ANALES

DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Sucesor

De la: "SOCIEDAD DE INGENIERIA" Fundada el 31 de Mayo de 1888

Y del: "INSTITUTO DE INGENIEROS" Fundado el 28 de Octubre de 1888

Con Personalidad Jurídica desde el 28 de Diciembre de 1900

Adherido a la USAI y a la CONFERENCIA MUNDIAL DE LA ENERGIA

AÑO LIX ✻ SEPTIEMBRE - OCTUBRE DE 1946 ✻ N.os 9-10

Comisión Editora: Hernán del Río A. (Pdte.), Severo Vidal, Jorge von Bennewitz, César Barros, Raúl Sáez, Carlos Radrigán, Sergio Merino.

Ing. L. B. Roseau

Estado actual de la industria manufacturera de hornos en los Estados Unidos

Conferencia dictada en el Instituto de Ingenieros de Chile el 2 de Septiembre último

Es nuestro propósito darles una información acerca del estado actual de la industria manufacturera de hornos en los Estados Unidos.

La guerra que acaba de terminar ha permitido el desarrollo de muchas aplicaciones, y se podría decir que, sin ese desarrollo, muchos nuevos productos que jugaron un papel importante en la guerra, no podrían haber sido producidos, o por lo menos hubieran sido de calidad inferior y su producción alcanzaría cantidades menores.

Una gran cantidad de hornos han sido usados. Describirlos todos en el corto tiempo que tenemos a nuestra disposición es imposible. Con el permiso de ustedes, mencionaré algunos de los que han tenido mayor importancia en los últimos años, describiendo con mayor detalle un tipo particular.

Los hornos industriales son usados principalmente para calentar metales. Los metales se calientan generalmente con tres finalidades distintas:

1) Fusión.
2) Forja y laminación.
3) Tratamiento térmico.

En el campo de la fusión, durante la guerra, la aplicación más importante en gran escala es el horno eléctrico, tanto a arco como a inducción a alta frecuencia. Una parte importante del acero hecho en los Estados Unidos actualmente está hecho en el horno eléctrico. Para los aceros de calidad especial, casi todo el acero producido es en el horno eléctrico. Dentro de los aceros producidos en hornos eléctricos, el de mejor calidad está producido en el horno a inducción a alta frecuencia.

Dentro de la forja y laminación el progreso se ha hecho, en su mayor parte, en el perfeccionamiento de los hornos a fuel oil y a gas, particularmente el horno rotativo, de los cuales se ha hecho una gran cantidad.

Aquí encontramos nuevamente que el horno a inducción a alta frecuencia juega un gran papel. Una gran parte de las granadas y bombas forjadas en los Estados Unidos durante la guerra, fueron hechas mediante los hornos a inducción a alta frecuencia.

En el campo de los tratamientos térmicos, la expansión fué enorme. Las cantidades producidas durante la guerra igualaron la producción de 15 años de trabajo normal. Todos los tipos de hornos fueron mejorados y desempeñaron diversas funciones.

Hornos de atmósfera controlada fueron usados para una gran variedad de propósitos. Por ejemplo, la soldadura con interposición metálica se aplica extensivamente. Algunos productos no podrían ser hechos sin aplicar este procedimiento. La bomba incendiaria, producida en los últimos años de la guerra, fué el producto de hornos de tipo contínuo para soldar con interposición metálica.

Análogamente, la fabricación de cartuchos de acero requiere hornos de atmósfera controlada. Necesitaría más tiempo del que tengo a mi disposición para describir este aspecto sólo del desarrollo industrial.

Hornos a inducción a alta frecuencia fueron usados en gran escala, para tratamientos térmicos. Muchas balas para penetrar armaduras y la mayoría de los cigüeñales grandes fueron tratados térmicamente en hornos a inducción.

Hasta cierto grado, lo que hemos dicho es aplicable para todos los tipos de hornos. Entre ellos hay uno al cual queremos referirnos especialmente, puesto que tiene características más notables que cualquiera de los otros, y es a la vez uno de los más nuevos y menos conocidos disponibles, a los cuales puede acudir el industrial que se ocupa de tratamientos térmicos. Este horno, al cual queremos referirnos especialmente, es el horno con baño de sal. Aunque modelos primitivos fueron usados antes, el horno con baño de sal moderno fué recién puesto en uso en 1936.

Durante los primeros 10 años de su existencia, la Ajax Electric Company solamente instaló más de 100,000 Kw en hornos con baños de sal; más que cualquier otro tipo en los primeros días de su existencia comercial.

Antes de hablar del horno con baño de sal en sí mismo, quisiera referirme al baño de sal sobre el cual hay generalmente ideas poco claras. Desde el punto de vista metalúrgico, un baño de sal es únicamente un medio para llevar los objetos a la temperatura deseada. Es un compuesto químico, o bien una mezcla de compuestos químicos. Un baño de sal ideal sería uno que tuviese un punto de fusión de 100°C y un punto de ebullición de 1400°C. Nunca deberá emitir humos ni ser corrosivo, y al mismo tiempo deberá ser muy barato.

Siento mucho tener que decir que un baño de sal que reúna todas estas características ideales no existe.

Sin embargo, se pueden obtener baños de sal enteramente satisfactorios, que han sido desarrollados mediante ensayos prácticos.

Originalmente, todos los productos químicos con el punto de fusión y de ebullición deseados fueron ensayados y se compusieron muchas mezclas. Gradualmente la experiencia ha eliminado la mayoría de ellos y actualmente encontramos que un número relativamente pequeño de sales cubre todas las necesidades.

Calculamos, sin embargo, que aunque hoy se pueden obtener sales enteramente satisfactorias, ellas requieren una gran pureza y correcta composición para

poderlas utilizar. La palabra "sal" no designa siempre al cloruro de sodio. El cloruro de sodio solo no es una sal satisfactoria para ser usada en este tipo de hornos, y a pesar de que se usa extensamente, se le añade siempre otros componentes.

Los baños de sal se pusieron en uso muchos años atrás, y ha llegado poco a poco a constituir en los últimos años el medio preferido para ejecutar tratamientos térmicos. Eso se debe a que el baño de sal presenta ciertas ventajas extraordinarias que lo han impuesto.

Antes de estudiar el equipo usado con estos baños de sal y los diversos procesos en los cuales se usa, dedicaremos unos pocos minutos a pasar revista a las ventajas del baño de sal. La primera es la protección automática que ofrece a la superficie del objeto. Cuando un cuerpo metálico es calentado en un baño de sal, está generalmente rodeado por completo por la sal fundida, excluyendo en esta forma por completo todo contacto con el aire. Así se evita toda oxidacion y los efectos usuales que esto produce. Nótese también que cuando se saca el objeto de la sal para enfriarlo, éste aun queda rodeado de una fina capa de sal y en esa forma queda protegido del contacto con el aire.

Este resultado es el que se trataba de conseguir con los hornos de atmósfera controlada, y se obtiene en forma automática sin ningún dispositivo especial adicional, sin ningún trabajo especial del operador y sin ningún gasto adicional para el horno eléctrico con baño de sal. La segunda característica fundamental es la forma en que el objeto en sí mismo es calentado, completamente rodeado por un material flúido y denso, de calor específico relativamente alto. No hay interrupción ninguna en el pasaje de calor a cualquier parte de los objetos introducidos en el baño. La superficie de los mismos es por ello calentada uniformemente y los objetos absorben calor en la proporción en que éste se presenta por conducción a través de la masa de las sales. No tiene ningún efecto sobre la velocidad de calentamiento el hecho de que la superficie del objeto sea brillante u opaca. Con ésto se logra una velocidad de calentamiento muy superior a la del horno a radiación o con llama directa.

Las experiencias llevadas a cabo demuestran que para el acero, el tiempo del calentamiento en los hornos con baño de sal es una cuarta parte del requerido en los hornos con atmósfera gaseosa, y esto es independiente de la temperatura del horno, o sea, que el horno con baño de sal puede producir para un volumen dado, cuatro veces más que el horno a radiación.

En tercer lugar, una pieza calentada en un baño de sal tiene un peso aparente menor que si se calienta en una atmósfera gaseosa. El peso específico de las sales fundidas varía de 1,9 a 2,5; por ello el empuje hacia arriba del baño de sal disminuye el peso de la pieza aproximadamente en un 30% para acero y un 50% para aluminio. Al decrecer el peso aparente de la pieza, se disminuye su tendencia a la distorsión o cambio de forma. Naturalmente, la obtención de materiales sin distorsión es el ideal hacia el cual todos los metalúrgicos tienden, y esta característica es, por consiguiente, de gran importancia.

Una cuarta característica es la densidad del baño de sal, la que, a pesar de ser mayor que la del agua, es siempre menor que la de cualquiera de los metales tratados.

Por consiguiente, las piezas se hundirán por sí solas en el baño de sal, sin necesidad de mantenerlas forzadamente.

La quinta y última característica que mencionaré, es que la uniformidad de temperatura en un baño de sal es excelente. Es realmente difícil crear una variedad de temperaturas distintas en el mismo baño de sal. Todas las partes del mismo

tienden a adquirir la misma temperatura, y por ello no tiene importancia el punto del baño en el cual se introduce la pieza para ser tratada.

Estas características, obviamente tienen un real valor comercial, son inherentes a todos los baños de sal y siempre existirán en los mismos. Se podría preguntar por qué no se han usado dichos baños en forma intensiva en la industria hasta estos últimos años. La respuesta es que el horno conveniente para presentar todas estas ventajas no ha sido desarrollado hasta hace poco tiempo.

Examinemos, entonces, el desarrollo del horno mismo hasta llegar a su actual perfeccionamiento.

El primer horno con baño de sal consistía en un recipiente metálico exteriormente y conteniendo la sal fundida. Muchas variaciones y tipos han sido construídos desde entonces. Todos ellos requerían un recipiente que no tuviese pérdidas y permitiese una satisfactoria transmisión de calor.

Una cuba de metal es el único recipiente que reunía estas dos cualidades. Para calentar el interior de la cuba hasta una cierta temperatura, en el exterior de la misma, debe agregarse otra temperatura mayor. Esto es uno de los mayores inconvenientes de la cuba metálica calentada exteriormente, puesto que en ella es difícil controlar exactamente la temperatura, y la vida de la cuba resulta corta.

Básicamente resulta entonces que una cuba metálica calentada exteriormente es antieconómica. Asimismo, no es posible tener cubas de gran tamaño debido al peso de la sal contenida en las mismas. Las condiciones de trabajo son muy desagradables y existe una seria posibilidad de incendio en caso de aparecer pérdidas en la cuba.

Sin embargo, hay muchos hornos de este tipo aun en uso. Esto demuestra únicamente que las ventajas del baño de sal deben ser enormes para que, a pesar de los inconvenientes más arriba mencionados, se los haya seguido usando.

Hace unos 30 años, se construyó el primer horno eléctrico con baño de sal. Está basado sobre el hecho de que las sales fundidas permiten el paso de la electricidad en forma tal de asegurar una eficiente calefacción.

El diseño original utilizaba dos o más eléctrodos planos, colocados en forma opuesta dentro de la cuba. La corriente fluía entre los eléctrodos y atravesaba todo el volumen del baño. Esta era la causa de una cantidad de dificultades. El metal es un conductor eléctrico mucho mejor que la sal, y las piezas colocadas entre los eléctrodos se convierten en una parte del circuito, y por ello se sobrecalientan, y en muchos casos llegan hasta a destruirse debido al sobrecalentamiento.

También afecta apreciablemente el consumo de energía. Aunque un número considerable de este tipo de hornos está todavía en uso, los defectos indicados impidieron su mayor difusión. Todas estas dificultades son evitadas generando el calor en una porción del baño de sal separada de la parte en la cual se sumerge el objeto a tratarse.

Esto se consigue haciendo pasar la corriente por grupos de dos o más eléctrodos no colocados con una gran separación entre ellos, sino muy próximos uno del otro y simultáneamente sacando la sal del espacio que queda entre los eléctrodos en una forma automática y poderosa. Nótese que los eléctrodos están colocados en un lado del horno y que la sal se mueve hacia abajo en el espacio entre los eléctrodos Esto es lo opuesto a lo que normalmente ocurre y es el resultado de la aplicación efectiva en los hornos con baño de sal del mismo efecto que se aplica en los motores eléctricos. Se forma realmente una poderosa bomba de gran capacidad que impulsa la sal sin ningún aparato móvil.

Es bien conocido que cada conductor de corriente colocado en un campo magnético tiende a moverse en ángulo recto con respecto a las líneas de fuerza del campo.

La dirección del movimiento que resulta en este caso es hacia abajo. La inversión de la dirección de la corriente no invierte la dirección del movimiento de la sal, que siempre sigue impulsada hacia abajo. Este diseño de horno permite una infinita flexibilidad en sus aplicaciones, puesto que se puede utilizar tantos pares de eléctrodos como sea necesario para cada aplicación particular. Así se han construído hornos de hasta 8 metros de largo, más de 2 metros de profundidad y casi 3 metros de ancho. El circuito eléctrico es simple. Nótese que siempre se requiere un transformador. Esto es porque las características de la sal requieren voltajes entre los eléctrodos de 8 a 16 volts. También se tiene que usar únicamente corriente alterna, porque la corriente continua produciría una descomposición electrolítica de la sal. El hecho de que todo el calor se desarrolla internamente, simplifica las condiciones que debe cumplir la cuba. En efecto, ella tiene ahora una sola función: *contener la sal.* Por eso, cualquier material que sea capaz de contener la sal y al mismo tiempo no sea químicamente atacado por ella, puede ser usado. Es así que la cuba de material cerámico resulta práctica, y su desarrollo ha afectado enormente el campo de aplicaciones del baño de sal. Las piezas están preformadas y están todas machihembradas.

Cientos de instalaciones durante muchos años dieron una vida media para cubas de material cerámico, desde 2 años trabajando a 1300°C, hasta 5 años o más trabajando a temperaturas menores. Siempre que sea posible, por consiguiente, los baños de sal deben ser usados con cubas de material cerámico. Sin embargo, hay aplicaciones en las cuales se prefiere cubas metálicas.

El rendimiento del horno con baño de sal depende principalmente de la reducción de las pérdidas a través de la superficie del baño; por eso deben ser generalmente equipados con una tapa bien aislada, que se pueda maniobrar fácilmente. La tapa debe ser mantenida cubriendo la sal lo más que sea posible.

El método de controlar la temperatura es el mismo para un horno con baño de sal que para cualquier otro horno. Generalmente se usa una termocupla con un tubo protector para temperaturas por debajo de los 1100°C y una combinación con los tipos usuales de instrumentos controladores. Por encima de los 1 100°C son preferibles los pirómetros a radiación, por su gran exactitud y menor costo de mantenimiento. Nótese especialmente la extremada uniformidad, menos de 3°C en cualquier punto del baño.

El horno con baño de sal en el corto período de 10 años se ha convertido en el más indispensable elemento de trabajo para la industria metalúrgica.

Esto está confirmado por el hecho de que más de 2500 instalaciones del horno con eléctrodos próximos están en uso en la actualidad en todo el mundo.

Veamos cuáles son las ventajas que obtiene la industria con este tipo de hornos:

1) Larga vida y bajo costo de mantenimiento.
2) Gran capacidad de producción.
3) Completa protección de la superficie de los objetos tratados.
4) Extrema exactitud y uniformidad de temperaturas.
5) La distorsión de los objetos queda reducida a un mínimo.
6) No se requiere mano de obra especializada.

Hemos descrito los principios y características generales del horno en sí. Dedicaremos el resto del tiempo a una rápida revista de las aplicaciones en las cuales ha sido empleado, ilustrándolos con unas pocas fotografías de instalaciones realizadas.

En primer término nos ocuparemos de la cianuración. El término es generalmente usado para indicar la operación en la cual una capa delgada pero muy dura es aplicada al acero, generalmente para obtener superficies resistentes al desgaste. Esto se obtiene por la acción del cianuro de sodio. El proceso químico de la cianuración no es particularmente importante. Generalmente la concentración de cianuro en la sal oscila entre un 20% y 30%, y la capa endurecida que se obtiene no es nunca mayor de un cuarto de milímetro en espesor. El grado de penetración depende de la temperatura. Nótese que las curvas tienden asintóticamente a un límite constante después de una hora de tiempo. Por eso no es económico prolongar este tratamiento más allá de una hora. Generalmente su duración es desde menos de 5 minutos hasta 30 minutos.

La capa endurecida de la superficie del objeto es extremadamente dura debido a la adición de carbono y a una apreciable cantidad de nitrógeno. La capa es resistente siempre a la lima, y si se templa en agua, adquiere un aspecto moteado que se reconoce fácilmente. El endurecimiento con cianuración es aplicado no solamente a aceros con un bajo contenido en carbono, en los cuales se requiere un endurecimiento superficial barato, sino también en aceros de aleación en los cuales, además de obtenerse elevadas propiedades en el núcleo, se desea un adicional endurecimiento superficial. Por ejemplo: la gran mayoría de transmisiones para automóvil y engranajes diferenciales son endurecidos mediante cianuración. El horno en sí mismo está siempre equipado con una cuba metálica, puesto que el cianuro no permite el uso de una cuba de material cerámico, debido a la formación de carbonato de sodio que atacaría el material cerámico.

Un proceso similar a la cianuración es la carburación en baño de sal. También en este caso el elemento activo es cianuro de sodio, al cual se añade uno o más cloruros alcalinos que actúan como agentes catalíticos, aumentando enormemente la presión de penetración del carbón. El proceso químico es completamente diferente de la cianuración, con un contenido óptimo de cianuro que rara vez excede el 10% para los tipos de sal activada. Esta operación requiere una tapa sobre la sal que impida el contacto del baño con el aire. Esta tapa afortudadamente está producida automáticamente por la descomposición del cianuro que forma una gruesa y viscosa capa carbonosa sobre la superficie, cuyo espesor alcanza a menudo a 6 u 8 centímetros.

La profundidad de penetración en el acero que puede ser económicamente obtenida, generalmente no excede a los 3 milímetros, y se aplica cuando es necesario una capa de acero con alto contenido de carbono con espesor variable entre ½ a 3 mm.

Nótese particularmente la gran mejora en velocidad de penetración al aumentarse la temperatura. El horno eléctrico con eléctrodos permite un trabajo económico a 950°C, y por consiguiente, cortos ciclos de trabajo. Análogamente, con carburización líquida, la presión de penetración del carbón es tan uniforme en todo el baño que el objeto a ser tratado puede ser cargado de cualquier manera sin afectar la uniformidad de penetración.

Así pequeños objetos pueden ser cargados promiscuamente en un canasto, y las piezas pueden tocarse entre sí sin que esto modifique la capa carburizada en lo que se refiere a su espesor. Desde el punto de vista del usuario, esto tiene gran valor puesto que permite una gran producción en un horno menor que el que se requeriría si las piezas no tuvieran que tocarse.

Otra importante ventaja del horno de carburización es que permite fácilmente el trabajo simultáneo sobre distintas piezas en las cuales se desea distintos

grados de penetración con sólo variar el tiempo de permanencia de la pieza en el baño. Es así que se pueden producir simultáneamente piezas con un ciclo de trabajo de 2, 4 y 6 horas.

La capa producida es esencialmente una capa de acero al carbono, excepto en su parte exterior aproximadamente 0.1 a 0.15 mm. que contiene una cantidad apreciable de nitrógeno. Esta nitrogenación atenuada es valiosa porque permite una capa exterior sumamente dura y resistente al desgaste.

Se suministran hornos para carburizar con cubas de acero que pueden ser hechas en casi cualquier medida. Si se desea, pueden ser mecanizados.

En lo que concierne al número y tamaño de las instalaciones, los hornos usados para endurecimiento neutral constituyen la gran mayoría. Se llama endurecimiento neutral un calentamiento del acero sin ningún cambio en la composición química o carácter de la pieza. En otras palabras, no habrá carburización, descarburización u oxidación. El único propósito del horno es calentar.

El horno para endurecimiento neutral está provisto de una cuba de material cerámico. Se construye de cualquier tamaño y para cualquier producción. Se han instalado hornos para 1200 KW con dimensiones del baño de 6½ metros de largo, cerca de 3 mts. de ancho y más de 2 mts. de profundidad. Varios de estos hornos están mecanizados y pueden ser usados desde 600 a 1300°C.— Generalmente pueden ser usados para el tratamiento térmico de toda clase de aceros al carbón, herramientas de acero, incluyendo acero rápido, acero inoxidable, aceros templables al aire, etc.

Hemos mencionado un poco antes los aceros rápidos. Aunque éste es un tipo de endurecimiento neutral, es de tal importancia e interés que merece ser discutido aparte. El acero rápido es un acero muy caro. Una herramienta de acero rápido, lista para ser endurecida, representa con frecuencia muchas horas de trabajo de precisión y puede valer miles de pesos. Su resultado como herramienta depende de su tratamiento térmico. De ahí que el tratamiento térmico que dé el mejor resultado debe ser a la vez el más económico.

Esta es la razón por la cual hoy la gran mayoría de las herramientas de acero rápido son sometidas a tratamiento térmico en hornos con baño de sal.

Como hemos visto, la uniformidad de temperatura y exactitud de control en un baño de sal no es igualado por ningún otro tipo de horno.

Además, los baños de sal son definitivamente superiores a cualquier otro tipo en lo que respecta a la protección contra descarburización, oxidación y eliminación de distorsiones.

El tratamiento de las herramientas de acero rápido es más bien complejo, y generalmente requiere un cierto número de hornos. El número de hornos requerido es función de la cantidad de piezas a ser tratadas, y de los resultados que se quiera obtener. Generalmente, se necesitan los siguientes hornos:

1) Para precalentar.
2) Para alta temperatura.
3) Para enfriar.
4) Para recocer.

El horno para recocer no tiene que ser necesariamente un horno con baño de sal. El horno para enfriar es a veces reemplazado por un enfriamiento al aire o un enfriamiento al aceite, aunque los resultados no son tan buenos como usando un horno para enfriar.

El precalentamiento es casi siempre necesario, a menos que las piezas a ser tratadas tengan una sección muy pequeña. Hornos a fuel oil u hornos eléctricos a resistencia pueden ser usados, pero únicamente a expensas de cierta decarburización y considerable oxidación. El horno para alta temperatura es, por supuesto, el corazón de la instalación y debe ser siempre controlado automáticamente. La práctica moderna usa pirómetros de radiación, y en muchos casos controladores automáticos de alimentación de combustible o de corriente. Es de uso común mantener la temperatura del horno durante su uso, aproximadamente constante con una variación total no mayor de más o menos 2½°C.

Prácticamente, todas las herramientas de acero rápido de cualquier calidad producidas en gran escala en los Estados Unidos se tratan térmicamente en hornos con baños de sal.

La aplicación que ha crecido más en los Estados Unidos durante los últimos tres años, es la del endurecimiento isotérmico. Este tema no puede ser explicado en pocos minutos, si su teoría y aplicaciones se quieren desarrollar en detalle. Básicamente consiste en un enfriamiento detenido, es decir, enfriar en un medio ambiente que está a elevada temperatura sin que por eso deje de servir como extractor de calor con un considerable poder de enfriamiento. El baño de sal es casi el único material práctico que combina las características requeridas para ese medio ambiente.

En el proceso de enfriamiento la pieza es generalmente enfriada rápidamente desde la temperatura de endurecimiento sumergiéndola en agua o aceite. Naturalmente, la superficie de este objeto se enfriará más rápidamente que su centro.

Nótese que la temperatura de la superficie de la pieza enfriada en agua está por debajo del punto en el cual la transformación ha terminado antes de que el centro haya alcanzado la temperatura en la cual la transformación comienza. Esto provoca la formación de una costra de martensita en el exterior de la pieza, mientras que el centro es todavía austenita. La martensita es una forma de acero de alta dureza, pero muy poca ductibilidad, con un mayor volumen específico que la austenita.

Es así que cuando la parte central de la pieza comienza a transformarse en martensita tiende a dilatarse dentro de una costra rígida de martensita. Esto produce con frecuencia tensiones mayores que la resistencia de la martensita, lo cual causa fisuras. De cualquier forma, distorsiones se presentan casi siempre.

El enfriamiento de la pieza en aceite reduce la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de la pieza, y así disminuye la posibilidad de fisuras y distorsiones. En el enfriamiento al aire, la diferencia de temperatura arriba mencionada desaparece casi enteramente, pero la velocidad de enfriamiento generalmente no es suficiente para obtener un endurecimiento de la pieza tratada. El enfriamiento isotérmico es un procedimiento por el cual la velocidad de enfriamiento necesaria para que se produzca el endurecimiento se consigue sin tener grandes diferencias de temperaturas en todo el espesor de la pieza hasta el punto en que la transformación comienza.

El enfriamiento isotérmico se logra mediante un baño de sal provisto de una violenta agitación que extrae rápidamente el calor del cuerpo, pero, como el baño está mantenido a una temperatura superior al punto en que la transformación comienza, el acero alcanza esa temperatura de un modo uniforme, tanto en su interior como en su exterior, antes de que la transformación comience.

El tipo de horno requerido es llamado horno para enfriar. Nótese en primer lugar el dispositivo para agitación, que es esencial si se quiere obtener una sufi-

ciente velocidad de enfriamiento. El agitador consiste en una hélice movida con motor ajustable en su posición que remueve violentamente el baño de sal.

El horno tiene también medios de enfriamiento automático consistentes en un ventilador movido a motor colocado en la parte posterior, que hace circular aire frío alrededor de la cuba. Existe un espacio entre la aislación y la cuba para permitir el pasaje de la corriente de aire. Además la cuba está provista de aletas radiantes que aumentan su superficie de enfriamiento, y por lo tanto, la velocidad del mismo. Naturalmente la sal debe ser en primer lugar calentada; por ese motivo están colocados los eléctrodos. El control automático existente suministra calor mientras la temperatura está por debajo de la deseada, y una corriente de aire para enfriar cuando la temperatura del horno excede el punto fijado. Se consigue fácilmente un control de temperatura de más o menos 2°C. sobre el punto fijado. Generalmente, una instalación de enfriamiento isotérmico requiere dos o más hornos. Se necesita un horno para alta temperatura con el fin de que el acero alcance la estructura austenítica; un horno para enfriar y con frecuencia un horno para templar. Nótense los tanques para lavar y enjuagar los objetos con el fin de completar el tratamiento.

La gran ventaja del endurecimiento isotérmico es la posibilidad de desarrollar las cualidades deseadas sin que prácticamente se produzca distorsión alguna. Las piezas pueden, por eso, ser terminadas en su mecanización trabajando acero blando. Se pueden conseguir substanciales economías con la eliminación de trabajo de mecanización después del endurecimiento. También es eliminado el enderezamiento de piezas torcidas, etc.

En muchos casos se consigue mayor dureza y ductibilidad y total eliminación de tensiones internas. Durante la guerra, un gran número de armamentos no hubiera podido ser producido en cantidad suficiente si este tratamiento no se hubiera desarrollado. Actualmente es adoptado con rapidez para propósitos industriales.

Existen ahora varios cientos de instalaciones en uso, desde pequeños hornos similares a los que hemos visto, hasta instalaciones que suman más de 1.000 KW y en las cuales se hace el tratamiento térmico de objetos tan voluminosos como parachoques de automóviles.

El tratamiento puede ser aplicado para aceros fáciles de templar y también para aceros que han sido previamente carburizados en su superficie. El horno con baño de sal tiene también una variedad de aplicaciones adicionales. La soldadura con interposición metálica puede ser realizada con ventaja en este tipo de horno. En muchos casos, el horno con baño de sales es el equipo más económico para este tipo de soldadura. El mecanismo en la parte superior se usa para bajar o levantar las piezas, sumergirlas y sacarlas de la sal, puesto que únicamente una pequeña porción de la pieza tiene que ser calentada para la soldadura.

El recocido es otra operación que puede ser hecha económicamente en estos hornos, como asimismo se usan para recocer alambre con bajo porcentaje de carbono y metales no ferrosos. Durante la guerra en la elaboración de cartuchos para artillería se han usado muchos hornos con baño de sal para un recocido diferencial de los extremos abiertos de los cartuchos.

Nótese el mecanismo giratorio automático que permite controlar exactamente el tiempo de recocido y la profundidad de la inmersión.

Una aplicación reciente será también muy interesante. Es un proceso de desoxidación que permite secar el óxido de la superficie de un acero, reduciéndolo químicamente, eliminándose así la necesidad de ácidos fuertes y muy corrosivos.

Este es uno de los más interesantes desarrollos que, para algunos tipos de aceros, ha permitido extraordinarias economías.

Con esto se concluye la presentación esquemática de los principios básicos del moderno horno con baño de sal y de algunas de sus muchas e interesantes aplicaciones. Desgraciadamente el tiempo no permite una mayor discusión de muchas de ellas. Esperamos que una porción de dudas impulsarán a ustedes a plantear preguntas, que trataremos de contestar.

Muy agradecidos por su atención.

L. B. R.