

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Quimica

LOS HORNOS DE FUSION DEL
ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

158

MONOGRAFIA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A

GUILLERMO IBARRA MOLINA

México, D. F.

1974



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

CLAS. Tests
ADQ. 1974
FECHA 15/10/74
PROC. 150



QUINIG

A MIS QUERIDOS PADRES:

Mi profundo agradecimiento
por su cariño y esfuerzo
para darme lo que soy

A MI ESPOSA:

La fiel compañera de mi
vida quien tanto me ha
ayudado para concluir
esta obra.

A MIS HERMANOS:

José, Gustavo y Fernando
Por haberme impulsado
siempre para seguir-
adelante y por confiar
en mi.

A MI PEQUEÑA HIJA

A MI SUEGRA:

Por su constante apoyo

A MI SUEGRO:

Por sus sabios consejos

A MIS CONDIPCIPULOS Y MAESTROS

A LA FRATERNIDAD IBARRA

Quien me brindó siempre su ayuda

JURADO DESIGNADO ORIGINALMENTE

PRESIDENTE	MANUEL GAVIÑO RIVERA
VOCAL	KURT H. NADLER GUNDEISHEIMER
SECRETARIO	ALBERTO OBREGON PEREZ
1er. SUPLENTE	CUTBERTO RAMIREZ CASTILLO
2o. SUPLENTE	JOSE CAMPOS CAUDILLO

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE QUIMICA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

NOMBRE Y FIRMA DEL SUSTENTANTE:

GUILLERMO IBARRA MOLINA

NOMBRE Y FIRMA DEL ASESOR DEL TEMA:

ING. ALBERTO OBREGON PEREZ

I N D I C E

	Pág.
CAPITULO I. INTRODUCCION	1
CAPITULO II. GENERALIDADES	5
CAPITULO III. METODOS DE FABRICACION DE ALUMINIO Y DE ALEACIONES DE ALUMINIO . . .	23
CAPITULO IV. LOS HORNOS DE FUSION	47
CAPITULO V. CONTROL DE CALIDAD	73
CAPITULO VI. CONCLUSIONES	103
CAPITULO V. BIBLIOGRAFIA	106

C A P I T U L O I

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

El aluminio es uno de los elementos más abundantes en la naturaleza, entra en la composición de la corteza terrestre en una proporción aproximada de un 8%; es decir, mucho mayor que todos los metales restantes de uso corriente. Sin embargo, el aluminio nunca se encuentra al estado nativo, sino combinado con otros elementos.

Aunque sólo en pequeñas proporciones, casi todas las rocas y arcillas comunes contienen aluminio en forma de óxido. Hasta los alimentos contienen pequeñas cantidades de este elemento. Muchos de los minerales de aluminio tienen una apariencia poco atractiva, pero hay algunos que brillan como piedras preciosas, como el rubí, granate, zafiro, topacio y turquesa, que son todos ellos compuestos de aluminio.

Debido a la gran afinidad química que presenta el aluminio por el oxígeno, es muy difícil descomponer su compuesto oxigenado, la alúmina. A esto también se atribuye, el que, aún después de que Oersted, Wöhler, Sainte-Claire Deville y otros investigadores, encontraran el procedimiento para la obtención del aluminio puro, transcurrieran muchos años antes de que se alcanzara su desarrollo industrial.

El descubrimiento del aluminio y todo el desarrollo lento y fatigoso de los procesos de obtención para llegar a un método industrial económico, se encuentra resumido en la siguiente reseña histórica:

Siglo XVIII. Se menciona por vez primera el aluminio como componente fundamental del alumbre $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$.

1807. Sir Humphrey Davy expone su sospecha de que la alúmina es una combinación del oxígeno con un metal al que llama aluminio, sin conseguir separarlo por electrólisis. No obstante, empleando un cátodo de hierro, obtuvo una aleación de hierro y aluminio.

Tampoco tuvieron éxito sus trabajos posteriores intentando separar el aluminio por reducción electrolítica de una mezcla fundida de alúmina y potasa.

1821. M. Pierre Berthier descubre la bauxita, a la que llamó así porque uno de los primeros depósitos fue hallado cerca de Baux, pueblo al sur de Francia.

1825. El Físico Hans Christian Oersted ensaya la obtención del aluminio por doble descomposición del cloruro anhídrico con amalgama de potasio, y obtiene de este modo, por vez primera, aluminio metálico.

1827. Friedrich Wöhler consigue reducir 30 gramos de cloruro anhídrico de aluminio con potasio puro, obteniendo un polvo gris que observado con cuidado "escribía" a la luz del sol, parecía estar formado de pequeñas escamas metálicas brillantes. Tratando este polvo en un mortero, obtuvo unas escamas metálicas grandes, en las que pudo observar y definir las propiedades características del aluminio, así como su brillo metálico.

1845. Wohler obtiene cantidades de aluminio en pequeños regulos fundidos del tamaño de la cabeza de un alfiler, con los que determi-

na las propiedades físicas del metal.

1852. El investigador francés Henry Sainte-Claire Deville establece los fundamentos para la obtención industrial del aluminio, mejora el procedimiento de Wöler, reduciendo el cloruro doble de aluminio y sodio con sodio metálico, más barato. De esta manera, obtiene el metal en pequeños bloques de 96 a 97% de pureza y alcanzando una producción de 200 toneladas. Continúa los trabajos Bunsen, aplicando el cloruro doble de aluminio y sodio y utilizando por vez primera la criolita de Groenlandia para bajar el punto de fusión y conseguir que el aluminio formado se aglomere en gotas.

1854. Robert Bunsen electroliza una mezcla de cloruro de aluminio y cloruro de sodio, con ánodo y cátodo de carbón, separados por un diafragma de porcelana. Sin embargo, esta experiencia no tuvo el éxito deseado por la carencia de una fuente de energía apropiada.

1866. Nace la moderna industria del aluminio: Paul T. Heroult en Francia y Charles Martin Hall, en América, patentan independientemente uno del otro, la descomposición electrolítica de la alúmina disuelta en criolita, con cuyo procedimiento trabaja hoy toda la metalurgia del aluminio del mundo.

C A P I T U L O I I

G E N E R A L I D A D E S

a) BENEFICIO DEL ALUMINIO.- Debido al largo procedimiento empleado para su recuperación, no es siempre provechosa la extracción del aluminio, a menos que el mineral contenga una gran proporción de este metal.

La ley mínima considerada como económica costeable es de 50 a 60% de óxido de aluminio.

De la enorme serie de minerales que contienen aluminio, sólo uno de ellos resulta interesante desde el punto de vista económico. El material más importante bajo este aspecto es la bauxita, que contiene alrededor de 62 a 65% de alúmina (Al_2O_3) hasta el 28% de óxido de hierro (Fe_2O_3), de 12 a 30% de agua de hidratación (H_2O) y hasta el 8% de sílice (SiO_2).

Las arcillas y rocas más comunes contienen un alto porcentaje de alúmina- pero generalmente estos minerales se encuentran combinados formando silicatos. La sílice reacciona con la sosa empleada en el proceso, formando silicatos de sodio y aluminio, de los cuales es más difícil y costosa la extracción del aluminio. Antes de que un Kg., de aluminio pueda ser recuperado de estos silicatos, la sílice causaría la pérdida de un Kg., de alúmina y de un Kg., de sosa caústica.

Las bauxitas son muy diferentes en muchos aspectos, algunas son blancas o grises, otras aparecen rojas y rocosas. Algunas son encontradas a flor de tierra o ligeramente bajo la superficie, en otras ocasiones son localizadas en depósitos a 150 metros de profundidad. Es posible en-

contrar diferentes grados de mineral que puede variar mucho en color, com posición y textura dentro del mismo depósito.

La explotación del mineral se realiza a cielo abierto y subte--
rranea.

Otros minerales de los que se puede beneficiar la alúmina son -
la arcilla y el caolín, los minerales silicosos leucita y labradorita, -
así como el sulfato básico de aluminio, llamado alunita. Sin embargo, la
importancia industrial de estos minerales en la obtención del aluminio es
aún insignificante.

Antes de obtenerse el metal puro, éste tiene que ser separado-
de los otros elementos presentes en el mineral, siendo por ello necesario
someterlo a dos procesos básicos. Primero, el proceso Bayer para conver-
tir la bauxita en óxido de aluminio o alúmina; y luego el proceso Hall, -
para separar la alúmina en sus componentes químicos, aluminio puro y oxí-
geno.

En el proceso Bayer, la bauxita en trozos gruesos es triturada-
en quebradoras. La molienda fina subsiguiente se efectúa en molinos de -
barras. La bauxita así preparada es almacenada en silos de donde se ex-
trae en cantidades exactamente calculadas para ser batida en un mezclador
con lejía de sosa concentrada (aproximadamente 45% de NaOH) que procede -
del ciclo de fabricación.

La mezcla pasa a un autoclave donde la bauxita es atacada a la

Temperatura de unos 170°C y a una presión de 6 a 7 atmósferas con lo que la alúmina queda disuelta para formar aluminato de sodio ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), - mientras que los otros componentes de la bauxita como el Fe_2O_3 , SiO_2 y -- TiO_2 , quedan en los barros en forma de lodo rojo.

Una vez completado el ataque, el contenido del autoclave pasa a un tanque de dilución, donde se mezcla con una cantidad medida de lejías- de lavado procedentes también del ciclo de fabricación. La parte más fi- na del barro rojo se separa de la lejía del aluminato en decantadores; es- ta operación se repite hasta que el barro queda exento de lejía. Este ba- rro, que consta en gran parte de óxido de hierro, se tira.

La lejía diluída, que tiene una concentración de 17% de NaOH, - se encuentra en batería de múltiple efecto hasta que alcanza otra vez el- 45%, de donde es llevada al mezclador para el ataque de nuevas porciones- de bauxita.

El hidrato aluminico lavado es de un blanco deslumbrante y con- tiene sólo alrededor de 0.01 a 0.02% de SiO_2 y aproximadamente otro tanto de Fe_2O_3 .

Para poder emplear la alúmina en la electrólisis es preciso pri- varla del agua del hidratación lo cual se lleva a cabo mediante una cal- cinación en hornos rotatorios, calentados con gas a la temperatura de --- 1200 a 1300°C. La alúmina así tratada no vuelve a absorber humedad aún - cuando su período de almacenaje sea prolongado, lo que es muy importante- para la electrólisis posterior.

La reducción del óxido de aluminio o bauxita con carbón no es - posible a causa de la gran afinidad de este metal por el oxígeno; hoy día; se lleva a cabo exclusivamente por vía electrolítica. Para esto, la alúmina tiene que encontrarse en solución, pero como esta es casi inerte químicamente, resulta muy difícil encontrar una substancia capaz de disolver la. Sin embargo, hay varios compuestos químicos que disuelven la alúmina, pero todos estos son soluciones acuosas, y el agua no se puede utilizar en el proceso, ya que al circular la corriente eléctrica a través de la solución, el agua se descompondría en sus elementos básicos, mucho antes que la alúmina, imposibilitando la reacción perseguida.

He aquí pues el problema que dió lugar a intensas investigaciones científicas, llevadas a cabo para descubrir la solución no acuosa capaz de disolver la alúmina, encontrándose la respuesta a este problema con la criolita (Na_3AlF_6) fundida.

La criolita es translúcida y blanca como la nieve, la que a una temperatura de 1055°C disuelve rápidamente hasta 20% de la alúmina. Esta solución se electroliza en pilas o celdas electrolíticas, revestidas interiormente con carbón. Los ánodos están constituidos por barras de carbón (pez de hulla o lignito). De cátodo actúa el mismo aluminio recogido en el fondo de la celda.

Una corriente eléctrica se hace pasar por la solución, de uno a otro de los electrodos. Esta corriente descompone a la alúmina en sus elementos básicos, aluminio y oxígeno. El metal fundido se reúne en el

fondo de la pila, de donde es sangrado periódicamente. El oxígeno liberado en el ánodo se desprende en forma de óxido carbónico, por combustión de los electrodos.

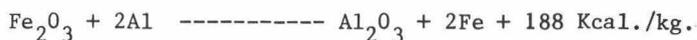
El aluminio acumulado en el fondo de la celda se encuentra al estado de fusión, ya que la pila alcanza una temperatura de 1055°C y el aluminio funde a 667°C. Este calor intenso es desarrollado por la gran cantidad de energía eléctrica que consume la celda. Cada celda funciona de 6-7 voltios en corriente continua y de 30,000 a 40,000 amperios.

A medida que el baño se empobrece en alúmina, se van añadiendo nuevas cantidades a la mezcla fundida. El aluminio fundido se lleva en una olla de colada a la sala de moldes, donde es vaciado, enfriado y solidificado en lingotes comerciales.

c) SU ACTIVIDAD QUIMICA. Como se deduce de su situación en la serie de los elementos según los potenciales electroquímicos, como también por el elevado calor de formación de su óxido: $4Al + 3O_2 \rightarrow 2Al_2O_3 + 380 \text{ Kcal.}$), el aluminio es un elemento muy activo y fácilmente oxidable. Por esto, tiene una aplicación muy extensa como reductor y en especial en aluminio-termia, en donde se utiliza el gran calor de combustión del aluminio y su gran afinidad por el oxígeno, que permite liberar de sus minerales oxidados a los metales difíciles de obtener por reducción de los mismos, tales como el cromo, manganeso y vanadio.

En el proceso llamado de las "Termitas" se mezcla aluminio en granalla o en polvo con óxido de hierro; cuando la mezcla se calienta has

ta unos 1100°C se enciende y arde espontáneamente con elevación de la temperatura, siendo el efecto térmico tan grande que se reduce el óxido de hierro de acuerdo con la siguiente ecuación química.



Formandose una escoria líquida de óxido de aluminio y obteniéndose hierro fundido a unos 2400°C.

[A pesar de esta gran actividad, se presenta en el uso práctico como un metal muy resistente a la corrosión. Esta importante propiedad es debida a la capa de óxido, insoluble en agua y firmemente adherida al metal, que lo protege de todo ataque corrosivo ulterior. Esta capa, extraordinariamente delgada, actúa también como inhibidora, de modo que el aluminio en medios neutros e incluso frente a electrólitos débilmente ácidos, se comporta como un metal mucho más noble de lo que cabría esperar de su potencial.

La resistencia química a igualdad de tratamiento térmico o mecánico, es tanto mayor cuando mayor es el grado de pureza del aluminio; es decir, cuando menor es su contenido de hierro y silicio, inevitables hasta ahora en el proceso metalúrgico normal,] y sobre todo, cuando menor es su contenido de cobre.

En la construcción de aparatos, recipientes y utensilios, hay que prevenir siempre que el aluminio no se encuentra en contacto con metales mas nobles (como el oro, níquel, etc.), porque se forman pares eléctricos que dan lugar a un ataque del aluminio, especialmente en la proxi-

midad del punto de contacto.

d) ALEACIONES DE ALUMINIO. Aunque el aluminio puro es muy suave y dúctil, es capaz de alcanzar una elevada resistencia a la tracción e incrementar grandemente sus propiedades mecánicas por tres métodos diferentes:

1. Adición adecuada de elementos de aleación para producir aleaciones de aluminio con una resistencia mucho mayor.
2. Tratamiento térmico, para obtener los temple necesarios.
3. Endurecimiento por deformación mecánica en frío.

Cobre, silicio, magnesio y zinc son los principales elementos de aleación comunmente usados; aunque una minoría de elementos, tales como el cromo, titanio, boro y bismuto pueden también ser añadidos. El plomo, bismuto y níquel son usados para obtener características especiales en las aleaciones de aluminio. También, cantidades significativas de hierro y silicio que no son completamente eliminados en las operaciones de fundición, son encontrados en todas las aleaciones de aluminio.

Con excepción del silicio, el aluminio forma compuestos binarios intermetálicos, por ejemplo, aluminuro de cobre CuAl_2 , aluminuro de magnesio Mg_2Al_3 , aluminuro de hierro FeAl_3 ; dos aluminuros de manganeso MnAl_4 y MnAl_6 ; así como también el compuesto ternario de hierro, silicio y aluminio $\text{Al}_{12}\text{Fe}_3\text{Si}$. También se encuentran en la estructura de las aleaciones de aluminio, muchas clases de cristales de combinaciones de los elementos de adición entre sí, por ejemplo siliciuro de magnesio Mg_2Si y otros.

En la metalurgia del aluminio por vía electrolítica se obtiene normalmente aluminio de 99.3 a 99.8% de pureza, cuyo uso principal consiste en la preparación de lingotes o bien, como material de partida para preparar las aleaciones en un horno de reverbero; especialmente para las aleaciones exentas de cobre muy resistentes a la corrosión.

Un gran volumen del aluminio que se elabora, es obtenido por refundición de desperdicios, previamente clasificados por aleaciones. Las aleaciones refundidas que resultan, tienen un gran campo de aplicación por razones de economía o cuando no se precisa la gran resistencia a la corrosión que exige la ausencia del cobre, y aleaciones de gran estabilidad química.

Existen dos clases principales de aleaciones: de "Forja" y de "Fundición o vaciado". El término forja significa que el material ha sido formado mediante un trabajo mecánico, como laminación, extrusión, estirado, etc. Las aleaciones de fundición son aquellas que se emplean para productos cuyas formas no son modificadas después de que el metal fundido es vertido de un molde, y permitida su solidificación.

Muchas de las aleaciones de aluminio no pueden ser tratadas térmicamente y deben ser trabajadas en frío para obtener una resistencia adicional. Por esta razón es necesario dividir las en dos grupos básicos: Aleaciones no tratables térmicamente, en donde no es posible obtener un temple por medios térmicos, y aleaciones tratables térmicamente o templeables.

La resistencia real de las aleaciones no tratables térmicamente depende grandemente del grado de deformación en frío efectuado después del recocido.

El endurecimiento obtenido por la deformación en frío puede ser explicado de la siguiente manera:

Los metales son blandos a causa del movimiento de las dislocaciones en su estructura cristalina y el endurecimiento de los mismos se produce cuando se dificulta este movimiento. Ahora bien, la deformación plástica del aluminio se produce esencialmente por deslizamiento de los planos reticulares de unos con relación a los otros, en una dirección determinada.

El endurecimiento por deformación propiamente dicho, se produce por la interferencia mutua de muchos planos de deslizamiento que se cortan entre sí.

El incremento progresivo de la resistencia al aumentar la deformación, se debe a la interacción de las dislocaciones en los planos de deslizamiento que se cortan. Sin embargo, es conveniente recordar que algún incremento en la resistencia, obtenido por trabajo en frío, es perdido si es practicado un subsecuente calentamiento arriba del punto de recristalización, y puede solamente ser restablecido por un adicional trabajo en frío. De las aleaciones no tratables térmicamente podemos citar las siguientes:

1. Aleaciones de aluminio-magnesio.- Presentan la característica de ser exentas de cobre, y por lo tanto, muy resistentes a la corrosión

y al agua de mar. Su resistencia aumenta con el contenido de magnesio y con el grado de endurecimiento en frío.

Las temperaturas más adecuadas en los tratamientos térmicos en estas aleaciones, varían de 80 a 150°C. En el recocido de ablandamiento, la temperatura varía de 300 a 400°C; la disminución de la resistencia del estado semiduro al blando en estas aleaciones no es tan grande como en -- las demás aleaciones de aluminio. No es posible aumentar la resistencia del material blando mediante un tratamiento térmico adicional.

Al aumentar en estas aleaciones el contenido de magnesio, se requiere más trabajo para darles forma en frío; por lo tanto, las deformaciones mayores deben realizarse en varios pasos o etapas.

La aplicación de estas aleaciones se extiende a todos los casos en los que se precisa una gran resistencia, especialmente contra el agua y el aire de mar, así como contra soluciones alcalinas ligeras, para construcciones de barcos y para toda clase de construcciones de vehículos.

Puesto que estas aleaciones se prestan a admitir un pulido y conservarlo, son adecuadas para aplicaciones de arquitectura interior.

2. Aleaciones de aluminio magnesio-manganeso. Estas aleaciones, también exentas de cobre, tienen la característica de ser muy inertes químicamente, así como también una gran resistencia al agua y al aire marinos, y contra todas las soluciones ligeramente alcalinas. A temperaturas más ele-

vadas, disminuye relativamente poco la resistencia del material blando.

Pueden aplicarse con buen resultado en el material blando, todos los procedimientos de dar forma en frío. Estas aleaciones admiten solamente ligeras deformaciones y exigen un trabajo superior al de las demás aleaciones ligeras; sobre todo, disminuye la capacidad de conformación con gran rapidez, de manera que en las grandes deformaciones será necesario recurrir a los recocidos intermedios. La temperatura de estos recocidos varía de 400 a 450°C, con una duración de media a tres horas.

Ya que la persistencia del pulido en estas aleaciones es elevada presentan un amplio campo de aplicación en piezas arquitectónicas.

3. Aleaciones de aluminio-manganeso. Este material no templable es también muy inerte químicamente y su resistencia depende del grado de la deformación en frío, esta resistencia es superior hasta un 25% al del aluminio de pureza 99.5%. Al aumentar la resistencia, disminuye el alargamiento.

En la deformación en frío, el material se comporta de un modo análogo al aluminio 99.5%, requiriendo únicamente un esfuerzo de deformación algo mayor. En su estado blando o semiduro puede realizarse con facilidad su estirado, prensado y embutido. Para deformaciones grandes debe recurrirse a recocidos intermedios, cuyas temperaturas son entre 500 y 550°C, con una duración desde media a tres horas.

Se le utiliza en todos aquellos casos en los que se requiera una

resistencia superior a la que ofrece el aluminio de 99.5%; para envases y aparatos de la industria química y de la alimentación; para rejillas de cocina. Es el material preferible en las construcciones para techados, tuberías sanitarias y recubrimientos.

De las aleaciones tratables térmicamente o templables, se pueden citar las siguientes:

1. Aleaciones de aluminio-cobre-manganeso. Los materiales de esta clase tienen los mayores módulos de resistencia posibles de alcanzar en las aleaciones de aluminio. Estos valores óptimos se pueden alcanzar mediante un temple del material.

Debido al contenido de cobre, son menos inertes químicamente -- que las aleaciones no templables que no lo contienen.

Cuando se calientan entre 180 y 270°C, se tornan quebradizas. El recocido de ablandamiento se efectúa a una temperatura de 350 a 400°C. Con una duración de media a seis horas, y debe tenerse el cuidado de ir enfriando el material paulatinamente, con el fin de evitar el endurecimiento.

La deformación en frío de esta aleación templada para la fabricación de piezas, sólo es posible cuidando que el radio de curvatura sea lo suficiente grande. En caso de que se requieran deformaciones más amplias, se parte del material blando. Las piezas que ya no se puedan seguir deformando, por ejemplo, por el estirado, prensado y embutido, deben someterse a un recocido de ablandamiento.

La deformación en caliente del material templado, se facilita mediante un calentamiento breve, hasta 100°C como máximo; a temperaturas mayores de 100°C, se produce una considerable disminución en la resistencia a la tracción y en el límite aparente de elasticidad; aumentando en cambio; el alargamiento con lo cual aumenta también la facilidad para cualquier -- trabajo de deformación.

Mediante el templado de esta aleación se mejoran notablemente -- sus propiedades, tales como su resistencia y su límite aparente de elasticidad. Este aumento de resistencia se produce contrariamente a lo que ocurre en el endurecimiento en frío, sin una disminución de la capacidad de -- alargamiento, y por lo tanto, de su facilidad de conformación. El prototipo de esta clase de aleaciones templables es el "Duraluminio", que pertenece al tipo aluminio-magnesio-cobre.

La condición para que pueda templarse una aleación, es la existencia de un componente que se disuelva con más facilidad en los cristales de aluminio, a temperaturas altas que a temperaturas bajas. El temple se consigue calentando el material a temperaturas altas, pero inferiores al -- punto de fusión del componente que lo tenga menor, con objeto de que se disuelva en los cristales de aluminio la mayor cantidad posible del elemento que origina el temple, y enfriando luego con rapidez, con objeto de alcanzar una temperatura en la que ya no puede tener lugar la separación del -- elemento endurecedor; o en todo caso, se realice ésta de manera muy lenta. El temple se realiza pues, mediante un tratamiento térmico que comprende -- tres fases:

Primera. Recocido de disolución a una temperatura de 500°C, o más, según el tipo de aleación. La duración de este proceso depende también de la aleación de que se trate, espesor del material y de las circunstancias del calentamiento (baño de sales o también, horno de circulación de aire).

Segunda. Temple, producido por un enfriamiento rápido e inmediato del material, generalmente por inmersión en agua fría.

Tercera. Envejecimiento o moderación, mediante un tratamiento prolongado, a temperaturas relativamente bajas (de temperatura ambiente a 150°C).

La sucesión de fenómenos en el proceso de envejecimiento que tiene lugar en una aleación no ha de ser necesariamente la misma que para otra. El mecanismo más sencillo se refiere a la mera precipitación de una fase estable, que se encuentra uniformemente dispersa, a través de la matriz. Un mecanismo más complicado ha sido encontrado en varias aleaciones en las que se precipita primero una fase meta-estable, la que posteriormente deja paso a una estable; tal es el caso de las aleaciones aluminio-cobre, que cuando envejecen a temperaturas bajas, se segregan átomos de cobre sobre los planos de la matriz de aluminio; después forman un precipitado metaestable con una nueva estructura y, finalmente, cambian a un precipitado estable de diferente estructura. En esta misma aleación parece que sólo se engendra la fase estable durante un enfriamiento lento.

Cada una de estas etapas sin duda alguna, se encuentra directa--

mente relacionada con las propiedades físicas y mecánicas de la aleación respectiva.

Se cree que la contribución más importante al endurecimiento por envejecimiento proviene de una fase metaestable coherente con la matriz. De acuerdo con esta teoría, la primera etapa de la precipitación es la reunión de átomos de soluto en pequeñas regiones de la red matriz, los que difunden a través de la matriz hacia las regiones enriquecidas, convirtiéndose algunos de ellos en núcleos de una nueva fase, durante la segunda etapa.

En el transcurso de las primeras etapas de la precipitación no se forma directamente la fase de equilibrio, sino una estructura cristalina intermedia relacionada con ella, que crece en íntimo contacto con la solución sólida.

Después del recocido de disolución y del temple, que deben efectuarse siempre inmediatamente uno tras otro, el metal sigue siendo blando y fácilmente deformable. En el curso del envejecimiento, aumentan notablemente el límite aparente de elasticidad, la resistencia a la tracción y la dureza, quedando prácticamente igual el alargamiento.

La aleación aluminio-magnesio-cobre, cuya resistencia iguala a la del acero, tiene una gran aplicación como material de construcción, y en general, en todos aquellos casos en que con cargas elevadas se requiere usar poco material y conseguir poco peso.

2. Aleación de aluminio-magnesio-silicio. Los materiales de -- este tipo pueden endurecerse de las dos formas ya descritas: mediante una deformación en frío o mediante un tratamiento térmico; además presentan la característica de ser muy inertes químicamente, propiedad que disminuye -- con calentamientos a más de 100°C. La resistencia a la tracción y límite-aparente de elasticidad del material templado, pueden aumentarse mediante una deformación adicional en frío. El recocido de ablandamiento se realiza a una temperatura de 360 a 400°C, y su duración es aproximadamente de 4 a 8 horas, siendo de suma importancia que el enfriamiento se realice de una manera paulatina.

El estirado y prensado no ofrecen dificultad, aunque a veces, -- hay que recurrir a recocidos intermedios.

Los mejores módulos de calidad de la aleación aluminio-magnesio silicio se obtienen mediante el temple en caliente, por lo que es preferible recurrir a éste. El recocido y enfriamiento, deberán tenerse en cuenta las observaciones hechas para la aleación de aluminio-magnesio-cobre.

Durante el envejecimiento en caliente, realizado a una temperatura de 140 a 160°C y con una duración de 4 a 12 horas, se inicia un proceso de descomposición o de segregación que va ligado a un aumento de resistencia a la tracción, del límite aparente de elasticidad y de la dureza, pero también a una disminución moderada del alargamiento. Si el material se deforma en frío, sometiéndose luego directamente al envejecimiento en caliente, aumentan más rápidamente la resistencia y alcanza valores

superiores a los que se obtienen sin adicional alargamiento en frío.

Para el endurecido mediante una reducción en frío, tanto el recocido de disolución como el enfriamiento, se realizan de la misma manera -- que para el templado por tratamiento térmico.

Cuando la aleación aluminio-magnesio-silicio ha sido endurecido, ya sea de una u otra forma, puede observarse al cabo de largo tiempo de -- usarse la pieza, un progresivo endurecimiento, que aumenta con la temperatura de trabajo, y llega a alcanzar de un 5 hasta un 25%.

Estas aleaciones tienen gran aplicación en la fabricación de ve-- hículos de carretera, en la construcción de barcos, armaduras y piezas de máquinas, piezas de arquitectura exterior e interior, y substituye con éxito a las aleaciones de aluminio-magnesio-cobre en aquellos casos en los -- que no pueden ser utilizadas por ser menos inertes químicamente.

3. Aleaciones de aluminio-cobre-níquel. Son de mucho menor im-- portancia que las anteriores; presentan en estado templado una gran resis-- tencia a la tracción que disminuye poco, incluso a temperaturas hasta de - 200°C, esta pequeña disminución también es observada en la dureza del mate-- rial.

Las observaciones hechas para la aleación aluminio-magnesio-co-- bre, se pueden aplicar para este tipo de aleaciones.

Se le usa preferentemente para las piezas que soportan temperatu-- ras considerables y grandes esfuerzos, como pistones.

C A P I T U L O III

METODOS DE FABRICACION DE ALUMINIO Y

DE ALEACIONES DE ALUMINIO.

INTRODUCCION.

[Por métodos de fabricación entienden los metalurgistas el conjunto de prácticas de fundición empleadas para preparar una aleación.]

Tres objetivos se persiguen con estas prácticas.

Constitución de la carga (o lecho de fundición), con objeto de que se efectúe la fusión de los elementos principales y auxiliares de la aleación, que determinarán y eventualmente establecerán sus propiedades metalúrgicas.

Depuración de la carga, por extracción de las impurezas, metálicas o no, introducidas por la carga o las condiciones de fusión. Esta depuración perfecciona la personalidad de la aleación, con vistas a hacerla apta para la colada y transformación.

Protección de la carga contra la oxidación, durante las operaciones de fusión, y contra la reabsorción de impurezas metálicas o gaseosas - después de los tratamientos de depuración.

CONSTITUCION DE LAS CARGAS

En los casos más corrientes, las cargas se componen de metal nuevo aleaciones madres, metales de adición y chatarras.

Está constituido por lingotes de aluminio electrolítico, cuya ley varía entre 99,995 y 99%, según la composición que se desee obtener.

Los lingotes corrientes tienen, según los países, unos pesos que oscilan entre 10 y 25 kg. En algunas fundiciones, que disponen de medios de carga mecánicos, se emplean lingotes cuyo peso alcanza los 1000 kg., obtenidos generalmente por colada semicontinua.

Esta fórmula permite reducir las pérdidas del fuego y simplificar las mantenciones; tiene, por el contrario, el inconveniente de disminuir la rapidez de los cambios térmicos durante la fusión y de ser de utilización menos flexible.

El aluminio electrolítico de las cubas, contiene diversas impurezas (baño fluorado, gas, sodio, etc.) y debe de ser depurado (se dice algunas veces decantado) para hacerlo utilizable sin inconvenientes. Los lingotes de aluminio brutos de electrólisis bien decantados deben de presentar una superficie brillante, libre de porosidades.

Los lingotes de aluminio brutos de electrolisis o mal decantados se reconocen por su color mate y por la presencia de porosidades superficiales de gas.

Quando el aluminio bruto de electrólisis se introduce directamente en estado líquido, sufre su depuración durante las diversas operaciones de trabajo, al mismo tiempo que los otros constituyentes de la carga.

ALEACIONES MADRES

Los metales de adición de elevado punto de fusión, más o menos - difíciles de disolver, como el hierro, níquel, cromo, manganeso, berilio, - sobre, se introducen en forma de aleaciones madres. Las comparaciones más usuales son las siguientes:

Al - Fe al 10%	Al-Cu al 33 y 50%
Al-Ni al 20%	Al-Be al 4%
Al-Cr al 2 y 4%	Al-Mn al 10%

A veces se emplean aleaciones madres ternarias, pero su aplicación está restringida al caso de aleaciones particulares. Se pueden, por ejemplo, citar las aleaciones Al-Cu-Mn de 30 al 40% de Cu + 5 al 10% de -- Mn, que se han empleado en algunos países para preparar las aleaciones del tipo A-U4G.

Los metales como el titanio y el circonio se introducen, bien -- sea por intermedio de aleaciones madres Al-Ti al 4 ó 5%, Al/Cu-Ti de 54%- Cu + 5% Ti, y Al-Zr del 4 al 5% o, por medio de compuestos fluorados (TiF_6K_2 , ZrF_6K_2) que reaccionan con el Al liberando estos elementos en estado naciente, lo que permite que su disolución sea muy rápida.

Este último método de introducción, que en el caso del Ti, re--- fuerza el poder afinante que este elemento posee sobre la estructura de -- fundición, puede ser empleado únicamente para efectuar adiciones, a causa de los riesgos del engrase de la solera del horno que acarrearía la introducción masiva de fluoruros.

El boro, que se añade solo o, en ocasiones, con el titanio, y - que se introducía hasta hace muy poco casi exclusivamente bajo la forma - del compuesto fluorado BF_4K , comienza a entrar bajo la forma de las aleaciones madres Al-B o Al-Ti-B. Aleaciones madres que contienen del 4 al - 5% de Ti+1 ó 2% de B se están comercializando actualmente en los Estados- Unidos.

El silicio se introduce, bien sea directamente, cuando hace falta efectuar adiciones masivas, o bien en forma de aleaciones madre Al-Si- al 20 ó 22%, cuando se trata de efectuar correcciones poco importantes pero precisas.

METALES DE ADICION

Los metales de adición de bajo punto de fusión, como el magne--sio, cinc, bismuto y estaño, se introducen directamente.

El plomo, que es bastante difícil de mezclar en el aluminio, a- pesar de su bajo punto de fusión, se introduce, según el tipo de horno, - en forma metálica, bajo la forma de cloruro de plomo o más raramente en - forma de aleación madre de Pb-Mg al 66,5% de Pb en el caso de los hornos- de inducción, que realizan una agitación enérgica, la introducción en forma metálica puede realizarse sin inconvenientes.

La introducción de Pb por medio de $PbCl_2$, es particularmente -- eficaz, pues, en este caso, el plomo es liberado en estado naciente, lo - que permite su inmediata disolución. Por este mismo motivo, esta opera--ción, puede efectuarse a temperatura relativamente baja, del orden de 730-

750°C, mientras que es necesario subir a 820-850°C, cuando se añade Pb directamente en estado metálico.

Este método tiene por el contrario el inconveniente de originar desprendimientos de productos volátiles más o menos tóxicos o perjudiciales, productos de la reacción.

La adición en forma de aleación madre Pb-Mg al 66,5% de Pb y -- 33,5% de Mg, da igualmente buenos resultados. La presencia de magnesio - facilita la disolución de Pb y evita tener que recalentar el baño. Este método tiene por desgracia dos inconvenientes:

La aleación madre es delicada de preparar y bastante inestable con el tiempo, ya que tiende a descomponerse espontáneamente en contacto con el aire húmedo.

Sólo puede emplearse cuando el magnesio no estorba.

CHATARRAS

Las chatarras, que representan a veces el 70% o el 80% de la -- carga, se introducen directamente en la carga, si su espesor es suficiente y si su estado de división no es importante.

En el caso de chatarras finas, como por ejemplo, residuos de la fabricación de papel de aluminio, virutas de descortezado, etc., es necesario, para evitar pérdidas de fuego exageradas, efectuar un prensado pre

eliminar por medio de prensas especiales, excepto cuando la operación se realiza en un horno de inducción.

Con las chatarras, se deben contar los lingotes de metal de recuperación obtenidas por tratamiento de las escorias de fundición.

METODOS DE DEPURACION DE AFINO Y DE PROTECCION DE LAS CARGAS FUNDIDAS

[Se pueden introducir impurezas en el metal fundido, bien sea - por las cargas o por las condiciones de fusión.]

Las impurezas metálicas, más perjudiciales son el sodio y el calcio, cuya introducción es a veces difícil de controlar y que en muy pequeñas cantidades pueden tener una influencia catastrófica en las propiedades metalúrgicas de algunas aleaciones.

Así por ejemplo:

El Na, en cantidades de orden del 0,001% solamente, reduce en gran manera la capacidad de laminación en caliente de las aleaciones A-G5.

El Ca, en cantidades del orden del 0,01% tiene un efecto análogo sobre el A-G5 y provoca, en los casos de aleaciones Al-Si eutécticas la formación de porosidades y cristales groseros del compuesto CaSi₂.

Las demás impurezas, como el Fe, Mn, Ni, Cr, Ti, Cu, Zn, Mg, - procedentes bien sea del aluminio electrolítico, o de la mezcla accidental de aleaciones, no son eliminados por tratamientos particulares, ex--

cepto el caso del Ti en el aluminio destinado a las aplicaciones eléctricas.

Las aleaciones usuales pueden, efectivamente, soportar cantidades relativamente notables, sin que ello lleve consigo perturbaciones importantes de sus propiedades; por otra parte, es posible limitar bastante fácilmente su introducción a un valor admisible, por un control cuidadoso de las cargas.

[Las impurezas gaseosas están constituídas prácticamente de hidrógeno solamente, que puede ser la causa de numerosos defectos metalúrgicos (en particular porosidades y sopladuras) y debe de mantener por esta razón, dentro del calor más pequeño posible.]

[Los productos de la corrosión hidratados y los cuerpos gaseosos que cubren la superficie de los lingotes y chatarras, el vapor de agua y los hidrocarburos presentes en el gas de la combustión de los quemadores, representan las principales fuentes de hidrógeno.]

[Las impurezas no metálicas están constituídas esencialmente por óxidos (alúmina, magnesia) carburos y nitruros. Estas impurezas se forman en la fase de electrólisis, o en la de almacenamiento o fusión.

Estas impurezas insolubles presentan tendencia a ponerse en suspensión en el metal durante la fusión y son particularmente indeseables puesto que:

-reducen la colabilidad del metal líquido y forman inclusiones que alteran más o menos fuertemente las características del metal transformado;

-facilitan la retención de hidrógeno en el seno del metal, probablemente por un fenómeno de absorción activada.]

La literatura técnica hace relación de los numerosos métodos para depurar, afinar o proteger el metal durante las operaciones de fusión y colada. Se expondrán en lo que sigue únicamente los métodos que han recibido aplicaciones reales a escala industrial.

DEPURACION POR RECALENTAMIENTO Y ESPERA

Este método no se utiliza prácticamente más que en el tratamiento del aluminio bruto de electrólisis. El metal líquido se recalienta entre 800 y 850°C durante unas horas, por una parte para facilitar la eliminación del sodio que se introdujo por la electrólisis y por otra, para aumentar su fluidez y acelerar de este modo la decantación de las impurezas en suspensión.

El período de recalentamiento va seguido de una espera a baja-temperatura (700°C) que tiene por misión eliminar el hidrógeno disuelto; cuya solubilidad en el aluminio decrece con la temperatura.

DEPURACION CON FUNDENTES O FLUJOS

Estos métodos se emplean tanto para el tratamiento del aluminio bruto de electrólisis, como para el tratamiento del metal de primera fusión. Consisten en depurar o proteger el metal de cloruros y fluoruros metálicos. Existen diversas categorías de fundentes, teniendo cada uno de los cuales campos de aplicación bien determinados.

Fundentes de lavado. Estos fundentes compuestos de mezclas salinas con un punto de fusión inferior al del aluminio, tienen como principal objeto la eliminación de las impurezas sólidas en suspensión y el facilitar el desprendimiento del hidrógeno disuelto.

Son, en la mayoría de los casos, cloruros alcalinos, con adiciones eventuales, de un pequeño porcentaje de fluoruros como el NaF o criolita, que bajan el punto de fusión y facilitan la separación de grasas e impurezas en el metal; se añaden también espesativos, como el CaF_2 , MgF_2 que hacen el desescoriado más sencillo.

Uno de los fundentes más corrientes, dentro de esta categoría, es:

KCl	=	45%
NaCl	=	45%
AlF ₂ 3NaF	=	10%

Esta composición que es aproximadamente eutéctica, tiene el punto de fusión a 605°C.

Se emplean también mezclas de cloruros alcalinos y de cloruro de magnesio, a veces con pequeñas adiciones de sustancias engruesadoras, como el CaF₂ o MgO:

Estos fundentes se utilizan, sobre todo, en el tratamiento de las aleaciones que contienen magnesio, debido a su pequeña actividad frente a este elemento.

Uno de los más conocidos es a base de carnalita natural:

Mg Cl ₂ .KCl	=	95%
CaF ₂	=	5%

Se emplea también el fundente:

Mg Cl ₂	=	45%
KCl	=	30%
NaCl	=	25%

Estos fundentes tienen el inconveniente de ser muy higroscópicos, contrariamente a los fundentes anteriores, y de tener un poder de se

paración bastante mediocre para el metal contenido en las escorias.

En los dos casos, la técnica de empleo es la siguiente: el fundente se extiende por la superficie del metal líquido que se trata y se le agita con él tan íntimamente como se pueda; esta agitación da lugar a la aglomeración de las impurezas sólidas en suspensión en el metal y de subirlas a la superficie por el juego de fenómenos de humectación y flotación. Pueden entonces ser extraídas fácilmente mediante una operación de desescoriado.

Se ha observado que, la eliminación de impurezas sólidas por este método, se acompaña a menudo por un desgaseado rápido del metal. Esta acción secundaria podría explicarse por el hecho de que una gran parte -- del hidrógeno presente en el metal sería absorbida químicamente por las impurezas sólidas en suspensión (en particular en los óxidos cuya estructura es porosa).

Fundentes o flujo de lavado y afino. Estos fundentes tienen -- sensiblemente los mismos constituyentes básicos que los fundentes anteriores pero contienen además fluoruros simples o complejos de metales como -- el Ti, Zr y B que tienen en determinadas condiciones un gran poder de afino sobre la estructura de fundición y permiten, algunas veces, facilitar el desgaseado.

Estos metales se introducen en la carga fundida, en estado naciente por la reacción entre el aluminio y los fluoruros TiF_6K_2 , ZrF_6K_2 y BF_4D . Algunos de estos fundentes llevan adiciones de polvo o de granalla

de aluminio, cuya misión es mejorar la rapidez y el rendimiento de la -- reacción por efecto del aumento en la superficie de los intercambios --- químicos entre el metal y el fundente.

Esta forma de introducción permite aumentar considerablemente - el efecto de afino de estos metales y de limitar su cantidad a un 0, 02-0, 03 %, tres o cuatro veces menor que el que sería necesario si se introdujesen únicamente como aleación-madre.

La razón es que el afino se deriva más de un efecto de inoculación de gérmenes de cristalización más o menos activos, que la reacción - peritética de los metales de afino con el aluminio. Se obtendrán gérmenes de compuestos intermetálicos del aluminio con el Ti, B o Zr, gérmenes de compuestos intermetálicos del Ti o del Zr con el B y gérmenes de carburos complejos de Ti, B y Zr.

Estudios recientes basados en el método Turnbull (análisis térmico de gránulos), han permitido apreciar el grado de actividad de las diversas categorías de gérmenes según su influencia en la sobrefusión. Los gérmenes más activos y más estables son los correspondientes a las dos últimas categorías; son poco solubles o insolubles, y pueden, en determinadas condiciones, estar en suspensión fina en el metal líquido. En el caso de gérmenes compuestos Ti/B, particularmente activos, es importante -- respetar una cierta relación Ti/B para obtener el máximo efecto de afino, es decir, la mejor dispersión de los gérmenes; la relación más favorable parece hallarse entre 3 y 6; si esta relación es demasiado pequeña, los -

gérmenes crecen demasiado rápidamente y tienden a decantar; en los casos extremos esta decantación es tan brutal que puede acompañarse de un crecimiento considerable de la estructura de fundición.

Las adiciones de Ti, B y Zr parecen tener, en determinados casos, una influencia desfavorable en el desgaseado, lo que podría resultar de la formación de hidrocarburos estables.

Demos, a título de ejemplo, una composición de fundente de lavado y afino particularmente eficaz.

KCl	=	25%
NaCl	=	25%
TiF ₆ K ₂	=	40%
BF ₄ K	=	10%

Fundentes de lavados especiales. Los fundentes de esta categoría se emplean sobre todo para eliminar el sodio y el calcio. Los más usuales llevan un fundente soporte de bajo punto de fusión, de gran inercia química; en general una mezcla del tipo KCl-NaCl, y una adición fuertemente reactiva como: MnCl₂ en el caso del Na, que se elimina en forma de ClNa y AlF₃ o SiF Na₂ en el caso del Ca, que se elimina bajo forma de CaF₂.

El fundente soporte permite conservar una fluidez suficiente de la mezcla reactiva durante la reacción, lo que mejora su eficacia; igualmente permite absorber una parte de los productos volátiles producidos en

la reacción AlCl_3 , SiF_4 , etc., y bloquearlos en forma de compuestos más estables.

Se utilizan de ordinario las fórmulas siguientes:

- 25% KCl + 25% NaCl + 50% MnCl_2 para eliminar el sodio presente en las aleaciones A-G3 y A-G5;

- 40% KCl + 40% NaCl + 20% AlF_3 , ó 40% NaCl + 40% KCl + 20% --- SiF_6Na_2 para eliminar el calcio, sobre todo en el caso de fabricación de aleaciones Al-Si eutécticas preparadas a partir de Si térmico, que puede contener cantidades relativamente importantes de Ca (0,3 a 1%).

Si estas aleaciones llevan una adición de Mg, hay que efectuar naturalmente, el tratamiento antes de la introducción de Mg, ya que sin eso, sería eliminado en parte bajo la forma de MgF_2 .

Fundentes o flujos de protección. Tienen por misión aislar el baño metálico de la atmósfera del horno, de manera a protegerlo contra la oxidación y absorción de hidrógeno en ciertos momentos de la fusión y fabricación.

Los fundentes a base de cloruro de magnesio y de carnalita --- (MgCl_2 , KCl), tienen un punto de fusión bajo y se emplean como cobertura de las aleaciones que contienen magnesio, puesto que tienen un gran poder cubriente y evitan la oxidación selectiva del magnesio.

Su composición es muy parecida a la de los fundentes de lavado ya citados. Como éstos, contienen a veces adiciones de agentes engruesadores, como el CaF_2 . Que reducen su fluidez y facilitan el descoriado, pero que, desgraciadamente, disminuyen su poder de protección.

Estos fundentes son muy corrosivos frente al aluminio y sus --- aleaciones. Hay que evitar cuidadosamente, por lo tanto, que sean arrastrados en la colada. Para ello, interesa emplear la cantidad mínima y no echarlo sobre el baño que se trata de proteger, por lo menos 30 minutos antes de la colada, puesto que a temperaturas del orden de 720°C , se espesan con bastante rapidez, lo que reduce los riesgos de arrastre, y disponer filtros en los canales de colada.

Los fundentes o flujos a base de fluoruros dobles de aluminio y sodio, a menudo preparados a partir de criolita natural o sintética, tienen punto de fusión elevado (850°C). Por esta razón, deben repartirse lo más regularmente posible sobre el baño que se trata de proteger, puesto que el efecto de protección es debido a la lenta formación de una cascarilla delgada y compacta de cristales calcinados de fluoruros, que aísla al baño de la atmósfera del horno.

Dan excelentes resultados en la cobertura de baños de aluminio y de aleaciones sin magnesio. No son aconsejables para las aleaciones -- que contienen magnesio, puesto que este elemento frena la formación de la capa protectora y puede, en ciertas condiciones reducir el fundente con liberación de sodio.

DEPURACION POR BARBOTE DE GASES O PRODUCTOS VOLATILES

Estos métodos son muy empleados en las fundiciones, lo más frecuentemente en asociación con el empleo de fundentes o flujos completando o reforzando sus efectos.

La depuración por barboteo se efectúa, según el agente desgasificante empleado, de acuerdo con alguno o varios de los procesos siguientes:

-arrastre mecánico o físico-químico, a la superficie del metal líquido, de escorias e inclusiones en suspensión, por las burbujas gaseosas:

-reacción de las burbujas gaseosas con ciertas impurezas metálicas disueltas (Na, Ca y eventualmente Mg);

-difusión en las burbujas gaseosas del hidrógeno disuelto en el baño como consecuencia de las diferencias de presión parciales de H_2 existentes entre las burbujas y el metal.

Los cuerpos simples y compuestos gaseosos o volátiles empleados para los tratamientos pueden agruparse en dos grandes categorías.

Depuración con cloro y determinados productos volátiles halogenados. Cloruros como C_2Cl_4 , C_2Cl_6 , $AlCl_3$ y $MnCl_2$ son gaseosos a la temperatura de utilización y se comportan simultáneamente por efecto físico y efecto fisicoquímico.

El más eficaz de ellos es probablemente el cloro, que se puede obtener fácilmente seco y puro. Se le inyecta en el metal por medio de cañas de grafito.

Los compuestos halogenados del tipo C_2Cl_4 y C_2Cl_6 son igualmente eficaces, a condición de que estén correctamente purificados (deben estar exentos de compuestos hidrogenados) y que se realice su dispersión en el seno del metal, de manera suficientemente lenta y regular.

El C_2Cl_4 se emplea muy poco líquido a la temperatura ordinaria es incomodo de inyectar.

El C_2Cl_6 , sólido a la temperatura ambiente, se emplea muy a menudo en forma de comprimidos mezclados con los fundentes salinos clásicos. Los comprimidos se introducen en el metal líquido por medio de una campana de inmersión. Se efectúa a veces una mezcla de pequeñas adiciones de cuerpos porosos inertes (diatomeas), para frenar y regularizar el desprendimiento gaseoso.

Los compuestos del tipo $AlCl_3$ ó $MnCl_2$ se utilizan sobre todo, para la eliminación de impurezas metálicas, como el sodio, o inclusiones en suspensión. Su efecto desgasificante es, a menudo, objeto de controversia entre los fundidores. Experiencias dignas de crédito han mostrado que este efecto es real si se emplean perfectamente secos, pero, en la práctica, resulta extraordinariamente difícil asegurar esa condición, a causa de su gran carácter higroscópico.

Análogamente al $C_2 Cl_4$, son sólidos a temperaturas ambiente y - pueden fácilmente ser introducidos, por medio de una campana de inmersión.

El cloro y los cloruros metálicos tienden, a veces, a provocar un cierto crecimiento de la estructura de fundición. Este fenómeno resulta probablemente de que eliminan, al igual que determinados fundentes salinos, una parte de los gérmenes de cristalización presentes en el metal. Es pues, a menudo, necesario combatir este efecto con adiciones de metales de afino.

En el caso particular del hexacloroetano, que se descompone en parte en C y Cl, parece que el efecto afinante de metales como el B y el Ti aumenta; es posible que esto resulte de la formación de gérmenes de -- carburo, particularmente activos.

Se deben tomar grandes precauciones para la seguridad del personal durante el empleo de estos productos (particularmente el cloro) pues emiten vapores tóxicos y corrosivos.

Depuración por nitrógeno. Este gas prácticamente inactivo por debajo de los $750^{\circ}C$, actúa únicamente por efecto físico. Su eficacia depende en gran parte de su pureza y del modo de inyección en el metal. Debe estar exento de oxígeno, que, al formar una película de alúmina alrededor de las burbujas, podría impedir o frenar la difusión del hidrógeno disuelto en el metal. Se emplea en todos aquellos casos en que las emanaciones tóxicas o corrosivas están prohibidas.

Tiene el inconveniente, cuando se le emplea solo, de originar, por efecto del barboteo, escorias grasas; es decir, ricas en metal. Este inconveniente desaparece cuando se le asocia cloro (el AlCl_3 formando durante el barboteo tiene la propiedad de secar las grasas o los fundentes salinos clásicos.

Las mezclas nitrógeno-cloro, tienen actualmente un cierto éxito, puesto que son menos peligrosas que el cloro y más eficaces que el nitrógeno.

COMPARACION DE LOS DIVERSOS SISTEMAS DE PURIFICACION

Los diversos sistemas que hemos descrito muestran su eficacia según condiciones locales.

Los tratamientos basados únicamente en el recalentamiento y la espera pueden utilizarse sólo en la decantación del aluminio bruto de --- electrólisis; es decir, de un metal poco cargado de impurezas. Estos tra tamientos al ser estáticos tienen una acción lenta, con frecuencia incier ta; presentan, además, inconvenientes debidos a su lentitud y recalenta-- miento, entre los que se cuentan: crecimiento de la estructura de fundi-- ción por destrucción de una parte de los gérmenes de cristalización, gran consumo de energía, pérdidas de fuego elevadas, inmovilización importante del material. Por estas razones se tiende a abandonarlos cada vez más, - en beneficio de los tratamientos dinámicos.

Los tratamientos basados en el borboteo de productos gaseosos, son eficaces únicamente con la condición de realizar una buena dispersión de las burbujas gaseosas en el seno del metal y de asociar su acción a la de fundentes salinos.

Si pueden emplearse cómodamente en el caso de hornos de crisol, no es lo mismo en el caso de hornos de reverbero, en los que obligatoriamente deben preverse disposiciones especiales. Necesitan, sobre todo en el caso de cloro o de productos que desprendan compuestos halogenados volátiles más o menos tóxicos, una instalación de ventilación y control bastante costosa.

Como los productos de la reacción pueden, a veces, permanecer más o menos tiempo en suspensión en el baño (es el caso del $MgCl_2$ formado durante el clorado de las aleaciones Al-Mg), hacen necesario efectuar una espera, después del borboteo, para evitar su arrastre con el metal durante la colada, ya que pueden constituir inclusiones corrosivas extremadamente peligrosas.

Los tratamientos por medio de fundentes o flujos salinos presentan, a pesar de algunos inconvenientes sobre los que se puede actuar fácilmente (higroscopicidad, ataque de las resistencias eléctricas), un gran número de ventajas a condición de que sean correctamente fabricados y empleados.

Por su acción química o por su efecto de humectación y flota---

ción de las impurezas, permiten acelerar considerablemente los procesos de depuración y reducir el período de fabricación.

Aseguran, durante las diversas fases de la fabricación, la protección del metal contra la oxidación y reducen por este hecho, las pérdidas de fuego.

-Son de fácil empleo y no necesitan utilizar materiales frágiles o complicados.

-Son generalmente de poco costo.

-La mayoría de ellos no emiten emanaciones peligrosas para el personal.

No obstante, su empleo impone determinadas precauciones:

-Hay que evitar la utilización de la mayor parte de los fundentes o flujos en los hornos eléctricos con resistencias desnudas, por lo menos en el período de recalentamiento (es decir, a temperaturas superiores a los 750°C), los fundentes de protección pueden, no obstante, ser empleados con la condición de introducirlos en pequeñas cantidades a bajas temperaturas (700-720°C.), y con instrumentos especiales (cañas pulverizadoras) que eviten las proyecciones sobre las resistencias.

-No se deben emplear cantidades demasiado grandes, so pena de ensuciar rápidamente la solera de los hornos, o también de arrastrar un exceso de fundentes, generalmente corrosivos, en los productos colados.

-Es absolutamente indispensable emplear fundentes preparados a partir de productos de pureza técnica, cuidadosamente molidos y mezclados en forma de polvo fino y perfectamente secos en el momento de su empleo.

Las condiciones ideales de empleo de los fundentes se encuentran reunidas en las fundiciones equipadas con hornos de fusión de reverbero - con combustible, trabajando en duplex con hornos de espera y de colada de reverbero, calentados eléctricamente.

Con dichas instalaciones, es posible tratar el metal por medio de fundentes con el mínimo de inconvenientes. La mayor parte del tratamiento se efectúa en el horno de fusión y, después del tratamiento, el metal se transvasa al horno eléctrico de espera, donde permanece una o dos horas a baja temperatura, bajo fundente o flujo de protección, para perfeccionar la desfluoración y el desgasificado.

Se pueden completar los tratamientos efectuados en el horno de fusión, con un tratamiento realizado de manera continua durante el transvase del metal al horno de colada.

En los países anglosajones, la tendencia actual es la de simplificar y acortar al máximo los ciclos de trabajo, empleando técnicas de depuración basadas en borboteos gaseosos intensos (clorado) aplicables en los hornos de combustible especialmente diseñados (la fusión y la colada se efectúan a veces en los mismos hornos) y en la supresión de las esperas antes de la colada se busca el conseguir la productividad máxima, sacrificando algo de la calidad metalúrgica y las pérdidas del fuego.

Los países europeos, particularmente en Francia, se inclinan - más a utilizar tratamientos con fundentes de efectos múltiples (asocia-- dos eventualmente con borboteos gaseosos) utilizables en hornos trabajan do en duplex (fusión y colada separados) y la de combinarlos con una espe ra a baja temperatura antes de la colada, efectuándose dicha espera, - en principio, en un horno eléctrico. Por el contrario, se trata de reduci r todo lo posible las pérdidas de fuego y obtener la máxima calidad meta lúrgica, perdiendo algo en el aspecto de productividad.

C A P I T U L O

IV

LOS HORNOS DE FUSION

INTRODUCCION

[El tipo y la disposición de los hornos de fusión, constituyen -- factores particularmente importantes en lo que concierne a la calidad metalúrgica y el costo de fabricación de los semiproductos fundidos (placas y tochos), destinados a la transformación.]

[HORNOS DE CRISOL.

Su empleo se va haciendo cada vez más raro en las fundiciones de las fábricas de transformación.

Existen todavía algunos ejemplos de hornos basculantes de tipo-Rousseau, Morgan o similares, en las fundiciones de las pequeñas fábricas de transformación. Estos hornos están equipados generalmente de un crisol de carborundo o de arrabio, con una capacidad que va desde los 50 a los - 250 kg.

El calentamiento se efectúa con gas o con mazut y la llama del - mechero ataca tangencialmente la base del crisol, a fin de que los gases- de la combustión giren alrededor de él, según un movimiento ascensional - helicoidal.

Esta disposición favorece los intercambios térmicos.

Los modelos más recientes de estos hornos basculan alrededor del

pico de colada, de manera que se logre una altura constante de caída del metal mientras dura el movimiento de báscula.]

El basculamiento se efectúa por gatos mecánicos o hidráulicos.

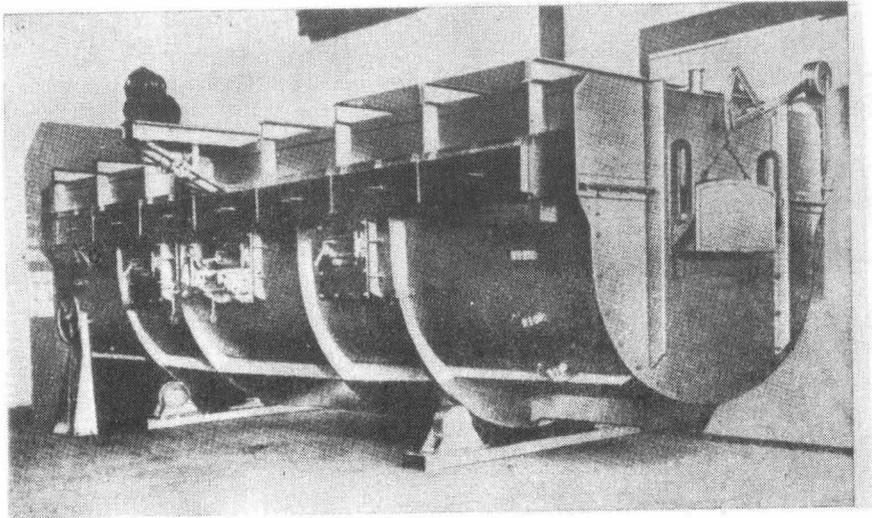
[La transmisión de la energía al metal que se debe de fundir, al realizarse indirectamente a través de la pared del crisol, causa un escaso rendimiento térmico en estos hornos y un consumo de combustible importante. Por otra parte, la necesidad de reemplazar periódicamente los crisoles grava de una forma pesada el costo de la fusión.]

[HORNOS DE REVERBERO]

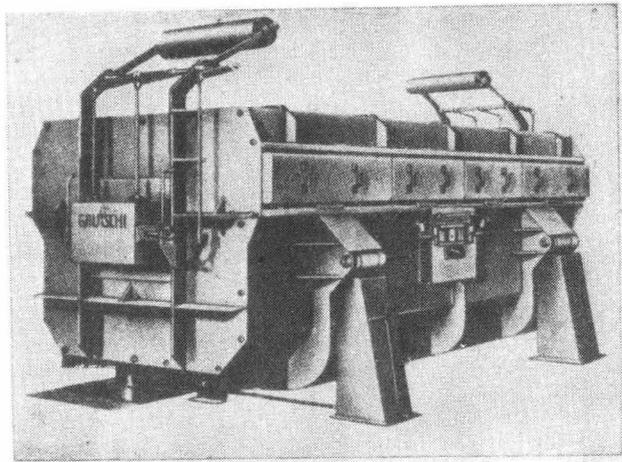
HORNOS CALENTADOS POR COMBUSTIBLE.

En estos hornos, la energía necesaria para la fusión se produce por uno o varios quemadores, alimentados por combustibles líquidos o gaseosos, cuyas llamas inciden directamente sobre la carga metálica. Los gases de combustión provocan, en la atmósfera del horno, movimientos intensos de convección que mejoran los cambios térmicos con el metal que se funde. Por estas razones, la velocidad de fusión es mayor y el consumo de combustible menor que en el caso de los hornos de crisol.]

Los combustibles empleados en Francia son el fuel (ligero o pesado), el gas natural, y con menos frecuencia el gas de ciudad o de gasógeno. Se utiliza igualmente, el carbón pulverizado, sobre todo en Alemania.



Horno de reverbero de resistencias eléctricas, basculante sobre rodillos.



Horno de reverbero de resistencias eléctricas basculante alrededor del pico de colada.

Estos hornos llevan a veces una solera de fusión inclinada, sobre la que se introduce la carga metálica. El metal fluye por el hogar a medida que transcurre la fusión, permaneciendo los óxidos en la solera, que periódicamente es desescoriada.

Estos hornos presentan forma más o menos rectangular. Se utilizan hoy día, en algunas fábricas americanas, hornos de fusión de forma circular, con bóveda móvil, de manera que se pueda efectuar la carga rápida por la abertura superior del horno, por medio de un cestón especial, como se efectúa en los hornos eléctricos de las acerías.

En la disposición más normal, los quemadores están colocados sobre uno de los lados pequeños del horno y los gases de la combustión se evacúan por una chimenea situada en el lado opuesto. Las puertas de carga y desescoriado están colocadas en los lados pequeños y grandes del horno. En algunos casos los quemadores se montan en oposición en las cuatro esquinas del horno. Esta disposición se debe evitar, pues tiende a provocar una zona de presión en el centro del horno, que perturba la marcha de los quemadores.

Es preferible adoptar una disposición en la que el recorrido de los gases de la combustión en el horno antes de su evacuación por la chimenea sea el más largo posible, de manera que se incrementen los intercambios térmicos con la carga metálica.

Se pueden mejorar sensiblemente los intercambios térmicos, incli

nando la bóveda ante los quemadores. Esta técnica permite aumentar la energía irradiada por la bóveda y aproximar los gases de la combustión a la carga, antes de su evacuación por la chimenea de esta manera, pueden ceder de manera útil una parte más importante de su calor sensible.

Los quemadores empleados son del tipo de inducción de aire y en los hornos más modernos, del tipo de mezcla preliminar. Si se trata de gas, o del tipo proporcional o aire total, si se trata de fuel. En este último caso, hay un control preciso del caudal de aire primario, del aire secundario y del combustible.

Existen en Francia hornos de fusión de reverbero, de combustible, con capacidad hasta de 33 t. (Fábrica Cegedur en Issoire). Tales hornos resultan relativamente poco costosos y sus gastos de mantenimiento reducidos. El revestimiento refractario puede durar de uno a tres años, en marcha continua según la naturaleza de la carga y la manera de efectuarla, etc.

El rendimiento térmico raras veces sobrepasa el 25% y, no obstante, estos hornos son relativamente económicos, puesto que utilizan combustibles baratos.

[El consumo de combustible, en marcha continúa, es del orden de 80 a 130 l/t, en el caso del fuel, y del 110 a 130 m³/t. en el caso de gas natural.]

[Estos hornos presentan ciertos inconvenientes.

-La aportación de calor es irregular. Pueden originarse golpes de fuego que den lugar a sobrecalentamientos locales (sobre todo en el ca de quemadores de fuel). Se remedia en parte este inconveniente, alejan do la llama de los quemadores, de la superficie del baño e instalando una regulación pirométrica en los quemadores.

-Los productos de la combustión, al estar en contacto con la car ga que se va a fundir y con el baño, provocan cierta oxidación del metal- (pérdidas del fuego) y absorción del hidrógeno.

Es posible reducir bastante estos inconvenientes, situando los quemadores en el fondo de la cámara de combustión y evitando dirigir la llama contra la carga.

Se pueden disminuir, de manera igualmente eficaz, las pérdidas de fuego protegiendo la carga durante la fusión con fundentes o flujos especiales y dejando un pie de horno líquido, después de cada fusión, de modo que se pueda sumergir rápidamente el metal sólido desde el comienzo de la carga. Este pie de horno tiene, entre otras, la ventaja de desempeñar un papel de acumulador térmico y de acelerar de esta forma la fusión.]

Se utilizan corrientemente hornos de reverbero calentados por -- fuel, que tienen pie de horno que representan del 25 al 50% de la capacidad total.

La evacuación de los hornos fuera de la fundición necesita una - instalación de aspiración bastante costosa, por lo menos en el caso de ca lentamiento con fuel ya que pueden contener productos sulfurados.

Se emplean en las fundiciones hornos de reverbero fijos o bascu- lantes. En los Estados Unidos, se utilizan preferentemente hornos fijos, - menos costosos, mientras que en Europa se prefieren generalmente los hor- nos basculantes, por cuestión de una mayor facilidad de colada.

Los primeros hornos basculantes lo hacían sobre rodillos alrede- dor de un gran eje. Esta disposición tenía la ventaja de ser mecánicamen- te muy sencilla, pero presentaba el gran inconveniente de llevar consigo, durante el movimiento, un cambio de la posición del pico de colada con re lación al suelo; es decir, de la altura de caída del metal.

Los modernos hornos basculantes lo hacen alrededor de un eje que pasa por el extremo del pico de colada, lo que asegura una altura invaria ble de caída del metal, durante la colada. La basculación se realiza por- medio de cilindros hidráulicos o mecánicos..

[HORNOS ELECTRICOS DE RESISTENCIA

En estos hornos, la energía necesaria para la fusión se obtiene- por efecto Joule en las resistencias dispuestas en la bóveda del horno. - Es irradiada directamente sobre el metal. Contrariamente a lo que sucede- en los hornos de llama, la convección no tiene mucha importancia en la --

transmisión de la energía.

Las resistencias están constituidas por bandas o alambres en espiral formados por aleaciones refractarias; aleación níquel-cromo (80% - Ni+20% Cr,) níquel-cromo-hierro, cromo-aluminio-hierro cobalto.

En Francia se emplean, sobre todo, las aleaciones Ni-Cr como el RNC3 de Imphy que, aunque menos refractarias y menos resistentes desde el punto de vista de la corrosión (SO_2 y NH_3) que algunas aleaciones de Cr--Al-Fe10 (Kanthal) tienen la ventaja de debilitarse con menos rapidez por el uso.

Las resistencias se instalan sobre la bóveda:

-Bien sea parcialmente, embebidas en ladrillos de forma, montaje practicado sobre todo en el caso de alambre en espiral (hornos Gautschi)-
-o bien de resistencias suspendidas de la bóveda (hornos Heurtey)

El primer montaje tiene la ventaja de asegurar cierta protección de las resistencias contra las proyecciones de metal líquido, pero conduce a una disminución apreciable del rendimiento energético.

Se han empleado, en determinados hornos de resistencias, dispositivos de protección de chapa de acero inoxidable, para aislar las resistencias de la atmósfera del horno y detener las proyecciones metálicas. - Estas chapas de protección han sido abandonadas poco después ya que son - caras, se deforman rápidamente y reducen sensiblemente el rendimiento --

energético.

Estos hornos se emplean, bien sea como hornos de fusión, como -- hornos de colada, sobre todo. Tienen generalmente forma rectangular los - modelos más recientes están equipados con bóvedas desmontables que permiten la conservación y sustitución rápida de las resistencias.

Existen en Francia hornos eléctricos de resistencias con capacidades que alcanzan las 25 t.

Como consecuencia de su principio, los hornos eléctricos de re-- sistencias presentan, con relación a los hornos de combustible, las si--- guientes ventajas e inconvenientes.

VENTAJAS DE LOS HORNOS ELECTRICOS DE RESISTENCIAS

Permiten obtener en el horno una temperatura uniforme y precisa.

La atmósfera del horno de combustión no está impurificada por -- productos susceptibles de introducir H_2 en el baño.

No hay concentraciones locales de calor.

Su rendimiento energético es elevado, puesto que no hay calor -- perdido por mediación de los gases quemados que se evacúan por la chime-- nea. El rendimiento térmico de un horno de resistencias varía entre un 50 y un 70% (contra un 20 a un 25% para un horno de llama), según el calori- fugado y la frecuencia de apertura de las puertas de carga y desescoriado.

INCONVENIENTES DE LOS HORNOS ELECTRICOS DE RESISTENCIAS

Emplean una forma de energía relativamente costosa, por lo menos en Europa.

Su consumo alcanza, según el tipo y capacidad, en servicio contínuo:

-500 a 600 kWh/t cuando se utilizan como hornos de fusión y colada.

-45 a 100 kWh/t cuando se emplean como hornos de previsión y colada.

Son lentos en subir la temperatura, ya que la potencia radiada por metro cuadrado está limitada por la temperatura máxima que pueden alcanzar las resistencias. (1000 a 1200°C).

Las resistencias eléctricas son bastante vulnerables a los productos de la descomposición de los fundentes utilizados en la fabricación del metal (cloruros y fluoruros) y sobre todo, a las proyecciones de metal líquido. Su reposición es costosa.

La mayor parte de los hornos de este tipo empleados en la industria son basculantes.

[HORNOS DE INDUCCION

En los hornos de inducción, el calor necesario para la fusión se produce directamente en el seno del metal por la inducción de corrientes de Foucault.

Nosotros hablaremos únicamente de hornos de inducción de frecuencia industrial, con y sin canales, ya que los hornos de media y alta frecuencia no se emplean prácticamente en la fusión de aleaciones de aluminio.]

HORNOS DE INDUCCION CON CANALES

Este tipo de hornos es, de hecho, un transformador vulgar, cuyo secundario se compone de una o varias espiras formadas por un canal refractario y calorifugado, lleno de metal líquido.

Las espiras rodean de una manera más o menos concéntrica el núcleo del arrollamiento primario del transformador y desembocan en el interior del crisol de fusión: el arrollamiento primario está refrigerado por un ventilador.

El cierre del circuito secundario está asegurado por un remanente de metal líquido que permanece forzosamente en el fondo del crisol después de cada colada; esta reserva representa en general del 25 al 30% de la capacidad total del horno.

Los fenómenos electrodinámicos que se producen en el secundario y las diferencias de temperatura existentes entre el metal de los canales y el metal del crisol, provocan una agitación del baño, más o menos importante según la potencia aplicada. Un transformador de múltiples tomas permite la regulación de la potencia y, por consiguiente, de la temperatura del conjunto.

Los principios del horno de inducción fueron establecidos entre 1890 y 1900 por el italiano Ferranti y el sueco Kjellin. En 1903, el francés Saladin propuso y experimentó para la fusión un horno con canal cerrado de pequeña sección con metal en carga. En 1916, el horno americano -- Ajax-Wyatt se aplicó con éxito en la fusión del latón; era la primera realización que funcionó de manera realmente industrial.

No fue hasta 1934, cuando se vieron aparecer en Europa los hornos de inducción de baja frecuencia con núcleo magnético, adecuados para la fusión del aluminio y sus aleaciones.

Este tipo de horno se desarrolló rápidamente entre 1934 y 1940, -- sobre todo en Alemania; horno Russ en Colonia. En Francia hubo algunas -- aplicaciones limitadas en los años que precedieron a la II Guerra Mundial, siendo, sobre todo, después de ese período, cuando se emplearon en la fusión de las aleaciones ligeras de aluminio.

Si se les compara a los hornos descritos anteriormente, presentan las siguientes ventajas e inconvenientes.

VENTAJAS DE LOS HORNOS DE INDUCCION DE CANALES

- Al producirse el calor en el interior del metal, el rendimiento energético es excelente.

- La superficie del baño del crisol puede reducirse al mínimo valor, lo que es importante desde el punto de vista de las pérdidas de fuego.

- El hecho de que la energía térmica se transmita a la carga sólida desde la parte inferior, permite su calentamiento y secado progresivo, factor favorable desde el punto de vista de las pérdidas de fuego.

La agitación electrodinámica permite obtener una homogeneidad -- muy buena en las coladas, sobre todo en el caso de aleaciones como el AU4SG.

La carga y los tratamientos metalúrgicos del metal (fundente o - flujo de lavado y desgasificado) son muy cómodos, dada la excelente accesibilidad del baño.

INCONVENIENTES DE LOS HORNOS DE INDUCCION DE CANALES

- Su rendimiento es elevado pero consumen una forma de energía - costosa. El consumo varía según el tipo de horno y la capacidad en marcha continua, entre 425 y 525 kWh/t (comprendida la ventilación).

-Son caros y representan de hecho, una inmovilización importante, puesto que necesitan una instalación eléctrica compleja. La dificultad de acercar lo suficiente los arrollamientos primario y secundario, lleva sobre todo, un factor de potencia (cos) relativamente pequeño, que hace falta corregir por medio de baterías de condensadores, para llevarlo a un valor aceptable.

-Los canales tienden a ensuciarse, más o menos rápidamente, según el tipo de aleación (sobre todo con las de Al-Mg), lo que obliga a efectuarse desescoriados periódicos. Diversas disposiciones se han recomendado para facilitar esta operación de limpieza, que resulta particularmente cómoda en los hornos de doble cuba sistema Siemens.

-La reparación del revestimiento de arcilla refractaria es delicada.

-La velocidad de fusión, a igualdad de capacidad, es inferior a la de los hornos de llama por razones de orden eléctrico. De esta manera, es posible en ciertos hornos de reverbero calentados con mazut, de 3 t, de capacidad útil, alcanzar velocidades de fusión de 2 a 2,5 t/h, mientras que un horno de inducción de la misma capacidad no sobrepasa la cifra de 1 a 1,2 t/h, para un precio de compra de casi el doble.

Necesitan una cierta cantidad de metal líquido para el cebado. Por lo mismo, durante las paradas, se ha llegado a dejar como retén un baño de metal líquido. Esta sujeción representa un gasto de energía aprecia

ble. Existen en el mundo hornos de inducción de canales de baja frecuencia con una capacidad total que llega hasta las 10 t. En Francia, los ma yores tienen una capacidad útil de 3 t.

[HORNOS DE INDUCCION DE CRISOL SIN CANALES]

[Los hornos de inducción de crisol sin canales hasta estos últimos años, eran empleados en media o alta frecuencia, lo que hacia necesario la utilización de un convertidor de frecuencia muy costoso y de bajo rendimiento.

Recientemente ha sido posible la puesta a punto de hornos de inducción de baja frecuencia, sin canales, capaz de funcionar de manera -- realmente industrial. La Sociedad Otto Junker de Aquisgrán, que ha construido, a partir de 1950, hornos según este principio, ha desempeñado un papel decisivo en esta puesta a punto.

Este tipo de horno está constituido por un crisol de arcilla apisonada, de 90 a 100 mm de espesor, rodeado a determinada altura, por un bobinado primario de tubo de cobre refrigerado por circulación de agua.

Este bobinado primario desarrolla, en el metal contenido en el crisol, corrientes inducidas que producen los efectos térmicos y electrodinámicos necesarios en la fusión y agitación.

Las corrientes inducidas desarrollan, radialmente en el metal, -

esfuerzos de presión que tienden a alejar el metal de la pared del crisol y a provocar, de esta manera, una deformación de la superficie del baño - en forma de cúpula.

Esta deformación puede ser perjudicial, puesto que hace crecer - de forma anormal el movimiento del metal y lleva consigo la rotura de la película que lo protege del contacto con el aire. Para reducir este inconveniente, se arrolla la bobina alrededor de la parte inferior del crisol, de manera que una determinada altura de metal líquido, poco influida por el campo eléctrico, equilibra los efectos dinámicos que se desarrollan en el resto del baño.

Esta térmica aumenta desgraciadamente la potencia específica; es decir, la potencia eléctrica referida a la superficie cilíndrica, lo que entraña un aumento de las pérdidas energéticas.

VENTAJA DEL HORNO DE INDUCCION SIN CANALES

-Por ser más simple su forma, su montaje resulta más rápido y menos costoso.

-Puede arrancar partiendo de una carga sólida. Debido a esto, -- los cambios de aleación no ofrecen ninguna dificultad y el horno se adapta más fácilmente a un régimen intermitente. Durante las paradas del trabajo u otras interrupciones, basta una potencia pequeña (resistencia eléctrica) para evitar el enfriamiento del crisol que podría originar deterioro

ros.

-La cámara de fusión (crisol) se puede limpiar de manera más fácil y rápida.

INCONVENIENTES DEL HORNO DE INDUCCION SIN CANALES

El consumo de energía es en general más elevado, y el cos peor, - debido a la dificultad de disminuir el espesor de la arcilla del crisol - por debajo de los 80 mm.

El rendimiento y el consumo también dependen, en gran parte, del tipo de acoplamiento empleado. En un horno de ensayos de 2 t, equipado -- con un crisol de arcilla de 100 mm, el rendimiento eléctrico ha sido del 73% en monofásica, un 60% solamente con un acoplamiento Scott y del 58% - en trifásica.

Los consumos en marcha continua, variaron de 500 a 550 kWh/t para el acoplamiento monofásico a 625 a 675 kWh/t para el acoplamiento -- Scott.

El acoplamiento juega todavía un papel considerable para la de-- terminación de la batería de condensadores, que representa un parámetro - de mayor importancia en los costos de instalación que en el caso de los - hornos con canales; el acoplamiento monofásico exige, para un espesor de-- terminado de arcilla, la batería menor.

Por estas razones, este tipo de horno representa una inversión - más importante que la del horno con canales.

-El crisol de arcilla es frágil y exige una mano de obra cuidadosa.

ELECCION DEL TIPO DE HORNO

Ninguno de los tipos de hornos descritos anteriormente permite reunir simultáneamente las condiciones térmicas y económicas más favorables, ya que las primeras están, a veces, en contradicción con las segundas. Así pues, el fundidor debe de elegir para su caso particular y en función de condiciones locales, el material que realiza el mejor acuerdo en un plano técnico y económico a la vez.]

HORNOS DE FUSION

Es necesario transmitir económica y rápidamente el calor a la carga con un mínimo de pérdidas de fuego y poder efectuar comodamente la carga y los tratamientos de fabricación; por lo que conviene particularmente el horno de reverbero de combustible y el horno de inducción.

El horno de inducción de baja frecuencia con canales está indicado, sobre todo, en la refusión de cargas compuestas de una gran proporción de chatarras finas, o para la preparación de aleaciones que contengan elementos poco miscibles (por ejemplo, A-U4Pb); es decir, en todos --

los casos donde los factores pérdidas del fuego y homogeneidad de la composición son primordiales.

Este horno se adapta más a los cambios frecuentes de aleación, - debido al hecho de conservar un baño líquido para el cebado. Por otra parte, su capacidad de fusión está limitada a un valor relativamente pequeño, que hace necesario el empleo simultáneo de varios hornos, cuando hace falta alimentar a un horno de colada de gran capacidad; ello grava las inversiones y aumenta los costos de mano de obra.

El horno de inducción de baja frecuencia sin canales no tiene inconvenientes del horno de canales en lo que se refiere a los cambios de aleación, teniendo las mismas ventajas, desde el punto de vista de la homogeneidad y de las pérdidas del fuego en la carga fundida. Su elevado -- costo de instalación y su importante consumo de energía eléctrica limita, todavía hoy desgraciadamente su desarrollo.

Puede resultar económico en la refusión de virutas muy oxidables o para la preparación de aleaciones madres especiales. En este último caso, da buenos resultados cuando se parte de cargas compuestas de una gran proporción de metal líquido, procedente, por ejemplo, de cubas de electrólisis y cuando se le emplea como horno intermedio para realizar la disolución rápida de elementos de aleación de punto de fusión elevado (Si, Cr, Al-Ti al 65%, Mn).

Su empleo no se debe de rechazar a priori, sino que su rentabili

dad debe de ser objeto de serios estudios técnicos y económicos.

El horno de reverbero de combustible líquido o gaseoso es aconsejable cuando se necesitan frecuentes cambios de aleación, así como para asegurar grandes producciones y refundir cargas compuestas de elementos pesados y voluminosos.

El precio de instalación, el costo de la energía de fusión y los gastos de conservación de este tipo de horno son menores para una producción horaria determinada, que los de un horno de inducción de baja frecuencia con canales.

[Por el contrario, presenta claros inconvenientes en lo que respecta a las pérdidas de fuego, la calidad de agitación del baño fundido (que debe de realizar manualmente) y la limpieza del taller (por lo menos en lo referente a los hornos con combustibles líquidos).]

Hoy en día el empleo de fundentes especiales permite reducir las pérdidas de fuego a un valor aceptable. Por otra parte la instalación de dispositivos de aspiración de los humos bien estudiados evita la formación de depósitos de suciedades en el taller.

Los balances económicos que se han efectuado en determinadas fundiciones francesas y alemanas, empleando los dos tipos de hornos para el mismo género de trabajo, han revelado, habida cuenta de todos los parámetros de fabricación, que el horno de reverbero de combustible, fue en la

mayor parte de los casos examinados, más económico que el horno de inducción. Por esta razón, después de haber estado muy en boga, este último se encuentra relegado actualmente, a pesar de sus innegables cualidades.

HORNO DE PREVISION Y DE COLADA

Es importante conseguir una buena homogeneización y una buena -- precisión de la temperatura del baño y una atmósfera que contenga la menor cantidad posible de hidrógeno y de vapor de agua, así como la inmovilidad del baño durante la espera. El horno basculante de reverbero, calentado por resistencias eléctricas representa, sin lugar a dudas, en el estado actual de la técnica, el tipo de horno que da los mejores resultados.

De manera casi general, en los Estados Unidos e Inglaterra se -- utilizan por razones económicas, hornos de espera y de colada de hogar fijo, calentados por combustibles líquidos o gaseosos.

En tales hornos, se llega a limitar la absorción de hidrógeno -- del gas de combustión, efectuando barboteos continuos de cloro, por medio de cañas de grafito durante la espera y la colada.

Se puede mejorar igualmente la regularidad del caudal de colada y las salidas de escorias que constituyen los puntos débiles de estos hornos, por medio de válvulas con flotadores y filtros de fibra de vidrio.

Hay que señalar, que a pesar de sus mejoras, las comparaciones -

efectuadas en las fundiciones que han tenido ocasión de emplear simultáneamente los dos tipos de hornos, han demostrado que la calidad metalúrgica de los semiproductos colados eléctricos de resistencias basculantes alrededor del pico de colada es, por término medio, evidentemente superior a la obtenida con hornos de combustible.

HORNOS DE FUSION Y DE COLADA

En ciertas fundiciones por cuestión de simplificación o de economía, las operaciones de fusión y de colada se efectúan en el mismo horno. Se utilizan hornos de reverbero con solera de fusión, trabajando en continuo u hornos de reverbero sin solera de fusión, trabajando en ciclo discontinuo.

Esta técnica, excepto para algunos casos particulares, no es aconsejable.

Si se trata de un horno de solera de fusión, trabajando en continuo; es decir, si la carga de metal sólido y la fusión se efectúan de manera aproximadamente sincronizada con la colada, es difícil la obtención de una depuración y un desgasificado regulares, así como una temperatura precisa de colada. No se puede, en efecto, evitar una cierta interferencia entre el régimen térmico de la solera de fusión y el de la cámara de colada. Por otra parte, el metal que sale de la solera de fusión se halla incompletamente depurado y desgasificado. Debido a esto, las impurezas ga

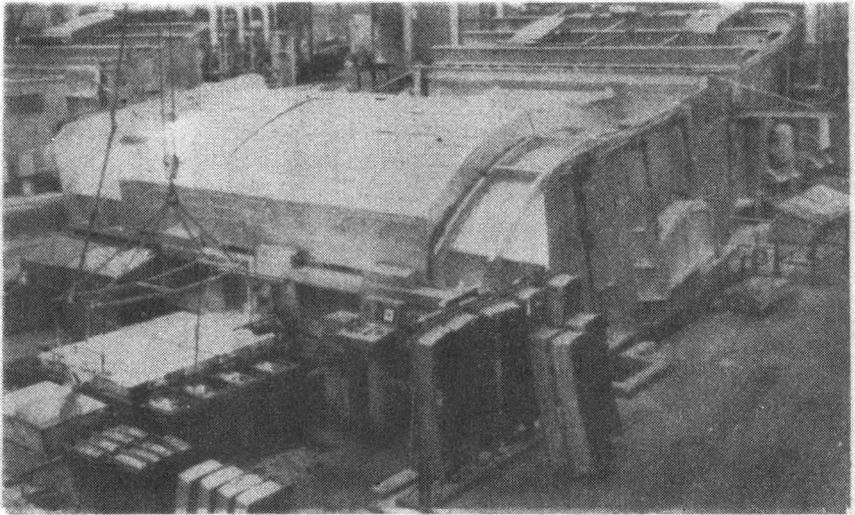
seosas y sólidas que todavía contiene, pueden quedar en el baño de la cámara de colada y ser arrastradas durante la colada.

Dichos hornos, además, están mal adaptados a la refusión de chatarras finas, puesto que la carga puede permanecer durante mucho tiempo - expuesta en estado pastoso a la atmósfera sobrecalentada de la cámara de fusión y puede sufrir una oxidación anormal. Las fundentes, en este caso, no pueden proteger en buenas condiciones a la carga.

Si se trata de un horno de hogar sin solera de fusión, trabajando en régimen discontinuo, en el que después de la fusión se efectúa una espera de más o menos prolongada a la temperatura de colada, los resultados obtenidos desde el punto de vista metalúrgico son en general bastante mediocres, sobre todo si la carga lleva consigo una gran proporción de -- chatarras. En este caso, en efecto, la solera se ensucia bastante rápidamente con los óxidos, fundentes y residuos diversos de la fusión que pueden desprenderse y ser arrastrados bajo forma de inclusiones en la colada. Si el calentamiento se efectúa con un combustible líquido o gaseoso, a -- esos riesgos se añaden las dificultades del desgasificado con todos los -- inconvenientes metalúrgicos que ello lleva consigo.

INSTALACION EN DUPLEX

Por estas razones, cada vez se utilizan más, en las modernas fun diciones europeas, grupos de fusión y colada, trabajando en duplex, en -



-Grupo de hornos «Duplex» (Cégédur en Issoire).

los que las operaciones de fusión y de colada se realizan en dos tipos de hornos independientes y especializados.

Horno de fusión.- Está concebido para el calentamiento y fusión-rápida de la carga, así como para el tratamiento de elaboración del metal. Es, según los casos, un horno de reverbero de combustible, fijo o basculante disponiendo preferentemente de un pie de horno, o un horno de inducción BF con canales.

Horno de espera y de colada.- Está concebido para perfeccionar el tratamiento del metal por una espera a baja temperatura y para obtener una temperatura de colada tan precisa como sea posible. Es preferentemente, un horno de reverbero calentado por resistencias, del tipo basculante.

Para las producciones muy grandes, comportando pocos cambios de aleación, basadas en productos de grandes secciones, es interesante el empleo de hornos de las mayores capacidades posibles, en número mínimo, de manera que se pueda disminuir el consumo de energía y mejorar la productividad.

Por el contrario, para las producciones pequeñas y medianas que llevan frecuentes cambios de aleación y que están basadas en productos de pequeña sección es preferible multiplicar los grupos de hornos de pequeñas capacidades, entre ciertos límites.

Esta fórmula permite aumentar la flexibilidad, pero conduce a --

una productividad menor.

La figura 14 muestra uno de los grupos Duplex, instalado en la fundición de la fábrica de Issore de la compañía Cegedur. Este grupo garantiza una producción diaria de 100 t de placas de laminación.

El horno de fusión es un horno fijo de reverbero, calentado por fuel, de 33 t, de capacidad total, de bóveda inclinada y suspendida. La cámara de fusión está equipada con seis quemadores de fuel pesado número 2, con un caudal unitario de 120 l/h, lo que asegura una velocidad de fusión de 6 a 7 t/h.

La solera está prevista de manera que se consiga un pie de horno que representa un tercio de la capacidad total.

Este horno está previsto de una gran puerta de carga que permite la alimentación mecánica de los lingotes y chatarra de grandes dimensiones, en una zona de fusión situada a la derecha de los quemadores. Los gases quemados se evacúan por tiro forzado; para limitar las entradas de aire frío por la abertura de la puerta de carga, ha sido montado un dispositivo automático para regular la depresión en la cámara de fusión.

El horno de colada es un horno eléctrico de resistencias, de una capacidad total de 23 t, del tipo de reverbero. Las resistencias están colocadas sobre bóvedas desmontables (Heurtey). El horno báscula alrededor del pico de colada.

El Transvasamiento del horno de fusión de colada se efectúa por dos rampas de canal abierto y dura alrededor de 20 min.

El horno está equipado con una chimenea pivotante de aspiración, que evacúa los vapores corrosivos originados por el tratamiento con el -- fundente.

El Transvasamiento del horno de fusión de colada se efectúa por dos rampas de canal abierto y dura alrededor de 20 min.

El horno está equipado con una chimenea pivotante de aspiración, que evacúa los vapores corrosivos originados por el tratamiento con el -- fundente.

C A P I T U L O V

CONTROL DE CALIDAD

CONOCIMIENTOS GENERALES DE MUESTREO

Este tema tiene una parte muy importante y siempre actual que merece un examen un poco detallado con el propósito de advertir a los analistas de las precauciones que se deben tomar para el examen previo y preparación de las muestras para análisis, sobre todo a nivel de laboratorio. En el sistema industrial, el trabajo anterior a este estudio, que consiste en preparar en el laboratorio una muestra que represente la composición media de un lote de muchas toneladas, es un problema que necesita también la intervención de especialistas experimentados, así como el respeto de reglas estrictas basadas en la experiencia, el espíritu de observación y el cálculo estadístico. Estas reglas han sido objeto de Normas generales o de codificaciones y convenios que no son privativas del aluminio y sus aleaciones; se aplican en nuestro caso pero, además hemos de tener en cuenta algunos hechos particulares, ligados a la naturaleza y comportamiento de estos metales, tanto en el estado bruto como en el transformado.

En la industria productora del aluminio, la obtención de muestras destinadas a los numerosos análisis de control, se realiza sobre el metal líquido homogéneo, lo cual trae consigo muy pocos problemas, tanto en el análisis químico como espectrográfico, cualquiera que sea la pureza del aluminio producido.

No ocurre lo mismo en la producción de aleaciones; para las aleaciones con zinc o magnesio, por ejemplo, el método utilizado para tomar -

muestras debe evitar las evaporaciones y oxidaciones que pueden producirse en función de la temperatura del metal líquido y la marcha del enfriamiento; en las aleaciones con cobre (duraluminio) la extracción de muestras debe tener en cuenta los fenómenos de segregación directa e inversa que se producen en función de la marcha de la solidificación.

El caso del control del porcentaje en cobre de los duraluminios, ha dado lugar a numerosos estudios, que tratan de fijar las normas de toma de muestras del metal líquido, con objeto de encontrar la similitud mayor entre el análisis preparado por plaquetas para análisis químico o el hongo para espectrografía, y el de los productos terminados resultantes de la misma fusión. Finalmente, si se toma la probeta sobre el chorro de colada con una pequeña cubeta, que tenga la forma de una plaqueta de 70 o 100 x 80 mm, cuyo espesor puede ser de 15 mm y se deja enfriar normalmente, la plaqueta obtenida presenta variaciones en su contenido de cobre, que pueden pasar de un 10%, en valor relativo, según los puntos, y sin que pueda establecerse una regla de reparto. Sin embargo, si se multiplica el número de taladros, y estos se realizan profundamente por un lado y otro de la plaqueta, para eliminar las diferencias en el espesor, y se obtienen virutas muy finas asegurando una buena mezcla de estas virutas, se puede obtener una muestra que, estadísticamente representa la composición media. En tales condiciones, el cálculo muestra que, sobre un peso de un gramo, hay tres probabilidades sobre cuatro de encontrar resultados que presenten entre sí, una diferencia menor que los errores de análisis.

Para el análisis espectrográfico se cuela, en un molde metálico-apropiado, un disco delgado (4 mm de espesor) alimentado por una maza rotatoria central; se debe eliminar por torneado la superficie de colada en un espesor de 1mm aproximadamente, a fin de conseguir la composición media.

Ya se trate de lingotes, plaquetas, piezas transformadas, etc. - el analista recibe las muestras de metal sólido de las que, en caso de análisis químico, debe obtener la viruta en cantidad suficiente y de una sola vez, observando todavía las indicaciones siguientes:

Es necesario que la muestra esté muy limpia, desengrasada y seca.

La toma de la muestra se debe hacer por taladro, serrado o fresado (este último método es el preferible), mediante herramientas que corren bien (ángulos especiales para el aluminio), trabajando en seco; es necesario tener en cuenta, además, para algunas aleaciones, el hecho de que el polvo que se produce, debido a la fragilidad de los compuestos intermetálicos, tienen una composición diferente de la viruta; la incorporación de estos polvos a la toma analítica debe hacerse en la proporción deseada (indicada por un tamizado previo). Como ya se ha dicho, la viruta debe ser cuidadosamente mezclada; después de haber eliminado el hierro introducido por la herramienta, mediante un imán de potencia suficiente.

Las segregaciones de que hemos hablado anteriormente son función de la composición y, para una misma composición, son más importantes cuando más lento es el enfriamiento durante la colada y el volumen a enfriar-

mayor; por ello la toma de muestra para análisis en una gran pieza bruta de fundición, resulta más complicada.

Por otra parte, si la estructura de fundición ha sido profundamente malaxada mediante una deformación mecánica importante (forja, matrizado, extrusión, laminado), puede simplificarse el problema de la toma de muestras. De esta manera las reglas para la toma de virutas dependen, en gran parte, de la forma misma en que se presentan las probetas y sobre este criterio, basaremos las recomendaciones complementarias siguientes.

LINGOTES Y PIEZAS EN ESTADO BRUTO DE FUNDICION

IDENTIFICACION

En el caso en que el analista no conozca de antemano la clase de material que va a analizar, puede realizar de una manera rápida un ensayo de tanteo de la manera siguiente:

-Limpiar una pequeña superficie de la probeta con lima o papel de lija y depositar una gota de solución de sosa al 20%; después de un --ataque (de tres a cinco minutos) lavar con agua destilada sin frotar. El color de la mancha es blanca, gris o negra; toda mancha negra o gris significa que se trata de una aleación con Cu, Zn, Ni o Si, mientras que la mancha blanca no excluye la presencia de Mg, Mn, etc. pero elimina la posibilidad de Cu, Zn, Ni en cantidades notables.

Si la mancha es negra o gris, se seca (sin frotar) con ayuda de-

papel de filtro y se colocan una o dos gotas de ácido nítrico concentrado sobre ella, esta puede quedar blanca, en cuyo caso señala la presencia de Cu, Zn o Ni (o los tres elementos), o queda gris, en cuyo caso se trata de una aleación con Si.

Si lo que se desea conocer, como es el caso más frecuente, es la presencia o ausencia de cobre, una gota de ácido fluorhídrico al 40% reve la también, mediante una mancha negra, la presencia de este elemento.

Otros ensayos del mismo género (Estilimetría) revelan la presencia de otros elementos (Ni, Mg, Mn, Pb, Ti, etc.) y sirven de esta manera de guía rápida al analista, desde el punto de vista cualitativo; a veces pueden servir también de informe semicuantitativo del o de los principales compuestos de la aleación. En el caso, entre otros, de mezcla de metales, estos ensayos rápidos suelen dar muy buenos resultados.

OBTENCION DE LA VIRUTA

Quando se trata de aluminio nuevo o de aleaciones de 1^a o 2^a - fusión, las reglas generales que hay que observar para la obtención de la viruta, son parecidas, debiendo tener presente que para las aleaciones de cobre, se debe prestar gran atención a las segregaciones directas e inversas.

LINGOTES PARA FUNDICION

La depresión central debida a la contracción de solidificación,-

presenta una gran concentración de impurezas o elementos licuables (finde la solidificación), por lo que la composición media resulta mejor representada si se toma una gruesa rodaja situada a media distancia entre el centro y los bordes; posteriormente se fresa esta rodaja en toda su sección y sobre las dos caras se toman las virutas necesarias.

Si no puede tomarse la viruta más que por taladrado, los orificios hechos en la misma zona deben atravesar toda la altura del lingote con objeto de anular las diferencias entre la parte de arriba y abajo o del bebedero y fondo.

PLACAS (PARA LAMINAR, ETC).

Se puede serrar una rodaja perpendicular al eje de solidificación, obteniéndose la viruta por fresado de toda la sección. Se pueden también practicar agujeros situados en las diagonales, de modo que el número de estos sea el mismo para cada mitad de la placa.

LINGOTES DE SECCION CUADRADA O REDONDA (TOCHOS) PARA LAMINACION, EXTRUSION ETC.

Se deben cortar rodajas perpendicularmente al eje de solidificación, y en los dos extremos obtener la viruta por fresado o taladrado, evitando que la toma en la última zona de solidificación sea proporcionalmente demasiado importante. En el caso de grandes tochos de aleaciones con cobre (diametros superiores a 150 mm), es necesario tener en cuen

ta una posible segregación; por ello, se deben cortar rodajas perpendiculares al eje, trabajar finamente una de las caras, y proceder a un ataque macrográfico que revela las zonas segregadas. Entonces resulta relativamente fácil delimitar estas zonas, calcular su volumen y obtener la viruta teniendo en cuenta su proporción en toda la sección. Si se posee una instalación adecuada, se pueden también obtener radiografías de las rodajas de caras paralelas ya mecanizadas.

PIEZAS MOLDEADAS (EN ARENA O COQUILLA)

Se harán las tomas de viruta en las partes más delgadas así como con las más gruesas, en proporción adecuada.

ALEACIONES MADRE

Algunas de estas aleaciones (Al-Ti, Al-Cu-Ti, Al-Cr, etc.) son heterogéneas. La determinación de sus porcentajes medios requiere numerosas tomas, único medio que permite obtener cifras válidas estadísticamente.

PRODUCTOS TRANSFORMADOS

(LAMINADOS, EXTRUIDOS, PIEZAS FORJADAS, ETC.)

BARRAS

Se deben serrar, si es posible, varias secciones rectas y tomar la viruta, por fresado o torneado, en todas las secciones. Caso de que se utilice el taladro, deben hacerse los orificios en círculos concéntricos-

desde la periferia hasta el centro de la barra.

TUBOS, PERFILES

El mejor medio de obtener viruta es mediante torneado, abarcando toda la sección. En el caso de tubos o perfiles tubulares, si el espesor y el estado de tratamiento lo permiten, se puede desdoblar mediante un serrado longitudinal y tomar la probeta como cuando se trata de una placa.

CHAPAS

En las placas delgadas se puede cizallar o taladrar en los cuatro costados. En las placas gruesas se puede realizar el taladrado en los cuatro costados, haciendo los orificios con un espaciado regular.

Las placas pueden estar recubiertas de aluminio o de aleaciones de Al escasamente dosificadas (chapas plaqueadas), de óxido producido mediante anodizado, coloreado o no, de barniz o pintura con o sin pigmento o de una capa de cromatos y fosfatos (tratamiento químico). El plaqueado puede ponerse de manifiesto fácilmente mediante una gota de sosa al 20% o de ácido fluorhídrico, aplicado sobre una rodaja mecanizada perpendicularmente a la superficie. Si es positivo este ensayo y lo que se desea es hallar la composición del alma, es necesario disolver, antes de tomar la muestra, la capa de plaqueado por inmersión en una solución de sosa al 10% o 20% hasta que aparece una coloración negra generalizada; se lava después en agua, se trata con ácido nítrico concentrado, se lava de nuevo y se seca.

Las capas de óxido anódico no dificultan apenas la precisión de un análisis ordinario, ni el ataque, cuando este último se realiza con sosa, ya que la aportación de impurezas causada por los colorantes de origen mineral, es muy pequeña con relación a los errores normales del análisis químico (salvo en el caso de Al refinado o de aleaciones con esta base). Por el contrario, en el caso de un ataque ácido; las películas de óxido que no quedan atacadas pueden ser perjudiciales; entonces se puede eliminar el óxido mediante un ataque rápido en sosa caliente, o disolverla capa de óxido sin atacar el metal base, en la mezcla fosfórico-crómica a 70-80°C.

PO_4H_3 - 320 ml/l

Cr_2O_3 - 160 g/l

Los barnices, pinturas, la mayor parte de los esmaltes, etc., se eliminan generalmente en ácido nítrico concentrado en ebullición o quedan escamosos, pudiendo entonces eliminarse con un simple frotamiento.

CHATARRAS

La toma de muestra de chatarras es a veces un problema difícil de resolver, en el caso en que no se puede establecer ninguna proporción según la similitud de forma o de otros criterios aparentes. Los que almacenan chatarras o desean transformarlas, tratan de valorarlas, cada vez más, realizando a ser posible una clasificación en origen; sin embargo, es necesario tener buen juicio y experiencia para realizar un análisis fi

nal que presente un mínimo de garantías. Este es, por ejemplo, el caso típico de los lotes de viruta procedentes de mecanizado o de cortes de guillotina, etc. Este problema no puede resolverse más que mediante un acuerdo o un contraste comparatorio por parte del vendedor y comprador o transformador, que conduce después de una determinación previa de los porcentajes de humedad, materias grasas, estériles, extracción del hierro mediante imán, etc., a una fusión de ensayo. Sobre el lingote de esta fusión se procede a tomar la viruta para el análisis final.

LOS MEDIOS DE ANALISIS

Las técnicas de análisis de las aleaciones de aluminio son parecidas a las adoptadas por las metalurgias más antiguas, y cualquiera que sean estas técnicas, se observan a menudo transposiciones de métodos y -- principios utilizados, entre otros, por la siderurgia; la adaptación puede ir, además, acompañada de una notable simplificación, como por ejemplo, cuando la disolución de la muestra en medio sódico permite separar el metal base desde el primer ataque, quedando insolubilizados el o los elementos a analizar.

Entre los antiguos métodos gravimétricos, de volumetría y colorimetría, y los procedimientos más modernos de análisis, basados en la formación de isotopos bajo radiación nuclear, disponemos de una importante colección de medios de medida que permiten satisfacer tanto las necesidades industriales como científicas (investigación de indicios, estudio de migraciones y de purezas elevadas, etc). En la breve exposición de los me

dios de análisis que vamos a hacer, clasificaremos estos en tres categorías: químicas, fisicoquímicas y físicas, aunque puede parecer arbitraria esta clasificación, si se considera que la balanza, instrumento de física, se utiliza como punto de partida de los análisis realizados por vía química y fisicoquímica, así como, corrientemente, al final de las primeras.

TECNICA QUIMICA

La técnica química comprende los métodos llamados por vía húmeda y contiene esencialmente cuatro subgrupos: la gravimetría, la electrogravimetría, la volumetría y la colorimetría en su forma actual. En relación con el estado anterior, para practicar la técnica química, los laboratorios modernos deben estar equipados, además, con el utillaje clásico bien conocido: de pH metros, milivolimetría y miliamperímetros, de aparatos de electrólisis provistos de agitadores, de fotómetros, etc.

GRAVIMETRIA

El análisis gravimétrico agrupa los métodos más antiguos de dosificación. Su principio es separar el elemento a analizar mediante precipitación cuantitativa, bajo forma insoluble en el medio en que se crea el precipitado; este precipitado, recogido por filtración, se lava a continuación (a veces se vuelve a disolver y a precipitar con objeto de purificarlo), se seca, y se pesa antes o después de la calcinación, etc. La gravimetría está muy generalizada y las puestas a punto modernas se ingenian para conservar su carácter tradicional de testigo de referencia, gracias-

a una mejor definición del método operatorio, a unas reacciones mejor especificadas, a unas mejoras en los productos y en el material, etc. Es -- cierto, también, que la reproductibilidad y la precisión de la gravime--- tría han mejorado considerablemente después de algunos años, a pesar de - la inevitable aportación del factor humano que suele originarse la mayor- parte de las divergencias.

En las aleaciones de aluminio, el proceso corriente de dosifica- ción gravimétrica se hace de la manera siguiente:

Silicio, en estado de SiO_2 después del residuo que queda volatili- zado, mediante FH, de la sílice calcinada.

Níquel, en forma de dimetilgloxima de Ni secada a 110°C .

Cinc, en forma de oxima, secada a 120°C o en estado de mercurito- cianato de Zn seco a 120°C .

Magnesio, en estado de pirofosfato de Mg. calcinado.

Cobre, en forma de salicilaldoxima.

El empleo de la gravimetría conduce generalmente a un precio re- lativamente elevado con relación a la duración de las operaciones (mano - de obra) y al costo de medios y productos diversos; sin embargo, la fil-- tración bajo vacío sobre crisoles de pasta de vidrio cocido, y la facili- dad con que la gravimetría se acomoda al trabajo en serie pueden reducir- de manera sensible los gastos.

ELECTROGRAVIMETRIA

El principio se basa en la separación electrolítica en un medio conveniente del elemento a analizar. Cuando se agita el medio (ánodo rotativo, burbujas de aire comprimido, agitación magnética), se puede depositar rápidamente el cobre en el cátodo y el plomo en el ánodo inmediatamente después de la disolución, seguida o no de filtración y reglaje de la acidez. Además, controlando el potencial de los electrodos con ayuda de potenciómetros manuales o automáticos se pueden conseguir sucesivamente los porcentajes de otros cationes metálicos (Cu, Bi, Pb, Sn).

La precisión de los métodos electro-gravimétricos no es buena -- más que para los porcentajes relativamente elevados. Los porcentajes se determinan por una pesada del depósito del ánodo o del cátodo y, con los métodos actuales, se hallan aquellos en 30 a 35 minutos de forma corriente:

-El cobre, por encima del 1%, en todos los duraluminios, las aleaciones madres y otras alteraciones;

-El plomo, en estado óxido (coeficiente empírico).

La presencia de Si en cantidad importante, la de Bi y Mn, en cantidades notables, obligan a correcciones del electrólito y a modificaciones del proceso operatorio (por ejemplo, redisolución del óxido de plomo,) destinados a evitar la interferencia de estos elementos.

VOLUMETRIA

La volumetría, o titrimetría, tiene por objeto analizar los elementos por medio de reacciones que se llevan a cabo de una manera visible (cambio de coloración, aparición o cese de un precipitado, etc.) con la ayuda de soluciones cuya concentración en reactivo es perfectamente determinada; del volumen de solución o licor analizado que se utiliza para producir la reacción, el peso de la substancia que se analiza. En los métodos volumétricos, muchas veces no es necesaria la separación previa del elemento analizado y está simplificación abrevia la duración y aumenta la precisión del análisis.

Ya sea practicando la neutralización, oxidación-reducción, o precipitación, la volumetría reúne métodos de aplicación muy amplios; ha progresado de manera muy sensible, más aún que la gravimetría, debido por una parte al descubrimiento de nuevas reacciones o de nuevos medios de evitar las interferencias y, por otra, a la introducción de instrumentos que indican el fin de las reacciones independientemente del juicio del operador (buretas automáticas, por ejemplo), o le señalan el fin de las mismas, otros dispositivos permiten seguir el proceso de las reacciones y trazar las curvas manual o automáticamente; los recientes métodos conocidos con los nombres de potencimetría, coulombetría, volumetría, etc. no son a la postre, más que volumetrías instrumentales practicadas por medio de aparatos, a veces complicados y costosos, pero con los que se logra la fidelidad y precisión, por medio de la fisicoquímica y la electrónica.

Este instrumental, no es siempre indispensable; en estos últimos años se han aportado progresos considerables a la volumetría clásica, por medio de los indicadores de color más sensibles que dan virajes más claros, por empleo de reactivos más concretos, o utilizando nuevos métodos -tales como la complexometría y la gelatometría.

Entre las aplicaciones de las volumetrías al análisis de las --aleaciones de aluminio, se pueden citar las siguientes:

Hierro, por medio de tricloruro de titanio o por el permanganato potásico.

Magnesio, por titulación de cambio ácido-base o por complexometría.

Manganeso, por medio del arsenito de sodio o el ácido arsenioso.

Cromo, en estado crónico, por medio del sulfato ferroso.

Cobre, por medio del sulfocianuro de potasio.

Cinc, por potenciometría o por complexometría con Complexon III.

Plomo, en estado de cromato, por medio del hiposulfito de Na.

COLORIMETRIA.

La forma clásica de la colorimetría, basada en la comparación visual de la intensidad de coloraciones, ha desaparecido casi por completo (el análisis de Nessler por medio del NH_3 data de 1856). La forma actual-reemplaza el ojo humano por células fotosensibles, pero el distinto número de designaciones hace necesaria una normalización que evitaría algunas -confusiones; hallamos en efecto; la fotolorimetría o fotometría-colori-

métrica, espectro-absorbiometría, espectro-fotometría, fotometría, etc., para designar el mismo principio de métodos y de realización de aparatos.

Estos últimos son los que permiten la evaluación precisa de las densidades ópticas sea por desviación o compensación eléctrica sea por -- compensación óptica.

El grupo de métodos colorimétricos ha llegado a ser uno de los más importantes en el análisis químico de los metales ligeros, debido a que son de un empleo muy general por su selectividad, por el gran número de reacciones coloreadas que se conocen actualmente, por la precisión de que son capaces tanto para los porcentajes elevados como débiles. Por -- otra parte, en nuestro caso, las coluciones de ataque son incoloras muy a menudo y permiten, por consiguiente, la medida directa sin separaciones -- iniciales, El principio de estos métodos es el siguiente:

- Si se hace pasar un haz de luz monocromática (longitud de onda determinada) de una intensidad I_0 , a través de un espesor l , de una solución coloreada de concentración c , la ley Bouguer-Lambert-Beer, formulada por Bunsen (1877), nos dice que la luz transmitida I , al final del recorrido, está ligada a la densidad óptica D por la expresión $D = \log I_0/I = lc$, en la que (coeficiente de proporcionalidad o coeficiente de extinción molar), es constante para la longitud de onda elegida.

Siendo fija la intensidad de la fuente luminosa, las medidas de la densidad óptica se resumen, corrientemente, a la comparación de dos in

tensidades luminosas, después de la absorción de la radiación por una misma longitud de recorrido, una antes y otra después de la coloración. La precisión de la medida comparativa depende entonces, sobre todo, tomadas todas las demás precauciones (estabilidad térmica, luces parásitas, etc.) de las características del instrumento (sensibilidad de las células, coeficiente de amplificación de la corriente de la célula, sensibilidad del galvanómetro, etc).

El frecuente descubrimiento de nuevos reactivos (sobre todo de origen orgánico) y el estudio de las condiciones óptimas de formación y estabilidad de coloraciones, han permitido una gran extensión de estos métodos, tanto más cuanto que puede medirse la absorción de la luz en precipitados o líquidos turbios en suspensión, con la condición de que la suspensión sea homogénea y permanezca estable durante bastante tiempo; entonces, este procedimiento toma indiferentemente los nombres de, nefelometría, opacimetría o turbimetría.

Sea con la ayuda de aparatos equipados de fotopilas (células de selenio, llamadas de superficie barrera), sea con preferencia con ayuda de aparatos con dos células, una de antimonio (del U.V. al amarillo naranja) y otra de cesio (del naranja al I.R.), la mayor parte de los metales pueden analizarse por colorimetría. Entre los componentes más corrientes de las aleaciones se pueden citar:

Hierro, en estado de tiocianato rojo.

Manganeso, en estado de permanganato violeta.

Cobre, en estado de complejo amoniacal azul o de dietilditiocarbonato pardo.

Titanio, en estado de peróxido amarillo

Vanadio, en estado de peróxido amarillo-pardo.

Silicio, en estado de silicio-molibdato amarillo o azul.

TECNICA FISICO-QUIMICA.

No hablaremos más que de la polarografía, método ya clásico, pero que recibe un nuevo impulso debido, en gran parte, a la construcción - de polarógrafos cada vez más prácticos, precisos y robustos, que utilizan la amplificación por medio de tubos electrónicos y la inscripción automática de los polarogramas, lo que asegura un conocimiento mejor de los fenómenos.

Es un método que conviene especialmente en los análisis de pequeñas cantidades o de vestigios, pero cuya generalización es reducida; necesitamos operar con electrolitos purificados por vía química y en condiciones aniónicas bien determinadas, para evitar interferencias.

Si se hace pasar una corriente (continua) de electrólisis, a través de una solución que contiene los iones a analizar, y se aplica una -- tensión regularmente creciente, no se produce cambio alguno hasta que se alcanza el potencial de descarga del ion en solución; pero, cuando se alcanza este potencial, la intensidad para un pequeño aumento la tensión, -

crece súbita y rápidamente. Si la diferencia de potencial continúa creciendo, la intensidad vuelve a ser casi constante hasta que se alcanza la tensión de descarga de otro ion. Las ondulaciones trazadas de esta manera son curvas de intensidad de la forma $i = F(v)$ y la altura de la semiondulación es función del porcentaje de cada ion. Según el orden de potenciales de descarga, teóricamente es posible analizar de manera correlativa el Cu, Pb, Cd, Zn, Mn, etc.

El polarógrafo está constituido esencialmente por el conjunto de electrodos y del recipiente de electrólisis; es decir: por un lado, un electrodo en el que gotea, por un tubo capilar, mercurio químicamente puro a velocidad constante (20 gotas/min, por ejemplo); este electrodo polarizable funciona generalmente como polo negativo; por otra parte, en el vaso de electrólisis, otro electrodo no polarizable que puede estar constituido, bien por una amplia superficie de mercurio conectada al polo positivo, bien por un electrodo de referencia, por ejemplo, del tipo del electrodo calomel. La fuente de corriente continua debe ser estable y está constituida generalmente por acumuladores. El registro de las curvas se puede hacer por fotografía de mancha de un galvanómetro con espejo (primer sistema de Heyrowsky) o, como en los polarógrafos más modernos, por simple lectura sobre una pantalla de rayos catódicos, o por el trazo de una plumilla.

Los procesos operatorios utilizados para las aleaciones de aluminio comienzan generalmente por un ataque alcalino. Se acidula después por medio de ácido nítrico y se purifica por vía química. Las soluciones pa---

trón y la determinación inicial de las constantes de corriente residual y de corriente de difusión, se establecen a partir del aluminio puro. Por polarografía se pueden analizar, bajo corriente de nitrógeno o al aire:

Fe y Cu sin separarlos, el Cu en presencia de una gran cantidad de Fe, el Pb presencia de mucho Cu y Fe, Ni y Zn (en 10 minutos) y trazas de Cu, Cd, Ni, Zn y Pb (del orden de 0,3 ppm) en el aluminio puro o muy puro.

Más adelante se indicarán otros métodos de tipo fisicoquímico que se aplican a análisis particulares.

TECNICA FISICA

ESPECTROGRAFIA DE EMISION

De los métodos de análisis, en los que juegan papel principal los medios físicos, el más utilizado actualmente es la espectrografía de emisión por chispa; la gran aceptación de que goza este método lo debe a que es absolutamente específico, ya que cada elemento se caracteriza por rayas espectrales cuyas longitudes de onda son fijas, así como por su gran sensibilidad, por la simplicidad de la preparación de las probetas metálicas y por su rapidez, puesto que un solo operador puede obtener varios cientos de análisis en una jornada de trabajo.

Sin detenernos en el aspecto teórico de los fenómenos, muy interesante por otra parte ya que su estudio ha aportado a la física moderna fórmulas de una precisión extraordinaria, podemos decir que el principio de -

la espectrografía está basada en el hecho de que cuando se excita un átomo mediante el calor (más de 10 000°C con la chispa), los electrodos que lo constituyen alcanzan el estado ionizado; si la luz blanca producida de esta manera se descompone por medio de un prisma (Newton 1660) o de una red, se obtiene un espectro de radiaciones monocromáticas en las que el número y la intensidad de rayas varían con la potencia de excitación, pero las de un mismo cuerpo simple ocupan siempre el mismo lugar en el espectro.

Por otra parte, si hacemos saltar una sucesión de chispas entre electrodos constituidos por el metal a analizar, y se fijan todas las condiciones operatorias comprendidos el grado higrométrico y la temperatura de la atmósfera ambiente, observaremos que, después de dos o cuatro minutos, necesarios para que se establezca la emisión (tensiones de vapor, oxidación, tensiones de disociación, etc.) la densidad óptica de las rayas llega a ser proporcional al porcentaje del elemento analizado; por lo tanto, estamos en posesión de un medio de apreciación cuantitativo, si analizamos, en las mismas condiciones, un metal parecido cuya composición es conocida.

Se puede fotografiar el espectro y medir la densidad de las rayas características con relación a las del metal, base por una parte y, por otra, comparándolas con las del espectro-patrón fotografiado paralelamente con el mismo tiempo de exposición. En este caso el equipo espectrográfico comprende: un generador de chispas, el espectrográfico con su sis

tema óptico que comprende un chasis fotográfico, el proyector de espectros y el fotómetro o densómetro de rayas espectrales, pudiendo estos dos últimos estar combinados en uno solo. Además, hay que fijar las condiciones -- del revelado, habiéndose desarrollado aparatos que dan una placa revelada y seca en 20 minutos. Para ello, es necesario que el espectrógrafo funcione al abrigo de cualquier vibración en un local climatizado automáticamente.

Espectrógrafo de lectura directa.- Cuando el número de análisis -- a efectuar es importante se emplean cada vez más los espectrógrafos de l -- lectura directa, con los cuales el manipulador, aparte de la vigilancia y aprovisionamiento del espectrógrafo de probetas preparadas, no debe efec-- tuar más operaciones que las de apretar botones y leer los resultados re-- gistrados.

Algunos aparatos recientes pueden dar asimismo una ficha impresa del análisis después del paso a través de una calculadora electrónica integrada. A pesar del elevado costo de las instalaciones de este género, -- su éxito es grande y los progresos debidos a la emulación técnica y comer -- cial prosiguen. Se puede prever, entre otras, la próxima resolución de -- problemas difíciles, como el análisis de oxígeno, nitrógeno e hidrógeno -- en los metales por espectrografía en el ultravioleta lejano (entre 900 y 1600 A°), etc.

En los espectrógrafos de lectura directa, el análisis de la luz -- dada por la rendija de entrada puede realizarse con ayuda de una red o de

un prisma. En el primer caso, una red cóncava cuyo radio de curvatura puede llegar y pasar de los tres metros, dispersa la luz llevando todas las imágenes sobre el círculo Rowlands, en la posición determinada por las longitudes de onda de las rayas. Las rendijas de salida dispuestas convenientemente, permiten que las rayas del análisis puedan ser vistas por las células fotoeléctricas, después de haber atravesado las lentes convergentes, mientras al mismo tiempo, las rayas de la probeta de referencia se proyectan sobre otra célula. Después las corrientes emitidas por las células lectoras cargan los condensadores, en función de la intensidad de las rayas correspondientes; las resistencias y un sistema amplificador de corriente continua, cuyo potencial de rejilla es constantemente igual al potencial de los condensadores, manda los relés situados en el circuito de placa. Cuando el potencial de rejilla llega a ser inferior a un cierto valor pequeño (1 V, por ejemplo), funcionan los relés; por otra parte, se dispone para que el potencial inicial de los condensadores esté decalado de manera que uno de ellos alcance el valor de 1 V antes que el otro; el circuito director de la plumilla que escribe se cierra cuando el potencial llega a 1 V por primera vez y se abre de nuevo cuando el condensador siguiente llega a su vez a 1 V. Finalmente una banda, de papel animada de un movimiento uniforme, registra una recta cuya longitud es proporcional a la diferencia que mide la intensidad relativa de las dos rayas correspondientes y puede, de esta forma, servir para medir directamente el porcentaje de un elemento presente en la probeta a analizar.

Para 10 elementos hay 20 canales de salida, de los cuales 10 son

para las rayas de referencia; es fácilmente imaginable la complejidad de los circuitos de estos aparatos. La red se debe mantener en un chasis estanco, a una temperatura determinada con 1°C de precisión. La región utilizable del espectro se extiende desde la 5500 a 2000 Å y la dispersión alcanza fácilmente 0,125 mm por ångström, lo cual es muy favorable.

- Los espectrógrafos automáticos de prisma son mucho menos dispersivos, pero al mismo tiempo más baratos, dando lugar a realizaciones muy señaladas tanto en Francia como en otros países. Entre las últimas se destaca un grupo realizado por la casa francesa Cameca, bajo licencia Pechiney. Este utiliza dos células fotoeléctricas cesio-antimonio, multiplicadores de electrones, proyectados y establecidos por el profesor Lallemand, del Observatorio de París; una de estas células registra la intensidad de la raya del metal base, mientras que la otra, móvil a lo largo del plano focal, recoge las rayas del elemento analizado una tras otra. Este grupo permite analizar los cinco constituyentes principales de un duraluminio en menos de cinco minutos, con una precisión relativa de 1,5%; además puede pasar, en algunos minutos, de la espectrografía automática a la fotografía, adaptándose así lo mismo al análisis rápido industrial que a una exploración completa del espectro fotografiado (investigación) y análisis de impurezas, etc.

- Cuando se utilizan estos métodos, no hay que olvidar que el análisis espectrográfico es un método comparativo, puesto que se refiere a patrones cuya composición se ha determinado con la ayuda de técnicas de

las que hemos hablado anteriormente; asimismo, su precisión depende de diversos factores que necesitamos mantener bajo control de manera constante. Sin hablar de los fenómenos de deriva debidos al aparellaje, los resultados serán tanto mejores cuanto más parecidas sean las masas y estructuras cristalinas de las muestras a analizar, así como sean comparables los porcentajes de los elementos presentes en los patrones y las muestras a analizar etc. En los demás casos, como los errores, aunque generalmente poco importantes, son sistemáticos, es necesario establecer empíricamente los coeficientes de corrección.

Se puede reprochar también a la espectrografía de emisión de ser demasiado puntual, es decir, de no utilizar durante el análisis más que una pequeña zona superficial de la probeta; este reproche sólo es válido si no se realizan suficientes exploraciones y la rapidez del método permite esta multiplicación de puntos explorados. Es necesario conocer también los fenómenos de debilitamiento, de reforzamiento o de inversión de los espectros que producen ciertos elementos. Por ello, la gran sensibilidad de la espectrografía de emisión hace que, mientras su aplicación es favorable a los pequeños y medianos porcentajes, para los superiores a algunos porcentajes, el error puede llegar a ser importante.

ESPECTROMETRIA DE RAYOS X

La espectrometría de rayos X, bajo distintas denominaciones, se aplica al análisis desde hace una decena de años solamente, y es considerada cada vez más como una ampliación y un complemento de la espectrogra-

fía de emisión, y parece llamada, en cierta medida, a tomar el relevo. -- Aunque puede ser utilizada en absorción con fines analíticos, la espectrografía de rayos X no ha sido abordada más que desde el punto de vista de la emisión directa o de la fluorescencia, utilizando el fenómeno siguiente: cuando un haz de rayos X penetra en la materia, la radiación sufre un debilitamiento que depende de su reparto espectral y del número atómico del absorbente; una parte de la energía absorbida reaparece bajo la forma de una radiación secundaria de longitud de onda diferente, llamada de --- fluorescencia y, como consecuencia del espectro fotoeléctrico, los átomos, ionizados más o menos profundamente, son base de desplazamientos o cam---bios electrónicos, que dan lugar a un espectro muy puro de rayas características, o espectro de fluorescencia del átomo.

Los espectrógrafos de fluorescencia de rayos X construidos actualmente y en funcionamiento (sobre todo en los Estados Unidos), difieren poco, en grandes líneas, de las disposiciones adoptadas para la radiocristalografía. En resumen, la probeta se sitúa lo más cerca posible del tubo -- emisor de rayos X, en posición horizontal; sobre ella incide una radiación de corta longitud de onda y el espectro secundario de fluorescencia es ca---nalizado por un colimador sobre un cristal analizador. Este último actúa -- como una red de difracción, separando las radiaciones componentes reflejada en el curso de la rotación según los ángulos privilegiados de Bragg. La radiación es entonces detectada por un contador Geiger, que transmite los impulsos recibidos a una unidad electrónica de cálculo. El método más co---rriente de medida es la totalización de los impulsos durante un período de

terminado, y la evaluación del porcentaje buscado de los elementos constituyentes, se hace por comparación con los datos por una probeta que sirve de patrón.

El rendimiento del método es diferente para los elementos de número atómico pequeño, pero se aplica a los sólidos (polvo, etc.) a los líquidos (disoluciones de metales y aleaciones) y conviene especialmente a los análisis de elevados porcentajes, para los que la espectrografía de emisión por chispa es poco indicada o inexacta.

ANALISIS POR ISOTOPIA

Ciertos elementos, bombardeados con neutrones, pueden dar lugar a isótopos radiactivos, cuyos núcleos, inestables, se descomponen según una ley de decrecimiento exponencial que les es propia. Cada isótopo radiactivo se caracteriza por su período, tiempo necesario para que su radiactividad baje a la mitad. El isótopo del aluminio tiene un período de 2,4 minutos, mientras que el de manganeso lo tiene de 2,6 horas, el del silicio de 2,8 horas, el del cobre 12.8 horas y el del sodio de 15 horas. Al ser tan corto el período del aluminio no crea dificultades y se han podido poner a punto métodos de análisis de impurezas en vestigios que han resultado también de una gran importancia para el estudio metalúrgico de las migraciones y segregaciones en los estadios macro, micro y submicroscópicos. De esta manera se puede analizar 0,01 ppm de Cu, 0,01 ppm de Na, 0,01 de Mn, etc., según irradiación de algunos días mediante influjo de neutrones térmicos de 10^{12} neutrones/cm²/8.

Puede parecer atrevido o peligroso analizar el sodio por medio - de isótopos, ya que el Na_{10}^{24} es un producto de trasmutación del aluminio, pero esta transmutación no puede producirse de manera notable más que bajo un haz de neutrones suficientemente enérgicos (neutrones rápidos). Por otra parte, se elimina la influencia de los fenómenos parásitos, irradiando paralelamente dos zonas de la misma probeta, una bajo una pantalla de cadmio, que detiene los neutrones térmicos, así como un patrón de sodio - colocado con ellas; además se elimina la interferencia del galio en el absorbente, tras la disolución de las muestras en una columna de resina cambiadora que la retiene cuantitativamente.

ANÁLISIS PARTICULARES

Después de esta rápida exposición de las principales técnicas de análisis de las aleaciones de aluminio, agruparemos a continuación los métodos que, con estas mismas técnicas se utilizan para los análisis menos-corrientes o que tengan aplicaciones especiales.

Gas.- En la metalurgia del aluminio se concede una importancia - especial al contenido de hidrógeno (aportado por la humedad, los hidrocarburos, etc.). El método más corriente en la actualidad es la extracción - en vacío (Aforo de Mac-Leod). Se han construido aparatos capaces de efectuar el análisis de rutina, sobre probetas de 10 g aproximadamente a ra--zón de 20 determinaciones semanales por aparato.

Para el nitrógeno (nitruros), el método más corriente se basa en

el principio del análisis del nitrógeno orgánico (Kjeldahl), determinando el porcentaje por una colorimetría del amoníaco.

Para el oxígeno (óxidos), el análisis se efectúa indirectamente-analizando también la alúmina, por medio de una de las tres vías químicas siguientes:

-Vía húmeda.- Disolución del aluminio por medio de una solución-acuosa de cloruro cúprico; separación de la alúmina por filtración, purificación del residuo y pesada (Ehrenberg). Ataque dirigido de unos cinco-g, mediante HCl (una parte de agua y dos partes de HCl, $d=1,16$) en frío - (dos a cuatro horas). Filtrado sobre el filtro reducido a la pulpa de papel, lavado hasta la desaparición del anión Cl. Calcinación y pesada en crisol de platino. Este método permite también una evaluación aproximada del silicio en estado de SiO_2 (Tournaire).

-Vía líquida anhidra.- Ataque al bromo-metanol (Werner). Este método se determina actualmente por una colorimetría del aluminio, después de calcinación y purificación del primer residuo. La última puesta a punto data de 1961 (Bertoldi y Casalvolone). Este método permite el análisis del Al_2O_3 en las aleaciones de 13% de Si (Alpax) y en el silicio metálico.

-Vía gaseosa.- Eliminación del aluminio por medio de cloro o ácido clorhídrico gaseoso, secos y exentos de oxígeno. Este método (Urech) - se determina ahora por una medida fotométrica en cromo-cianina del Al combinado con el oxígeno (último estudio realizado por Matelli y Attini, en 1958).

C A P I T U L O VI

C O N C L U S I O N E S

Las condiciones técnicas y económicas que deben de cumplir los hornos de fusión y de colada, pueden resumirse como sigue:

CONDICIONES TECNICAS

Cualidades de orden térmico.

- Fusión en el menor tiempo posible
- Uniformidad de temperatura
- Regulación precisa de la temperatura (importante sobre todo en los hornos de colada)
- Máximo rendimiento térmico

Cualidades de orden físico y químico

- Oxidación mínima del metal
- La menor contaminación posible debida al gas de combustión horno de llama), a la atmósfera del horno, a los refractarios y a los diversos accesorios.

Cualidades de fácil explotación

- Facilidad de carga
- Comodidad en la ejecución de las operaciones de fabricación - (agitación desescoriado) o de conservación.
- Facilidad de colada.

CONDICIONES ECONOMICAS

-El menor precio del inmovilizado del material de fusión y de colada.

-Gastos mínimos de explotación, en pérdidas de fuego, consumo -
de energía, mano de obra.

-Los menores gastos posibles de conservación.]

C A P I T U L O VII

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

1. Ingenieros del grupo Pechiney. Enciclopedia del aluminio Ediciones Urmo, S.A. Bilbao 1968.
2. V. Lawtawerk. Manueal del aluminio Principios y procedimientos modernos de fabricación. Editorial Reverté. Barcelona 1959.
3. Taylor Lyman. Metals Handbook. Heat treating Cleaning and Finishing. American Society for metals Cleveland, Ohio, 1964.
4. Aluminum Company of Canadá. Handbook of aluminum alloys Canadá 1947 (Alcan technical books)
5. E. Bishop. Metallurgy of aluminum alloys London, Chpman and Hall 1967.
6. W. Trinks and. Industrial Frnaces New York, J. Wiley 1955.
7. V. Paschkis and John Persson. Industrial Electric Furnaces and Appliances second edition New York Interscience Publishers 1960.