

FABRICACION DE ACEROS ESPECIALES

POR

SANTIAGO ROIG

Definición y clasificación de los aceros especiales

Antes de explicar la fabricación de aceros especiales, tenemos que dar su definición, para poder seleccionar entre los procedimientos de fabricación, los más convenientes para ello.

Como aceros especiales, se conciben las aleaciones de hierro y acero que se separan por sus propiedades características, de los productos comerciales obtenidos en masa, en las grandes instalaciones siderúrgicas.

Las propiedades características de los aceros especiales, pueden ser debidas a estos tres conceptos: 1.º a su composición, 2.º a su procedimiento de fabricación y 3.º a su tratamiento mecánico o térmico ulterior. Es muy frecuente que estos tres conceptos se presenten simultáneamente en las propiedades características de un acero especial.

Los aceros especiales caracterizados por su composición, son las aleaciones del hierro con metales de alto valor, como cromo, níquel, tungsteno, vanadio, cobalto, etc. Los aceros más característicos de este tipo, son los aceros de corte rápido, con 18 % de

tungsteno y 4 % de cromo y diferentes proporciones de cobalto, vanadio, etc. Estos aceros especiales aleados, se caracterizan además de por su composición, por su modo de fabricación y por su tratamiento mecánico y térmico.

El segundo concepto sobre la clasificación de aceros especiales, es su caracterización por su procedimiento de fabricación. De todos es conocida, la influencia que ejerce el procedimiento de fabricación sobre las propiedades mecánicas de los aceros. Hace años se consideraban mejores los aceros fundidos en crisol, que los obtenidos por otros procedimientos. En la actualidad, se consideran mejores los aceros obtenidos en horno eléctrico, que el obtenido en horno Martín-Siemens básico o convertidor; esto es: fabricados dos aceros duros al carbono, de igual composición, el uno en horno eléctrico y el otro en horno Martín-Siemens básico de gran capacidad o en convertidor; el primero, si se fabrica con cuidado será un verdadero acero especial de propiedades muy superiores al segundo. Podemos dar como ejemplo, el acero de composición $C=0,7/0,9$ y $Mn=0,7/0,9$ sin ningún otro elemento especial, que obtenido en gran masa en convertidores ácidos o básicos u hornos Martín-Siemens de gran capacidad, sirven para la fabricación de carriles, o este mismo acero que fabricado en horno eléctrico o Martín-Siemens ácido especial, es de gran aplicación para herramientas, como estampas, hojas de sierra, herramientas de corte, limas, etc.

El tercer concepto de la clasificación, es el de los aceros caracterizados por su tratamiento térmico o mecánico ulterior, que son los aceros producidos por hornos Martín-Siemens e incluso convertidores y naturalmente también en hornos eléctricos y que por un tratamiento posterior adquieren propiedades especiales. Un ejemplo de estos tipos, son los aceros empleados en la fabricación de chapa destinada a embutición.

La fabricación de estos tipos de acero, en horno de gran capacidad, obliga a la conducción de la marcha del horno, con gran cuidado para obtener un acero limpio.

Calidad de los aceros

De esta breve clasificación de los aceros especiales resulta que el concepto de «acero especial» es extraordinariamente amplio y que no solo son especiales los aceros caracterizados por sus elementos de aleación, sino que hay que incluir, además, aceros al carbono sin elementos de aleación, destinados a fines especiales y que por su procedimiento de fabricación son idénticos a los aceros aleados puesto que hay que obtenerlos con los mismos cuidados y precauciones. Estos aceros al carbono son los que dan idea más clara de las diferencias que se obtienen en las características mecánicas por los distintos procedimientos de fabricación y nos obligan a estudiar, el por qué un acero, es de más calidad que otro.

Este concepto de calidad se determina por las características mecánicas o por las características químicas o por ambas. En general ninguna de las dos, ni las propiedades mecánicas ni las químicas dan una idea absoluta sobre la calidad del acero.

La calidad del acero engloba en sí otras condiciones suplementarias, 1.º Regularidad y homogeneidad y 2.º Eliminación en todo lo que se pueda, de defectos básicos o locales como, grietas, farras, copos, inclusiones, segregaciones, etc. De todos estos defectos, muchos afectan al trabajo posterior de forja a que se someterá el lingote y pueden evitarse con gran número de precauciones, en los calentamientos y enfriamientos, en los tratamientos térmicos, etc.; pero otros afectan directamente al procedimiento de fusión.

Inclusiones y segregaciones

Los defectos del acero que más afectan al procedimiento de fusión son las inclusiones no metálicas y las segregaciones. El obtener el menor número de inclusiones no metálicas y limitar la segregación dendrítica, es la idea que debe dominar sobre todas las

demás, al fundidor de aceros especiales, para obtenerlos limpios y homogéneos.

Las inclusiones, son partículas no metálicas, formadas de constituyentes oxidados, (óxidos, silicatos, aluminatos, sílico-aluminatos, cromita, etc.) o sulfurados (sulfuros, oxisulfuros) no solubles o poco solubles en los constituyentes del acero, y, por consiguiente, inertes a los tratamientos térmicos y que producen en los ensayos mecánicos, muy particularmente en los ensayos transversales, las fracturas leñosas con bajos alargamientos y extricciones pequeñas.

Las inclusiones en sí, provienen de dos elementos perjudiciales; el oxígeno y el azufre. El oxígeno proviene de la carga, de las adiciones para el afino (óxidos, mineral, etc.) o de la atmósfera del horno, muy particularmente cuando se emplea horno de gas. El azufre proviene principalmente de los materiales de carga y de los combustibles empleados, si el horno es de gas.

El análisis de estos elementos en el acero, se hace fácil e industrialmente para el azufre; no así para el oxígeno, pues aunque se analiza actualmente con seguridad, los procedimientos de análisis son costosos y delicados y requieren personal bien experimentado.

Las inclusiones que se encuentran en el acero, ya cuando está en estado líquido dentro del horno, o que se producen en la masa del baño metálico con la adición de elementos desoxidantes, se llaman inclusiones «endógenas» para diferenciarlas de las inclusiones «exógenas» sobre las cuales no tienen influencia los contenidos de azufre y oxígeno del acero y que son el resultado del aprisionamiento por el metal, al solidificarse, de partes de escoria, revestimientos de horno, revestimiento de canal y calderos de colada, etcétera. Estas últimas inclusiones no siempre pueden evitarse, pero se disminuyen grandemente, con limpieza en la fosa de colada y elección acertada, de los procedimientos para efectuarla.

El origen de las inclusiones endógenas formadas por el oxígeno, proviene de las combinaciones de este elemento, al adicionar desoxidantes (manganeso, silicio, aluminio), al acero que contiene

Fe O disuelto, obteniéndose Si O₂, Mn O y Al₂ O₃ y compuestos de ellos (silicatos y aluminatos), de alto punto de fusión. Estos compuestos que se forman en la masa del metal, forman como escorias dispersas en partículas finas y que tienden a ponerse en equilibrio con el baño metálico.

De parecido modo, las inclusiones producidas por el azufre, sulfuros de hierro y manganeso, muy particularmente estos últimos, por su alto punto de fusión, quedan dispersos en el baño metálico. Muchas de estas escorias en razón de su insolubilidad y por su menor densidad, tienden a eliminarse por decantación obedeciendo a la ley de Stokes.

En cuanto a la segregación que acompaña obligatoriamente a todos los lingotes de acerò, está caracterizada por una proporción mayor de elementos, en una parte que en otra del lingote, y debida a que al verificarse la solidificación, las primeras partes que solidifican son de diferente composición que las partes que quedan. Los elementos que más tendencia tienen a la segregación son el fósforo, el azufre y el manganeso y también en menor proporción el C. Esta segregación se llama primaria, y ya que no puede evitarse, se procura localizarla en determinados sitios del lingote por elección de tipos de lingote y de colada apropiados. Esta segregación localizada en las mazarotas se elimina por despuntes del lingote en la forja.

Junto a esta segregación mayor, se presenta la segregación dendrítica en la cual las inclusiones juegan un importantísimo papel y es debida a que en los lugares ricos en O. y P. se produce una separación de ferrita rodeándoles y dando lugar en la forja posterior a las estructuras de bandas conocidas por fantasmas o espectros.

Resumiendo; para evitar en lo posible las inclusiones y las segregaciones hay que buscar una eliminación en todo lo que se pueda de los elementos perjudiciales, oxígeno, fósforo y azufre.

Procedimientos de fabricación de aceros especiales

Vamos a pasar revista a los diferentes procedimientos de fabricación del acero para determinar, desde el punto de vista de la calidad del acero, cuáles son utilizables y cuáles no, para la fabricación de aceros especiales.

En los convertidores ácidos y básicos se hace el afino de la fundición líquida por una corriente de aire que la atraviesa, produciéndose la oxidación de diferentes componentes por reacciones exotérmicas que dan calor suficiente para mantener fluído el resultado final. Este resultado final estará muy oxidado; su desoxidación se realiza por adición de ferro-manganeso y ferro-silicio, que dan lugar a productos de desoxidación sólidos, siendo por lo tanto el acero obtenido muy impuro y rico en inclusiones no metálicas, por lo que el procedimiento no sirve para la fabricación de aceros especiales.

De los procedimientos de fabricación en horno Martín-Siemens, el horno básico tiene como ventaja la eliminación de bastante fósforo y algo del azufre. El afino del baño se realiza por adiciones oxidantes de mineral u óxidos y por los gases de combustión, por intermedio de una escoria bastante básica y oxidante. El proceso de desoxidación se realiza por adiciones de desoxidantes dando lugar también a inclusiones no metálicas. Si el proceso se lleva con gran cuidado, las inclusiones que se obtienen son pocas en comparación con el procedimiento de convertidores, pero suficientes para poder desechar el horno Martín-Siemens básico, para la fabricación de aceros especiales, que como los de Artillería, deben someterse a pruebas mecánicas transversales.

El horno Martín-Siemens ácido, ofrece, por el contrario, la ventaja de ser sus escorias mucho más desoxidantes y desgasificantes, llegándose a las adiciones finales con un baño calmado y casi desgasificado. Este horno se emplea mucho en la fabricación de grandes piezas de forja, para construcciones navales, piezas de Artillería, blindajes, aceros duros, etc.

El principal inconveniente de este horno, es como el de todos los procedimientos ácidos, la necesidad de emplear materiales de carga, lingotes de afinó y chatarra de acero, muy puros y bajos de fósforo y azufre, ya que el procedimiento no permite la defosforación y la desulfuración. Este inconveniente y los progresos realizados en la construcción de los hornos eléctricos, ha ido desplazando el procedimiento Martín-Siemens ácido, dejándolo casi únicamente para la fabricación de piezas de acero especial de mucho tonelaje.

Desde luego, se puede emplear con gran ventaja un procedimiento dúplex, fundiendo en un horno básico y desoxidando en horno ácido.

Nos queda como último procedimiento, la fusión en hornos eléctricos. Estos se dividen en hornos eléctricos de arco y hornos eléctricos de inducción, ambos básicos o ácidos.

De los hornos de arco el que más se emplea actualmente es el horno básico, por adaptarse perfectamente a la fabricación de todos los tipos de aceros especiales y poderse conseguir también en él la defosforación y desulfuración y evitarse con ello una selección excesiva de los materiales de carga.

Fabricación de aceros especiales en el horno eléctrico (básico)

La fusión de los aceros especiales en los hornos eléctricos, suele hacerse casi siempre, dado el alto valor del producto, con carga sólida, compuesta de chatarra, de acero y retal de acero especial, similar al tipo a fabricar.

El procedimiento se caracteriza por dos períodos químico-metalúrgicos perfectamente caracterizados; el primero de oxidación o de lavado, y el segundo de desoxidación o de afinó. El primer período, es análogo a la marcha de oxidación del horno Martín-Siemens, y el segundo es característico del horno eléctrico de arco, y actualmente es el procedimiento más completo de desoxidación y desulfuración del acero.

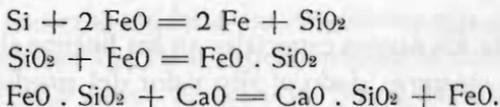
Primer período. Oxidación

El primer período de oxidación, tiene por objeto limpiar el acero de elementos desfavorables y muy principalmente el fósforo. Además del P, se separan el Si, C, Mn, Cr, W, Mo y Va, por combustión. Excepto el C, que da como resultado de su oxidación, productos gaseosos, las demás combinaciones del O, con los otros elementos, quedan en gran parte en la escoria o repartidos entre ella y el metal y serán eliminados de este último, en el segundo período de afino. Muchas veces, sería conveniente poder conservar en el baño de acero líquido, determinados elementos que convienen para el resultado final del acero a obtener, pero no es posible modificar las leyes físico-químicas de los procesos de oxidación para conservar el elemento que interesa.

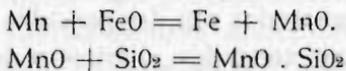
La oxidación se verifica en cuatro partes:

- 1.^a—Separación del Si.
- 2.^a— ídem del Mn, Cr, W y Mo.
- 3.^a— ídem del P.
- 4.^a—Combustión del C.

La primera reacción, o sea la combustión del Si, se verifica por la siguiente reacción:



La segunda:



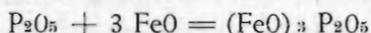
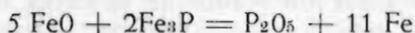
Así como la oxidación del Si es completa, no lo es tanto la del Mn. Es muy difícil rebajar el Mn del acero, por debajo de 0,15—0,20 %; para obtenerlo por debajo de estos límites hay que forzar mucho la oxidación y desde luego el C bajará también por debajo de 0,10 %; es decir, que según la ley de masas, junto a una

determinada concentración de Mn puede existir más FeO en el baño, que para la misma concentración de Si.

Los demás elementos, Cr, Va, Mo y W, se comportan de un modo parecido al Mn, quedando sus óxidos en gran parte en la escoria. La eliminación completa de estos elementos, es lenta, como la del Mn, y tanto más difícil cuanto más alta sea la concentración de óxidos en la escoria.

Para la separación del P son necesarias tres condiciones: Oxígeno en exceso, suficiente basicidad de la escoria y temperatura relativamente baja.

Las reacciones de separación del P son las siguientes:



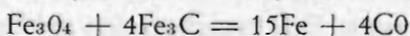
Si en la escoria hay un exceso de SiO_2 , el fosfato de calcio puede transformarse.

$(\text{CaO})_3 \text{ P}_2\text{O}_5 + 3 \text{ SiO}_2 = 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5$, obteniéndose una reducción del P, de la escoria al acero; sin poder conseguirse la defosforación, en escorias cuyo SiO_2 (procedente de la oxidación del silicio) no está saturado con cal.

Las reacciones de oxidación del Si, Mn y P se verifican con desprendimiento de calor: La reacción de oxidación del C, (es decir, la reducción del FeO con C) se verifica con una considerable absorción de calor, es decir, que a una temperatura baja 1.400° la oxidación del Si, Mn y P por este orden, procede, a la del C, y a temperaturas elevadas, la eliminación del P es simultánea con la del C.

En la mano del fundidor está el llevar la temperatura de la fusión de modo a obtener una defosforación lo más completa posible.

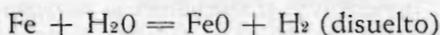
La combustión del C. se verificará por las reacciones:



Es muy difícil conseguir que estas reacciones sean completas y por lo tanto bajar el tanto por ciento de C a menos de 0'05.

Desulfuración.—La verdadera desulfuración se consigue en el período de afino, pero sin embargo, en este primer período es posible obtener una eliminación del S. El S, está en el acero líquido en forma de sulfuro de Mn insoluble en el baño, pero repartido en partículas muy pequeñas. La eliminación de estas partículas por diferencia de densidad es lenta, pero alguna se verifica durante este primer período.

Durante el primer período puede probablemente eliminarse una gran parte del H disuelto en el baño. El origen de este H puede suponerse de los óxidos hidratados de la carga, del mineral, o de la cal.



Este hidrógeno debe eliminarse probablemente por la formación de CO.

Sin embargo, lo más recomendable en la fabricación de aceros especiales, es huir de toda clase de chatarra, cal, mineral, etcétera, que haya estado expuesto a la humedad, ya que pueden dar lugar a gran cantidad de fracasos en los ensayos mecánicos.

Como resultado de este primer proceso de oxidación obtenemos escorias muy variadas, dependientes de cómo se haya efectuado el proceso de oxidación y de los elementos existente en la carga.

Como ejemplo podemos dar la siguiente composición:

$\frac{\text{SiO}_2}{14'5}$	$\frac{\text{CaO}}{43}$	$\frac{\text{FeO}}{18'5}$	$\frac{\text{MnO}}{8'5}$	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{2}$	$\frac{\text{MgO}}{12'5}$	$\frac{\text{P}_2\text{O}_5}{1}$
-----------------------------	-------------------------	---------------------------	--------------------------	-----------------------------------	---------------------------	----------------------------------

Segundo período. Afino

La primera escoria se saca del horno lo más completamente que se pueda y se deja el baño descubierto para proceder a la recarburación si es necesaria. Esta recarburación se efectúa por adi-

ción de carbón puro (corrientemente cok) sobre el baño. No siempre toma el baño el cok que se adiciona, dependiendo de la cantidad de oxígeno que lleve en sí; una parte del carbón arde; otra reacciona con los óxidos disueltos en el baño, principalmente el FeO , dando lugar a una fuerte ebullición que puede pararse (aunque no es conveniente) con una adición de ferro-silicio o ferromanganeso.

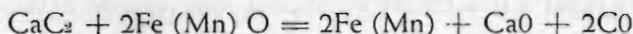
Terminada la recarburación hay que formar la segunda escoria desulfurante y desoxidante. Los componentes de esta escoria, son, cal viva, espato-fluor y cok en la proporción de 6-2-2. Antiguamente se formaba una escoria llamada escoria blanca con menor proporción de cok; esta escoria era bastante desoxidante por razón de su pequeña proporción de óxidos metálicos pesados y obligaba a los óxidos metálicos del baño a repartirse con ella. Esta escoria blanca, también es bastante desulfurante. La desulfuración se realiza según el siguiente proceso:



La capacidad de saturación de esta escoria en sulfuro de calcio parece ser que es entre un 4 ó 5 ‰, lo que corresponde a un tanto por ciento de azufre aproximadamente de 2 ‰. Si los componentes de la escoria son bajos en azufre, se puede obtener una desulfuración del baño bastante considerable, pero si como es frecuente, la cal y el espato-fluor contienen 0'5 ‰ de azufre y el cok un 1 ‰, puede alcanzarse el punto de saturación de la escoria en azufre y no obtener ninguna desulfuración apreciable. En la actualidad es mucho más frecuente, (siempre que el tipo de acero a fabricar lo permite, es decir, cuando no se fabrican aceros muy bajos en carbono), el empleo de la escoria de carburo, la cual es una escoria fuertemente básica, con más de 60 ‰ de cal y que contiene de 0'8 a 5 ‰ de carburo de calcio. Es una escoria completamente característica por su aspecto y además porque al introducir una muestra de escoria sacada del horno, en agua, se obtiene un fuerte olor a acetileno, de acuerdo con la reacción:



La escoria de carburo, es una de las escorias más reductoras que se emplean en la fabricación de aceros. Su reacción, es de la forma:



En el momento que tenemos esta escoria formada, tenemos los óxidos metálicos repartidos entre el baño metálico y la escoria; por reducción de los óxidos metálicos de la escoria por el carburo de calcio, se rebajará continuamente la proporción de éstos en ella, ya que el producto que se obtiene, es gaseoso (óxido de carbono) y se elimina, y la escoria tomará del baño metálico nueva cantidad de óxidos metálicos, reduciendo su proporción en el baño metálico.

Es importante hacer notar, que en la escoria de carburo es estable un 1 % de FeO y MnO, por lo tanto, la desoxidación sólo puede progresar hasta alcanzarse la proporción de FeO disuelto en el baño que esté en equilibrio con un 1 % de FeO en la escoria.

Para que la reducción sea continua, es preciso, naturalmente, hacer que la escoria sea siempre activa, para lo cual, será conveniente reducirla continuamente con frecuentes adiciones de cok, que van combinándose con la cal y produciendo nuevo carburo que reacciona con los óxidos metálicos. Debido a que la reducción se verifica en la superficie de contacto entre el baño metálico y la escoria, la difusión juega un importante papel en estas reacciones. Si pudiera darse a los baños metálicos de los hornos eléctricos de arco, un movimiento como el que tiene el acero en los hornos eléctricos de inducción, indudablemente se favorecería la velocidad de las reacciones, ya que con la agitación, el baño vendría en contacto sucesivamente con la escoria y la reacción sería más rápida que en un baño tranquilo. Al cabo de dos horas o dos horas y media, puede considerarse, que esta desoxidación por difusión, ha llegado a su estado de equilibrio y será preciso entonces, ter-

minar la desoxidación del baño por las últimas adiciones de desoxidantes; manganeso, silicio y aluminio.

La escoria de carburo, como antes hemos indicado, es el medio de desulfuración más eficaz que se conoce en los procedimientos de fabricación del acero.

La reacción de desulfuración es la siguiente:



Antes de efectuar las últimas adiciones desoxidantes, es el momento apropiado para efectuar el ajuste químico del acero y hacer la adición de los elementos de aleación necesarios para el acero especial que se trate de fabricar. Entre los elementos de aleación, el níquel, el cobalto y el cobre, son más difícilmente oxidables que el acero y por lo tanto es posible agregarlos en cualquier momento, sin que haya que temer una oxidación y pérdida de ellos. El manganeso puede adicionarse después de formada la escoria de carburo, aunque siempre será más conveniente dejarlo para el final de la operación. El cromo, tungsteno, vanadio y molibdeno deben adicionarse cuando la escoria y el acero están bastante desoxidados; es decir, cuando la escoria sea de carburo y las muestras de acero solidifiquen con poco desprendimiento de gases. Estos metales y sus aleaciones férricas, tienen un punto de fusión muy elevado y por lo tanto deben añadirse en proporciones pequeñas y en trozos pequeños, para evitar que se formen sobre la solera del horno, partes sin fundir. Después de la adición de estos elementos, puede hacerse un análisis de comprobación (sobre todo del carbono) y ajustar la temperatura del acero, según el tipo y tamaño de los lingotes que se deseen obtener. Una vez ajustada la composición química del baño y regulada la temperatura pueden hacerse las adiciones finales de silicio, manganeso y aluminio para hacer la última desoxidación. Estos elementos producen, si hay exceso de óxidos de hierro en el baño, óxido de manganeso, sílice y alúmina, y compuestos de ellos que son infusibles a la temperatura del baño y no solubles en él; por lo tanto,

son la fuente segura de inclusiones, si la desoxidación efectuada por la escoria no se ha llevado hasta conseguir el mínimo de FeO disuelto en el acero líquido.

Una vez desoxidado el baño completamente por las últimas adiciones, se puede efectuar la colada del horno y verter el acero líquido en un caldero para pasarlo a las lingoteras apropiadas. El tipo de lingoteras es muy variable y dependiente del tamaño de la pieza a fabricar y de la composición del acero. En general, en aceros especiales para construcciones de piezas de forja de gran tonelaje, se elige el tamaño del lingote, para que dé una reducción de forja comprendida entre $1/3$ y $1/5$. Para los aceros muy aleados como los de herramientas, la idea que preside la elección del lingote, es que la segregación sea mínima, por lo que en general se eligen lingotes de poco peso.

También como norma general en todos los aceros especiales, la forma de la lingotera se elige con la base mayor arriba y la mazarota que sea de material refractario, para localizar en la cabeza del lingote la segregación en V.

Este proceso que hemos explicado sobre el procedimiento de fabricación de aceros de horno básico, no siempre es el que se emplea en la fabricación de aceros especiales; este procedimiento, es el que empleamos corrientemente en aceros de construcción, con pocos elementos de aleación. Si los aceros a fabricar son aceros altamente aleados, como son, por ejemplo, los aceros rápidos, debemos variar el proceso. Para estas fabricaciones se dispone casi siempre de chatarra de acero altamente aleado procedente de despuntes de coladas anteriores o de herramientas ya gastadas. Como es natural, no es económico, a estas chatarras que tienen un gran valor, (debido al valor intrínseco de los metales que contienen), el someterlas a un proceso de oxidación completa, con lo cual, todos estos elementos serían desaprovechados. El procedimiento normal para fundir una colada de acero especial, será fundirla sin previa oxidación, siempre que se tenga garantía de que estos materiales son bajos en elementos perjudiciales, principal-

mente el fósforo. Por ejemplo, la práctica que nosotros empleamos para la fabricación de aceros rápidos de 18 ‰ de tungsteno y 14 ‰ de cromo, es fundir retales de acero de herramientas, en la proporción de un medio, con otro retal de acero al C. conocido (e incluso los elementos de aleación, con tungsteno, cromo y cobalto) en una sola carga en el horno, y se formará una primera escoria que será muy rica en óxidos metálicos de todas clases. Si esta escoria, la quitásemos del horno, para formar la segunda escoria desoxidante, perderíamos todos estos materiales sin ningún aprovechamiento y por esta razón nuestra práctica corriente consiste en desoxidar la primera escoria, con objeto de que todos estos elementos metálicos, que durante la fusión se oxidaron y pasaron a la escoria, vuelvan al baño y obtener una recuperación de los metales de alto valor.

Naturalmente que con estos elementos, pueden volver al baño el fósforo (que es perjudicial) y el manganeso; y esta es la razón por la cual tenemos que partir de chatarras perfectamente conocidas por su análisis y con las cuales se han de tener la seguridad de obtener el fósforo por bajo de los límites requeridos. Como ejemplo de una colada de acero rápido hecho en la fábrica de Trubia, con materiales procedentes de la propia fábrica, citamos la hoja adjunta de la colada número 5.822, efectuada en el horno eléctrico de 8 toneladas. Los materiales de carga eran 2.115 kilos de retales de acero rápido procedentes de despuntes de una colada anterior y trozos de herramientas procedentes de Fábricas Militares; como retal complementario de acero ordinario, se emplearon 2.500 kilos de acero conocido, con análisis bajo en fósforo y azufre. Trabajando a una sola escoria y después de efectuada la desoxidación de ella se obtuvo en el análisis final del acero una proporción de azufre de 8 milésimas y de fósforo trazas; es decir, que trabajando a una sola escoria, desoxidándola perfectamente y procurando que sea de alta basicidad, se pueden conseguir un excelente resultado y al mismo tiempo se economizan los elementos de

aleación que contiene el retal y que por razón de su valor o penuria, hay mucho interés en conservar.

Como desoxidantes en aceros especiales, se emplean ferro-silicio de 50 % de ley y ferro-manganeso de 80 % de ley. Sin embargo, hemos podido comprobar que el empleo de sílico-manganeso de 18 % Si y 70 % Mn, favorece la eliminación de los productos de la desoxidación. La causa de esto estriba ser que se forman silicatos de hierro y manganeso, relativamente fusibles y que tienden a agruparse por coagulación, favoreciéndose su eliminación por decantación e incorporándose a la escoria.

Uno de los pocos inconvenientes que tienen los hornos eléctricos es quizá, que para vaciar el horno hay que bascularlo, mezclándose en el caldero, la escoria y el acero. Es práctica corriente, en todos los talleres de aceros especiales, el esperar (con el acero líquido en el caldero de colada) un tiempo prudencia! (que depende mucho del tonelaje del horno) para dar lugar a las partes de escoria a separarse y subir a la superficie.

Después de esta espera, puede abrirse el tapón del caldero y hacer la colada en las lingoteras.

Mencionaremos también, para terminar, que en hornos ácidos eléctricos se pueden obtener magníficos aceros especiales; no existe para ello más dificultad que las primeras materias, pues como de todos es sabido, en ningún horno ácido es posible la eliminación del fósforo y el azufre. En cambio la desoxidación se consigue tan bien o mejor que en el horno eléctrico básico.

En la Fábrica de Trubia se empleaba tradicionalmente, la fusión en hornos ácidos para la obtención de aceros para Artillería, en los cuales tienen gran influencia las inclusiones no metálicas, debido a que los pliegos de condiciones son muy rigurosos en lo que respecta a las barretas de tracción y plegado transversales. Este procedimiento de fusión en horno ácido, daba un excelente resultado, cuando se disponía de chatarras apropiadas, pero cuando, como en momentos como los de la pasada guerra se carecía de ellos y la producción era extraordinariamente grande, se vió que

era un procedimiento casi imposible de mantener, de no disponer como hemos dicho anteriormente de retales procedentes de hornos básicos, en los cuales se hubiera hecho una previa desoxidación y desulfuración. Esto nos obligaba a emplear, como lo está haciendo hoy casi todo el mundo, el horno básico con un excelente resultado.

Como final, mencionaremos los hornos eléctricos de inducción en los cuales se obtiene aceros de homogeneidad extraordinaria y que son los más apropiados para la fabricación de aceros rápidos y extrarrápidos, y en general aceros muy aleados. Casi todos los que hoy se emplean, son en su mayoría, con revestimiento ácido y de capacidad relativamente pequeña, hasta 6 Tns.

En hornos de esta clase, y trabajando con materiales de carga muy seleccionados, se obtienen unos aceros de gran calidad por su homogeneidad.

Se acompañan las marchas de una colada de acero rápido de herramientas, ya mencionada en la conferencia y de otra de acero Cr-Ni-Mo. para material de Artillería.

Trubia, 10 de septiembre de 1942.

HORNO ELECTRICO DE OCHO TONELADAS

	Horas	Indicaciones del contador	C. %	Mn. %		Horas
Se puso corriente para calentar el horno ..			0,31	0,41	Se tomó 1. ^a prueba	6,45
Terminó			0,19	0,42	Id. 2. ^a Id.	8,50
Empezó la carga						
Terminó						
Se puso corriente	4	20272900				
Fundió	6,45	20277500				
Se sacó escoria	8,30					
Se coló.	10,15	20280400				
			Consumo 7.500 KW.			

CARGA	PESO	Materiales de escoria	PESO
Retal de planchas Jaime I. Cr-Ni	5.500	1. ^a ESCORIA	
Id. de Fábrica	3.000	Caliza.	300
		Cal	100
		Espato fluor.	50
Lingote de Suecia.	100	Mineral	
		2. ^a ESCORIA	
Ferro-manganeso del %		Cal	200
Ferro-silíceo del %	44	Espato fluor	45
Ferro-cromo del %		Cok	50
Sílico-manganeso.	18		
Ferro-molibnedo	63	Consumo de electrodos	
		Dolomía gastada en la reparación	300
Níquel		Magnesita	
Aluminio		Alquitrán	

OBSERVACIONES

Los resultados de esta colada en una pieza forjada para Artillería son los siguientes:

BARRETAS TRANSVERSALES

Nota.—Se vió hervir el baño a las 6,45

Acero a obtener T. 16

C=0,30—0,4% Mn=0,50—0,60%

Si=0,15—0,30% Cr=0,7—1%

Ni=2,5—3,00% Mo=0,3—0,5%

P < 0,03 S < 0,03

Diámetro mm.	Sección en mm ²	Distan entre trazos mm.	Marcas	Límite elástico por mm.	Resistencia por mm. ²	Alargamiento por 100	Estricciones por 100	Fractura
13,8	149,57	50	C	113,8	122,3	13,0	31,7	B
»	»	»	»	113,8	122,0	12,0	31,7	B
»	»	»	B	115,0	123,8	13,0	31,7	B
»	»	»	»	115,0	122,8	14,2	36,4	B

Se obtuvieron 2 lingotes de 3.000 Kgs. para especial Cr—Ni—Mo. T. 16

» 1 » 2.500 »

y piezas moldeadas con un peso total de

Análisis de la colada: C.=0,38% Mn.=0,59% Si.=0,19% Ni.=2,75% Cr.=0,70% S.=0,012% P.=0,024% Mo=0,4%

HORNO ELECTRICO DE OCHO TONELADAS

	Horas	Indicaciones del contador		C. %	Mn. %		Horas
Se puso corriente para calentar el horno						Se tomó 1. ^a prueba.....	
Terminó						Id. 2. ^a Id.	
Empezó la carga.....							
Terminó							
Se puso corriente	13	23440600					
Fundió.....	16,15	23444600					
Se sacó escoria							
Se coló.	18,25	23446300					
			Consumo				
			5.700 KW.				

CARGA	PESO	Materiales de escoria	PESO
Retal de herramientas W-18.....	623	1. ^a ESCORIA	
Id. Colada 5.136	1.492	Caliza.....	100
Id. lavado colada 4.912	2.500	Cal.....	150
.....		Espato fluor.....	40
Lingote de		Mineral.....	
Lingote sueco básico, bajo en Ph y S.... ley=4 ^o /o..	70	Cok	40
.....		2. ^a ESCORIA	
Ferro-manganeso del Metal ley 99 ^o /o	10	Cal	
Ferro-silíceo del 50 ^o /o C=0,50	34	Espato fluor.....	
Ferro-cromo del 63 ^o /o sin C.	160	Cok.....	
Ferro-vanadio ley 47 ^o /o C=0,10	122	
Ferro-tungstenoley 83 ^o /o C=0,30.....	773	Consumo de electrodos.....	
.....		Dolomía gastada en la reparación.....	
Níquel.....		Magnesita.....	
Aluminio.....		Alquitrán	

OBSERVACIONES

Acero a obtener: Th.—W—18.

SE OBTUVIERON

C=0,6—0,7 Mn < 0,5

13 bloks de 300 Kgs. = 3.900 Kgs.

Si < 0,3 Cr=3—4^o/o W=15—18^o/o

1 id. 200 » 200 »

Va=1—1,5^o/o P < 0,02

2 id. 600 » 1.200 »

S < 0,02

Total..... 5.300 Kgs.

Se obtuvieron 16 lingotes de 5.300 Kgs. para Ac. Rápido Th—W—18
y piezas moldeadas con un peso total de

Análisis de la colada: C.=0,64^o/o Mn.=0,53^o/o Si.=0,30^o/o Ni.=»^o/o Cr.=3,53^o/o S.=0,008^o/o P.=Trazas
W=15,90 Va=1,07 Co=0,32