los extremos de los electrodos y de los niples, pueden tener un paso menor, así que no se consigue una baja resistencia de contacto aún sin la pasta para mejorarlo.

En la actualidad, más del 90% de los hornos eléctricos de arco para acoeración, utilizan electrodos de grafito.

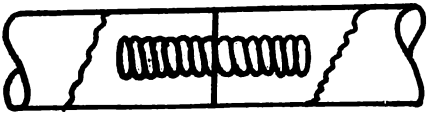


Fig.- Junta roscada de un electrodo.

Existe otro tipo de electrodo llamado "Contínuo", que está hecho a base de una masa de antrasita y coque usando alquitrán como aglutinante. Una mezcla de éstos materiales se calienta a 130ºC. y se introduce a un cilíndro de lámina para formar las columnas; se cuece en el horno mismo por el calor producido por la corriente que lo atraviesa y por el del propio horno, aunque en algunos casos este cocido se hace previamente. Se llegan a cargar hasta 5 ó 6 amperes por centímetro cuadrado - sólamente y no son utilizados en las acerías a pesar de su bajo costo - de fabricación, pues una rotura puede traer graves consecuencias desde el punto de vista metalúrgico.

2.- Mordazas de Sujección de Electrodos.-

Estas tienen dos funciones en los hornos de arco, a saber, conducir la corriente a los electrodos y mantenerlos a una altura determinada. - Las mordazas de los electrodos trabajan en condiciones térmicas muy severas, debido a que son calentados por los gases calientes que salen — del horno por los espacios que hay entre la bóveda y los electrodos, — por el calor del horno conducido hacía arriba por el electrodo y por el calor de resistencia debido al efecto joule, el cual pasa del electrodo a la mordaza. Por esto mismo las mordazas deben ser suficientemente duraderas, muy resistentes mecánicamente; deben tener el mínimo de pérdidas eléctricas y además deben apretar fuertemente y en forma segura el-

electrodos para evitar que se deslice durante todo el tiempo que dure la colada.

Las mordazas suelen ser de acero o de bronce. Estas últimas son más conductoras que las primeras, tienen menores pérdidas eléctricas pero tienen una resistencia mecánica menor y por eso no pueden estar tan ajustadas como las de acero, además las mordazas de bronce tienen un mayor coeficiente de dilatación térmica (bronce 18.10^{-6} acero 11.10^{-6}) y por ello, los electrodos pueden deslizarse de ellas, con mayor facilidad durante la operación y por último las mordazas de bronce son más costosas.

En los hornos de mediana y gran capacidad, las mordazas se enfrían con agua. Para disminuir las pérdidas eléctricas entre las mordazas y los electrodos deben haber la mínima resistencia de contacto. Esta resistencia depende de la resistencia específica (resistividad) de los materiales en contacto, de la presión en las áreas de contacto y de su estado.

La resistencia Bronce-Grafito y Bronce-Carbón es considerablemente menor que la resistencia Acero-Grafito y Acero-Carbón.

Entre más apretado esté el electrodo y entre menos oxidada se encuentren la superficie de contacto mordaza-electrodo, menos será la resistencia de contacto.

Al enfriamiento con agua baja la temperatura de la mordaza, disminuye su oxidación y la dilatación térmica, mantiene fuertemente sujeto el electrodo y disminuye la resistencia de contacto.

Las mordazas de acero son huecas para poder ser enfriadas; durante el vaciado de las mordazas de bronce se introduce al molde un serpentín hecho de tubo de acero sin costura.

La superficie de contacto de las mordazas de los electrodos se deben limpiar regularmente, con cepillos de alambre, para aumentar su duración.

3.- Brazo porta Electrodo, Deslizadera y Mástil.

La mordaza se fija al brazo horizontal el cual se puede construir de tubo con pared grusa de diámetro grande, reforzado con costillas o bién tiene forma de ducto cuadrado construído de ángulo y placa de acero.

El brazo está unido a la deslizadera, la cual se desplaza por una columna o mástil fijo o bién está unido a un soporte móvil formando un sólo conjunto que se desplaza hacia arriba o hacia abajo en el interior de un mástil fijo. Este diseño se denomina como soporte telescópico.

Las deslizaderas pueden ser vaciadas, separadas o bién soldadas de perfiles de acero y placa. Tienen ocho rodamientos guía, los cuales se mueven a lo largo de la columna fija. Estas columnas están construidas de material con sección circular o rectangular las cuales están fijas a una placa base sobre la cual se encuentra colocado el cuerpo del horno. El extremo superior de las tres columnas están unidas entre sí.

Los conductores de la energía eléctrica se sujetan por ambos lados de las deslizaderas y del brazo, por medio de piezas de empaque aisladas tanto de la deslizadera como del brazo.

La superficie de las columnas por donde se desplazan los rodamientos de la deslizadera debe ser perfectamente paralela y rectificada. La longitud de la carrera de la deslizadera (desde la posición inferior a la superior), está dada por la distancia entre el piso y el contorno interno de la bóveda.

Mecanismo de desplazamiento de los electrodos.- El desplazamiento de la deslizadera a lo largo de la columna o mástil fijo o bién por el mástil telescópico, necesario para la regulación del arco, lo procura un sistema motriz eléctrico o hidráulico. El sistema hidráulico de desplazamiento permite una regulación fluida de la velocidad de ascenso y descenso, tiene poca inercia y es de construcción sencilla.

Los mecanismos de desplazamiento de los electrodos deben asegurar un levantamiento rápido de los electrodos si la carga se derrumba du--

rante la fusión (produciéndose un corto-circuito) para evitar una interrupción automática, del interruptor en aceite, causada por la sobrecarga. Además, deben asegurar un descenso lento de los electrodos para que los electrodos no penetren al baño o bién apoyarse en la carga durante la fusión, como cuando se tiene un sistema de regulación poco sensible. Los electrodos no deben descender debido a su propio peso. Debe asegurarse un frenado rápido de los electrodos para conseguir un rápido establecimiento del régimen eléctrico.

La velocidad del desplazamiento de los electrodos depende del sistema de regulación; en algunos es de 1.25 m/min., la velocidad del ascenso y de 0.8 a 1.0m/min., la de descenso.

Los motores eléctricos normales por lo general, son muy revolucionados (1600 a 1800 r.p.m.). Para que los electrodos se desplacen en forma relativamente lenta, se deben utilizar motores eléctricos de corriente directa; los cuales permiten frenar eléctricamente y una regulación flexible del número de revoluciones.

Algunos motores tienen en el extremo libre de la flecha del rotor o reductor, una cabeza cuadrada que permite colocar ahí, un volante, para el caso de una falla en la conducción de la corriente, los electrodos se puedan mover manualmente.

4.- Mecanismo de volteo (inclinación) del horno.-

Este mecanismo debe cumplir con las siguientes exigencias básicas:

a).- El volteo (inclinación) del horno debe ser fluído sin interrupciones y el horno debe inclinarse en un ángulo de 40º a 45º hacia el lado del orificio de sangrado del metal a la olla o tina y en ángulo de 10º a 15º hacia el lado de la puerta de trabajo o de carga para la extracción de la escoria.

b).- La velocidad de volteo debe ser facilmente regulable.

c).- La desviación de la vertical del pico de sangrado debe ser mí-

nima, para disminuir las maniobras de la grúa con la olla durante el vaciado del metal; de tal manera que si el extremo del pico de sangrado describe una curva durante la operación estando la olla inmóvil, el chorro de metal golpea contra la pared de la holla, erosinándola y con ello, también se contamina el acero.

d). Una colocación segura del mecánismo de volteo, para el caso de que el metal fundido llegue a perforar el crisol.

e). El mecánismo no debe quedar expuesto a las salpicaduras de la escoria que se extrae.

Los mecánismos de volteo en general se pueden clasificar en dos tipos, los laterales y los colocados en la parte inferior.

El mecánismo lateral es de construcción sencilla, ocupa poco espacio y seguro con respecto a ser dañado por el metal fundido, en caso de una perforación y por salpicaduras de escoria.

Sin embargo, tiene algunas desventajas: debido a que todo el peso del horno descansa sobre dos segmentos, la coraza del mismo, está sometida a una fuerza deformante que tiende a cambiar su forma cilíndrica a la de una elipsoide. Por esto mismo es necesario que la coraza sea reforzada con unos anillos resistentes, colocados en el borde superior y otras formas de refuerzo como bastidores vaciados y soldados a la coraza. Este mecanismo tiene tendencia a deformarse y es indispensable un montaje cuidadoso.

En los mecanismos de volteo que se colocan debajo del horno, éste descansa sobre dos apoyos deslizables, los cuales están bajo el horno. De acuerdo con la línea que describe cada punto del horno, durante el volteo, especialmente según el extremo del pico de sangrado, es posible clasificar estos mecanismos en tres grupos.

Grupo 1.- Las deslizaderas se desplazan sobre rodamientos y el pico de sangrado desciende hasta quedar bajo el horno, este diseño es apro-

piado para cuando el metal se funde y se vacía en la misma nave.

Grupo 2.- Los segmentos de apoyo se deslizan sobre guías horizontales.- El pico de sangrado se desplaza considerablemente, hacía adelante. Los hornos con este tipo de mecanismo de volteo pueden estar situados en naves diferentes a las de vacíado, pero vecinas entre sí.

Grupo 3.- Los segmentos de apoyo se deslizan sobre unas guías de superfície curva. El pico de sangrado se desplaza hacia adelante, pero menos que en el caso anterior.

La mayoría de los hornos grandes tienen el mecanismo de volteo de tipo del grupo 2.

Todas las partes del mecanismo de volteo están protegidas contra salpicaduras de metal y escoria, por medio de placas de hierro gris y también con cubiertas de acero.

El sistema motriz del mecanismo de volteo lo constituye un motor eléctrico asíncrono, para corriente trifásica. Para variar, la velocidad y la dirección del volteo se utiliza un controlador del tipo de grúa, el cual debe estar situado en un lugar desde el que, quién esté operando el dispositivo, pueda ver tanto el chorro del metal, como la olla receptora y pueda fácilmente, regular el flujo del metal inclinado el horno rápidamente o lentamente.

De acuerdo con las disposiciones de seguridad industrial el mecanismo de volteo del horno debe tener interruptores de corriente en la posición extrema de inclinación, los cuales interrumpen la corriente del motor, cuando el horno llega a dicha posición. Además en los extremos de las deslizaderas, horizontales se colocan topes que evitan que el horno pueda seguir moviéndose. También el motor de sistema de volteo debe ser bloqueado por el interruptor principal en aceite. Cuando el horno se inclina hacia el lado de la puerta de trabajo, en un ángulo de 100 a 150, el interruptor en aceite debe interrumpir el horno automáticamente.

5.- Métodos de carga del horno.

En general se pueden considerar cuatro métodos de carga de los hornos eléctricos de arco para la fusión de acero.

Método manual.- Este es un método bastante anticuado, antieconómico y bastante rudo, ya que los obreros pueden hacerlo manualmente o bién - ayudándose con la grúa y una pala con mango largo con la cual introducen la chatarra y la distribuyen. Con éste método es posible conseguir una buena colocación de la chatarra, pero disminuye la productividad — del horno y aumenta el consumo de energía eléctrica a causa del enfriamiento del revestimiento del horno, y por consiguiente habrá mayor consumo de electrodos.

Método de carga mecánizado.- Este es un modelo mecanizado, que puede ser de tipo colgante o bién que se desplaza sobre rieles sobre la — plataforma de carga, lo cuál está limitado por las dimensiones de la caja de carga y por el volúmen de la chatarra causando que en ocasiones - deba cargarse más de una vez; provocando los mismos inconvenientes citados para el método manual.

Método de carga por canalón.- En este método se usan canalones que se cargan manualmente con anticipación. El canalon ya cargado se levanta con la grúa, se introduce parcialmente. el horno por la puerta, a - continuación este se incline como si fuera a vaciar hasta que el canalón vacía todo su contenido. También es un método lento de carga.

Método de carga por arriba con cesta.- Este es el método más moderno, práctico y efectivo de un horno de este tipo. Se introduce toda la carga de una sóla vez por esto mismo, la bóveda del horno ya no es fija y debe desplazarse hacia un lado para que quede descubierto el cuerpo del horno.

Las ventajas del método de carga por arriba, se pueden resumir como sigue:

a).- Debido a que el tiempo de carga es más corto, el revestimiento se enfría menos, se acorta el tiempo total de carga, aumenta la productividad, disminuye el consumo de energía eléctrica y de electrodos, los costos de operación son menores, por consiguiente, disminuye el costo del acero.

b).- El vólumen del horno se aprovecha mejor.

c).- El tiempo de preparación del horno para una reparación es más corto y el ensamble del horno, después de la reparación es más rápido.

Cestas de carga para chatarra.- Para un buen aprovechamiento de los hornos cargados por arriba, tienen una extraordinaria importancia los accesorios necesarios para dicha operación, esto está relacionado con el tipo de cestas a utilizar y además con el tipo y peso volumétrico de la chatarra, el cual en muchos casos determina el diseño de la cesta.

Se ha llegado a la conclusión de que los hornos eléctricos tienen dos capacidades diferentes, la primera es la capacidad del crisol, es decir el peso del metal fundido que puede contener en el área abajo del nivel inferior de la puerta de carga y la segunda es la capacidad volumétrica de todo el horno revestido. Esta última resulta ser el factor determinante débido a las caractarísticas de la chatarra.

Por lo general, la cesta de carga está compuesta de un cuerpo cilíndrico de placa de acero, lo que varía más es el tipo del fondo. Los hay de malla de alambre, de segmentos, de almeja, etc., también hay cestas de cuerpo semiesférico.

Las cestas de fondo segmentado se utilizan de preferencia para hornos no mayores de 20 toneladas. Para hornos de mayor capacidad se prefieren las cestas de fondo de almeja, que no necesitan de una plataforma cerrada, como en el caso de las cestas anteriores y pueden colocarse sobre el piso sin necesidad de soporte. El fondo está cons

tituido de segmentos sujetos a dos muñones que a la vez son los centros de giros. Los segmentos se cierran solos bajo su propio peso y se mantienen cerrados por el peso de la carga. Para abrir los dos segmentos se utiliza un gancho adicional de la grúa, que se atora a una argolla con cable o cadenas, cuyos extremos están sujetos a cada uno de los segmentos. Esta operación se realiza sólo cuando la cesta se encuentra posicionada sobre el horno.

Las cestas deben cumplir con dos condiciones fundamentales, esto es primero: que su diámetro total debe ser tan grande como sea posible, refiriéndose esto a la facilidad para entrar y salir del horno sin dañar las paredes del material refractario. En los hornos pequeños esto significa que la cesta debe tener un diámetro menor de 30 cm. que el diámetro interior del horno con revestimiento y de unos 60 cm. menor que los hornos grandes. Segundo: que el volúmen total de la cesta debe ser alrededor del 80% del volúmen total del horno. Fig. 17 .

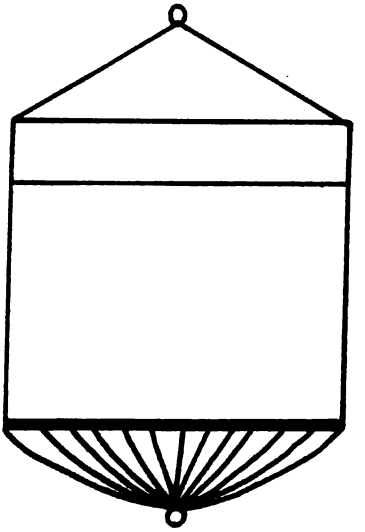


Fig. 17.- Cesta para cargar los hornos eléctricos.

CAPITULO VI

EL HORNO

VI.- EL HORNO.

1.- El horno propiamente dicho, consta de tres partes esenciales principales, que son: El casco, la bóveda y la columna de los brazos porta electrodos.

El casco es generalmente de forma cilíndrica cuyo fondo es un casquete esférico. Lleva una o varias puertas y diametralmente opuesta a una de estas se encuentra el orificio de colada o piquera. Inmediatamente abajo de éste, se tiene una canal de vertedero para la hora de vaciado, lo mismo que en la puerta de desescoriado.

Todo el horno lleva un revestimiento interior que se coloca dependiendo del proceso que se desea seguir y del área del horno que se desea, proteger. Sabiendo que se trata de un proceso básico se tomarán en cuenta las caracteristicas de los refractarios, de las que haremos referencia en seguida.

2.- REFRACTARIOS

Actualmente se tiene una gran variedad de materiales refractarios para el revestimiento de los hornos eléctricos básicos. En general son mezclas de magnesita y cromita y difieren en propiedades por la pureza de sus materias primas y por su proceso de fabricación. Se pueden clasificar en materiales quemados de liga química, de liga directa y electrofundidos.

Se denominan quemados o de liga cerámica a aquellos productos que por medio de un cocido a altas temperaturas han desarrollado una solución solida que liga a los cristales que forman la base del material. Esta solución sólida o fase vitrea es formada principalmente por forsterita, silicatos de aluminio otros óxidos alcalinos, silicato dicálsico y silice libre. Esta última con un punto de ablandamiento bajo, mientras que la matriz de silicato dicálsico es sumamente refractaria.

De lo anterior podemos concluir que un refractario básico quema

do tendrá mejores propiedades físicas si su relación $CaO:SiO_2$ es 2 : 1 y serán más probres si la sílice aumenta.

Los ladrillos quemados usuales son los de 98% de MgO, denominados comunmente de periclasa, y una modalidad son los ladrillos alquitranados, que corresponden al mismo material impregnado a presión con alquitran, con el fín de taper los poros del refractario.

Los llamados de liga química son materiales aglutinados con un ligante químico, que les da mayor permeabilidad y más resistencia a los choques térmicos. Generalmente son mezclas de MgO y Cr_2O_3. Tomando en cuenta que entre mayor sea el contenido de magnesita, tendrá mejores propiedades químicas y que su resistencia al choque térmico es proporcional al contenido de Cr_2O_3.

Los ladrillos de liga directa se originarón siguiendo la idea de eliminar la fase vitrea como medio de aglutinación y hacer que el cromo y la magnesia formarén directamente una liga que trajera como consecuencia altas propiedades físicas en caliente. Esto se ha logrado usando materias primas de alta pureza, especialmente con el mínimo de sílice; lo cual se lleva a cabo con los modernos métodos de obtención de magnesita y concentración, con la sílice minimizada en la cromita. Naturalmente siempre queda un remanente que forma la fase vítrea, pero un buen ladrillo de liga directa se mide en función del porcentaje que de esta liga se tiene. Estos materiales normalmente se obtienen en 50, 60, 70 y 80% de MgO.

Los materiales electrofundidos son, como su nombre lo indica, refractarios fundidos en un horno eléctrico y vaciados en moldes de la forma apropiada. Estos materiales son sumamente susceptibles al choque térmico y por tener una superficie vitrificada no permiten la adherencia de materiales de parchado sobre ellos. Una variedad son los refractarios de grano electrofundido, en la cuál el material fundido se muele, se reprensa y se lleva a un proceso como el de liga directa, obteniéndose un refractario con propiedades inmejorables.

. Los criterios a seguir para establecer una práctica refractaria, y para tal efecto dividiremos al horno por secciones para su mejor discución.

Sub-piso.- La construcción del piso se efectúa con ladrillo básico quemado de 98% a MgO sin caja metálica. La construcción que normalmente prevalece es la denominada tipo estadio. Aunque existen otros sistemas, esta práctica es más o menos universal y ya establecida por muchos años.

Piso o crisol.- Para esta sección, el apisonado de materiales refractarios granulares con contenido de MgO y 84 a 98% es una práctica general.

Linea de escoria.- La linea de escoria junto con los puntos calientes constituye el problema a resolver desde el punto de vista del refractario. La práctica común es el uso de ladrillos de alto contenido de MgO quemados, para esta zona y un mantenimiento adecuado a base de granulares.

Paredes superiores.- Arriba de la linea de escoria el revestimiento se considera formado por zonas críticas o puntos calientes, que generalmente coinciden con los vértices del triángulo formado por los eléctrodos y las áreas remanentes o menos severas. Los puntos calientes se han tratado de proteger con materiales electrofundidos y de liga directa, éstos últimos en sus variados contenidos de MgO

Carreras superiores.- Las dos o tres últimas carreras de las paredes del horno han recibido alguna atención, ya sea de parte del usuario o del fabricante de refractarios, en consonancia con problemas de choque térmico o de ataque químico, proveniente del goteo del material refractario con que se construye la tapa del horno; de acuerdo con lo anterior, se han elaborado materiales básicos de liga química con caja metálica y placas internas del tipo cromo magnesita, sin embargo, no se ha evidenciado una ventaja general de esta práctica, que sobrepase las dilaciones y movimientos adicionales de materiales que se requieren hacer para complementarla y por lo general se termina por construir estas carreras con el mismo material usado en la pared superior.

, Pico de descarga.- Este es una sección que generalmente recibe poca atención dentro del problema del horno eléctrico, pero que en algunos casos consume grandes cantidades de granulares por mantenimiento. Una recomendación adecuada es revestirlo con un plástico de 85% de alúmina y de liga fosfórica. Este material resiste los choques térmicos y la abrasión del metal, mientras que la liga fosfórica inhibe la sección de adherencia de escoria, por lo que el mantenimiento se reduce grandemente.

3.- LA BOVEDA.

La bovéda es enfriada mediante una caja de agua que va a todo lo largo del anillo y sobre la cuál se coloca el refractario, que para este caso suele ser de ladrillo de sílice, pero en vista de su sensibilidad a — los cambios bruscos de temperatura a que esta expuesta, este material puede ser substituido por tabiques sílico aluminosos. Alrededor de los ofirícios para los electrodos la bóveda lleva unos anillos también enfriados - por agua para prolongar un poco su vida, dado que es en esos lugares donde se tienen los puntos más calientes por la próximidad de los electrodos.

Para finalizar la descripción del horno, diremos algo de la forma de conducir la corriente desde el transformador hasta los electrodos. Partiendo del secundario del transformador, salimos con barras rígidas de cobre que van a conectar a unos cables flexibles, que deben tener una longitud tal que permita libremente los movimientos de elevación y giro de la bóveda.

De estos cables se pasa a la mordaza por medio de un tubo de cobre enfriado por agua y que corre a lo largo de la parte superior del brazo, aislado perfectamente de toda la estructura del horno. Se puede emplear en vez de estos tubos barras rígidas, pero con la desventaja de no tener la refrigeración de agua, con lo que se limita su carga a la permitida - por la ventilación de aire normal, reduciéndose con ello un poco la potencia del circuito de los electrodos.

Durante la operación del horno se presentan condiciones de operación que pueden afectar la vida del refractario pero que a su vez pueden ser

detectadas y corregidas, estas operaciones se pueden resumir en los siguientes puntos:

a).- Control del arco.- Un arco bajo, con una alta corriente produce más calor debajo del electrodo que un arco alto que muestra un patrón de radiación de calor más horizontal.

b).- La fusión debe empezarse siempre en el tap más bajo, hasta que el arco esté cubierto por la chatarra, para proteger las paredes del efecto directo. Una vez cubierto el electrodo el voltaje es incrementado gradualmente.

c).- Distribución de la carga.- Una distribución irregular y largos períodos de espera para fundir, afectan al refractario por enfriamiento si la carga no ha sido precalentada.

d).- Alineamiento de los electrodos.- Los electrodos deben mantenerse perfectamente a plomo o ligeramente hacia el centro para minimizar el efecto del arco sobre las paredes.

e).- Carga total del horno.- Al aumentar la altura del baño y subir la línea del metal, sujeta las paredes y la bóveda a una mayor radiación de calor.

f).- Tipo de escorificante y método de adición.- Cuando se usa cal en polvo por ejemplo ésta puede penetrar en el ladrillo.

g).- Viscosidad de la escoria.- Una escoria gruesa y viscosa retarda la penetración del calor en el metal, reflejándolo sobre paredes y bóveda. Una escoria fluida, por el contrario conduce más el calor reduciendo la radiación.

h).- Requerimientos del vaciado.- Generalmente operaciones como el colado contínuo o algunos aceros especiales requieren muy altas temperaturas de vaciado.

i).- Requerimientos químicos.- Períodos largos de inyección de oxíge

no para obtener bajos niveles de carbono u otros ajustes químicos pueden incrementar grandemente la temperatura del horno.

j).- Limpieza y densidad de la carga.- Una carga limpia y pesada facilitará una fusión rápida y con poca escoria natural, mientras que una carga sucia y ligera aumentará el ataque químico y los choques térmicos.

C A P I T U L O V I I

O P E R A C I O N Y M A N T E N I M I E N T O

VII.- CONTROL Y MANTENIMIENTO.

La operación del horno, se encuentra condicionada por un factor muy importante, a continuación se dará una exposición ordenada y detallada de la fabricación del acero, desde la preparación del horno hasta el momento de la colada, se hace referencia siempre al proceso básico de acereación.

La preparación del horno es el factor importante de que hablabamos ya que deberá soportar durante algunas horas, las altas temperaturas de trabajo, así como algunas condiciones de riesgo tales, que se ponga en peligro de perder toda la colada por falta de una buena preparación.

Después de colar, los hornos suelen quedar con algo de acero en mayor o menor cantidad. Si éste se encuentra uniformemente repartido el único cuidado que hay que tener es que no sea demasiado, y hay que rebajar entonces la piquera de colada, para que el horno vacíe bién en la próxima colada.

Si existe alguna parte del piso en el cuál se hunda el rable al tantear la cantidad de acero que ha quedado, es que ahí se encuentra un pozo del que habrá que desalojar el acero y sacarla, lo que se hace agregándole dolomita al acero y envolviéndolo con ella, Una vez seco el pozo, se agregará dolomita o magnesita calcinada hasta igualar con el resto de la solera.

Después de esta operación se arreglan los bancos con dolomita - - pués siempre quedarán cortados por donde llega el nivel de la escoria.

Todas estas operaciones de arreglo del revestimiento deban hacerse rápidamente después de vaciar y antes de que el acero dentro de él haya solidificado y el horno se enfríe, pués en ese caso la dolomita no quedará adherida y se desprenderá en seguida, quedando el horno en malas condiciones. Los electrodos deberán subirse lo más que permitan los aparatos elevadores y si no fuese bastante, se sujetan estos de más abajo para que no estorben en el arreglo y para la carga, evitándose -

al mismo tiempo el peligro de rotura. Si hay que realizar alguna reparación de los muros, cambiar algún electrodo, etc., se hará inmediatamente después de la carga y se dará corriente y limpiarán las herramientas preparando al mismo tiempo, los materiales para la colada siguiente, así como las piqueras de colada y escoria.

La carga del horno puede ser líquida o sólida; la mayor parte la constituyen principalmente el acero de desecho, hierro viejo, tornillería, despuntes o chatarra de laminación, lingotes, etc. pero en general debe ser de naturaleza pesada, limpia, etc. Es conveniente conocer la composición química de la misma en caso de ser la chatarra el principal componente de la carga, debiéndo tener un tamaño que sea fácil de manejar dentro del horno, Por otra parte teniéndo la chatarra clasificada por tamaño y clase debe promediarse metiendo primero unos trozos grandes debajo de cada electrodo para proteger el piso; sobre éstos se cargará la carga mediana y finalmente la menuda.

Una chatarra limpia suele ser la procedente de despuntes de laminación y forja que no lleve mucho tiempo a la intemperie, teniéndo sólamente la cascarilla propia del calentamiento que ha sufrido en los talleres; también algunas clases de virutas o rebabas en cuyo caso deberán estar lo más limpias de aceite posible puesto que ocasionarían problemas en cuánto al análisis final del acero, por aportar dicho aceite una cantidad apreciable de carbono y azufre al baño.

Como carga líquida se emplea el arrabio o hierro de primera fusión hasta cierto límite, conteniéndo aproximadamente de: 0.8 a 1.25% de silicio, de 1 a 2% de manganeso, 0.3 a 0.5% de azúfre, 0.15 a 0.25% de fósforo y 3.75 a 4.0% de carbono, variendo este compuesto según el tipo de acero a fabricar.

1.- Período de Oxidación.

Una vez metida la chatarra dentro del horno o parte de ella se procede a la revisión de los electrodos por si hubiese necesidad de-

poner alguno nuevo deslizar hacia abajo, los que por desgaste se hubiérán quedado cortos o por haberlos levantado para cargar con más comodidad o por facilidad en las operaciones de reparación hechas al horno. Una vez todo en órden, se cierran las puertas del mismo y se da corriente, debiéndo tener mucho cuidado durante la primera hora, pues en este período es cuando existe el mayor peligro de romper algún electrodo,- - bién por que la chatarra no sea limpia y la corriente no pase, o por la caida de algún pedazo grande de chatarra, y esto lo mismo si la regulación es manual o automática. Se pondrán entonces los electrodos al máximo amperaje y una vez que estén fijos, o sea cuando ya hay algo de - acero fundido debajo de ellos, y por lo tanto, las agujas de los amperímetros se mantienen constantes con más o menos facilidad no teniéndo ya las grandes oscilaciones que se presentan debido al corto circuito mientras está fundiendo.

Es en este momento de estabilización de corriente, cuando por decir así, ya ha pasado el mayor peligro de rotura de carbones o electrodos, pero para llegar a esto se puede presentar el caso de que no marquen los amperimetros por no tener debajo de aquéllos algún material - conductor, como un ladrillo de la bóveda o de los muros, chatarra con mucho aceite, etc., En este caso se debe mover la chatarra que haya - quedado debajo del electrodo cuyo amperímetro no marque y poner en su lugar un trozo de fierro limpio a fín de que se establezca con mayor facilidad el arco y registre el aparato correctamente. Cuando por fín se mantengan las agujas de éstos en una posición más o menos fija, como se decia, es cuando debe añadirse la primera escoria.

Esta escoria se compondré de espatofluor en una cantidad que dependerá de la carga y de la clase de chatarra. Siendo ésta no muy alta en fósforo, se puede calcular de unos 20 a 30 kilogramos de cal y unos 5 a 6 kilogramos de espato por tonelada. El añadir la cal junto con la carga puede ser mala práctica, pués retrasaria la fusión.

Si se sabe de antemano que la chatarra de carga es muy baja en fósforo, las cantidades anteriores se podrán reducir a unos 15 y 4 - kilogramos respectivamente sin bajar de ellos, póes siempre es conve

biente fundir con una cantidad mínima de escoria que proteja los revestimientos refractarios del horno del calor irradiado por el acero líquido y de las escorias ácidas. En lugar de cal se podrá emplear también piedra caliza, teniéndo entonces que calcular un peso doble por las pérdidas que tiene al calcinarse y en vez de espato agregar arena, pero no es recomendable su uso salvo en caso de necesidad, ya que nó dan buenos resultados.

Si la chatarra está muy óxidada no hará falta añadir nada de mineral de hierro, pués el oxígeno que necesita el acero para la oxidación del carbono, fósforo y otros elementos, se los proporcionará el mismo óxido de la chatarra; en cambio, sí ésta es muy limpia y se supone que sea alta en fósforo, carbono, habrá que añadir una determinada cantidad de mineral de hierro para proporcionarle el oxígeno necesario a esta oxidación. El mineral puede agregarse después de la primera adición de cal y en una cantidad prudente, nunca en exceso, ya que de este modo el acero fundiría muy bajo en carbonos y por tanto sobreoxidado, dificultando después la desoxidación.

Para substituir el mineral de hierro se emplea, también el óxido de hierro procedente de los talleres de forja y laminación, de los materiales que en ellos se utilizan, después de ser calentados a los que se les desprende una pequeña capa de dicho óxido.

Por otra parte, sí la chatarra fuese limpia y de la misma composición que el acero que se pretende fabricar, estando baja en fósforo, entonces lo más conveniente es fundir sin oxidación, no agregar mineral con la escoria, cerrando las puertas y piqueras impidiendo la entrada de aire al horno, y por ello la oxidación de algunos elementos, En este caso, la cantidad de escoria puede ser muy pequeña, lo suficiente para cubrir el baño y agregar algo de antracita cuando ya se tenga algo de acero fundido, formando con ella una atmosfera reductora dentro del horno, con lo que se desoxida al mismo tiempo la escoria que se vaya formando.

Estas adiciones de carbono deben hacerse con cuidado con objeto de que no estén en contacto directo con el acero, pués con ello se recarburaría algo, existiendo el peligro de tener luego un acero con un carbono superior al pedido por la especificación, teniéndo que oxidar nuevamente la carga, como en el método anterior, perdiendo la ventaja de la fusión sin oxidación.

Durante las dos primeras horas de fusión, por lo menos, debe trabajarse el horno con su voltaje más alto, y si tiene varios empleando luego el medio y después de tener toda la carga fundida, sólamente para calentar la carga el voltaje más bajo. Unicamente serán necesarios, si se trata de una colada corriente, preparar los materiales que en este caso será la cal y el espato para la escoria, carbón de antracita para la desoxidación de ésta, ferrosilicio para desoxidar el acero, ya pesado en montones de a 20 kilogramos, según la capacidad del horno, ferromanganeso en una cantidad inferior a la perdida para poder corregir luego con el análisis que envía el laboratorio.

Si la escoria se viera muy fina, por haber mucha oxidación, se le añade más cal para proteger la bóveda de la radiación de calor y, por el contrario, si la escoria es muy gruesa, se le agregará un poco de espato-flúor para darle mayor fluídez.

El período de oxidación de la hornada comienza realmente con la formación de acero líquido. Es en este período cuando se oxida el fósforo, el silicio, el manganeso, carbono, etc., También es eliminado aquí algo del azufre (aproximadamente el 20% del contenido total), como sulfuro de manganeso, aunque las escorias ricas en óxido son poco activas para desulfurar. De ahí que el grado de oxidación del baño sea determinado por las características físicas y químicas de la chatarra de carga, y por el grado de acero a producir. Una carga pobre de fósforo, silicio y exceste de aceite, exige menos oxidación que las cargas ricas en estos elementos. En cambio, los aceros pobres en carbono exigen un grado de oxidación relativamente elevado. Una oxidación en gran escala es importante también para conseguir poco

contenido de fósforo y promover una temperatura uniformemente elevada en el baño.

A medida que prosigue el período de oxidación, la temperatura del baño se eleva con el objeto de fomentar la remoción del carbono y dar fuidez suficiente para la remoción de las inclusiones metálicas sólidas. La pureza máxima de los aceros exige un alto grado de oxidación y un baño caliente y activo. Estando toda la carga del horno completamente fundida, se deberá sacar la muestra para el laboratorio, y en este momento cuando se pueda cargar más oxido de hierro y cal para comunicar las propiedades oxidantes deseadas y la basicidad de la escoria, la cual debe ser de 2.5 a 3.5 se entiende por basicidad de la escoria la relación de óxido de calcio a sílice - - - (CaO/SiO_2 = 2.5/3.5)

Período de Reducción.

Lo primero que hay que hacer después de desescoriar por última vez o de recarburar, si ésta operación ha sido necesaria, es el añadir al acero una cantidad de ferrosilicio teóricamente requerido para tenerle con un 0.25 a 0.30% de silicio a no ser que se pida un bajo contenido de este elemento.

Si el acero no esté sobreoxidado, esta medición sera suficiente para la desoxidación, ayudada también por el ferromanganeso, la cuál conviene hacer al mismo tiempo. La cantidad aconsejable es la suficiente para poner el acero teóricamente con un contenido inferior a un 0.15 ó 0.20% al contenido que debe tener el acero al colar

Después del ferromanganeso pueden agregarse los demás elementos para formar la escoria reductora que son cal y espatoflúor (también en cantidades de 30 kilogramos de cal y de 3 a 6 kilogramos de espato por tonelada), al mismo tiempo puede ponerse también carbón de la misma clase que se uso para la recarburación, en cantidad tanto mayor cuánto más alto debe ser el contenido final normalmente es de 3 a 6 kilogramos por tonelada)

Las reacciones que tienen lugar entre la adición de feromangane

so y el carbón al cero, es:

$$FeMn + CO \longrightarrow Fe + C+MnO$$

en la que el Fe queda en el acero pasando el óxido de manganeso a la escoria y que se reducirá luego con el carbono adicionado, según la reacción

$$MnO + C \longrightarrow CO + Mn$$

pasando el manganeso al baño de acero. y quedando libre el carbono que sale del horno como CO.

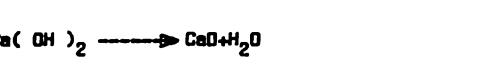
La segunda escoria puede ser de dos clases: la llamada blanca y la de carburo de cal.- Debe procurarse trabajar siempre con la segunda; a menos que se quiera un acero bajo en carbono, se usará la blanca puesto que de otro modo habría que hacer una sobreoxidación para operar con un carbón más bajo.

La escoria blanca contiene menos carbono que la de carburo y se puede mezclando la cal, el espato y el carbón fuera del horno y agregarlo luego todo junto o bien primero la cal, el espato y el carbón al final, lo cuál es preferible porque antes de poner éste último se sacaría una muestra para analizar, evitando así el riesgo de elevar el contenido del mismo a un nivel más alto de lo deseado.

Para la formación de una escoria de carburo de cal, se deberán reunir los siguientes requisitos; acero bién desoxidado, bastante carbono y alta temperatura, teniéndo la escoria la suficiente fluidez para que entre en combinación el carbón con la cal. Puede darse el caso de tener un exceso de carbono libre en el horno y no ser la escoria de carburo, para lo cuál se puede suponer que una escoria de este tipo deberá contener un mínimo de 1% de este compuesto. Su color varía del gris claro al negro, según la proporción de carbono que contenga.

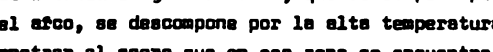
Al formarse esta escoria dentro del horno, se presentará la si--

guiente reacción:



$$CaO + 3\,C \longrightarrow CaC_2 + CO$$

La cal apagada no es conveniente en la formación de una buena escoria, porque bajo la acción del calor, ésta dará lugar a:



$$Ca(OH)_2 \longrightarrow CaO + H_2O$$

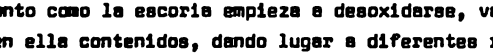
o sea, que se introduce agua al horno, que se evapora pero también, en la región del arco, se descompone por la alta temperatura pudiendo el hidrógeno penetrar al acero que en ese zona se encuentra sin protección de la escoria, y que además, el oxígeno puede oxidar algo al acero, Este hidrógeno en el acero dará lugar a la formación de algunas manchas - brillantes que no son sino fisuras internas que aparecerán en los lingotes y piezas formadas o láminadas y como grietas finísimas en piezas ya maquinadas, conociéndose como grietas capilares, débido a que el elemento imparte cierta fragilidad al acero por lo que respecta a sus propiedades mecánicas, sin el correspondiente aumento en su resistencia a la tracción.

Tan pronto como la escoria empieza a desoxidarse, van reduciéndose los óxidos en ella contenidos, dando lugar a diferentes reacciones, que serán ahora mostradas para cada elemento por separado.

Aquí los óxidos contenidos en la escoria, se reducirán como se describe a continuación.
El óxido de hierro se reduce en escoria de carburo, donde hay exceso de carbono:

$$2\,FeO + CaC_2 \longrightarrow 2\,Fe + CaO + 2\,CO$$

Y en escoria blanca:



$$FeO + C \longrightarrow Fe + CO$$

Para el óxido de manganeso, con escoria blanca:

$$MnO + C \longrightarrow Mn + CO$$

Con carburo de cal:

$$CaC_2 + 2\ MnO \longrightarrow CaO + 2\ CO + 2\ Mn$$

Para el azufre que se encuentra en forma de (MnS) ó (FeS), tendremos para escoria blanca:

$$2\ CaO + MnS + C \longrightarrow CaS + CO + Mn$$

$$2\ CaO + 2\ MnS\ \ Si \longrightarrow 2\ CaS + SiO_2 + 2\ Mn$$

$$2\ CaFe_2 + 2\ MnS + Si \longrightarrow 2\ CaS + SiFe_4 + 2\ Mn$$

Pudiendo desulfurar hasta 0.030 ó 0.040%. Con escoria de carburo - la desulfuración es más enérgica y completa: la reacción correspondiente es:

$$C_2Ca + 2\ CaO + 3MnS \longrightarrow 2\ CO + 3\ CaS + Mn$$

Si por cualquier medio se introduce después algún óxido de hierro el azufre vuelve a bajar al acero como sulfuro de hierro, puesto que:

$$CaS + FeO \longrightarrow FeS + CaO$$

Por lo que se debe tener una escoria fuertemente básica, como ya se dijo, y con exceso de cal y carbón.

En realidad el ferrosilicio y ferromanganeso son los únicos dos desoxidantes, pués su afinidad por el óxigeno es mayor que la del hierro, desalojándole de éste y combinándose con ellos formando los óxidos SiO_2 que pasa y permanece en la escoria, y MnO que pasa también a ella

y es ahí reducido por el carbono, según se observa en la reacción correspondiente.

Una vez bién desoxidado el acero, mediante reguladas adiciones de ferrosilicio, el silicio pasará todo al baño pués ya no podrá oxidarse, siendo ahora el momento de hacer las adiciones necesarias para dar la composición química requerida.

3.- Mantenimiento.

Durante una colada se pueden presentar varios contratiempos debido a las condiciones del horno, Sí éste se trabaja con cuidado, y sí no está muy agotado teniéndo buenos materiales, lógicamente no habrá dificultades pero por desgracia no es posible trabajar siempre en esas condiciones, presentandose algunas averías más o menos serias. Entre éstas, las más frecuentes son las siguientes.

Se puede presentar una rotura de electrodos. Lo primero que debe hacerse en este caso, es quitar la corriente y sacarlo del horno lo más rápido posible para que el acero si se tiene ya fundido, no absorba demasiado carbono. Inmediatamente poner otro nuevo y arrancar el horno, agregando un poco de óxido de hierro en el caso de que parte de la carga estuviese fundida por lo menos. Habrá ocasiones en que se interrumpa el suministro de corriente por alguna falla en las lineas, en los transformadores, o en los aparatos auxiliares. Si es poco tiempo no tendrá mucha importancia, debiéndo entonces únicamente abrir los interruptores para que al momento de entrar nuevamente la corriente, no se tenga carga conectada al sistema. Si la interrupción fuera más alla de unos 15 minutos, empezarán las perturbaciones. Si la carga en el horno está fundida, el caldo y la escoria se enfrían; sí se está recarburando, la absorción es casi nula; si se está vaciando, se corre el riesgo de perder la colada, procurando entonces bascular manualmente sí es posible; si se estuviese vaciando a lingoteras por ejemplo, habrá que abrir de vez en cuando la tina para que el tapón no se pegue.

Si la solera del horno ya ha sufrido algún sobrecalentamiento -

suelen desprenderse algunos grandes bloques de dolomita o magnesita de ella. Esto puede ser grave pués es muy probable que el piso llegue a - perforarse, perdiéndose la colada. Lo mejor para este tipo de averías, es quitar la corriente y examinar el casco del horno, enfriando con - agua o con aire sí se encuentra al rojo, añadir bastante espato para - deshacer la dolomita y tratar de sacarla por la puerta; calmar el acero con ferrosilicio y meter pedazos de chatarra en la parte más caliente - para enfriarlo; luego se dará corriente observando si se corrige la avería y en caso negativo se tratará de calentar lo más rápidamente posible para colar, e incluso se basculará el horno para tirar la carga al pozo de colada, pués aunque en caso de que se perfore el casco, el acero líquido empezará a salir gota a gota, pero cada vez más rápido, con el consiguiente peligro de dañar seriamente todo el mecánismo de basculación, acarreando mayores problemas, evitando además algún posible — accidente.

En otras ocasiones podrá romperse algún engrane, cable o algún - motor de la regulación de electrodos; el peligro de esto es que al resbalar el electrodo penetre al acero recarburandole y produciendo algunas veces una reacción muy violenta que hace que el acero salga por las puertas con riesgo de quemar a alguno de los operarios.

Si la bóveda está muy gastada, pueden caerse algunos tabiques con peligro de que los anillos de los orificios de los electrodos caigan - también al acero y por el agua que circula por ellos dé lugar a una explosión. Por esto es conveniente sujetarlos con cadenas y evitar que — lleguen a tocar el acero fundido. También se procurá evitar toda clase de fugas de agua de los tubos de refrigeración, por la misma razón.

En caso de ser necesario un arreglo, en el revestimiento del horno cuando éste ya tenga algo de acero fundido, por haberse caído algún pedazo de pared, por ejemplo, deberá tenerse el cuidado de parcharla - con dolomita ó magnesita lo menos húmeda posible, de preferencia secos, si la reparación requerida lo permitiese.

C A P I T U L O V I I I

C A L C U L O S D E C A R G A

C A P I T U L O V I I I

C A L C U L O S D E C A R G A

VIII.- CALCULOS DE CARGA.

A continuación se presenta el ejemplo del cálculo de una carga para producir un acero grado herramienta tipo AISI H-21, para trabajo en caliente, utilizando chatarra al carbono y ferroaleaciones. La capacidad del horno para este ejemplo es de 10 toneladas.

La composición requerida específica del acero es la siguiente.

C	0.30 - 0.35%
Si	0.20 - 0.40%
Mn	0.10 - 0.30%
W	9.50 -10.00%
Cr	3.25 - 3.75%
V	0.35 - 0.50%
P	0.030% máx.
S	0.030% máx.

Composición de las ferroaleaciones a utilizar.

FeCr	Alto	C	68%	Cr ;	5.0%	C ;	1.5%	Si		
FeCr	Bajo	C	69%	Cr ;	0.5%	C ;	0.65%	Si		
FeW			78%	W ;	0.6%	C ;	1.0%	Si ;	1.0%	Mn
FeV			53%	V ;	1.1%	C ;	6.5%	Si		
FeSi			50%	Si ;						

Se conoce el peso total de la carga que se va a fundir, la composición química del acero a producir y de las ferroaleaciones disponibles.

Con la composición del acero a producir y el peso de la carga a obtener se determinan las necesidades de elementos adelantes principales. Esto es:

10,000	x	0.0975	=	975	Kg.	W
10,000	x	0.0350	=	350	Kg.	Cr
10,000	x	0.0045	=	45	Kg.	V

Conociéndo la composición de las ferroaleaciones disponibles, se determina la cantidad de cada una de ellas.

$$\frac{975}{0.78} = 1,250 \text{ Kg. FeW}$$

$$\frac{350}{0.69} = 507 \text{ Kg. FeCr}$$

$$\frac{45}{0.53} = 85 \text{ Kg FeV}$$

La suma de las ferroaleaciones será:

$$1,250 + 507 + 85 = 1,842 \text{ Kg.}$$

Que restada del peso total de la carga, nos dé la cantidad en Kg. de chatarra al carbono a utilizar ó sea:

peso total de la carga	10,000	Kg.
peso total de ferroaleaciones	1,842	Kg.
	8,158	Kg.

Durante el período oxidante se pierde aproximadamente el 3% de ese peso por lo que:

$$8,158 \text{ Kg.} \times 0.97 = 7,913 \text{ Kg.}$$

Habrá en el horno antes de la adición de los ferroaleaciones.

Ahora bién, las ferroaleaciones no son aprovechadas en un 100%, si no que sufren pérdidas. Así por ejemplo: el aprovechamiento del FeW es del 95%, del FeCr y del Fev es de 90%, así que la cantidad real de ferroaleaciones por agregar se ajusta.

$$\frac{1,250}{0.95} = 1,315 \text{ Kg. FeW}$$

$$\frac{507}{0.9} = 563 \text{ Kg. FeCr}$$

$$\frac{85}{0.9} = 94.5 \text{ Kg. FeV}$$

Suma: 1,972.5 Kg.

el metal en
el horno = 7,913.0 Kg.

9,885.5 Kg. de acero.

Es indispensable, recordar que con las ferroaleaciones se introducen elementos que pueden alterar la composición del acero. Esto es:

Con el FeW se introduce:

1.0 % Mn x 1,315 Kg. FeW = 13.15 Kg. Mn.
1.0 % Si x 1,315 Kg FeW = 13.15 Kg. Si
0.6 % C x 1,315 Kg FeW = 7.9 Kg. C

Con el FeCr se introduce; si utilizamos 100 Kg FeCr alto C;

5.0 %C x 100 Kg. FeCr = 5.0 Kg. C
1.5 %Si x 100 Kg. FeCr = 1.5 Kg. Si

Con el FeCr bajo C:

0.5 % C x 463 Kg. FeCr = 2.315 Kg. C
0.65 % Si x 463 Kg. FeCr = 3.06 Kg. Si

Con el FeV se introduce:

1.1 % C x 94.5 Kg. FeV = 1.04 Kg. C
6.5 % Si x 94.5 Kg. FeV = 6.13 Kg. Si

La suma de elementos en %, que se introduce con las ferroaleaciones es la siguiente:

$$\frac{(7.9 + 5.0 + 2.315 + 1.04) \times 100}{9885.5} = 0.16 \text{ \% de C}$$

$$\frac{(13.15 + 1.5 + 3.06 + 6.13) \times 100}{9885.5} = 0.23 \text{ \% de Si}$$

$$\frac{13.15 \times 100}{9885.5} = 0.13 \text{ \% de Mn}$$

De acuerdo con el análisis, se necesita obtener:

0.30 % Si
0.20 % Mn
0.33 % C

Con las ferroaleaciones se introduce, 0.23% Si ó sea que falta:

$$\frac{9885.5 \times (0.30 - 0.23)}{0.5 \times 100} = 13.8 \text{ Kg. FeSi (50\%)}$$

La cantidad de FeSi, puede variar y el ajuste se efectuará según el grado de desoxidación que el acero presenta, porque nó todo el Si, que se introduce con las ferroaleaciones, permanece en el baño, sinoque es muy variable.

Es buena práctica agregar parte del Si, en la olla, en forma de CaSi, debido al poder desoxidante del calcio ya que mejora el tipo de inclusiones que se obtienen.

La suma total de chatarra y ferroaleaciones quedará así:

9885.5 + 13.8 = 9899.3 Kg.

El manganeso introducido en las ferroaleaciones es de 0.13 % y todo permanece en el acero, por eso mismo es muy importante que durante la oxidación se elimine hasta un 0.10% antes de extraer la escoria,

con lo cuál se garantiza que dicho elemento no rebasará el límite máximo especificado ya que en este caso, se puede considerar, prácticamente como impureza.

Para el caso del carbono se deben considerar dos períodos, el que se desea después que la chatarra se fundió y que se calcula mediante la fórmula:

$$\text{Kg. grafito} = \frac{8150(\%\ Cd - \%\ C\ ch)}{\%\ C\ graf. \times A \times 100}$$

en donde:

% Cd = % C deseado después de la fusión
% C ch = % C en la chatarra
% C graf. = % C en el grafito.
A = aprovechamiento = 70%

La oxidación del C, en el acero debe ser hasta límites de 0.05 - 0.10%, con objeto de garantizar el contenido especificado (0.33%) - ya que se introduce con las ferroaleaciones 0.16% C + 0.0% del acero = 0.26%.

Pero durante el proceso de reducción y utilizando una escoria -- blanca ó ligeramente gris, el contenido de C, aumenta a razón de 0.03% por hora, y si suponemos que el acero estará bajo dicha escoria durante dos horas se tendrá un incremento de 0.06%, que sumado al C, de las ferroaleaciones y del acero se tendrá:

0.26 + 0.06 = 0.32 %

En el baño hacia el final de la colada. El 0.01% se agrega en la olla en forma de grafito ó coque finamente molidos, para aumentar la - superficie de contacto, con el duál rápidamente se disuelve. La cantidad de grafito o coque se calcula como sigue:

$$\text{Kg. grafito ó coque a la olla} = \frac{9899.3 \times \%\ Cf}{\%\ C\ graf. \times A \times 100}$$

en donde:

% CF = % C faltante
% C graf. = % C grafito
A = Aprovechamiento (80 a 90% el contenido de C en el Acero)

1.- Orden de Adición de los Elementos Aleantes a la Colada.

El orden de adición de las ferroaleaciones es muy importante debído a que puede afectar seriamente la limpieza del acero.

Este orden es afectado por varios factores, como lo es, la afinidad del elemento aleante por el oxígeno, cantidad de ferroaleación, punto de fusión, etc.

En este caso específico las ferroaleaciones deberán agregarse en el orden siguiente; en cuanto se tenga ya formada la segunda escoria:

a).- En una colada con período oxidante el FeW se agrega, al baño al principio del período reductor. Debido a que el FeW se funde con dificultad (temperatura de fusión mayor de 2000°C), es necesario un tiempo más largo para su disolución en el metal. Es efectivo calentar previamente, el FeW. Al ser agregado cae hasta el piso del horno debido a su elevado peso específico. La disolución se acelera si se agrega un tercio de todo el FeW, el resto se irá agregando en porciones menores a intérvalos de tiempo de 20 a 30 minutos. Antes y después de cada adición agitar enérgicamente el baño.

Se recomienda que nunca se agrege todo el FeW, cuando es en una cantidad grande porque se enfría el baño y puede llegar al punto de solidificación.

En el proceso de refusión de chatarra aleada, sin período oxidante el FeW, se carga al mismo tiempo con el resto de los materiales y se coloca, directamente bajo los electrodos. El aprovechamiento del FeW es del 90% y el 10% permanece en las irregularidades del piso, principalmente cuando se agregan grandes cantidades.

B).- El FeCr se agrega al horno, cuando el metal y la escoria está bastante desoxidados (en la escoria hay aproximadamente 1.56% de Fe), - ésto es, aproximadamente una hora después de haberse extraido la escoria. (Durante la fusión de ciertos tipos de acero el FeCr se agrega al baño al principio del período oxidante). Antes de la adición del FeCr,- la escoria debe tener un color blanco o grisáseo. Después de la adición la escoria adquiere un matiz verde, que se debe a la presencia de los - óxidos de cromo introducidos con la aleación y los formados por la oxidación parcial del cromo. Para la reducción de éstos óxidos, se agrega la mezcla reductora. La adición de las mezclas desoxidantes reduce los óxidos de cromo y después de la desoxidación la escoria nuevamente esclara.

Los trozos de ferrocromo, flotan sobre la superficie del metal y- para que se funden más rápido se colocan bajo los electrodos.

Se recomienda agregar el ferrocromo alto carbono junto con un poco de FeCr bajo carbono, el resto agregarlo poco a poco y siempre agitando el baño antes y después de cada adición. Además procurar que — cuando sea en esta forma se caliente previamente. El cromo es aprovechado en un 95%

c).- El vanadio se óxida en forma relativamente fácil y por ello el ferrovanadio se agrega al baño unos 10 a 15 minutos antes del sangrado de la colada, y cuando se tiene que agregar en grandes cantidades, se hace 30 minutos antes del sangrado. En ese momento el metal - esta bién desoxidado y no hay peligro de que se óxida el vanadio débido a su gran afinidad por el oxígeno.

El ferrovanadio flota en la superficie y su aprovechamiento es - de 90 a 95%.

Con todas las adiciones hechas al horno, con el baño muy bién desoxidado, etc., se ajusta entonces la temperatura del metal líquido- subiendo o bajando el amperaje de los electrodos y logrado eso se podrá proceder a la colada del horno.

C A P I T U L O I X

E P I L O G O

IX EPILOGO

Además de las ventajas tecnológicas y económicas descritas, el horno eléctrico de arco tiene la versatilidad de poder alimentarse con materia prima de muy diversa clase, desde cualquier tipo de chatarra y ahora en una forma más controlada con minerales pre reducidos (fierro esponja) por cargas en lotes ó por alimentación contínua; tiene la flexibilidad de fabricar desde los aceros comerciales más comunes hasta los aceros especiales más sofisticados, como se ha visto en nuestro ejemplo de aceros para herramienta. También puede procesar diversos tipos de fundición como son maleable, modular ó gris, puede combinarse con mayor compatibilidad de operación con equipos de colada contínua, costos de operación competitivos, sobre todo cuando al ser alimentado con fierro esponja, se hace menos vulnerable a las fluctuaciones del mercado de chatarra y dando excelentes resultados en lo que se refiere a calidad.

Requiere de una moderada inversión de capital que refleja una menor incidencia de costos fijos sobre los costos de operación al utilizar con mayor eficiencia la capacidad instalada y satisfacer módulos de expansión que puede ser compatible con los mercados latinoamericanos y países en desarrollo.

En México, además de las acerías integrantes con reducción directa y disfrutando de otras económias, los semi integrados visualizan un futuro halagador en la disponibilidad del uso del fierro esponja, aumentando así la productividad de sus hornos eléctricos.

C A P I T U L O X

B I B L I O G R A F I A

X.- BIBLIOGRAFIA.

1.- Sleeper A. Z.
Electric parameters of operating foundry arc furnace.
Mac Millan Co. 1968 New York.

2.- Dresch C. D.
Electric furnace power sistem.
Jhon Wiley abd sons 1973.

3.- Elliott L.C.
Electric Power sistem for large arc furnace.
Jhon Wiley and sons 1969.

4.- Raymond A. Higgins.
Ingeniería Metalúrgica
C E C S A .

5.- Howard F. T.
Fundición para ingenieros.
Cia. edit. Continental, S.A.

6.- J. Apraiz.
Aceros especiales y otras aleaciones
Dossat 1975

7.- Sawabe H. S.
Conceptos y fórmulas aplicadas a hornos electricos de arco.
Unión Carbide Mexicana. 1979.

8.- Sawabe H. S. Principios fundamentales del horno eléctrico de arco.
Unión Carbide 1979.

9.- Perchkis Víctor
Industrial electric furnaces. 1952.

10.- Levassear Albert.
L' Electrochimie et L' electrometallurgy 1959

11.- Cochran D. R.
Determinatión of arc furnace optimum durrent. 1953.

12.- Bretthaver K.
Measuring system for electric arc quantities. 1975.

13.- Hastings P. J.
Transformers and electrode reiquerimenta. 1975.

14.- Ernest. J. T.
The manufacture and fabricatión of steel ferrous metallurgy vol. II.

15.- Ernest J. T.
Introductión to ferrous metallurgy ferrous metallurgy.