

Boratos en usos metalúrgicos

1. Introducción

La metalúrgica tiene usos substanciales de boratos. Los usos incluyen:

- Producción y refinamiento de acero
- Producción y refinamiento de metales no ferrosos
- Manufactura de aleaciones
- Refinamiento de metales preciosos
- Soldaduras fuertes/soldaduras/fundentes
- Manufactura de joyas
- Metales amorfos
- Imanes especiales
- Tensados de alambre y tubos
- Cromado
- Industria minera

Estos están presentados a continuación:

2. Producción y refinamiento de acero

Agente fundente: El borato es un posible reemplazante del fluoruro natural (flourita) en el proceso de manufactura de acero. Las razones principales de los substitutos de fluoruro natural son (1) el grado de fluoruro natural en la metalúrgica es cada día más escaso; y (2) las leyes de contaminación del flúor son cada día más estrictas. Por éstas razones varias empresas Europeas y Japonesas están utilizando boratos en el proceso básico de oxígeno para la manufactura de acero.

Desoxidante: En la producción de acero, los boratos se utilizan normalmente como un fundente protector para prevenir oxidación de aire en la superficie del acero fundido y en los lingotes formados durante el enfriamiento y solidificación. El acero fundido se vierte dentro de moldes para formar los lingotes. A medida que el acero fundido se enfría, el lingote se contrae dejando normalmente en el centro una cavidad cóncava. Esta cavidad se oxidará, y se formará óxido si se deja expuesta a la atmósfera.

Por consecuencia, el óxido formará imperfecciones en la plancha de acero durante la operación del enrollado. *Dehybor*® bórax anhidro puede agregarse al acero fundido donde se derretirá y elevará a la

superficie. Por eso, a medida que el acero se enfría, *Dehybor* protege la superficie contra una oxidación.

Refinamiento de acero: Es más aún, los boratos actúan como fundentes durante el derretimiento, unidos con óxidos metálicos a una temperatura relativamente baja para traerlos a la superficie del derrite como una escoria que puede ser trasegada o eliminada. La eliminación de contaminantes de óxidos metálicos es esencial para la calidad de acero producido.

Mejoramiento de las propiedades del acero: El boro puede considerarse como un elemento único en aleaciones de aceros puesto que ofrece una mayor versatilidad, resultando en grandes mejoramientos de las propiedades y procesos en concentraciones de aproximadamente 0.003% de peso. El boro no se puede agregar al acero en forma de borato puesto que se elevará hacia la superficie como un fundente. Las aleaciones tales como el ferroboro (10-25% B), manganeso y boro (15-20% B) níquel y boro (15-18% B) son producidas por medio de la reducción de óxido bórico o ácido bórico en la presencia del metal de aleación.

Las ventajas del boro en relación con las propiedades del acero son formación, dureza, docilidad de flujo en flejes y grados de ingeniería, resistencia a corrosión, practicabilidad de un trabajo caliente y absorción de neutrones.

Quebrantadura de nitrógeno: En el porcentaje estequiométrico de B/N (% de peso) de 0.8, se agrega boro a las planchas de acero para remover el nitrógeno de las soluciones sólidas y para reducir los problemas asociados con temperaturas altas en operaciones de enfriamiento. La adición de boro también reduce la susceptibilidad de quebrantaduras en las planchas de acero en trabajos fríos. El efecto se relaciona con la segregación de átomos de boro en el grano, cancelando los efectos de quebrantadura en los átomos fosfóricos.

Endurecimiento: El boro tiene una influencia significativa en el endurecimiento de aleaciones bajas de aceros metalúrgicos, 0.003% boro soluble produciendo un aumento equivalente a un 0.5% en los

Boratos en usos metalúrgicos

componentes tales como manganeso, cromo y molibdeno. No obstante, el uso de boro como un agente endurecedor está generalmente limitado a aceros que contienen menos de 0.4% C.

Ductilidad de flujo: Las adiciones de aproximadamente 0.005% B producen un aumento grande en la ductilidad de flujo de 1 Mo-0.75 V en cerrajes para turbinas de acero. El efecto está asociado con una acción estabilizante de boro en V_4C_3 , se precipita cerca de las regiones del grano haciendo los carburos más resistentes a una disolución y retrazando la formación en zonas descubiertas.

Practicabilidad de un trabajo caliente: La adición de boro es beneficiosa tanto para la practicabilidad de un trabajo caliente como para la ruptura de ductilidad de acero inoxidable austenítico. El efecto ha sido teorizado para que ocurra cuando las vacantes son atrapadas por los átomos de boro modificando el flujo de vacantes en el grano.

Absorción de neutrones: En las industrias de energía nuclear y reprocesamiento de combustibles, el acero inoxidable que contiene hasta 1% B está encontrando ahora usos como materiales absorbentes de neutrones en almacenamientos y embarcaciones de transporte. A este nivel, la mayoría del boro está presente como una fase eutéctica de $(FeCr)_2B$, la cual causa quebrantadura, pero el acero puede ser enrollado satisfactoriamente en planchas y tiene una soldabilidad adecuada.

3. Refinamiento de metales no ferrosos

Disolviendo las impurezas metálicas de óxido: Esto trata con el refinamiento de metales, tales como cobre, bronce, plomo, cinc, abstraídos de los residuos o los restos de escoria de una operación principal de fundición. Es necesario remover todos los óxidos e impurezas externas para fabricar un producto tan puro como un metal principal. Los boratos actúan como fundentes durante el derretimiento, unidos con óxidos metálicos a una temperatura relativamente baja para traerlos a la superficie del derriete como una escoria que puede ser trasegada o eliminada. Estos otros óxidos metálicos son entonces considerados contaminantes.

Capa fundente para prevenir oxidación: Durante el derretimiento, los boratos protegerán el metal de la oxidación atmosférica del horno. Los boratos que están cerca de la parte inferior del horno se derretirán último y flotarán hacia la superficie del metal fundido disolviendo óxidos, sílica (arena) y otras impurezas no metálicas. Si el metal se debe refinar en esta capa del proceso, se debe introducir un aditivo especial o aleación fundente bajo la capa del borato. La escoria compuesta de borato puede ser normalmente trasegada del metal antes de verterlo. Si la escoria es de poca consistencia, se puede espesar agregando una pequeña cantidad de arena.

Las mayores ventajas de los boratos como capas fundentes son:

- Facilidad y seguridad de manejo
- No combustibilidad con una tendencia mínima a humear
- Acción solvente alta en óxidos metálicos y en la presencia de materiales silíceos
- Formación de una escoria de alto fluído con solamente un ataque leve en los refractarios
- Facilidad de espesar la escoria, si es necesario, y trasegar

La purificación se realiza agregando los boratos en el horno, colocando los restos o escoria arriba y prendiendo el fuego. Normalmente la superficie está también cubierta con boratos que proporcionan una capa de fundición para prevenir la oxidación durante el calentamiento. El borato de abajo se derrite y se eleva por medio de la fundición y/o metal parcialmente fundido disolviendo los óxidos e impurezas exteriores y los trae a la superficie formando una escoria. Esta operación se aplica a hornos tipo cúpula mientras que en hornos reverberantes el borato cambia dentro del horno directamente con los restos.

Operación de fundición: En fundiciones de restos no ferrosos, se recomienda *Dehybor* bórax anhidro. Se prefieren compuestos anhidros para prevenir hinchazón e intumescencia (con posibles explosiones de vapor) lo cual ocurre cuando los boratos hidratados son calentados vigorosamente. Los boratos anhidros forman una fundición líquida excelente en la mayoría de bronce, cobres y aleaciones similares, y también actúan como limpiadores para disolver y quitar óxidos, suciedad y arena que frecuentemente contamina el resto del metal no ferroso.

Boratos en usos metalúrgicos



Mientras que naturalmente las cantidades variarán de cierta manera con los tipos de hornos y calidad de metal a fundir, desde 0.006 % a 0.01 % de peso generalmente purificará el metal y servirá como una capa. Se debe utilizar suficiente *Dehybor* bórax anhidro para formar una capa de aproximadamente 0.25" de espesor. Casi la mitad de los boratos deben ser distribuidos sobre la parte inferior del horno antes de cargar el metal. El resto debe agregarse uniformemente sobre el metal. Los siguientes son algunos ejemplos de metal refinado:

Níquel: Los minerales de níquel normalmente contienen grandes cantidades de hierro, sulfuro de cobre, sulfuro de níquel, y sulfuro de sodio y cantidades variadas de metales preciosos. El mineral es fundido y luego colocado en un convertidor básico para remover el hierro. El resto de la materia es luego refundida y la mayor parte del sulfuro de cobre y sulfuro de sodio forman una capa superior mientras que el sulfuro de níquel aún contaminado con algo de hierro, metales preciosos, y sulfuro de cobre se mantiene en el nivel inferior. Las dos capas son separadas y la capa contaminada de sulfuro de níquel se desarrolla a ánodos impuros. Estos ánodos son luego colocados en una célula electrolítica que contiene casi una solución neutral de sulfuro de níquel. Cuando una corriente eléctrica pasa por medio del electrolito, el ánodo impuro se disuelve lentamente y el níquel puro se deposita sobre el cátodo. Las células son construídas especialmente para mantener los cátodos fuera de cualquier contaminador y los contaminadores son recuperados del electrolito impuro.

La condición neutral mencionada anteriormente se mantiene con la adición de un borato y otros químicos para controlar el pH. Los boratos utilizados para controlar el pH incluyen el ácido bórico *Optibor*®, ácido bórico anhidro, y *Dehybor* bórax anhidro.

Aluminio: Los boratos pueden ser usados en el proceso de preparación del mineral bauxita a aluminio. Ácido fluobórico (HBF_4) de bajo grado, producido de ácido fluorhídrico y ácido bórico u óxido bórico, se utiliza en la fabricación de criolita (Na_3AlF_6) para la producción electrolítica de aluminio. El proceso Alcoa Alzak de una pulición electrolítica de aluminio también requiere ácido fluorhídrico. Los fluoboratos de

amonio también pueden utilizarse como fundentes para la reducción de aluminio. El boro es un refinador de grano y un agente endurecedor para el aluminio. Puede ser agregado al derrite en el crisol en una aleación principal de aluminio con boro preparada con KBF_4 o directamente como ácido bórico anhidro en hornos eléctricos donde la alúmina y B_2O_3 están reducidas a aluminio y B elemental. La presencia de boro en latas de aluminio puede mejorar la apariencia y reducir roturas en los enrollados de planchas finas. Se utiliza una pequeña cantidad de borato en la preparación de catalizadores de alúmina activada.

El cianuro se forma por el resultado de la reacción entre el carbono, sodio y nitrógeno en el revestimiento interior de las células Hall-Heroult durante la producción de aluminio. Esto se ha clasificado como un desperdicio dañino dentro de una caldera sin energía. Los atentos de contener la formación de cianuro por células selladoras para evitar la penetración de aire ha traído a lo sumo un suceso parcial. Del otro lado, agregando un contrarrestante adecuado a la caldera muestra considerables ventajas. En los ensayos de laboratorio, se encontró que el óxido bórico contiene casi completamente la formación de cianuro en condiciones que por lo general favorecen la reacción del sodio, carbono y nitrógeno en la formación de cianuro de sodio. Los niveles resultantes de cianuro en la caldera fueron reducidos a un nivel tan bajo como unos pocos ppm.

4. Refinamiento de metales preciosos

La industria refinadora de oro y plata y los ensayos de laboratorios utilizan vidrio bórax o *Dehybor* bórax anhidro como parte de sus formulaciones del fundente. Los otros ingredientes en la formulación del fundente variarán dependiendo del blancarte ácido, básico o reducido asociado con el mineral. La razón principal para usar una formulación de borato es que está fácilmente asociado con los contaminantes de óxido metálico a una temperatura suficientemente baja que minimiza la pérdida del metal precioso y proporciona un gran rendimiento a la maquinaria de fundición.

Boratos en usos metalúrgicos

5. Soldaduras fuertes/soldaduras/fundentes

Prácticamente toda pasta seca para fundir soldaduras contiene boratos. La función de un fundente en soldaduras o soldaduras fuertes es disolver todos los óxidos en el punto de ligación y dejar una superficie limpia en la junta. Los boratos utilizados por la industria son ácido bórico *Optibor*, *Dehybor* bórax anhidro, boratos con potasio y en algunos casos especiales fluoboratos de potasio. Varias empresas están ahora fabricando varillas para soldaduras donde el fundente está unido a la varilla por medio de una materia adherente. Estas empresas compran *Dehybor* bórax anhidro y ácido bórico *Optibor*.

El fundente ideal para estos usos realiza varias funciones: (a) cubre la superficie del metal excluyendo de esa manera aire y evitando la oxidación del metal; (b) actúa como un solvente que disuelve el óxido metálico alrededor del área a ligar; (c) actúa como un detergente, limpiando y descartando óxidos, grasas y otras sustancias disueltas.

Existen numerosas formulaciones de fundentes tales como:

- Fundentes en soldaduras fuertes (para bronce, cobre, monel, acero inoxidable): Fluoruro de potasio (35%), bórax (10%), ácido bórico (45%) y agua (10%)
- Soldaduras de aleaciones con cromo niquelado: Fluoruro de calcio (13%), hidrato de calcio (14%), ácido bórico (35%) y silicato de sodio (38%)
- Soldaduras de aleaciones con cromo niquelado: Ácido bórico (38%), bórax (3.8%), silicio de fluoruro de potasio (50%), ácido de fluoruro de potasio (10%) y agua (23.2%)

6. Manufactura de joyas

Los boratos son esenciales para la manufactura de joyas. Es muy difícil juntar dos alambres de oro o plata sin una soldadura que contiene borato. Utilizando una soldadura compuesta de mitad bórax y mitad plata en polvo, se puede producir en segundos una junta sin costura. El alambre de oro reacciona exactamente de la misma manera. Como la mayoría de los metales, cuando la plata se calienta en aire, forma una capa delgada de óxido en la superficie. Esta capa

actúa como una protección en la fundición del metal lo cual es el objetivo del proceso de la soldadura. Se necesita un fundente metalúrgico para superar este problema. Bórax reacciona como un fundente derritiéndose debajo del punto de fusión de la plata en una etapa de sal líquida fundida, y bañando la superficie de la plata con una capa delgada que tiene una viscosidad y tensión de superficie baja. Este borato de sodio líquido tanto ayuda a proteger la superficie de una oxidación, como también a disolver todo óxido de plata que se forma, porque el bórax fundido es un solvente excelente para óxidos metálicos. Con la capa protectora eliminada, las superficies limpias del metal se derriten juntas fácilmente para formar una junta soldada.

La soldadura consiste de un proceso de dos etapas: primero se sumerge todo el objeto en una solución de bórax fuerte; luego se polvorea el área a ligar con la mezcla de soldadura (la cual incluye pequeñas cantidades de cobre como así también bórax y plata). En las etapas anteriores, se suelda individualmente cada elemento del diseño de la joya y más tarde, a medida que el objeto adquiere su propia rigidez, se pueden hacer varias soldaduras al mismo tiempo.

7. Otros usos metalúrgicos (no fundentes)

7.1 Metales amorfos

Se emplean transformadores en el sistema de distribución de electricidad para convertir rejillas de voltajes altos a voltajes más bajos requeridos por el consumidor. Durante la conversión, toman lugar considerables pérdidas de energía en transformadores que contienen núcleos blandos magnéticos convencionales (no permanentes). La pérdida también representa una pérdida significativa de combustible en la generación de electricidad.

Una reducción substancial (70 a 85%) en la cantidad de energía perdida puede obtenerse por medio del uso de núcleos magnéticos blandos producidos por aleaciones de metal amorfo. Estas típicamente contienen de 13 a 16% de boro. Las aleaciones se producen por un enfriamiento tan rápido del derriete, que los átomos tienen suficiente tiempo para formar una configuración cristalina, y la presencia de boro asegura la calidad de amorfo requerido. El compuesto de boro es incorporado como un ferroboro.

Boratos en usos metalúrgicos



La extinción ultra rápida de las aleaciones de hierro-boro-silicona produce metales amorfos que tienen una estructura tipo vidrio y unas propiedades magnéticas suaves excelentes. Son utilizados, en forma de espiral, como núcleos de transformadores y dando lugar a una eficiencia mayor reduciendo la pérdida de energía.

7.2 Imanes especiales

El polvo magnético permanente en la aleación especial de hierro, compuesta de hierro, boro y un elemento de imán especial ha llamado la atención por ser un material magnético que exhibe propiedades magnéticas excepcionales y, desde entonces, se está desarrollando como un imán en polvo para imanes ligados.

Se ha dedicado mucho interés tecnológico a las aleaciones especiales de hierro (ej.: 26.7% Nd - 72.3% Fe - 1% B) por sus propiedades magnéticas prometedoras en usos de imanes permanentes atribuidos a la fase magnética de $Nd_2Fe_{14}B$. Los imanes comerciales permanentes de éstas aleaciones con estructura anisotrópica alineada, exhiben un potencial alto en productos de energía. Dichos niveles de energía son mucho más altos que aquellos demostrados por las aleaciones Sm-Co previamente consideradas como propiedades magnéticas excepcionales. Las aleaciones especiales de hierro son también beneficiosas sobre las aleaciones de Sm-Co porque las especiales y Fe son mucho más abundantes y económicas que Sm-Co. Por lo tanto, los imanes especiales permanentes de hierro y boro se utilizan en una gran cantidad de usos incluyendo, pero no limitados a, parlantes de alto sonido, motores eléctricos, generadores, medidores, instrumentos científicos, y otros.

Actualmente se utilizan dos procedimientos diferentes para producir imanes permanentes isotrópicos de aleaciones especiales de hierro y boro. Un procedimiento incluye solidificar rápidamente la aleación de Nd-Fe-B hilando el derrite para producir un material casi amorfo de una hebra fina encintas, fraccionando mecánicamente la cinta para formar partículas de escamas, y luego presionar con calor al vacío las escamas en una cavidad moldeada que endurece el material. El segundo procedimiento incluye un fraccionamiento mecánico de un lingote frío fundido y la consolidación de un "polvo metalúrgico" del polvo fino fraccionado resultante de la aleación en donde el polvo es prensado y sinterizado usando un líquido aglutinado y recocado por un

período largo de tiempo para endurecerlo. Los imanes permanentes de alta ejecución a base de aleaciones de hierro y neodimio, necesitan boro para prevenir la separación de los dos componentes principales.

7.3 Tensados de alambre/tubos

La manufactura de tubos de acero o acero inoxidable se realiza tomando un lingote sólido del metal y calentándolo a una temperatura alta. El lingote caliente es luego perforado en el centro con una varilla para formar un agujero. *Dehybor* bórax anhidro o una mezcla de 3 partes de bórax anhidro y 1 parte de carbón inactivo son luego colocados dentro de la abertura y el lingote pasa sobre un mandril de expansión (soldadura arrollada o taponada). Debido a un punto de fusión relativamente bajo del bórax anhidro, se derrite rápidamente cuando atraviesa en frente del mandril de expansión formando una capa lubricante pegajosa. Cantidades adicionales de bórax anhidro o de mezcla se agregan a medida que pasa sobre el mandril de expansión. La cantidad varía de acuerdo a la longitud y diámetro de la tubería a fabricar.

La fabricación de alambre se realiza estirando la varilla de acero a travéz de una serie de matrices con aberturas cada vez más pequeñas hasta que se obtiene el diámetro deseado. Para proteger las matrices y la superficie del alambre, se aplica un lubricante, generalmente un jabón antes de penetrar dentro de la matriz. Los lubricantes tienen la tendencia a no pegarse a la superficie de la varilla de acero y es por lo tanto necesario aplicar un portador de lubricante antes de su extrusión.

Bórax actúa como dicho portador de lubricante y antes de la extrusión protegerá la varilla contra oxidación durante el almacenaje. A continuación se indica el método acostumbrado para aplicar el portador de lubricante: (1) Limpiar la varilla de toda oxidación sumergiéndola en un tanque con ácido clorhídrico o ácido nítrico; (2) Remover el residuo de ácido por medio de un lavado de agua; (3) Remover grasa y suciedad sumergiéndola en un tanque de baño caliente con detergente; (4) Enjuagar con agua; (5) Sumergir en una solución de bórax compuesta de bórax decahidratado; (6) Permitir que la varilla se seque y/o colocar en el área de almacenamiento o enviar directamente al molde de extrusión.

Boratos en usos metalúrgicos

7.4 Cromado

Cuando se aplica un baño de Wats en la gasvanoplastia de níquel, la corriente transcurre por un electrolito compuesto de sulfato de níquel, Cloruro de níquel y ácido bórico. Las sales de níquel se disuelven a níquel, y el componente ácido correspondiente y el níquel se depositan en el cátodo que es el material a cromar. Un electrolito típico para cromar níquel es: (1) Sulfato de níquel: 300 gramos/litro; (2) Cloruro de níquel: 60 gramos/litro; y (3) Ácido bórico: 38 gramos/litro. El sulfato de níquel proporciona la porción más grande de níquel para ser depositada. El cloruro mejora la reacción del ánodo, permite un depósito mayor y ayuda a formar depósitos suaves de una calidad excelente. Ácido bórico *Optibor* se usa para controlar el pH, actúa como un contrarrestante durante la electrólisis, evitando que los depósitos de níquel no se endurezcan, resquebrajen y piquen. Se pueden usar otras sustancias, pero se prefiere el ácido bórico por ser estable y fácil de obtener en una forma relativamente pura y económica.

Los otros tipos de baños usados son de cloruro y fluoborato de níquel. Las sales de níquel utilizadas para producir el electrolito son diferentes, pero en cada caso el ácido bórico se usa como el contrarrestante preferido.

Los usos principales del ácido fluobórico son las soluciones cromadas (incluyendo gasvanoplastia de los circuitos) y el uso intermediario en la fabricación de sales fluobóricas. El uso principal para antimonio, cadmio, cobalto, cobre, indio, hierro, plomo, níquel, plata, estaño y fluoborato de cinc se encuentra en soluciones cromadas, incluyendo gasvanoplastia en tableros de circuitos. También se consumen pequeñas cantidades como catalizadores. El fluoborato de cinc se usa también en la industria textil como un agente curador cuando se aplican resinas para terminaciones resistentes a arrugas.

7.5 Industria minera

Los explosivos de petróleo con nitrato de amonio (AN-FO) son inestables en ciertas regiones donde el sulfuro mineral se encuentra en minas de cobre. La oxidación natural causa lo que normalmente se llama "Punto de Energía", lo cual causa que estos explosivos sean inestables y reaccionen. El "Punto de Energía" puede ser controlado rociando los hornillos con soluciones de borato de amonio.

Boratos en usos metalúrgicos

Acerca de U.S. Borax

U.S. Borax, parte de Rio Tinto, es líder global en el suministro y ciencia de los boratos, minerales que contienen boro y otros elementos que se forman naturalmente. Somos un equipo de 1000 personas con más de 1700 unidades en todo el mundo sirviendo a más de 500 clientes. Suplimos el 30 % de la demanda mundial de boratos refinados desde nuestra mina e instalaciones de refinamiento y proceso de alta tecnología ubicados en Boron, California, aproximadamente 160 kilómetros al noreste de Los Ángeles. Marcamos el rumbo con respecto a los elementos de la vida moderna, entre otros:

- **Minerales que marcan la diferencia:** Calidad consistente del producto garantizada por la certificación ISO 9001:2015 de los sistemas integrados de control de calidad
- **Personas que marcan la diferencia:** Expertos en la composición química de los boratos, soporte técnico y servicio al cliente
- **Soluciones que marcan la diferencia:** Ubicación estratégica del inventario y contratos a largo plazo con transportistas para garantizar la confiabilidad del suministro

Acerca de los productos 20 Mule Team®

Los boratos *20 Mule Team* se producen a partir de minerales naturales y tienen una excelente reputación por su seguridad cuando se usan según las instrucciones pertinentes. Los boratos son nutrientes esenciales para las plantas e ingredientes fundamentales en productos de fibra de vidrio, vidrio y cerámica, en detergentes, fertilizantes, productos para proteger la madera, productos ignífugos y artículos de aseo personal.



Las recomendaciones incluidas en este boletín están basadas en datos que se consideran válidos. El fabricante no tendrá ninguna responsabilidad del uso de nuestros productos por lo tanto no proporcionará ninguna garantía, tanto expresa como explícita en cuanto a los resultados obtenidos si no se usa de acuerdo con las especificaciones o prácticas de seguridad. Ni tampoco se ofrecerá ninguna garantía para un propósito específico que se extienda más allá de los usos descritos en este boletín. Además, nada de esto se prestará como un permiso o recomendación para utilizar una invención patentada sin la autorización del concesionario.