

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica



BRONCES AL MANGANESO

TESIS

**Para optar el Título Profesional de
INGENIERO METALURGICO**

ALFREDO CERONI GALLOSO

Lima - Perú

1996

Con todo cariño para mi
padre Livio, mi madre
Mery y mi hermano
Mario.

También a mi esposa
Margarita y a mi hija
Daysi.

AGRADECIMIENTO

La Tesis fue realizada gracias al importante apoyo recibido por el director de Escuela de Ingeniería Metalúrgica Ing. Julio Uza, a los Asesores Ing. Rigoberto Sandoval y Alberto Landauro, por sus intervenciones, recomendaciones y aportes desinteresados, recibidos durante la preparación del trabajo.

También a los señores Profesores, los cuales realizan la formación profesional en los años de estudio en la Universidad Nacional de Ingeniería. Al Ing. John Cuya e Ing. Efraín Castillo por el estímulo recibido, también a los trabajadores Sr. Aníbal y Alejandro Rosas por su colaboración en el laboratorio.

INDICE

CAPITULO I :

GENERALIDADES

1

1.1 Exposición de motivos

..1

1.2 Resumen

..2

CAPITULO II :

MATERIA PRIMA

4

2.1 Cobre

..5

2.2 Zinc

..6

2.3 Aluminio

..7

2.4 Ferromanganeso

..8

2.5 Fundentes

..8

CAPITULO III:

FUNDICION DEL BRONCE AL MANGANESO

9

3.1 Especificaciones

..10

3.2 Hornos de fusión

..12

3.3 Moldeo

..20

3.4 Almas

..21

3.5 Practica de fusión

..21

3.5.1 Horno de crisol

..25

3.5.2 Hornos de reverbero

..26

3.5.3 Hornos Eléctricos de Inducción

..27

| | | |
|-------|---|------|
| 3.6 | Fundentes de las aleaciones de cobre | ..28 |
| 3.6.1 | Tipos de fundentes | ..29 |
| 3.6.2 | Uso de Fundentes | ..33 |
| 3.7 | Desoxidación de las aleaciones de cobre | ..34 |
| 3.8 | Refinadores de grano | ..42 |

CAPITULO IV:

DISEÑO DE RISER Y SISTEMA DE ALIMENTACION

45

| | | |
|-------|---|------|
| 4.1 | Solidificación del Bronce al Manganeso | ..45 |
| 4.1.1 | Modo de solidificación | ..46 |
| 4.1.2 | Efecto de la solidificación sobre la porosidad de contracción | ..50 |
| 4.1.3 | Velocidad de solificación | ..52 |
| 4.1.4 | Solidificación direccional | ..55 |
| 4.1.5 | Segregación | ..57 |
| 4.2 | Diseño de Riser | ..57 |
| 4.2.1 | Método del factor de forma (NRL) | ..64 |
| 4.2.2 | Método de modulo | ..64 |
| 4.2.3 | Método de CFR | ..73 |
| 4.3 | Diseño de sistema de alimentación | ..74 |
| 4.3.1 | Area de choque | ..85 |
| 4.3.2 | Velocidad del vaciado | ..88 |
| 4.3.3 | Canales de colada y entradas | ..94 |

CAPITULO V:

| | |
|--|------------|
| METALURGIA DEL BRONCE AL MANGANESO | 104 |
| 5.1 Constitución de la aleación | ..104 |
| 5.2 Diagramas de equilibrio | ..105 |
| 5.2.1 Diagramas binarios | ..105 |
| 5.2.2 Diagramas ternarios | ..110 |
| 5.3 Zinc equivalente | ..113 |
| 5.4 Metalurgia de los bronce al manganeso | ..118 |
| 5.5 Efecto de elementos aleantes e impurezas | ..123 |
| 5.6 Metalografía | ..127 |
| 5.6.1 Análisis macroscópico | ..127 |
| 5.6.2 Análisis microscópico | ..135 |

CAPITULO VI :

| | |
|--|------------|
| TRATAMIENTO TERMICO | 145 |
| 6.1 Alivio de Tensiones | ..145 |
| 6.2 Efecto del tratamiento térmico sobre la proporción de la fase α y β | ..148 |
| 6.3 Posible endurecimiento por precipitación | ..149 |
| 6.4 Relación de volúmenes de fases conteniendo una fase frágil a la fase binaria cobre zinc del diagrama | ..149 |
| 6.5 Efecto del calentamiento sobre la cantidad de los componentes de hierro - zinc | ..150 |
| 6.6 Efecto de tratamiento térmico | ..151 |
| 6.6.1 Aleaciones conteniendo plomo | ..152 |
| 6.6.2 Aleaciones con alto aluminio | ..156 |
| 6.6.3 Aleaciones conteniendo estaño | ..162 |

CAPITULO VII :

| | |
|---|------------|
| PROPIEDADES MECANICAS | 167 |
| 7.1 Propiedades físicas generales | ..180 |
| 7.2 Propiedades a temperaturas elevadas | ..180 |

CAPITULO VIII:

| | |
|----------------------------------|------------|
| APLICACIONES INDUSTRIALES | 183 |
|----------------------------------|------------|

CAPITULO IX :

| | |
|---------------------|------------|
| CONCLUSIONES | 186 |
|---------------------|------------|

CAPITULO X :

| | |
|---------------------|------------|
| BIBLIOGRAFIA | 190 |
|---------------------|------------|

CAPITULO I:

GENERALIDADES

1.1 EXPOSICIÓN DE MOTIVOS

De las diversas aleaciones de base cobre, los llamados "Bronces al Manganeso" son poco conocidas en el País por los fundidores y son pocas las fundiciones que se dedican a producir piezas fundidas de este tipo de aleaciones, teniendo dificultades en su fabricación. Ello, me indujo a desarrollar el presente tema y contribuir de alguna manera a la difusión de sus propiedades de fundición y de ingeniería, así como aportar los conocimientos teóricos y prácticos, necesarios para obtener piezas de alta calidad con excelentes propiedades de ingeniería y un mínimo de rechazo.

Es muy importante, mejorar los conocimientos teóricos de los fundidores a través del estudio de ciertas aleaciones, debido a que mayormente las fundiciones tienen como responsables a personas que tienen años de experiencia trabajando; desconociendo la manera correcta de realizar una buena fundición, su finalidad es obtener una pieza aparentemente sana, sin tener en cuenta sus propiedades mecánicas, la composición química, el costo ni la calidad del producto.

La Universidad imparte los conocimientos teóricos

prácticos, a sus futuros profesionales, los que a su vez, son aplicados en las fundiciones dedicadas a la producción de piezas de óptima calidad. Ello conlleva un beneficio a las empresas realizando un correcto balance de materiales en su producción. Satisface la calidad deseada por su cliente, contribuyendo al prestigio de la empresa y al mejoramiento de la producción de fundición nacional.

1.2 RESUMEN

Los latones amarillos de alta resistencia también conocidas como "bronces al manganeso" son usadas para describir al grupo de aleaciones cobre-zinc. Los cuales contienen elementos endurecedores, tales como aluminio, fierro, manganeso. El manganeso tiene una determinación poco importante en las propiedades de esta aleación, en realidad la adición de aluminio es la más importante.

Estas aleaciones, tienen la más alta resistencia a la tracción en la condición de "bruto de colada", es decir, tal como se obtiene una vez fundida la pieza, sin ningún tratamiento posterior. También, entre sus características principales poseen buena resistencia a la corrosión y costo moderado.

Desde la preparación; esta aleación presenta dificultades propias de la fundición, debido a que forma una tenaz capa de óxido. De esta manera una técnica especial es necesaria para producir una fundición libre de inclusiones de óxido. La alimentación también es un problema y generalmente las secciones pesadas requieren risers voluminosos para compensar las cavidades debido a la contracción.

Estas aleaciones son muy sensibles a variaciones en la temperatura de colada y frecuentemente se requiere un control muy estricto para asegurar buenos resultados.

Los bronce al manganeso, están comprendidos principalmente por 4 aleaciones. Las aleaciones C86200 y C86300 contienen mayores cantidades de aluminio, fierro y manganeso como elementos aleantes, consecuentemente ellos son considerados más fuertes que las aleaciones C86400 y C86500 las cuales tienen menor cantidad de estos elementos pero mayor cantidad de zinc.

Los bronce al manganeso se emplean en válvulas, accesorios de tuberías, bombas de agua, carcazas e impulsores, pequeños engranajes, grifería de alta calidad, estatuas y placas. Estas aplicaciones son posibles debido a la resistencia a la corrosión, maquinabilidad, resistencia, propiedades antifricción, color y excelente colabilidad de la aleación.

Composición Nominal y Propiedades de los Latones Amarillos de Alta Resistencia o Bronces al Manganeso

| Elemento | COMPOSICION NOMINAL | | | |
|---|---------------------|---------|---------|---------|
| | C86200 | C86300 | C86400 | C86500 |
| Cobre | 65 | 62 | 58.0 | 58.0 |
| Aluminio | 4 | 6 | 1.0 | 1.0 |
| Fierro | 3 | 3 | 1.0 | 1.0 |
| Manganeso | 3 | 3 | 0.5 | 0.5 |
| Plomo | - | - | 1.0 | - |
| Zinc | 25 | 26 | 38.5 | 39.5 |
| Resistencia a la tracción, kg/mm ² | 63.0 | 77.0 | 42.0 | 45.5 |
| Límite de fluencia, kg/mm ² | 31.5 | 42.0 | 14.0 | 17.5 |
| Elongación, % | 18.0 | 12.0 | 15.0 | 20.0 |
| Rango de solidificación, °C | 941-899 | 923-885 | 880-862 | 880-862 |

CAPITULO II:

MATERIA PRIMA

La composición química de las aleaciones llamadas Bronces al Manganeso, tiene un amplio rango de especificaciones, donde sus constituyentes y sus cantidades aproximadas generalmente, están comprendidas en los siguientes valores:

TABLA 2.1. Composición Química de los Latones Amarillos de Alta Resistencia

| Elemento | Composición Química | | | |
|------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| | C86200 | C86300 | C86400 | C86500 |
| Cobre | 60.0-68.0 | 60.0-66.0 | 56.0-62.0 | 55.0-60.0 |
| Aluminio | 3.0-4.9 | 3.0-7.5 | 0.5-1.5 | 0.5-1.5 |
| Fierro | 2.0-4.0 | 2.0-4.0 | 0.4-2.0 | 0.4-2.0 |
| Manganeso | 2.5-5.0 | 2.5-5.0 | 0.1-1.0 | 0.1-1.5 |
| Plomo | 0.20 máx. | 0.20 máx. | 0.5-1.5 | 0.40 máx. |
| Níquel | 1.00 máx. | 1.00 máx. | 1.00 máx. | 1.00 máx. |
| Estaño | 0.20 máx. | 0.20 máx. | 0.5-1.5 | 1.00 máx. |
| Zinc | resto | resto | resto | resto |

Las principales propiedades de cada elemento constituyente se indican a continuación:

2.1 COBRE

Las principales propiedades del cobre son la alta conductividad eléctrica y térmica, buena resistencia a la corrosión, maquinabilidad, resistencia y facilidad de fabricación, a excepción de la plata es el metal que mejor conduce el calor y la electricidad. El cobre es un metal de color rojo característico.

TABLA 2.2. Propiedades del cobre

| | |
|--|--------|
| Estructura cristalina | FCC |
| Densidad, g/cm ³ | 8.94 |
| Peso atómico | 63.54 |
| Punto de fusión, °C | 1083 |
| Punto de ebullición, °C | 2595 |
| Calor específico a 20 °C, cal/g/°C | 0.092 |
| Calor latente de fusión, cal/g | 50.60 |
| Conductividad térmica a 20 °C, cal/cm ² /cm/seg/°C | 0.941 |
| Conductividad eléctrica volumétrica, % IACS | 103.06 |
| Contracción de solidificación, % | 4.92 |
| Potencial del electrodo standard a 25 °C, volt | 0.345 |

Aproximadamente el 55 % del cobre se utiliza con fines eléctricos, transporte de energía, generadores, teléfono, y telégrafo, motores, tableros de mando, iluminación, radio y televisión, cordón conductor, etc. El 15 % se utiliza en la construcción, tuberías y lampistería, utillaje, etc. Las industrias de automóviles consumen el 12 % sin contar las partes eléctricas. En maquinaria e instalaciones industriales se consume el 9 %.

2.2 ZINC

El zinc es un metal blanco. Entre los principales compuestos de zinc figuran el óxido de zinc que es un pigmento usado para pinturas, el cloruro de zinc que sirve para proteger la madera contra la humedad y como anticorrosivo para metales, el cromato de zinc pigmento amarillo para pinturas; el sulfuro de zinc que sirve para hacer pantallas fluorescentes para radioscopia, etc.

TABLA 2.3. Propiedades del zinc

| | |
|--|--------|
| Estructura cristalina | HCP |
| Densidad, g/cm ³ | 7.133 |
| Peso atómico | 65.38 |
| Punto de fusión, °C | 420.0 |
| Punto de ebullición, °C | 906.0 |
| Calor específico a 20 °C, cal/g/°C | 0.0915 |
| Calor latente de fusión, cal/g | 24.09 |
| Conductividad térmica a 25 °C, cal/cm ² /cm/seg/°C | 0.27 |
| Conductividad eléctrica volumétrica, % IACS | 28.27 |
| Contracción de solidificación, % | 7.28 |
| Potencial del electrodo standard a 25 °C, volt | -0.762 |

El zinc se usa para fabricar tuberías y recipientes para cubrir tejados y hacer fotograbados. También se usa para galvanizar el hierro y entra en la composición del latón y otras aleaciones importantes, pues forma ligas con todos los metales ordinarios, salvo el plomo y el bismuto de los cuales se separa al estado líquido.

El zinc metálico se usa en numerosas aplicaciones. El principal uso, es la galvanización por inmersión en caliente, es decir; el revestimiento de diversas superficies de fierro y

acero con una película delgada de zinc para retardar la corrosión del metal base. En contacto con el hierro el zinc se oxida preferentemente y lo protege.

2.3 ALUMINIO

El aluminio se presenta en el comercio prácticamente en todas las formas: láminas, planchas, hojas, varillas, barras y alambres, perfiles fabricados por laminación y otras formas obtenidas entre rodillos, perfiles extruidos, tubos, moldes de todos los tipos, polvo y pasta. Prácticamente, puede moldearse con facilidad por todos los procesos metalúrgicos. Puede soldarse mediante las soldaduras autógena dura y blanda.

Cuando se añade aluminio a otros metales, en general elevan su resistencia mecánica y su maquinabilidad a costa de una pérdida de facilidad para la conformación plástica, también mejora su resistencia a la corrosión.

TABLA 2.4. Propiedades del aluminio

| | |
|--|--------|
| Estructura cristalina | FCC |
| Densidad, g/cm ³ | 2.699 |
| Peso atómico | 26.98 |
| Punto de fusión, °C | 660.20 |
| Punto de ebullición, °C | 2450.0 |
| Calor específico a 100 °C, cal/g/°C | 0.224 |
| Calor latente de fusión, cal/g | 94.50 |
| Conductividad térmica a 25 °C, cal/cm ² /cm/seg/°C | 0.57 |
| Conductividad eléctrica volumétrica, % IACS | 64.94 |
| Contracción de solidificación, % | 6.60 |
| Potencial del electrodo standard a 25 °C, volt | -1.67 |

2.4 FERROMANGANESO

Es una ferroaleación que tiene como elementos al hierro y al manganeso y tiene por finalidad principal incorporar estos elementos a la aleación. Existen en el mercado en forma granulada, conteniendo de 55 a 80% de Mn y resto Fe, se emplean directamente en el crisol, sumergiéndose dentro del baño.

2.5 FUNDENTES

Los fundentes tienen por objeto dar a la escoria fluidez necesaria. Una escoria viscosa cuela difícilmente y en cambio una escoria demasiado fluída corroe las paredes del molde. La fluidez depende de la fusibilidad, y ésta de la proporción en que se encuentren los principales elementos que componen la escoria. En los bronce al manganeso el fundente usado es el Albral 2.

En el Capítulo III, se tratará ampliamente sobre los fundentes usados en la fusión del bronce al manganeso.

CAPITULO III:

FUNDICION DEL BRONCE AL MANGANESO

El bronce al manganeso, es una aleación de base cobre que tiene al zinc como su principal elemento aleante, **posee una resistencia a la tracción muy elevada y es, en efecto, la más resistente de todas las aleaciones de cobre, en la condición de bruto de colada.** El término "bronce al manganeso" es inexacto y algunas veces confunde, en vista de que ciertas aleaciones en esta categoría, realmente, contienen muy poco manganeso. Por esta razón, estas aleaciones son llamadas más, adecuadamente, **latones amarillos de alta resistencia.**

A diferencia de los metales puros, las aleaciones solidifican sobre un rango de temperaturas. La solidificación se inicia cuando la temperatura cae por debajo del "liquidus"; completándose cuando la temperatura alcance el "solidus".

El liquidus es la temperatura en la cual el metal empieza a solidificar y el solidus es la temperatura en la cual el metal esta completamente sólido.

Las aleaciones de base cobre, pueden subdividirse de acuerdo a su modo de solidificación (rango de solidificación) en 3 grupos:

Grupo I : Aleaciones con rango estrecho de solidificación (50 °C), entre el liquidus y solidus.

Grupo II : Aleaciones con rango intermedio de solidificación (de 50 a 110 °C), entre el liquidus y solidus.

Grupo III: Aleaciones con rango amplio de solidificación (mayor a 110 °C), entre el liquidus y solidus.

3.1 ESPECIFICACIONES

En el pasado, las aleaciones de cobre fundidas, fueron clasificadas por una variedad de sistemas, que incluían a la designación ASTM, basado sobre la composición nominal, nombres del fabricante o por términos descriptivos como "metal onza" "bronce naval M" y así.

Sin embargo, con el desarrollo tecnológico, se produjeron nuevas aleaciones y se modificaron las aleaciones existentes, haciendo a las antiguas designaciones inadecuadas y engañosas. Se ha desarrollado un nuevo sistema basado sobre la descripción precisa del rango de composición de cada aleación, el cual es actualmente el sistema de designación de las aleaciones de base cobre, usado en Norte América. Este sistema consiste de 5 digitos con un prefijo "C", y ha sido realizado por la Unified Numbering System for Metals and Alloys.

Según esta designación los bronce al manganeso representativos son:

C86200; C86300; C86400 y C86500

Como se muestra en la Tabla 2.1, las aleaciones C86200 y C86300 contienen cantidades significativas de Al, Fe y Mn, como elementos aleantes, Consecuentemente, ellos son, considerablemente, más resistentes que las aleaciones C86400 o C86500, las cuales tienen menores contenidos de los anteriores elementos, sin embargo, presentan mayores contenidos de Zn, tal como se indica en la Tabla 3.1

Los límites reales de la composición química para estas 4 aleaciones, como se enlistan en las apropiadas especificaciones, son bastante amplios. Sin embargo, las mínimas propiedades mecánicas, pueden ser alcanzadas solamente dentro de rangos restringidos de composición.

TABLA 3.1 Propiedades Mecánicas de los Latones Amarillos de Alta Resistencia

| Propiedades Mécanicas Mínimas | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | C86200 | C86300 | C86400 | C86500 |
| Resist. a la tracción, kg/mm² | 63.0 | 77.0 | 42.0 | 45.5 |
| Límite de fluencia, kg/mm² | 31.5 | 42.0 | 14.0 | 17.5 |
| % de alargamiento | 18.0 | 12.0 | 15.0 | 20.0 |

TABLA 3.2 Rango de Solidificación, de los Latones Amarillos de Alta Resistencia

| | Rango de Solidificación, °C | | | |
|---------------------------|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | C86200 | C86300 | C86400 | C86500 |
| Liquidus - Solidus | 941-899 | 923-885 | 880-862 | 880-862 |

3.2 HORNOS DE FUSION

Los diferentes tipos de hornos de fusión empleados en la fusión de las aleaciones de cobre, clasificados por el tipo de combustible y energía son:

HORNOS CALENTADOS POR COMBUSTIBLE

Las aleaciones de cobre se funden en:

Hornos de Crisol a gas y a petróleo,
Hornos de llama abierta.

Hornos de Crisol

Los Hornos de Crisol ya sean Basculantes o Estacionarios, incorporan una tapa o pico móvil para el retiro del crisol, el cual es transportado al área de vaciado, donde se cuelan los moldes. El contenido del horno basculante se vacía dentro de una cuchara, que es luego usada para colar los moldes (Figs. 3.1 y 3.2).

Fig. 3.1. Horno de Crisol Estacionario típico, especialmente para fundir menos de 140 kg de aleación de cobre.

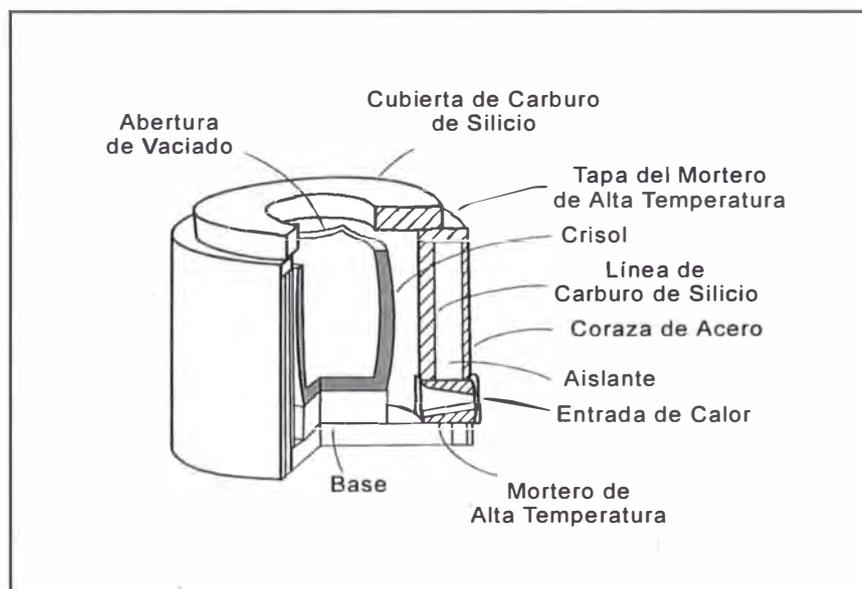
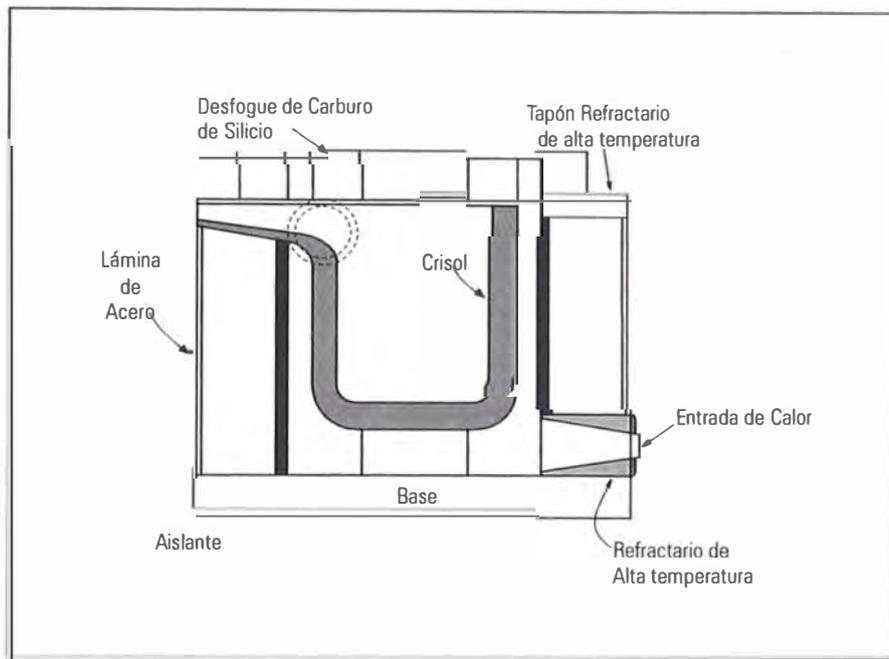


Fig. 3.2. Horno de Crisol Basculante, con el eje en el pico, para fundir aleaciones de cobre.



Estos hornos funden los materiales , quemando petróleo o gas con suficiente aire para alcanzar la combustión completa. El calor de los quemadores, calientan al crisol por conducción y convección; la carga se funde y luego es sobrecalentada a una temperatura particular, en la cual el crisol es retirado del horno o basculado para vaciarlo en una cuchara. Mientras el metal fundido esta en el crisol o la cuchara, se retira la escoria, se desgasifica y luego se transfiere al área de vaciado, donde se cuelan los moldes.

Hornos de LLama Abierta

Estos hornos, usualmente son largos y del tipo rotatorio, consisten de una carcasa de acero revestida con refractario, con el quemador en un extremo y la chimenea en el otro. El horno rota lentamente alrededor de un eje horizontal y el movimiento de rotación ayuda a calentar y fundir la carga del horno.

La fusión se realiza por la acción de la llama directamente sobre el metal y por la transferencia de calor del revestimiento caliente, a medida que el horno rota. Estos hornos, usualmente, basculan a fin de que ellos puedan cargarse y vaciarse a través de la piquera.

Actualmente, estos hornos no se usan a menudo, debido a que requieren la instalación de una cámara de sacos, para capturar los polvos de la chimenea, emitidos durante la fusión y el sobrecalentamiento.

En vista de que estos hornos son capaces de fundir grandes cantidades de metal rápidamente, se requiere operadores hábiles para controlar la atmósfera de fusión dentro del horno. También, las paredes del refractario se impregnan con el metal fundido, originando un problema de contaminación, cuando se cambie de una familia de aleaciones a otra.

Hornos Eléctricos de Inducción

En los últimos 30 años en la industria de la fundición, se ha producido un marcado cambio en la fusión de las aleaciones de base cobre, en hornos calentados a combustible a los hornos eléctricos de inducción. Aún cuando, estos equipos de fusión están disponibles desde hace más de 50 años, muy pocos lo utilizaron debido a la gran inversión requerida para los bienes de capital.

A causa de los altos precios y al problema de disponibilidad de los combustibles fósiles y debido a la nueva regulación sobre Salud y Seguridad impuesto por la Occupational Safety and Health Administration (OSHA), muchas fundiciones se han cambiado a los hornos eléctricos de inducción.

Cuando se funden aleaciones del Grupo III, se producen vapores de plomo y zinc, durante la fusión y el

sobrecalentamiento. La emisión de estos óxidos perjudiciales es mucho menor cuando la carga se funde en un horno de inducción, debido a que el ciclo de fusión es sólo de alrededor del 25% del tiempo que tardaría en fundirse la misma cantidad de metal en un horno calentado por combustible.

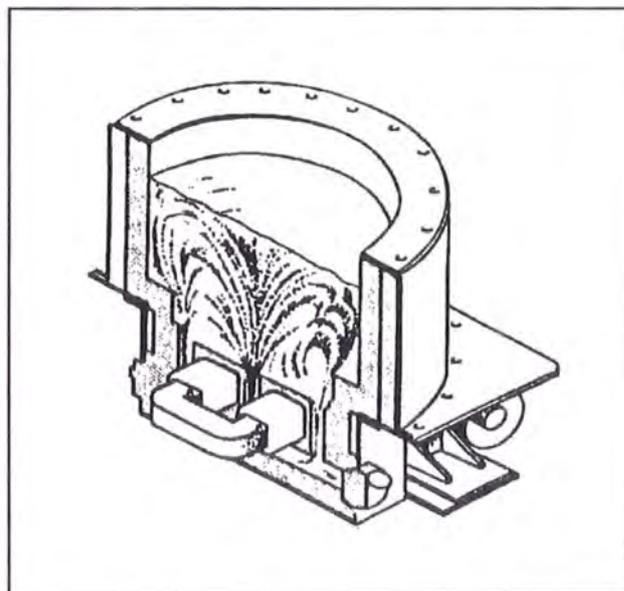
Usando la fusión en horno eléctrico de inducción, de acuerdo con las regulaciones de la OSHA, pueden reunirse muchas fundiciones sin la necesidad de equipos costosos de control de la contaminación del aire.

Los 2 tipos de hornos eléctricos de inducción son: el tipo con núcleo, mejor conocido como hornos de canal y el tipo sin núcleo.

Horno de Inducción Con Núcleo

Este horno, presentado en la Fig. 3.3, es un horno grande usado en las fundiciones para colar grandes cantidades de una aleación, cuando se requiere una fuente constante de metal fundido.

Fig. 3.3. Corte de un horno de inducción de canal mellizo.



Este horno tiene un espiral primario, en interfase con un núcleo de hierro laminado, rodeado por un canal secundario, el cual está empotrado en un revestimiento refractario en forma de V o U, ubicado en el fondo de un hogar cilíndrico. Aquí el canal forma el secundario de un circuito transformador.

El horno de inducción con núcleo, agita y circula el metal fundido a través del canal, en todo momento, excepto cuando el horno es vaciado y apagado.

Cuando se empieza, debe vaciarse el metal fundido dentro del horno para llenar la parte inferior ("heel") del baño. A causa de que estos hornos son muy eficientes y simples de operar, con una vida del refractario de 500 toneladas coladas, son muy apropiados para producciones de colada continua en fundiciones que fabrican aleaciones para grifería del Grupo III. No son recomendables para las aleaciones del Grupo I que forman mucha escoria.

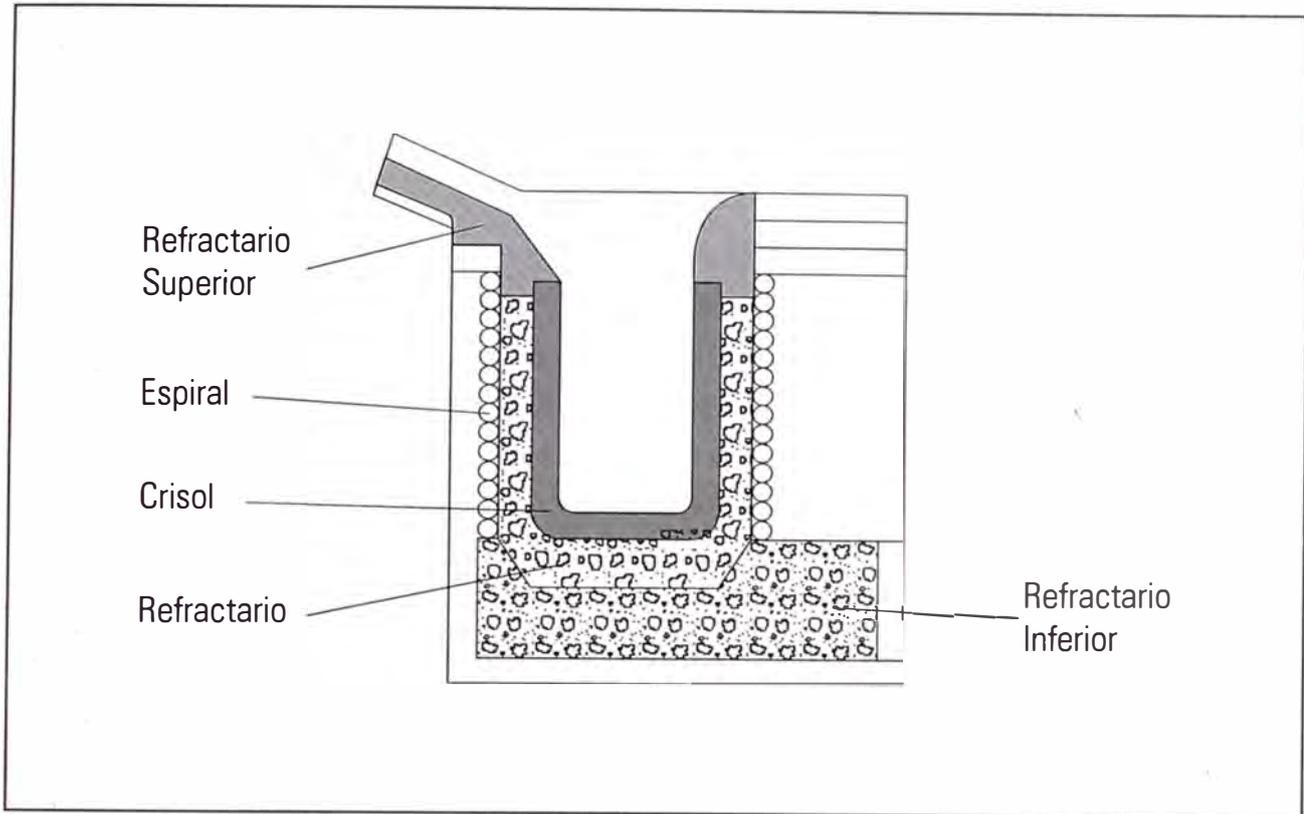
El horno de canal es muy adecuado cuando se usa fundentes que forman una cubierta protectora, inerte, flotante y se añaden cargas de lingotes, retorno limpio y se añaden periódicamente virutas de torneado secas y limpias.

Horno de Inducción Sin Núcleo

Este horno es la unidad de fusión más popular, en la industria de la fundición de las aleaciones de base cobre.

En anteriores años el horno de inducción sin núcleo, funcionaba con una unidad motor generador, usualmente a 980 Hertz. Actualmente, estos hornos arrancan a 440 Volts, 60 ciclos por segundo y por medio de dispositivos electrónicos de estado sólido, convierten la energía a 440 Volts y 1000 a 3000 Hz. Estos hornos son basculantes (Fig. 3.4) o unidades de crisol levantado (Fig. 3.5).

Fig. 3.4. Sección transversal de un horno de inducción de alta frecuencia basculante, para fundir latones y bronces. El crisol es de grafito-arcilla.



Un horno de inducción sin núcleo consiste de una espiral de cobre refrigerada con agua, en una caja del horno hecha de acero o Transite. El metal está contenido en un crisol o en un revestimiento refractario apisonado en el espiral.

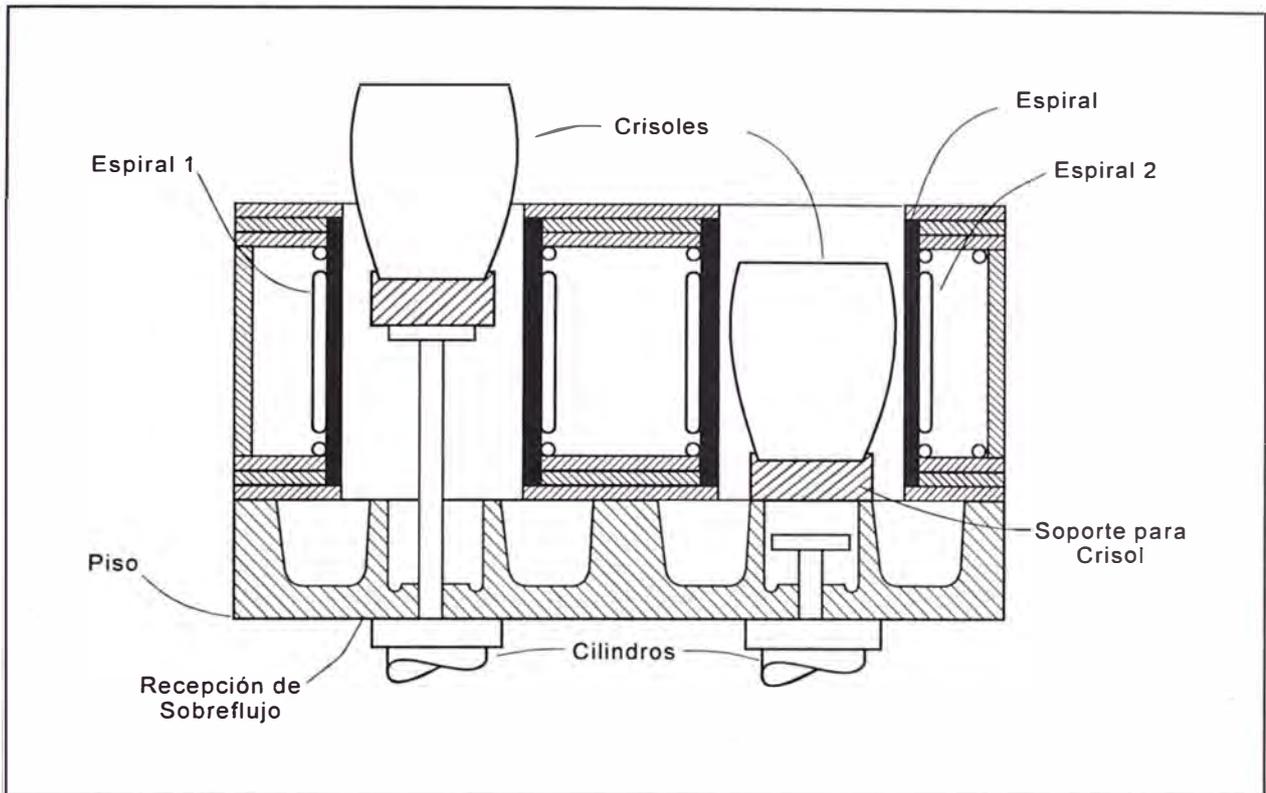
Los crisoles usados en estos hornos son fabricados de grafito-arcilla; los crisoles de carburo de silicio no pueden usarse debido a que ellos tienden a sobrecalentarse cuando son introducidos en un campo magnético. Los crisoles de grafito-arcilla hacen un buen trabajo de conducir la corriente electromagnética desde el espiral hacia el interior del metal que se está fundiendo.

Estos hornos se caracterizan por la agitación electromagnética del baño de metal. Debido a que la cantidad de agitación es afectada por la energía de entrada y por la frecuencia, el tamaño de la unidad de energía y la frecuencia debe estar coordinado con el tamaño del horno, a fin de obtener el tamaño óptimo del equipo para la operación específica. En general, mientras más pequeña es la unidad, tanto mayor es la frecuencia y menor la energía de entrada.

En fundiciones que requieren grandes cantidades de metal de una sola vez, se usan grandes unidades basculantes. Estos hornos, si son superiores a las 5 toneladas de capacidad, operan a la frecuencia de línea (60 Hz). Ellos son muy eficientes y funden grandes cantidades de metal en un tiempo muy corto si la potencia es adecuada con el tamaño de la unidad de energía.

Los hornos estacionarios que se levantan son, a menudo, diseñados, como se muestra en la Fig. 3.5. Aquí el crisol se coloca sobre un pedestal con refractario, el cual puede levantarse o bajarse con un cilindro hidráulico. Esta unidad, también llamada un "horno de empuje", opera bajando el crisol dentro de la espiral, para la fusión y luego levantando el crisol fuera del espiral para recogerlo y proceder al vaciado.

Fig. 3.5. Sección transversal de un horno de empuje de doble crisol. Los crisoles se colocan sobre pedestales refractarios y se levantan y bajan dentro de la posición del espiral, con cilindros hidráulicos.



Mientras un crisol esta fundiendo, el otro crisol puede ser cargado y listo para fundirse cuando el interruptor de cuchilla se encienda, cuando se completa la colada este se empuja hacia afuera para el escoriado y vaciado.

El otro tipo común de horno de inducción sin núcleo, es el horno que se levanta oscilando. Aquí la espiral (y la caja) esta soportada en un poste central; para moverse arriba o abajo verticalmente y girando horizontalmente alrededor del poste en un arco de 90°.

Debido a que existen 2 posiciones del crisol, un crisol puede ser vaciado, recargado y colocado en posición para fundir, mientras el otro está fundiendo.

Cuando el metal está listo para el vaciado, la caja del horno se levanta (con un cilindro hidráulico o de aire), pivoteado a los lados y bajando sobre el segundo crisol. El crisol listo, entonces queda libre para recogerse y vaciarse, mientras la fusión tiene lugar en el segundo crisol.

3.3 MOLDEO

Moldes en verde

Las piezas de bronce al manganeso hasta de 13 mm de espesor, pueden normalmente hacerse bastante fácilmente en moldes en verde. Según la American Foundryman's Society, las propiedades físicas de una arena natural adecuada para ello, tendrían que ser las siguientes:

| | |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| Resistencia a la compresión en verde | 0.32 - 0.52 kg/cm ² |
| Permeabilidad en verde | 25 - 35 |
| Contenido de arcilla | 7 - 12% |
| Humedad | 4 - 6% |

Siempre que las condiciones del molde se aproximen a las cifras indicadas, se tropezarán con pocas dificultades. No obstante, hay que evitar un apisonado demasiado fuerte.

Otros tipos de molde

Para las piezas grandes, se emplean generalmente moldes estufados o por el proceso CO₂, siendo este último método mucho más interesante por la rapidez con que se pueden preparar moldes pesados.

Si la arena empleada para moldeo en seco es arena natural del tipo anteriormente descrito, se moldea como si fuera para moldeo en verde y luego se seca en una estufa a 300-350 °C para eliminar todo vestigio de humedad. Si se dispone de arena sílice exenta de arcilla, es la base ideal para la preparación de mezclas de arena sintética (adicionando un agente aglutinante arcilloso y agua) o, en el caso del CO₂, empleando CARSIL, como agente aglomerante.

3.4 ALMAS

Hay 3 tipos de materiales de moldeo adecuados para hacer almas o conjunto de almas; estos son, arena seca, arena al aceite (con adiciones de almidón o fécula para incrementar la resistencia en verde) o arena la CO₂. También en este caso, el proceso CO₂ es el de más importancia por su facilidad de producción.

3.5 PRACTICA DE FUSION

Los bronce al manganeso, comúnmente, se funden en hornos calentados por el quemado de combustible u hornos eléctricos de inducción. El alto contenido de Zn de las aleaciones, plantean el problema de la gran pérdida de Zn, durante la fusión. Esto se añade a las dificultades del control de la composición, así como crea problemas de control ambiental en la ventilación de la fundición.

El flameado del zinc, es peor en los latones amarillos al plomo ordinarios, en los cuales existe un poco o nada de aluminio, para incrementar la tensión superficial del baño. También, para una aleación dada, el flameado es peor con el uso de hornos de llama abierta, particularmente, aquellos del tipo reverbero.

Cuando es necesario emplear en la fusión de los latones amarillos, hornos que queman combustible, pueden ser útiles fundentes para reducir las pérdidas del zinc en la fusión, cuando se añaden como cubiertas protectoras. Cuando la fusión se realiza en hornos eléctricos de inducción, ordinariamente, los fundentes son menos necesarios.

Una buena regla a seguir es fundir estas aleaciones lo más rápido posible, a fin de minimizar el grado de sobrecalentamiento y luego vaciar prontamente para evitar los largos tiempos de espera en el horno. Antes del vaciado, es necesario reemplazar la pérdida de Zn por vaporización. En el caso de los latones amarillos al plomo, la cantidad de zinc a añadirse debe establecerse por la experiencia, de acuerdo a la práctica de fusión de la fundición en particular. Para estas aleaciones, pequeñas variaciones en el nivel de zinc, de colada a colada, son menos críticas que en los latones amarillos de alta resistencia.

TEMPERATURA DE COLADA

Debe mantenerse un buen control de la temperatura, a fin de evitar el sobrecalentamiento del metal en el horno y para asegurar la adecuada temperatura de vaciado. En general, para los latones amarillos al plomo el rango de temperatura de vaciado para piezas delgadas debe ser de 1121 a 1193 °C y para piezas gruesas de 1038 a 1121 °C. Cuando se vacíen estas aleaciones, la superficie del metal debe mantenerse bien escoriada. Los moldes deben vaciarse lo más rápido posible, manteniendo lleno el bebedero en todo momento. En ningún caso, debe interrumpirse el vaciado, en vista de que esto permitirá que los vapores de zinc se oxiden y condensen sobre la superficie del molde. Estas cavidades o bolsas de óxido de zinc producen picaduras superficiales sobre la pieza, un defecto conocido como "zinc agusanado", el cual es único en esta clase de aleaciones.

La adecuada temperatura de sangrado para los latones amarillos de alta resistencia, es aquella en la que el zinc primero empieza a "flamear" desde la superficie del baño. Para las aleaciones de menor resistencia C86400 y C86500, esta temperatura será alrededor de 1010 °C, mientras que para las aleaciones de alta resistencia C86200 y C86300, será aproximadamente a 1066 °C.

Como con todas las aleaciones, la temperatura de vaciado es una función de muchos factores relacionados al tamaño y diseño de la pieza. En general, el rango usual de vaciado para estas aleaciones, es de 954 a 1121 °C. Aún, cuando la temperatura ideal de vaciado esta justo debajo del punto donde se produce el flameado del zinc, debe ejercitarse un buen criterio para tomar en cuenta el tamaño y cantidad de piezas a ser vaciadas desde la cuchara.

El contenido de aluminio de estas aleaciones, tanto como sus estrechos rangos de solidificación, colocan a estas aleaciones en el Grupo 1. Las películas de óxido de aluminio que se forman en la superficie del baño, lo hacen completamente sensibles a la turbulencia durante la transferencia y vaciado.

Para obtener una medida de la adición de zinc requerida generalmente se emplean los siguientes procedimientos:

- a) Una técnica es vaciar una barra pequeña (aproximadamente de 1/2" x 1/2" x 8") la cual puede enfriarse rápidamente con aire comprimido. Lecturas de dureza Brinell obtenidas de cada barra ensayada pueden correlacionarse con los contenidos de zinc en la aleación fundida. Con un poco de experiencia, este ensayo rápido de dureza, puede usarse como una medida del contenido de zinc del baño.

- b) La fractura de una barra enfriada puede estimar el contenido de zinc; primeramente se obtiene un juego standard de fracturas con un contenido de zinc conocido. Antes de proceder al vaciado se prepara una barra y se observa el tipo de fractura la cual se realiza una comparación con el standard.
- c) Otro método del ensayo de torsión consiste en relacionar el zinc equivalente en una aleación Cu-Zn con el ángulo de rotura en una torsión. Los siguientes valores se aplican solamente para la aleación.

| Zinc equivalente, % | Angulo de rotura, ° |
|---------------------|---------------------|
| 40 | 260 |
| 45 | 160 |
| 50 | 123 |
| 55 | 108 |
| 60 | 95 |

Las temperaturas apropiadas de colada se determinan según el espesor de la pieza a fundir:

| | |
|---|---------|
| Piezas ligeras de espesores menores a 13 mm | 1080 °C |
| Piezas cuyos espesores entre 13 mm y 38 mm | 1040 °C |
| Piezas gruesas de espesores mayores a 38 mm | 1000 °C |

3.5.1 HORNO DE CRISOL

Para fundir el bronce al manganeso puede emplearse tanto el horno a gas, aceites pesados, o coque, no obstante, se prefieren generalmente los hornos a gas o aceites pesados, por la facilidad con que ellos pueden controlar la combustión. Una llama neutra o ligeramente oxidante es la que facilita las mejores condiciones de fusión.

- 1.- Calentar el horno y colocar un crisol limpio; calentar el crisol hasta que esté al rojo oscuro.
- 2.- Cargar el lingote junto con la chatarra adecuada, tal como: risers, retornos, etc., procedentes de coladas anteriores. No cargar menos de 2 partes de lingote nuevo por cada parte de chatarra.
- 3.- Cuando empieza a fundir la carga aplicar una cantidad correcta de fundente ALBRAL 2 (0.5 kg por cada 100 kg de carga) para formar una cubierta protectora. Si la chatarra empleada esta sucia, debe aumentarse la cantidad de fundente.
- 4.- Cuando se alcancen los 1200 °C de temperatura, interrumpir la marcha del horno y añadir sobre el baño una cantidad idéntica al apartado anterior de ALBRAL 2.
- 5.- Sumergir el ALBRAL 2 hasta el fondo del baño y remover de abajo hacia arriba con objeto de que el fundente entre en contacto con el máximo posible de metal fundido.
- 6.- A continuación sumergir 2 TUBOS DESOXIDANTES E 1 por 50 kgs, o 2 TUBOS DESOXIDANTES E 3 por 100 kgs de carga. Mantener sumergidos durante 4 segundos aproximadamente, remover suavemente y retirar la herramienta.

7.- Finalmente, raspar los lados del crisol para limpiarlo y espumar la escoria superficial. A continuación puede colarse a la temperatura correcta.

3.5.2 HORNOS DE REVERBERO

Al igual que en los hornos de crisol, ajustar la llama para obtener condiciones de fusión neutras o ligeramente oxidantes, es decir, una llama brillante con sólo trazas de humo.

Fusión del lingote de prealeación y chatarra sólida

Antes de cargar el metal, fundir en la solera del horno una cantidad suficiente de CUPRIT 30. A medida que el metal vaya fundiendo, aplicar más CUPRIT 30 a fin de mantener una capa continua de fundente.

Parar el horno a una temperatura aproximada de 1150 °C y finalmente espumar la escoria con una herramienta (rable), espesándola primero si es necesario con arena de sílice seca.

Adiciones de viruta o rebabas

Si este tipo de material tiene que formar parte de la carga, debe añadirse por etapas después de haber fundido cierta cantidad de bronce al manganeso. Mézclese un 2% de CUPRIT 30 con la viruta y remuévase suavemente en el baño. Si la escoria superficial muestra señales de hacerse viscosa, aplíquese más CUPRIT 30 para mejorar la fluidez y las propiedades de cobertura del fundente. Repítase este proceso a medida que se vayan añadiendo más virutas hasta que se haya fundido toda la carga. Finalmente, antes de colar, se saca la escoria como se ha descrito anteriormente.

Desoxidación

Al igual que en la fusión en hornos de crisol, se recomienda sumergir TUBOS DESOXIDANTES E en el metal antes de colar las piezas. No es muy conveniente introducir desoxidantes en un horno de reverbero, por lo tanto, los TUBOS DESOXIDANTES E se colocarán en el fondo de la cuchara de colada y se verterá el metal sobre ellos.

Cantidad necesaria de CUPRIT 30

La cantidad depende del estado del material de carga y puede variar entre el 1 y 2% de CUPRIT 30. Si el material de carga está en condiciones de oxidación o de suciedad muy acentuadas, se requerirá cierta cantidad adicional de fundente. Del total de CUPRIT 30 que se emplee, la mitad debe añadirse antes de la carga, procediéndose con el resto, en la forma ya descrita.

3.5.3 HORNOS ELECTRICOS DE INDUCCION

Carga sólida con adiciones de viruta

En primer lugar, el material sólido no debe cargarse todo al mismo tiempo, sino que debe cargarse en distintas etapas, a fin de mantener siempre en estado líquido el metal fundido que actúa como polo secundario en el canal de inducción.

Cuando el metal haya alcanzado los 1100 °C de temperatura, hacer las adiciones de viruta, mezclando con ésta no más del 0.75% en peso de fundente ALBRAL 17. El ALBRAL 17 asegurará el mínimo de pérdidas por oxidación de la viruta y facilitará además su rápida fusión.

Cuando la carga alcanza la temperatura deseada, interrumpir la marcha del horno, como preparación para el espumado de la escoria superficial del metal. Si la escoria está en forma pulverulenta, emplear una herramienta en forma de espumadera perforada, lo que permitirá retirar la escoria sin llevarse consigo metal fundido. De lo contrario, si la escoria está fluida, hay que espumar con un rable, espesando la escoria si es necesario con un poco de sílice seca.

Desoxidación

Con objeto de eliminar del baño cualquier traza de óxido en suspensión, el metal tiene que ser tratado con TUBOS DESOXIDANTES E y como es un inconveniente sumergir desoxidantes en un horno eléctrico de inducción, debe colocarse la cantidad apropiada (ver práctica de fusión en hornos de crisol) de TUBOS DESOXIDANTES E en el fondo del crisol de colada o de la cuchara y verter el metal sobre los TUBOS DESOXIDANTES E.

3.6 FUNDENTES DE LAS ALEACIONES DE COBRE

El término "fundente" representa todos los aditivos y tratamientos del metal fundido, en los que se usan compuestos químicos o mezclas de tales compuestos. Estos compuestos son, usualmente, inorgánicos. En algunos casos, se emplean sales metálicas en polvo, granulado o tabletas sólidas y pueden, a menudo fundirse para formar un líquido cuando se usan.

Estos pueden añadirse manualmente o pueden inyectarse automáticamente y pueden desempeñar una o combinación de las siguientes funciones, tales como desgasificación, limpieza, aleación, oxidación, desoxidación o refinación.

El término fundente, también incluye el tratamiento de baños no ferrosos con gases inertes o reactivos, para eliminar impurezas sólidas o gaseosas. Los fundentes se usan, a menudo en cierta magnitud con casi todas las operaciones de los metales fundidos no ferrosos, en fundición y en la producción de productos laminados o forjados.

Los fundentes en la fusión de las aleaciones de base cobre, realizan una variedad de funciones. Se usan, específicamente para eliminar los gases o prevenir su absorción dentro del baño, para reducir las pérdidas de metal, para eliminar impurezas específicas e inclusiones no metálicas, para refinar los constituyentes metálicos o para lubricar y controlar la estructura superficial en la colada semicontinua de aleaciones forjadas. El último item es incluido, debido a que aún estos fundentes caen bajo la definición de compuestos químicos inorgánicos usados para tratar el metal fundido.

3.6.1 TIPOS DE FUNDENTES

Los fundentes para las aleaciones de base cobre caen dentro de 5 categorías básicas: fundentes oxidantes, fundentes de cubiertas neutras, fundentes reductores (usualmente grafito o carbón), fundentes de refinación y fundentes en los moldes de colada semicontinua.

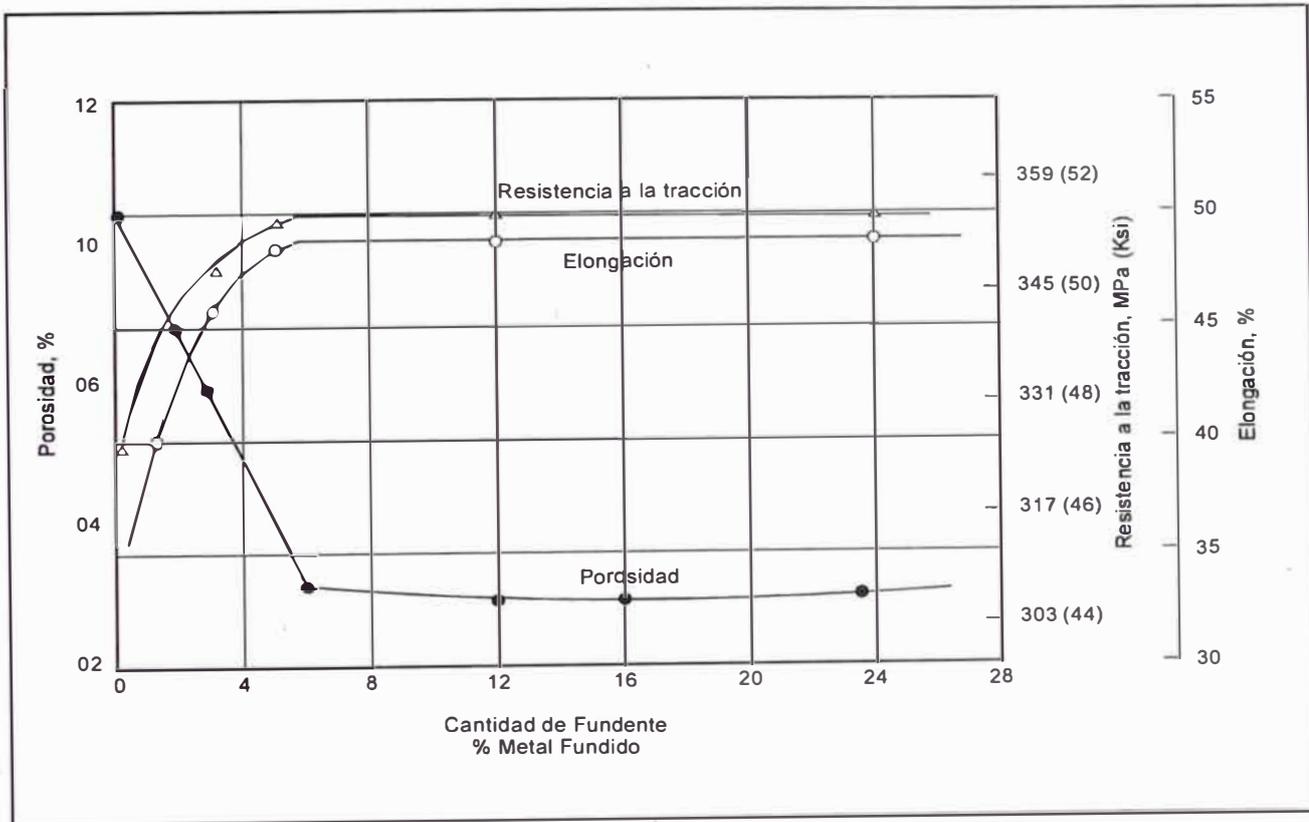
Fundentes oxidantes.- Se usan en el proceso oxidación-desoxidación; aquí la principal función es el control del contenido del gas hidrógeno. Esta técnica es aún practicada en la fusión de las aleaciones de cobre, en los hornos de crisol calentados a combustible, donde los productos de combustión, usualmente reaccionan incompletamente y de este modo conducen a la absorción del hidrógeno y la potencial reacción del vapor.

Los fundentes oxidantes, usualmente, incluyen al óxido cúprico o dióxido de manganeso(MnO_2), los cuales se descomponen

a la temperatura de fusión de las aleaciones de cobre, para generar el oxígeno requerido.

La Fig. 3.6 ilustra la efectividad de los fundentes oxidantes en reducir la porosidad debido al hidrógeno y en mejorar las propiedades mecánicas del bronce al estaño fundido.

Fig. 3.6. Efecto de la cantidad de fundente usado sobre la porosidad y propiedades mecánicas, del bronce al estaño fundido.



Fundentes de cubiertas neutras.- Se usan para reducir las pérdidas de fusión proporcionando una cubierta fluida. Los fundentes de este tipo están, usualmente, basados en bórax, ácido bórico o vidrio, los cuales se funden a la temperatura de fusión de las aleaciones de cobre, formándose una cubierta de escoria fluida.

El bórax se funde aproximadamente a 740 °C. Los fundentes vidriados son, especialmente, efectivos cuando se usan con aleaciones que contienen zinc, para prevenir el flameado del zinc y reducir la subsiguiente pérdida de zinc de 3 a 10%.

Los fundentes de cubierta fluida vidriada, también aglomeran y absorben las impurezas no metálicas de la carga (óxidos, arena de moldeo, lubricantes del maquinado, etc.).

Como con las aleaciones de aluminio, los fundentes conteniendo sales reactivas de fluoruros (CaF_2 y NaF) pueden quitar las películas de óxidos en las aleaciones de base de cobre, de este modo permiten el ingreso de gotas metálicas que retornan a la fase fundida.

La Tabla 3.3 indica la efectividad de este tipo de fundente en reducir las pérdidas de fusión en latones amarillos y de alta resistencia. Para los latones rojos, sin embargo, puede no ser adecuado usar fundentes de cubierta vidriada, debido a que tal cubierta prevendrá o limitará la oxidación beneficiosa del baño. El uso de fundentes de cubierta vidriada puede a veces producir la reducción de las propiedades de la aleación.

TABLA 3.3. Efecto de diversas escorias y cubiertas sobre las pérdidas en la fusión de los latones amarillos y de alta resistencia

| Aleación | Condiciones de fusión | Temperatura del metal, °C | Tiempo de fusión, min | Pérdida bruta, % | Pérdida neta, % |
|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|------------------|-----------------|
| Latón amarillo | Sin tapa o cubierta | 1085 | 50 | 2.8 | 1.8 |
| Latón amarillo | Carbón | 1087 | 49 | 1.1 | 0.6 |
| Latón amarillo | Cubierta vidriada | 1100 | 62 | 0.9 | 0.4 |
| Latón de alta resistencia | Sin tapa o cubierta | 1090 | 65 | 2.5 | 1.2 |
| Latón de alta resistencia | Carbón | 1095 | 60 | 1.9 | 0.7 |
| Latón de alta resistencia | Cubierta de limpieza | 1090 | 54 | 0.6 | 0.3 |

Las películas de óxidos en los bronce al aluminio y al silicio, también reducen la fluidez y las propiedades mecánicas. Los fundentes que contienen fluoruros, cloruros, sílice y bórax, proporcionan una cubierta y limpieza junto con la habilidad para disolver y coleccionar estas piel de óxidos defectuosas.

Las aleaciones cobre-cromo y cobre-berilio, se oxidan rápidamente cuando se funden; por lo tanto, los fundentes de cubierta vidriada y componentes de sales de fluoruros son útiles en el control de la pérdida de fusión y obtener una buena separación de los óxidos del baño.

Fundentes reductores.- En las aleaciones de bajo zinc y alto cobre, se usan fundentes reductores que contienen materiales carbonáceos, tales como carbón o grafito. Su principal ventaja consiste en la reducción de la absorción de oxígeno por el cobre y reducir las pérdidas de fusión.

Deben usarse en las aleaciones de cobre, fundentes con materiales carbonáceos, secos y de bajo azufre, para evitar reacciones gaseosas con el azufre o con el hidrógeno de la humedad contenida. Sin embargo, los materiales carbonáceos no aglomeran los residuos no metálicos o proporcionan alguna acción de limpieza, cuando se funden chatarra fina o sucia. Por esta

razón, en el último caso debe usarse una cubierta vidriada.

La Tabla 3.3. indica los efectos beneficiosos de una cubierta vidriada, cuando se funden virutas de torneado de latones.

3.6.2 USO DE FUNDENTES

Como con todos los fundentes, los fundentes para las aleaciones de cobre, deben almacenarse en lugares secos y limpios y deben mantenerse cubiertos para prevenir la contaminación de materiales no deseables.

Deben seguirse las recomendaciones de los fabricantes. Las herramientas usadas deben mantenerse limpias y secas. Debido a que muchos fundentes son higroscópicos, herramientas con residuos de fundentes usados previamente ganarán humedad. Cualquier residuo de fundente debe limpiarse de la herramienta y la herramienta debe precalentarse por encima de 105 °C antes de reusarla.

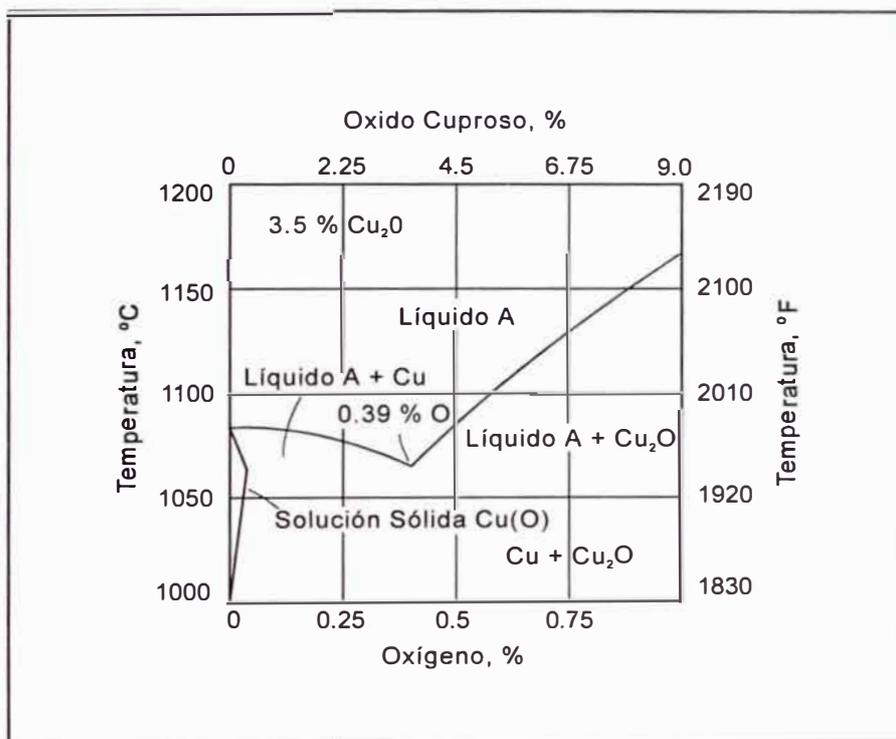
Cuando se requiere una óptima reactividad del fundente, debe hacerse un adecuado agitado y el fundente debe ser escoriado a fondo de la superficie del baño, antes o durante el vaciado para prevenir el atrapamiento del fundente durante el proceso de colado.

A diferencia de las aleaciones de aluminio o magnesio, la mayoría de los fundentes usados en las aleaciones de cobre, tienen, significativamente menor densidad que el metal base; esto permite la fácil separación por gravedad antes del escoriado y facilita el escoriado.

3.7 DESOXIDACION DE LAS ALEACIONES DE COBRE

Todas las aleaciones de cobre están sometidos a la oxidación durante la mayor parte de las operaciones de fusión. El oxígeno reacciona con el cobre para formar óxido cuproso, que es completamente miscible con el metal fundido. A 1065 °C se forma un eutéctico y 3.5 %Cu₂O, o 0.39 %O, como se muestra en el diagrama de fase cobre-oxígeno, en la Fig. 3.7.

Fig. 3.7. Diagrama de fase cobre-oxígeno.



Por lo tanto, existe óxido cuproso dentro del baño, como una fase líquida y, generalmente, no se separa tan sólo por gravedad. Si no se elimina, esta fase líquida producirá discontinuidades durante la solidificación de la pieza, originándose una considerable porosidad y bajas propiedades mecánicas. De este modo, se requiere algún tipo de proceso de desoxidación. Además, la adecuada desoxidación de todo el baño, mejorará la fluidez y por lo tanto la colabilidad.

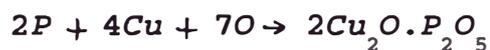
Desoxidación con Fósforo

La mayoría de las aleaciones de cobre, son desoxidados por la reducción del óxido cuproso con el fósforo. Aún cuando, son posibles diversos desoxidantes, de acuerdo a la energía libre de formación de óxidos, usualmente el fósforo es el desoxidante más fácil, más económico y menos problemático.

Por lo general, el fósforo se añade en la forma de una aleación maestra de cobre fosforoso al 15%, ya sea en perdigones o forma de briquetas. Debe tenerse mucho cuidado para asegurarse que el desoxidante este seco. El desoxidante es, a menudo, añadido al fondo de la cuchara antes del vaciado, a fin de que durante el vaciado el desoxidante reaccione con el óxido cuproso contenido en el baño.

La turbulencia creada durante el vaciado es suficiente para asegurar el adecuado mezclado. El cobre fosforoso no debe, simplemente echarse sobre la superficie de la cuchara después del vaciado, debido a que se producirá poco mezclado. Cuando el desoxidante se añade directamente al horno, sin embargo, debe agitarse completamente dentro del baño, usando herramientas limpias, secas y vaciando lo más pronto posible, tal que no se pierda el efecto.

El uso de la desoxidación fosforosa, origina la formación de una escoria líquida de fosfato óxido cuproso. Este producto se separa fácilmente del resto del baño; por lo tanto, el fósforo efectivamente elimina el oxígeno, entregando el producto a la superficie de la fase escoria, donde puede fácilmente ser escoriado.



El fósforo, usualmente, se añade en una proporción de 57 gr de una aleación maestra de 15% por 45 kg de metal fundido. En

casos, donde se emplea deliberadamente la oxidación del baño, para reducir la absorción del hidrógeno, puede requerirse el doble de esta cantidad para una total desoxidación. Por lo general, esto es suficiente para desoxidar completamente un baño saturado con 0.39 %O. Sin embargo, la recuperación del fósforo es menos del 100% y puede ser tan poco como 30 a 60%.

Es deseable mantener un nivel residual de por lo menos 0.01 a 0.015 %P en el baño, especialmente, durante el vaciado, a fin de que se alivien los problemas de la reoxidación y la potencial reacción de vapor.

Cada fundición debe determinar la adecuada proporción de adición, para una serie determinada de condiciones. Además, con los retornos de fundición, usualmente una cierta cantidad de fósforo ya está presente. Una adición rutinaria de cobre fosforoso para desoxidar, puede producir un exceso de fósforo.

Si el contenido de fósforo es demasiado alto, durante la fusión o el vaciado, la ausencia de oxígeno puede provocar el ingreso del hidrógeno y producir la reacción de vapor durante la colada. Adicionando más fósforo para controlar la reacción de vapor puede, por lo tanto, realmente agravar la condición.

Además, cuando el contenido de fósforo es 0.03% y más, puede producirse una excesiva fluidez del metal, originando la penetración de la arena de moldeo o el quemado, durante la colada.

El cobre fosforoso es un efectivo desoxidante para los latones rojos, bronce al estaño y bronce al plomo. Sin embargo, el fósforo no debe usarse para desoxidar aleaciones de cobre de alta conductividad, debido a su efecto perjudicial sobre la conductividad eléctrica.

No debe usarse el fósforo como desoxidante para las aleaciones cobre-níquel. En estos materiales, la presencia del fósforo produce un constituyente de bajo punto de fusión, que fragiliza los bordes de grano. Una adición de 0.3 %Si y 0.10 %Mg sirve para desoxidar y desulfurar las aleaciones cobre-níquel. En las aleaciones níquel-plata (cobre-níquel-zinc), una técnica de desoxidación recomendada es el uso de 142 g de perdigones de cobre-manganeso por 45 kg de baño y 57 g de manganeso junto con 85 g de cobre fósforoso al 15%.

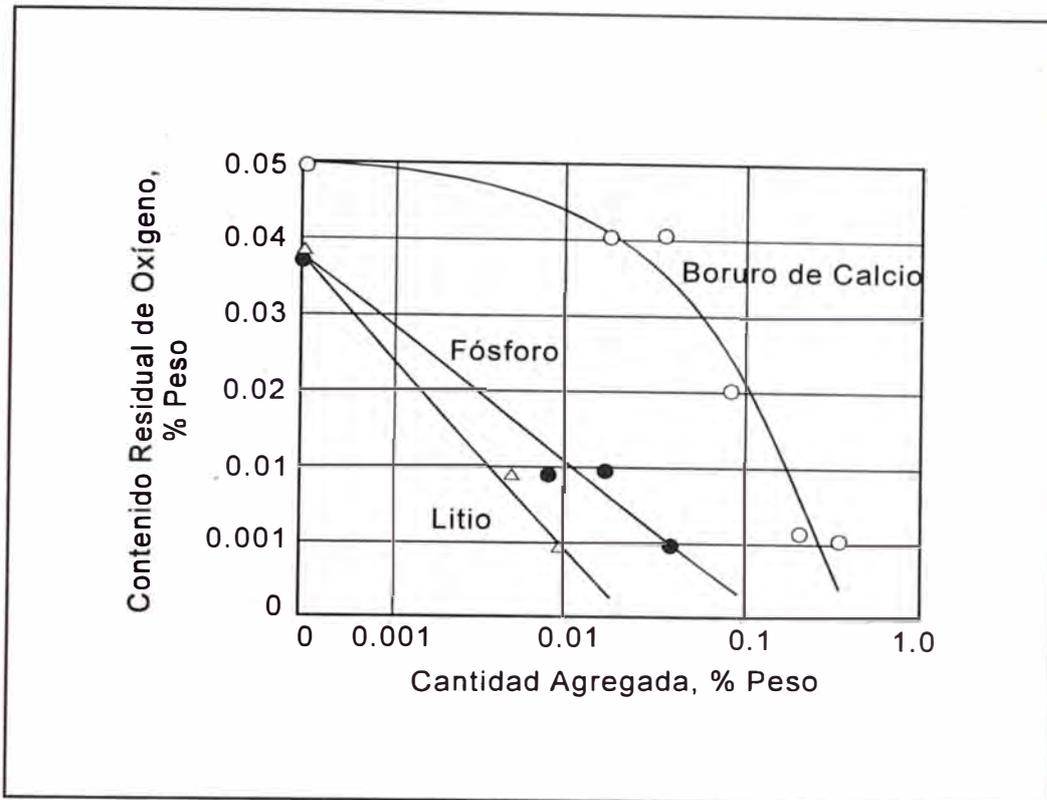
Los latones amarillos, bronce al silicio, bronce al manganeso y bronce al aluminio, usualmente no requieren desoxidación por sí mismo, debido a los efectos desoxidantes de sus respectivos constituyentes de la aleación.

Desoxidación con Boro

El boro se encuentra disponible como una aleación maestra cobre-boro o como boruro de calcio (CaB_6). El boro, probablemente forma una escoria de borato de cobre, de la forma general $2\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$, en más o menos la misma forma como el fósforo produce una escoria de fosfato óxido cuproso.

Teóricamente, el boro se combina con 60% más oxígeno que la cantidad estequiométrica requerida para formar B_2O_3 y, por lo tanto, parece ser supereficiente. Sin embargo, la experiencia práctica ha demostrado que esta eficiencia teórica, no siempre es alcanzada y es más efectivo el litio, como se muestra en la Fig. 3.8. En consecuencia, a menudo se prefiere al litio, aún cuando hay que tomar grandes precauciones para su uso.

Fig. 3.8. Eficiencia de los desoxidantes en las aleaciones de cobre.



Desoxidación con Litio

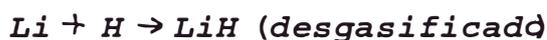
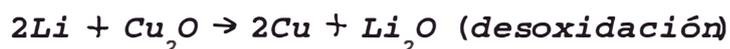
El litio tiene la ventaja de servir tanto como desoxidante y desgasificador, debido a que reacciona rápidamente con el oxígeno e hidrógeno. El litio es soluble en el cobre fundido, pero insoluble en el estado sólido. Existe muy poco litio residual contenido en la pieza o en la chatarra de retorno.

Debido a que el litio es un metal muy reactivo en el aire, el litio metálico debe almacenarse en aceite. Para aplicaciones en fundición, el litio se suministra en cartuchos sellados de cobre. Estos cartuchos deben almacenarse en un ambiente seguro y seco, debiendo precalentarse (por encima de 105 °C) antes de su uso, para eliminar cualquier humedad superficial.

Estos cartuchos precalentados, deben luego ser cuidadosamente sumergidos firme y rápidamente hasta el fondo de la vasija de reacción (horno o cuchara) para obtener un total contacto y reaccionar con el baño. Sólo deben usarse para esta tarea, herramientas para sumergir limpias, secas y precalentadas. Usualmente, se prefieren barras de grafito.

Generalmente, los cartuchos de cobre-litio están disponibles en diversos tamaños que varían de 2.25 g para 23 kg de metal fundido hasta 108 g. De este modo, pueden hacerse las adiciones de litio a una máxima eficiencia.

Las reacciones químicas específicas que se producen con el litio, incluyen:



El óxido de litio (Li_2O) y el hidróxido de litio ($LiOH$), se separan limpiamente como una escoria fluida de baja densidad, adecuada para el escoriado. El hidruro de litio que se forma inicialmente si el hidrógeno está presente, es inestable a la temperatura normal de fusión del cobre y se recombina con el óxido cuproso (recombinación).

Cuando el litio se añade en exceso de la cantidad presente de óxido cuproso, este reacciona con la humedad del aire durante el vaciado y puede, por lo tanto, generar suficiente hidrógeno para regasear el baño. Esto puede producir una adicional porosidad por gases, no anticipada y piezas no sólidas durante la solidificación.

Debido a que el litio es un efectivo desoxidante, puede también reducir las impurezas de óxidos residuales (FeO , P_2O_5 , etc.) en los baños de cobre de alta conductividad. Esto permite que estos elementos se redisuelvan en el metal fundido hasta alcanzar su límite de solubilidad y de este modo se reduce la conductividad eléctrica.

Además, el litio puede formar compuestos intermetálicos con la plata, plomo, estaño y zinc, cuando el litio residual excede al contenido requerido para la desoxidación. Estos compuestos intermetálicos, en vista de que reducen la solubilidad sólida, pueden mejorar las propiedades mecánicas y conductividad eléctrica.

Ocasionalmente, puede ser deseable practicar un tratamiento duplex de desoxidación, usando el fósforo menos caro, seguido por el tratamiento con el litio. Debe tenerse mucho cuidado para hacer esto rápidamente y no permitir que ocurra la reversión del fósforo, por dejar que la escoria de desoxidación de fosfato de cobre permanezca sobre el baño durante un período largo de tiempo.

Desoxidación con magnesio

El magnesio se comporta similarmente al litio, sin embargo puede almacenarse en el aire antes que en aceite. Este es, realmente un poderoso desoxidante en términos de su energía libre de formación de óxidos y se usa para desoxidar (y desulfurizar) las aleaciones cobre-níquel.

El producto de desoxidación (magnesita) es un refractario estable, diferente de los compuestos de litio, sin embargo este forma una película tenaz de óxido y puede producir inclusiones en las piezas de aleaciones de cobre.

Efectividad relativa de los desoxidantes del cobre y aleaciones

La capacidad relativa teórica de los diversos desoxidantes se presentan en la Tabla 3.4.

TABLA 3.4. Efectividad de los desoxidantes del cobre y aleaciones

| Desoxidante | Productos de reacción | Peso de desoxidante requerido para eliminar 0.01 %oxígeno, g/100 kg |
|-------------|---|---|
| Carbón | CO | 7.5 |
| Carbón | CO ₂ | 3.8 |
| Fósforo | P ₂ O ₅ | 7.5 |
| Fósforo | 2Cu ₂ OP ₂ O ₅ | 5.6 |
| Cu-15P | P ₂ O ₅ | 49.3 |
| Cu-15P | 2Cu ₂ OP ₂ O ₅ | 36.8 |
| Boro | B ₂ O ₃ | 4.4 |
| Boro | 2Cu ₂ OB ₂ O ₃ | 2.5 |
| Cu-2B | B ₂ O ₃ | 224.5 |
| Cu-2B | 2Cu ₂ OB ₂ O ₃ | 134.7 |
| Litio | Li ₂ O | 8.7 |
| Magnesio | MgO | 15.0 |

En la práctica, la selección del desoxidante debe basarse sobre la eficiencia real, economía, facilidad de uso y requerimientos metalúrgicos específicos de la aleación a producir.

3.8 REFINADORES DE GRANO

En general, el refinamiento de grano de las aleaciones de base cobre, no es practicado como una etapa específica del procesamiento del metal fundido, debido a que cierto grado de refinamiento puede obtenerse con el proceso normal de fundición.

Como con las aleaciones de aluminio, el refinamiento de grano en las aleaciones de cobre puede alcanzarse por un rápido enfriamiento, vibración mecánica, o la adición de nucleantes o agentes que restrinjan el crecimiento de grano. Además, muchas aleaciones comerciales tienen suficiente soluto (zinc, aluminio, fierro, estaño) para alcanzar el sobreenfriamiento constitucional durante la solidificación. En este caso, la nucleación y el crecimiento de grano, son naturalmente retardados.

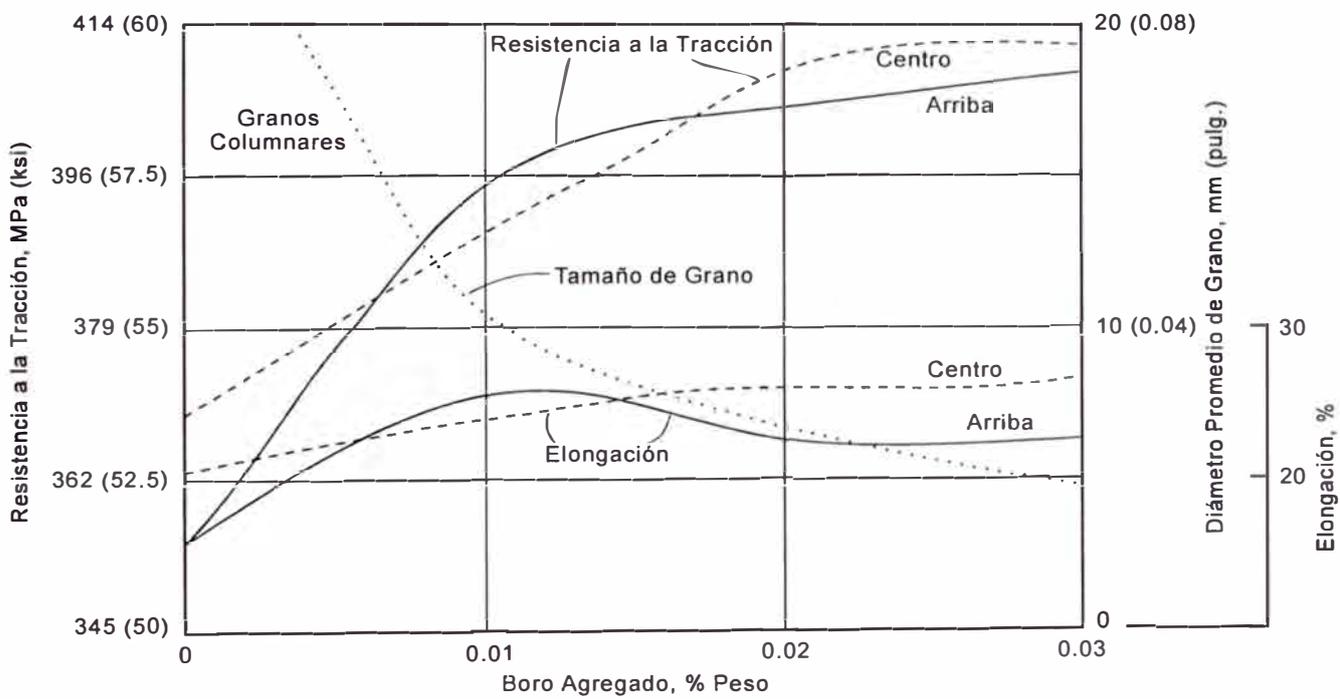
El cobre comercialmente puro, puede refinar el grano por pequeñas adiciones (tan poco como 0.10%) de litio, bismuto, plomo o fierro, que proporcionan efectos de sobreenfriamiento constitucional.

Las aleaciones de una sola fase cobre-zinc, pueden refinar el grano por adiciones de fierro o por zirconio y boro. En el último caso, el probable mecanismo es la formación de núcleos de partículas de boruro de zirconio, para la formación del grano.

En cierto caso, la vibración de una aleación de cobre de 32 %Zn, 2 %Pb y 1 %Sn, mejoró su límite de fluencia y resistencia a la tracción en aproximadamente 15%, con una reducción del 10% en el tamaño de grano, del estado no vibrado. En general, los latones alfa de las aleaciones de cobre con < 35 %Zn, exhiben una gran mejora en las propiedades con una reducción del tamaño de grano, mientras que los latones beta no.

Las aleaciones cobre-aluminio, tienen una efectiva reducción del tamaño de grano con adiciones de 0.02 a 0.05 %B; el efectivo agente nucleante es el carburo de boro (B_4C); la Fig. 3.9, ilustra la mejora en las propiedades mecánicas obtenida por el refinamiento de grano en una aleación de cobre con 10 % Al.

Fig. 3.9. Efecto del refinamiento de grano con boro, sobre las propiedades mecánicas de la aleación Cu-10Al.



En los bronce al estaño, se ha refinado el grano exitosamente con adiciones de aleaciones maestras de zirconio (0.02%) y boro. Sin embargo, se reduce la resistencia a las presiones, debido a que en estas aleaciones de rango amplio de solidificación, un tamaño de grano fino concentra la porosidad a causa del atrapamiento de gases.

En el latón rojo, puede refinarse el grano adicionando a la aleación fundida 0.05 %Zr; también produce algún refinamiento la presencia de alrededor del 1 %Fe.

Adiciones de Fe de esta magnitud, también refinan el tamaño de grano de las piezas fundidas de los bronce al aluminio y del bronce al manganeso, el fierro esta presente en muchas de estas aleaciones y el tamaño de grano de las piezas fabricadas con ellos, es normalmente bastante fino.

Los bronce al aluminio y latones beta, libres de fierro, pueden refinar su tamaño de grano con la adición de 0.03 % Zr junto con 0.02 %B o por la adición de B solamente; también puede añadirse muchos de los metales de las tierras raras.

CAPITULO IV:

DISEÑO DE RISERS Y SISTEMA DE ALIMENTACION

4.1 SOLIDIFICACION DEL BRONCE AL MANGANESO

Las aleaciones comerciales de base cobre son casi únicos por las características que presentan del rango de solidificación. El conocimiento del modo de solidificación es, especialmente, importante al fundidor, en vista de que este controla la incidencia de la porosidad de contracción, los modelos en que esta porosidad de contracción tienen lugar y las técnicas requeridas de alimentación.

Debido a la amplia variación en el modo de solidificación de las aleaciones de base cobre, una pieza en particular que requiere un cierto diseño de risers y un determinado sistema de alimentación cuando se hace de una aleación, puede requerir el uso de un procedimiento diferente cuando se hace de otra aleación. Por lo tanto, el fundidor de aleaciones de cobre, frecuentemente, confronta la necesidad de hacer cambios radicales en la práctica.

Es de importancia que todos aquellos que están comprometidos en la manufactura de piezas de aleaciones de cobre, tengan una completa comprensión de las características de solidificación de estas aleaciones y su impacto sobre los procedimientos del diseño de risers y sistemas de alimentación.

4.1.1 MODO DE SOLIDIFICACION

Para propósitos prácticos, con el objeto de discutir la solidificación, **se divide a las aleaciones de base cobre en 2 grupos**. Esta clasificación es grosera, ya que estos grupos representan extremos de comportamiento; algunas aleaciones caen en la clasificación intermedia.

Es por ello, a continuación describiremos solamente el modelo de solidificación del bronce al manganeso, que forma parte de las aleaciones de base cobre del Grupo I.

GRUPO I: Aleaciones que solidifican formando una piel sólida (aleaciones con estrecho rango de solidificación)

Este grupo comprende al cobre puro, las aleaciones con alto cobre (cobre-cadmio, cobre-cromo, cobre-berilio), aleaciones cercanas al eutéctico como los bronce al aluminio y ciertos latones amarillos.

Cuando se vacía una aleación del Grupo I dentro de un molde de arena, primeramente hay un período de demora durante el cual el molde extrae el sobrecalentamiento del metal líquido. La solidificación empieza tan pronto como la temperatura del metal adyacente a las paredes del molde, cae al punto de solidificación o temperatura de líquidus en el caso de aleaciones (algunas veces, en la práctica se produce un ligero sobreenfriamiento).

El inicio de la solidificación está marcado por la formación de numerosos pequeños cristalitas contra las paredes del molde. Los cristalitas orientados favorablemente, luego empezarán a crecer rápidamente, a los lados y hacia dentro, enlazándose con sus vecinos para formar una piel continua o cáscara de metal solidificado, conocido como "**frente de solidificación**", ver la Fig. 4.1. El frente que es, realmente, el límite entre el metal líquido y sólido, luego avanza hacia el interior de la pieza en una dirección perpendicular a las paredes del molde.

Fig. 4.1. Frente de solidificación en el cobre de alta pureza.

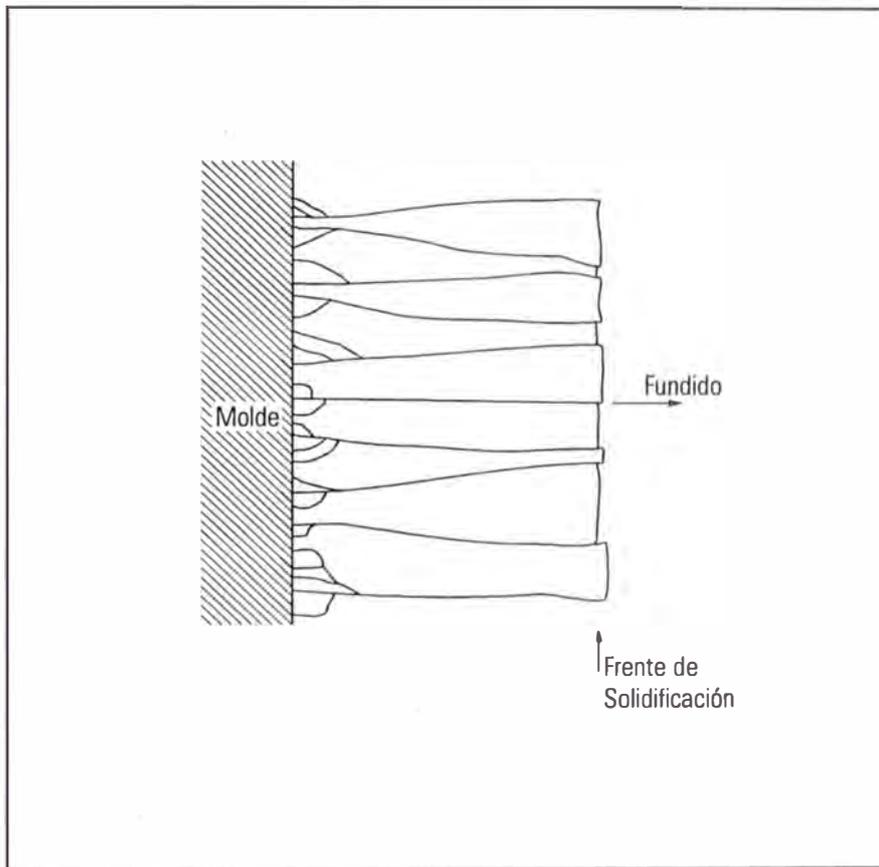
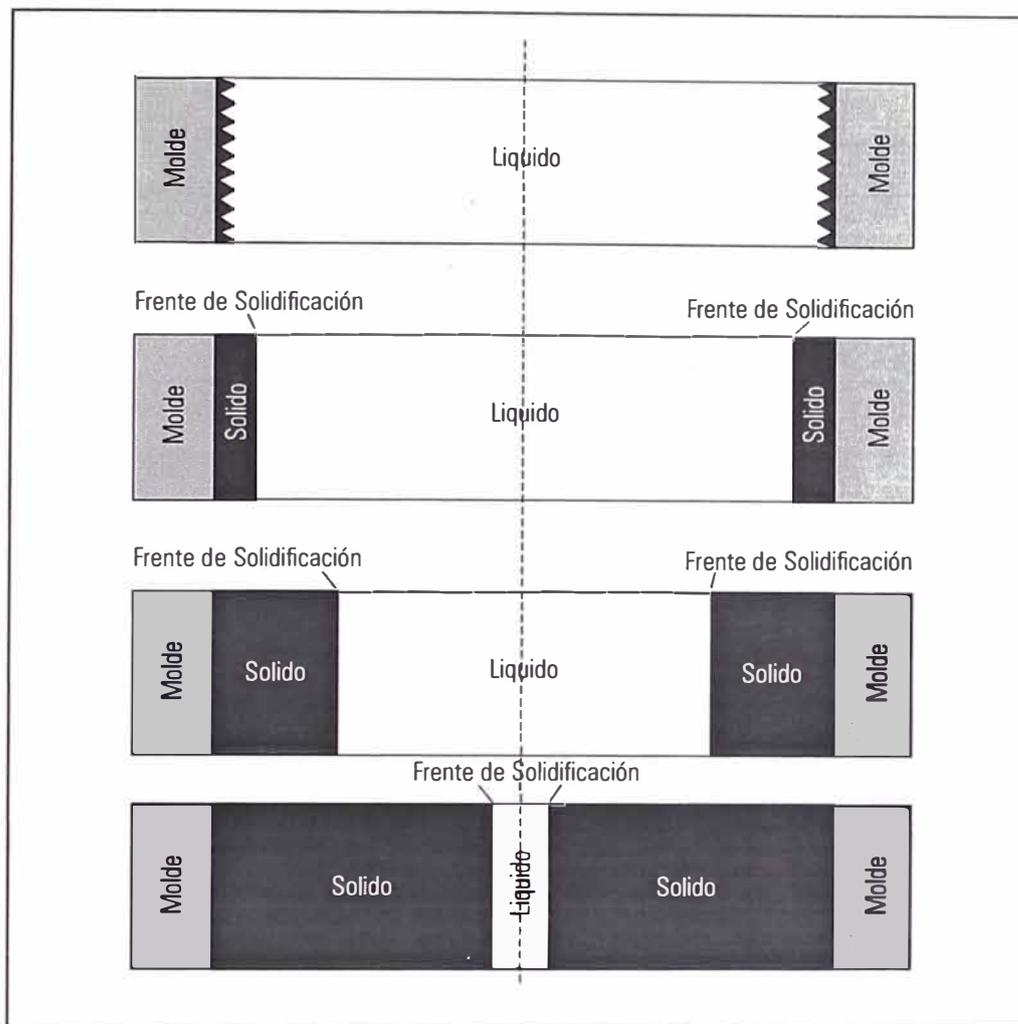
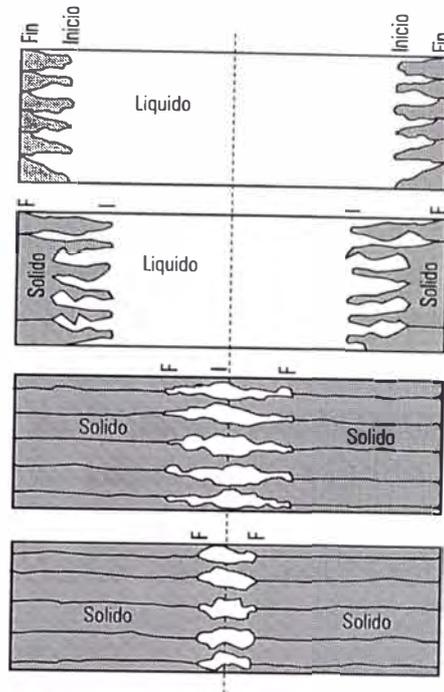


Fig. 4.2. Etapas en la solidificación del cobre de alta pureza.



Este modo de solidificación se ilustra en la Fig. 4.2, que presenta las etapas progresivas en la solidificación de la sección de una placa. Las condiciones aquí mostradas, estrictamente hablando, son típicas sólo para metales puros, tal como el cobre puro, o en aleaciones de composición eutéctica, las cuales solidifican a una temperatura fija.

Fig. 4.3. Etapas en la solidificación de aleaciones de cobre de bajo contenido de aleantes. Solidificación formando piel.



La solidificación de metales conteniendo pequeñas cantidades de elementos aleantes o impurezas (cobre oxidado, cobre-cromo, etc.) es completamente similar excepto que en vez de ser liso, el frente de solidificación es rugoso debido a la tendencia hacia el crecimiento dendrítico de los cristales. La solidificación de estas aleaciones se presenta en la Fig. 4.3.

Por lo tanto, la característica fundamental de todas las aleaciones del Grupo I, es que ellas poseen un pequeño rango de solidificación o ninguno. Las macroestructuras de las piezas de estas aleaciones, usualmente, presentan cristales columnares.

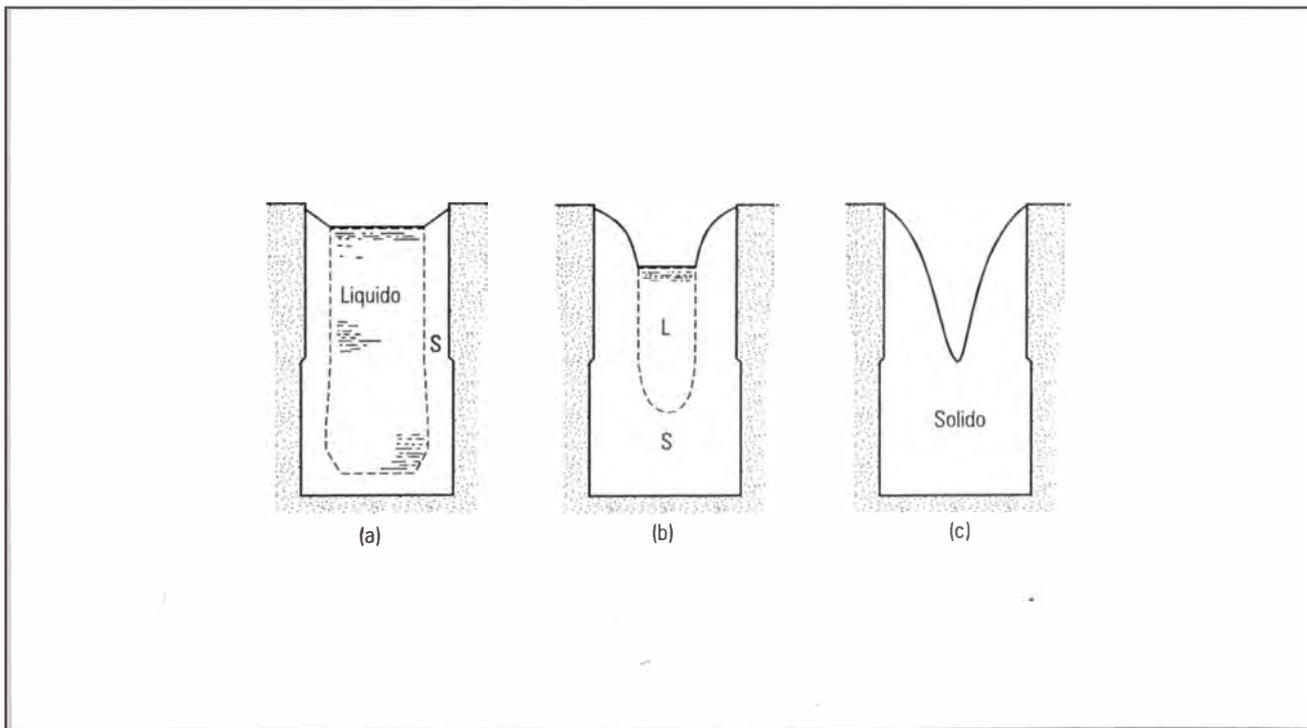
El modo preciso de solidificación, también es afectado por las condiciones de solidificación, tales como la velocidad de solidificación.

4.1.2 EFECTO DE LA SOLIDIFICACION SOBRE LA POROSIDAD DE CONTRACCION

El modo de solidificación descrito es, muy importante desde el punto de vista de la alimentación de piezas, en vista de que este gobierna el tipo y distribución de la porosidad de contracción o "**rechupe**", que tiende a producirse.

La solidificación del bronce al manganeso se caracteriza por la formación de rechupes simétricos y profundos. La forma en que estos rechupes se producen se presenta en la Fig. 4.4. El cobre de alta pureza y otros metales puros forman rechupes lisos de forma perfecta. El cobre conteniendo pequeñas cantidades de elementos aleantes o impurezas tiende a formar rechupes menos regulares cuyas paredes son un tanto rugosas, correspondiendo a la apariencia del frente de solidificación de "colina y valle".

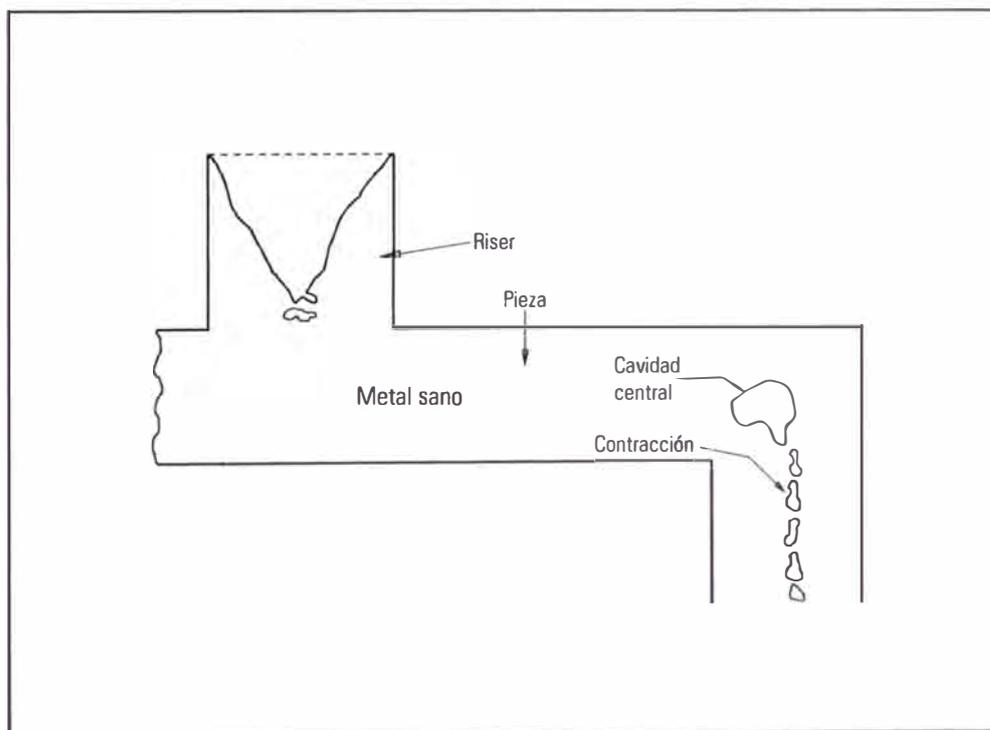
Fig. 4.4. Formación del rechupe en las aleaciones de cobre que solidifican formando una piel sólida.



En secciones de placas o barras, las aleaciones del Grupo I, cuando no son alimentadas, dan origen a la contracción de la línea central del tipo indicado en la Fig. 4.5. Esta clase de contracción surge, hacia el fin de la solidificación, debido a que las puntas de los cristales se aproximan a la línea central de la sección desde direcciones opuestas haciendo contacto uno con otro; de este modo, el metal líquido residual en los valles se cierra a cualquier acceso al reservorio de alimentación de metal en los risers.

Los "centros térmicos" no alimentados en piezas hechas de estas aleaciones dan origen a cavidades pronunciadas, de paredes lisas, como se muestra en la Fig. 4.5.

Fig. 4.5. Representación esquemática de la porosidad de contracción en piezas hechas en aleaciones de cobre que solidifican formando una piel sólida.



4.1.3 VELOCIDAD DE SOLIDIFICACION

La velocidad de solidificación de las aleaciones del grupo I, que solidifican formando una piel, puede expresarse en términos de la velocidad a la cual se forma la cáscara sólida en las paredes del molde. Si d es el espesor de la cáscara después de un tiempo (t), medido a partir del instante del vaciado de la pieza, entonces:

$$d = q \sqrt{t}$$

donde q es la constante de solidificación de la aleación.

Para la mayoría de las aleaciones de base cobre de estrecho rango de solidificación, fundidas en arena, la constante de solidificación q es aproximadamente $0.27 \text{ pulg}/\text{min}^{1/2}$.

Por razones obvias la velocidad de solidificación de las aleaciones de cobre que no forman piel sólida y solidifican de una manera pastosa (Grupo II), que tienen amplio rango de solidificación, no puede expresarse en esta forma, aún cuando puede derivarse una ecuación similar que implica el peso de metal solidificado. Con aleaciones de este grupo, sin embargo, el principal interés es el tiempo total de solidificación de la pieza, la cual esta dada aproximadamente por la Regla de CHVORINOV:

$$t = \frac{1}{q^2} \left(\frac{V}{A} \right)^2$$

donde V es el volumen de la pieza y A es su área superficial.

Para las aleaciones de cobre, la cantidad $1/q^2$ es alrededor de 13.7, las unidades son pulgadas y minutos.

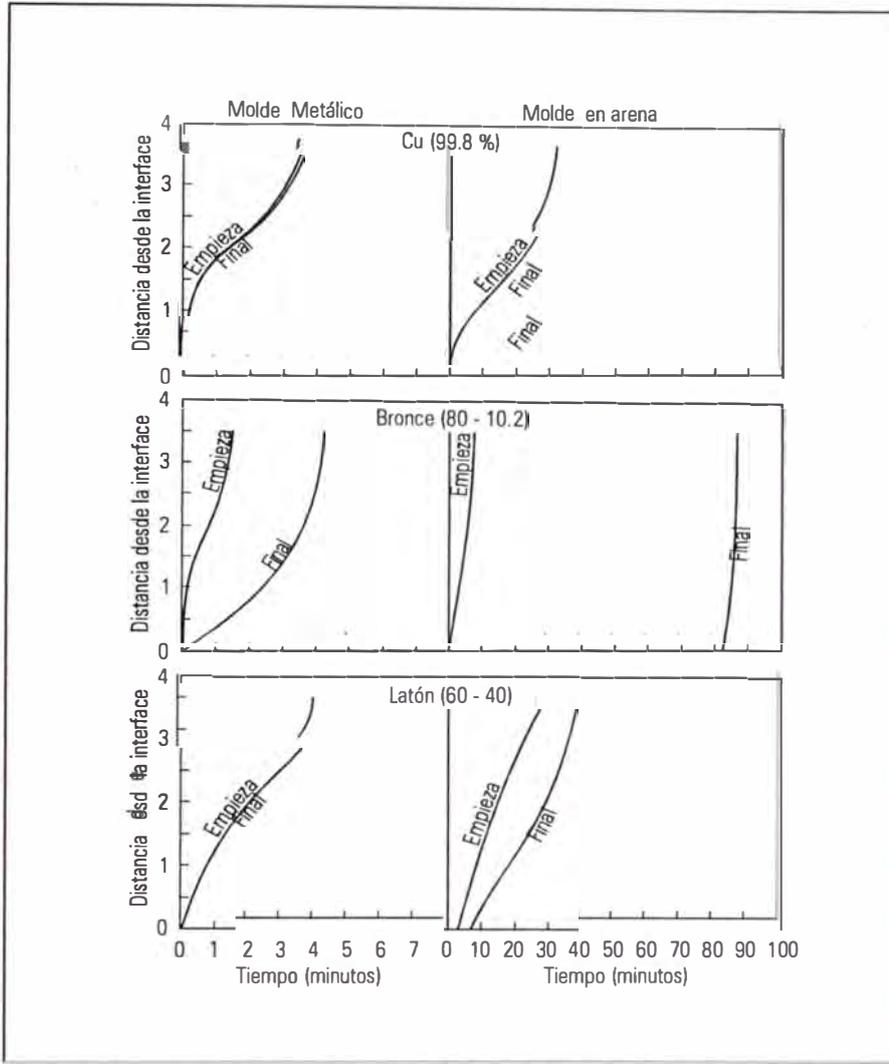
PIEZAS EN MOLDES METALICOS

Con algunas excepciones, las aleaciones de cobre fundidas en moldes metálicos exhiben las mismas características de solidificación que ellos presentan en los moldes de arena. La solidificación en moldes metálicos es casi 4 veces más rápida que en los moldes de arena y esta mayor velocidad de solidificación produce un cierto estrechamiento de la zona de parcial solidificación.

Las aleaciones que solidifican de la manera pastosa, cuando se funden en moldes de arena, tienden hacia el modo intermedio de solidificación cuando se funden en un molde metálico; similarmente, las aleaciones que solidifican de la manera intermedia en moldes de arena, presentan una tendencia más pronunciada hacia la formación de una piel, cuando ellos solidifican en un molde metálico. Esto se ilustra en la Fig. 4.6, donde se presenta el movimiento de las curvas de inicio y fin de solidificación en el cobre, latón amarillo y latón rojo.

En estos diagramas, la distancia vertical entre las curvas de inicio y fin de solidificación, indica el tamaño de la zona de parcial solidificación a cualquier tiempo. La distancia horizontal entre estas dos curvas indica el tiempo en que la ubicación comprometida estuvo en un estado de parcial solidificación.

Fig. 4.6. Comparación de la solidificación de las aleaciones de cobre en moldes de arena y moldes metálicos.



La Fig. 4.6, muestra que el cobre solidifica formando una piel, tanto en moldes de arena como en moldes metálicos. Por otro lado, los latones rojos tienen un largo período durante el cual la pieza completa está semi-sólida. En las piezas fundidas en moldes metálicos la mayor velocidad de solidificación ciertamente reduce el período durante el cual se obtiene el estado pastoso, sin embargo, este período es aún muy largo.

Los latones amarillos son excepcionales en exhibir completamente una amplia zona de parcial solidificación cuando se funden en moldes de arena, mientras que en piezas fundidas en moldes metálicos la profundidad de la zona es marcadamente reducida y el mecanismo de solidificación se aproxima a la formación de una piel.

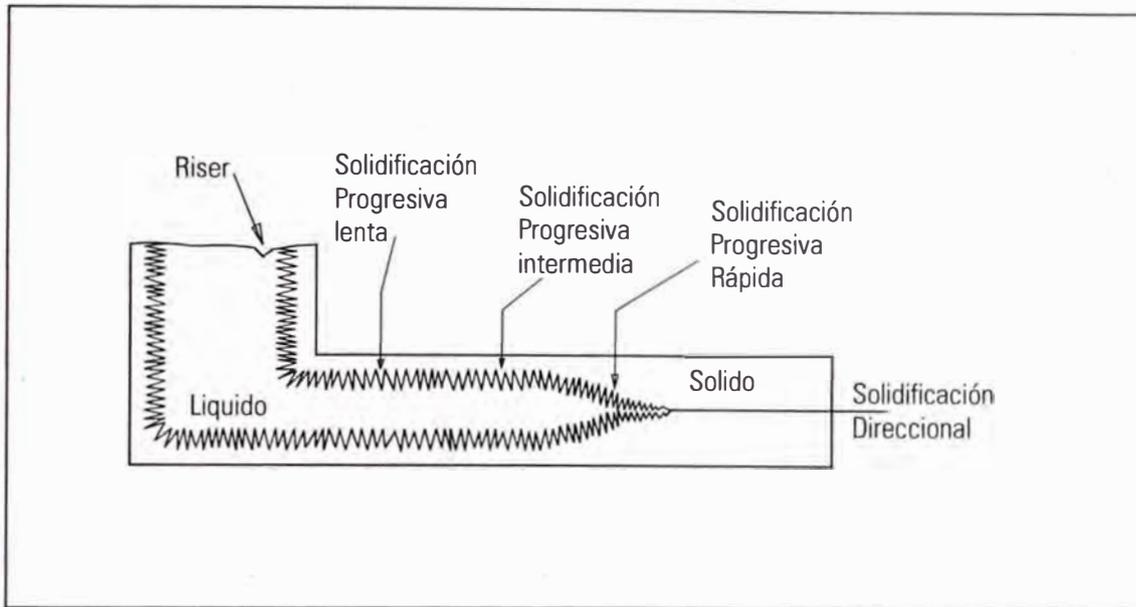
4.1.4 SOLIDIFICACION DIRECCIONAL

El deseo de producir piezas de calidad es tan antiguo como la industria de la fundición, sin embargo, el concepto de solidificación direccional no fue apreciada hasta inicios de 1930.

La solidificación direccional se define como el proceso por el cual el metal en el molde comienza a solidificar en los puntos más lejanos del riser y continúa solidificando progresivamente hacia el riser, el cual es la última parte que solidifica. En esta forma, la contracción o rechupe se produce en el riser, obteniéndose una pieza sana.

La solidificación direccional asegura que la solidificación de las paredes laterales de la pieza no sea tan rápida como para crear puentes a través de la sección, que eviten el flujo de metal líquido desde el riser a las partes más lejanas de la pieza.

Fig. 4.7. Características de la solidificación progresiva y solidificación direccional.



La solidificación desde las paredes laterales se llama "solidificación lateral", y la solidificación paralela a las paredes del molde se denomina "solidificación longitudinal". Cuando las velocidades de la solidificación lateral y longitudinal se ajustan para producir una pieza sana, se consigue la solidificación direccional.

La solidificación direccional significa, como se muestra en la Fig. 4.7, que el grado de las velocidades de solidificación progresiva a lo largo de la pieza son tales que las posiciones sobre la línea central cerca al extremo libre de la pieza solidifican antes que aquellos puntos cercanos al riser.

La discusión de la solidificación direccional, hasta ahora pertenece a la solidificación de metales puros, aceros de bajo carbono, bronce al aluminio, y otras aleaciones que solidifican, esencialmente, de una manera que forman una piel.

4.1.5 SEGREGACION

Aún cuando, debido a que no es el objeto del estudio, es importante mencionar que el tipo de segregación presentado en las piezas de aleaciones de cobre fundidas en moldes de arena, está estrechamente relacionado con el modo de solidificación.

Las aleaciones del Grupo I, que solidifican formando una piel, usualmente, presentan segregación normal. En piezas fundidas en moldes de arena, la magnitud de esta es raramente marcada y por lo general es despreciable.

4.2 DISEÑO DE RISERS

Los risers, en realidad se diseñan para prevenir la formación de los huecos de contracción o rechupes en la pieza durante la solidificación, en la cual se originan 3 contracciones:

- 1) Desde la temperatura del vaciado hasta la temperatura de liquidus, se produce la contracción líquida.
- 2) De la temperatura del liquidus a la temperatura del solidus, esto es durante la transformación desde el estado líquido al sólido, se origina la contracción de solidificación.
- 3) Desde la temperatura del solidus hasta la temperatura ambiental, se produce la contracción sólida.

El problema a mano, porosidad de contracción, puede resolverse controlando el modelo de solidificación y los gradientes térmicos, tal que los rechupes se produzcan fuera de la pieza misma. Es evidente que para producir las mejores propiedades de ingeniería en una pieza dada, deben eliminarse los rechupes.

Para producir una pieza sana, el riser o reservorio de metal líquido el cual es para compensar la contracción de solidificación, fundamentalmente, debe satisfacer 2 requerimientos:

1) Tamaño del Riser.- Si el riser tiene que suministrar metal líquido para alimentar la contracción de solidificación de la pieza, debe solidificar después que la pieza (excepto en la fundición gris). Cuando el material del molde que rodea al riser y la pieza es el mismo, entonces la relación $(V/A)^2$ del riser debe exceder al de la pieza, a menos que se coloque sobre el riser una fuente externa de calor tal como un material exotérmico o la pieza tenga enfriadores.

2) Colocación del riser.- Para una aleación con alta resistencia a la alimentación central, una pieza requerirá risers espaciados más estrechamente que para otra aleación. En otras palabras, la distancia efectiva de alimentación de un riser en una aleación con amplio rango de solidificación es menor que en una aleación de estrecho rango de solidificación.

Los métodos para determinar el tamaño del riser, deben basarse sobre los criterios de tiempo de solidificación y volumen de alimentación del riser, de tal manera que se asegure una solidificación direccional y la producción de una pieza sana. Para cada tipo de pieza en particular, uno de estos criterios será el factor crítico que controla el tamaño mínimo del riser.

En los casos donde el tamaño del riser está controlado por el tiempo de enfriamiento (piezas pesadas), no es necesario casi nunca estimar el tiempo de solidificación del riser y la pieza, ya que las comparaciones puramente geométricas de éstas piezas puede adoptarse para asegurar que el riser solidifique al último.

En su forma más simple, se puede hacer comparaciones entre las secciones de la pieza y el riser; pero técnicas más comprensivas de comparación tridimensional se han desarrollado basándose en la ley de Chvorinov.

Grupo I: Aleaciones con estrecho rango de solidificación

La técnica de alimentación para las aleaciones del Grupo I, es similar a aquella usada en la manufactura de las piezas de acero. Las entradas y risers se disponen de tal forma que aseguren la solidificación direccional, considerando la distancia de alimentación de la aleación en cuestión. Para evitar los puntos calientes, pueden aplicarse enfriadores locales a las protuberancias, filetes, etc.

El principio general en el diseño de risers de estas aleaciones es hacer uso del efecto retardador sobre la solidificación y el efecto acelerador de las esquinas y bordes externos de la pieza, así para obtener un frente de solidificación en V, con el extremo ancho hacia el riser (Fig. 4.7).

De este modo, se asegura un fácil acceso de la alimentación de metal a la región de la pieza donde, en cualquier instante, la solidificación se está completando (es decir, el vértice de la V).

Un riser simple localizado, por ejemplo, sobre la sección de una barra o placa, solamente alimentará una distancia limitada a lo largo de la sección. Esta distancia es conocida como la "distancia de alimentación" del riser. Frecuentemente, distancias mayores necesitan el uso de múltiples risers, cada uno alimentará una sección de la pieza, o el uso de enfriadores que actúan para incrementar la distancia efectiva de alimentación.

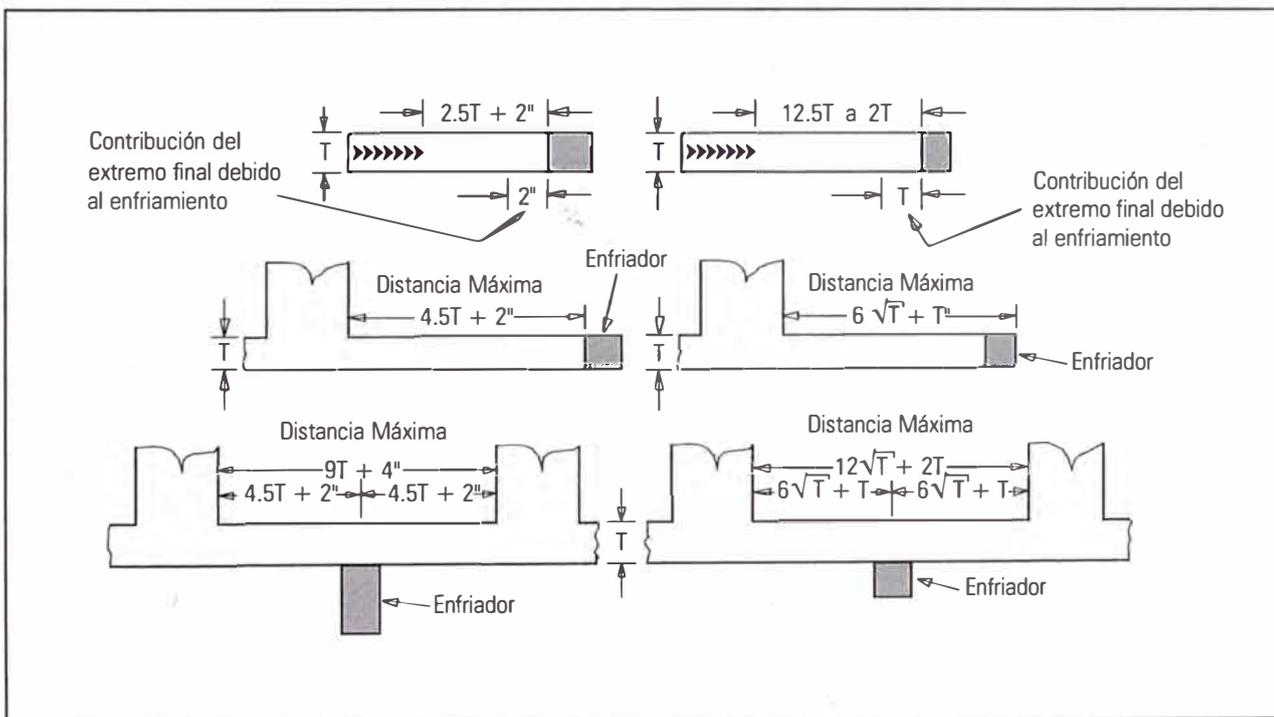
Distancia de Alimentación de las aleaciones del Grupo I

En vista de que todas las partes de una pieza deben estar dentro de la distancia de alimentación de por lo menos uno de los risers, es importante tener información cuantitativa respecto a la distancia de alimentación. Los valores de distancia de alimentación para las aleaciones de cobre del Grupo I, no han sido muy documentados. En ausencia de datos específicos para aleaciones particulares, a menudo pueden obtenerse resultados satisfactorios aplicando valores que se han desarrollado para aceros al carbono. Los siguientes valores aproximados para la distancia de alimentación han sido citados en la literatura y deben usarse con precaución:

| Aleación | Forma | Distancia de alimentación en término del espesor (T) |
|--|------------------|--|
| Bronce al manganeso | Barras cuadradas | $4T$ a $10\sqrt{T}$, dependiendo del espesor |
| | Placas | $5.5T$ a $8T$, como en el anterior |
| Bronce al aluminio | Barras cuadradas | $8\sqrt{T}$ |
| Bronce al aluminio-níquel Cuproníquel | Barras cuadradas | Menos de $8\sqrt{T}$ |
| | Barras cuadradas | $5.5T\sqrt{T}$ |

Los valores típicos para las placas de bronce al manganeso, indican que la distancia de alimentación aumentan más o menos linealmente con el tamaño de la sección, teniendo un valor de alrededor de $6T$. Esta afirmación se aplica a secciones que terminan con un extremo libre. Se observa que casi los $2/3$ de la distancia de alimentación es, realmente, contribuido por este efecto del extremo. Por lo tanto, si esta ausente este efecto del extremo, como en el caso de una pieza de forma de anillo, la distancia de alimentación será bastante pequeña y tales piezas pueden alimentarse por un número de risers, cuyo espaciamiento es tal que la distancia entre ellos no excederá de 4 veces el espesor de la sección. Recíprocamente, el espaciamiento entre risers puede incrementarse hasta casi 10 veces el espesor de la sección, si se ubican enfriadores al centro entre cada riser (Fig. 4.8).

Fig. 4.8. Efecto de los enfriadores en aumentar la distancia de alimentación.



Consideraciones de la Forma del Riser

Desde el punto de vista de eficiencia térmica y de facilidad de moldeo, la forma más deseable es la cilíndrica con una relación de altura a diámetro (H/D) en el rango de 1.0 a 1.5. En piezas pequeñas pueden usarse risers laterales ciegos de forma cilíndrica con la superficie inferior y superior, semiesféricas. Tales risers se conectan en la pieza con un pequeño "cuello" o "neck" y la entrada o "ataque", usualmente se fija al riser para obtener mejores resultados.

En piezas que tienen múltiples risers localizados a diferentes niveles verticales, los risers ubicados cerca al extremo superior de la pieza alimentarán las secciones inferiores de la pieza (y los risers asociados con estos) hasta que solidifique la sección interconectada. Esta situación aumenta significativamente la demanda de alimentación a los risers superiores, con la posibilidad de que los haga inadecuados.

En esta circunstancia, el tamaño del riser superior debe incrementarse de tal forma que sea capaz de satisfacer la mayor demanda de alimentación de metal. Usualmente el aumento de volumen requerido es aproximadamente $1/2$ de la suma de las porciones inferiores más el riser y neck asociados a estas, multiplicado por la contracción total de la aleación entre la temperatura de vaciado y la temperatura de solidus. Este efecto puede minimizarse (pero no eliminarse) con el uso de enfriadores en la sección que interconecta. La forma más fácil de incrementar el volumen del riser es aumentando su altura.

Puede obtenerse rendimientos extremadamente altos de más de 80%, cuando se usen risers aislados. Para las aleaciones del grupo I, el volumen del riser puede ser sólo del 15 al 25% de la sección de la pieza a alimentar.

Las pérdidas de calor por radiación de la superficie superior expuesta del riser, representan un considerable porcentaje de las pérdidas totales de calor, alcanzando a 25% en los risers aislados y 50% en los risers no aislados. Por lo tanto, sin considerar el tipo de riser, el extremo superior del riser siempre debe cubrirse con un material exotérmico o aislante, a fin de promover la máxima eficiencia de alimentación. Se recomienda que la altura mínima de la cubierta del material usado será de 1/10 del diámetro del riser.

Es muy importante prevenir la solidificación prematura de la superficie superior del riser a fin de evitar el aislamiento de metal del contacto con la presión atmosférica de los alrededores. La presión atmosférica actúa forzando a que el metal líquido alimente las secciones adyacentes de la pieza, a medida que se contrae.

Los manguitos exotérmicos, que eran en otros tiempos populares, se ha descontinuado su uso, reemplazándose por los manguitos aislantes que son más económicos y ocasionan menos problemas. Pueden alcanzarse, sin embargo ahorros sustanciales con el empleo de cualquier tipo de manguito.

Cálculo de las dimensiones del riser

De cuando en cuando, varios métodos se han desarrollado para el cálculo del tamaño óptimo del riser, a ser usado para alimentar una pieza en particular o sección de la pieza.

4.2.1 METODO DEL FACTOR DE FORMA (NRL)

Uno de los métodos más populares fue desarrollado en el U.S. Naval Research Laboratory, y se establecieron relaciones empíricas entre la **relación de volúmenes** y el **factor de forma**, donde:

$$\text{Relación de Volúmenes} = \frac{V_r}{V_c}$$

$$\text{Factor de Forma} = \frac{L + W}{T}$$

(L, W y T son longitud, ancho y espesor de la pieza, respectivamente).

Mucho de los trabajos publicados sobre el diseño de risers de las aleaciones de cobre de estrecho rango de solidificación, involucran la aplicación de este así llamado "Método NRL" y numerosos ejemplos de esta técnica pueden encontrarse en la literatura de fundición.

4.2.2 METODO DEL MODULO

En años recientes, gran atención se ha dado al conocido como el "método del módulo" para calcular el tamaño del riser, que incluye el desarrollo de datos pertinentes y programas de computación. Este método en la actualidad y no dudamos que continúe siéndolo, la técnica usada más ampliamente en la industria.

Este método se ha empleado extensivamente en el diseño de risers en piezas de acero, sin embargo se aplica también en aleaciones de cobre de estrecho rango de solidificación. A continuación, describiremos brevemente este método.

La regla de Chvorinov establece que el tiempo de solidificación (t), de una pieza esta dada por la relación:

$$t = k \times \left(\frac{V}{A}\right)^2 \quad (1)$$

En esta expresión (V) y (A) son el volumen y el área superficial de la pieza, respectivamente, y k es una constante de proporcionalidad cuyo valor depende de las propiedades térmicas del metal y del molde.

Por conveniencia, el término (V/A) en la ecuación de Chvorinov, es generalmente reemplazado con el símbolo, M , un valor referido como el "módulo" de la forma. El término "módulo" es tan sólo una forma abreviada de decir "volumen dividido por área superficial". La ecuación 1, anterior, puede reescribirse más simplemente para indicar:

$$t = k \times M^2 \quad (2)$$

En vista que la ecuación de Chvorinov puede aplicarse a cualquier forma de pieza, se usa tanto para la pieza, como para el riser respectivo. Cuando se trata de formas unidas tales como un riser y una pieza, el área superficial de cada forma a ser considerada incluirá solo aquellas porciones que contribuyen a la pérdida de calor durante la solidificación.

Para describir el tiempo de solidificación de la pieza y el riser, se requieren 2 ecuaciones y los subíndices c y r se usarán para distinguir a los valores de la pieza y riser respectivamente.

$$\text{Pieza:} \quad t_c = k \times M_c^2 \quad (3)$$

$$\text{Riser:} \quad t_r = k \times M_r^2 \quad (4)$$

En un sentido práctico, no estamos muy interesados con el tiempo real requerido para la solidificación, más bien interesa el tiempo relativo de solidificación del riser y la pieza. Obviamente, el riser para ser efectivo debe solidificar después que la pieza lo ha hecho. Matemáticamente esto significa que t_r debe ser mayor que t_c en cierta cantidad, es decir:

$$\frac{t_r}{t_c} = F^2 > 1 \quad (5)$$

Esto significa que la relación del tiempo de solidificación del riser y la pieza, es cierto número cuyo valor, cuando está al cuadrado es un número mayor que uno. Esto puede escribirse como:

$$\frac{t_r}{t_c} = \frac{k \times M_r^2}{k \times M_c^2} = F^2, \text{ o } M_r^2 = F^2 \times M_c^2 \quad (6)$$

Simplificando tenemos:

$$M_r = F \times M_c \quad (7)$$

Esto significa que el módulo del riser, M_r , debe ser mayor que el módulo de la pieza por algún factor, F . La experiencia ha demostrado que el valor adecuado de F depende del metal que se va a colar. Comúnmente, para el acero y la fundición nodular, se ha usado un valor de 1.2, mientras que un valor ligeramente mayor de alrededor de 1.3, es preferido en las aleaciones de cobre de estrecho rango de solidificación. Esto es:

$$M_r = 1.3 M_c \quad (8)$$

Notar que esto sólo es un factor a considerarse en el diseño de un adecuado riser, sin embargo la ecuación (8) simplemente nos da una forma empírica de proporcionar un riser tal que solidifique más lentamente que la pieza. El otro

requerimiento básico de cualquier riser es que éste debe tener un volumen suficiente que proporcione la cantidad necesaria de alimentación de metal a la pieza o sección de la pieza a la cual esta unida.

Para clasificar este punto consideraremos 2 piezas de formas geométricas diferente, cada una de las cuales con el mismo valor del módulo (M_c):

- 1) Primero consideraremos un cubo con una arista de 10 cm.

$$V_c = \text{longitud} \times \text{ancho} \times \text{espesor} = 1000 \text{ cm}^3$$

$$A_c = 6 \text{ veces el área de una cara} = 600 \text{ cm}^2$$

$$\text{Por lo tanto: } M_c = 1000/600 = 1.67 \text{ cm}$$

- 2) Luego consideraremos una placa cuadrada de 20 cm x 20 cm y 5 cm de espesor.

$$V_c = \text{longitud} \times \text{ancho} \times \text{espesor} = 2000 \text{ cm}^3$$

$$A_c = \text{área superior e inferior} + \text{área de los 4 bordes} \\ = 1200 \text{ cm}^2$$

En este caso también:

$$M_c = 2000/1200 = 1.67 \text{ cm}$$

Como puede observarse la segunda pieza tiene el doble del volumen de la primera pieza, y por lo tanto, puede esperarse que requiera considerablemente más alimentación de metal del riser.

Tal diferencia depende de los factores de forma. Esto puede determinarse experimentalmente cuando se necesite; sin embargo, es mucho más fácil (aún cuando menos preciso) usar los datos presentados en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Requerimientos de volúmenes mínimos de risers

| Tipo de Pieza | Mínimo V_r/V_c (%) | | | |
|---|----------------------|---------|-----------------|---------|
| | Risers aislados | | Risers en arena | |
| | H/D=1:1 | H/D=2:1 | H/D=1:1 | H/D=2:1 |
| 1 Muy Gruesas Cubos, etc. Dimensiones T:W:L = 1:1.33:2 | 32 | 40 | 140 | 198 |
| 2 Gruesas Dimensiones T:W:L = 1:2:4 | 26 | 32 | 106 | 140 |
| 3 Intermedia Dimensiones T:W:L = 1:3:9 | 19 | 22 | 58 | 75 |
| 4 Regularmente finas Dimensiones T:W:L = 1:10:10 | 13 | 15 | 30 | 38 |
| 5 Finas Dimensiones T:W:L = 1:15:30 | 8 | 9 | 12 | 14 |

Los números enlistados en la Tabla 4.1, indican los valores mínimos para la relación entre el volumen del riser y el volumen de la pieza (como porcentaje) para asegurar que el riser pueda, en verdad, suministrar la necesaria cantidad de alimentación de metal a la pieza. Se presentan 5 clases generales de pieza de "muy gruesas" a "finas". Notar que los risers que tienen una relación altura a diámetro H:D de 1:1 son más eficientes que cuando H:D es de 2:1. También se observa que los risers aislados son más eficientes que aquellos formados directamente en el molde de arena.

Ejemplo:

Una pieza de bronce al manganeso de la forma de una barra cuadrada de 5 cm x 5 cm y 25 cm de longitud será fundida en un molde de arena usando un riser cilíndrico abierto unido al extremo de la barra. Puede usarse tal riser y, si es así, ¿Cuál es la relación óptima de la altura y el diámetro del riser (H/D)?

Paso 1:

Evaluar la ubicación del riser en términos de la distancia de alimentación de la aleación. Esta distancia para barras de bronce al manganeso varía de $4T$ hacia arriba, dependiendo del valor de T . En vista de que aquí estamos tratando con un valor de 5 cm de espesor, podemos asumir sin peligro que un sólo riser colocado al extremo de la barra, alimentará toda la longitud de 25 cm. Para asegurarnos podemos colocar un enfriador externo en el extremo libre de la barra, lejos del riser, para darle un mayor gradiente térmico durante la solidificación.

Paso 2:

Calculamos el volumen (V_c), área efectiva (A_c) y módulo (M_c) de la pieza:

$$V = 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} = 625 \text{ cm}^3$$

El área efectiva de la pieza (el área desde el cual el calor es extraído durante la solidificación), será la suma de las áreas de los cuatro lados laterales más aquella del extremo libre. No se incluye el área de la barra en contacto con el riser.

Por lo tanto:

$$A_c = 4(5 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}) + (5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}) = 525 \text{ cm}^2$$

$$M_c = V_c / A_c = 625 / 525$$

$$M_c = 1.19 \text{ cm}$$

Paso 3:

Multiplicamos M_c por 1.3 (factor F para el bronce al manganeso), para obtener M_r :

$$M_r = 1.3 M_c = 1.3 \times 1.19$$

$$M_r = 1.55 \text{ cm}$$

Paso 4:

Considerar un riser abierto (el extremo superior aislado con una cubierta) que tiene una relación $H/D = 1$. Calcular el valor de H y D para tal riser, cuyo valor del módulo es $M_r = 1.55$ cm.

$$V_r = H \times D^2 / 4; \text{ dado que } H = D, \quad V_r = D^3 / 4$$

$$A_r = H \times D + D^2 / 4, \quad \text{o} \quad A_r = D(D + D/4)$$

$$M_r = \frac{D^3 / 4}{D(D + D/4)}$$

$$M_r = D/5$$

Por lo tanto:

$$D/5 = 1.55 \text{ cm } y \ D = 7.74 \text{ cm } , \ H = 7.74 \text{ cm}$$

Notar que para facilitar el cálculo, no deducimos el área del cuello o neck que conecta el riser a la pieza, cuando se calculó el área efectiva del riser. Esto introduce un pequeño error que tiende a hacer al riser un poco mayor que lo necesario. Observar también que nuestra área efectiva del riser incluye el área lateral del cilindro y el área inferior, pero no aquella del extremo superior del riser, la cual está aislada.

Paso 5:

Asumiendo un riser de $H = D = 8 \text{ cm}$, calcular su volumen y determinar si es bastante grande para proporcionar la alimentación de metal a la barra de $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$.

$$V_r = D^3/4 = 0.785 \times 512$$

$$V_r = 402.1 \text{ cm}^3$$

La relación V_r/V_c , será:

$$V_r/V_c = 402.1/625 = 0.64$$

De este modo, el volumen del riser, representa el 64% del volumen de la pieza. Refiriéndonos a la Tabla, la barra en cuestión puede considerarse como "intermedia" en la clasificación de su configuración. Por lo tanto, para un riser vaciado en un molde de arena y una relación H/D de $1 : 1$, su volumen debe ser por lo menos el 58% del volumen de la pieza. En consecuencia, el riser calculado es adecuado. Si no lo fuera, debemos incrementar su volumen aumentando la altura.

4.2.3 METODO DEL CFR

La resistencia a la alimentación central (CFR) es un término que expresa cuantitativamente la facilidad o dificultad de la alimentación. Es deseable tener un término independiente del tiempo absoluto de solidificación, tal que este pueda usarse para comparar los diferentes materiales del molde o diferentes tamaños de sección. En cualquier caso, la alimentación de una pieza se torna más dificultosa tan pronto como los cristales sólidos se presenten en el centro. Mientras mayor es el porcentaje del tiempo total de solidificación durante el cual estos cristales están presentes en el centro de la pieza, mayor es la dificultad de alimentación.

$$CFR = \frac{\text{tiempo}_{\text{durante el cual se forman los cristales en el centro}}}{\text{tiempo}_{\text{total de solidificación de la pieza}}} \times 100$$

Una revisión de la literatura sobre fundición de metales revela de que hay más artículos que tratan sobre el diseño de risers en piezas de acero que con las aleaciones de cobre, cuantitativamente.

Tabla 4.2. Valores de CFR para diversas aleaciones

| Aleación | CFR | |
|-------------------------|----------------|----------------|
| | Molde de arena | Molde metálico |
| Acero 18-8 (0.2 %C) | 35 | 9.4 |
| Acero 12 %Cr (0.13 %C) | 38 | 9.3 |
| Cobre (99.8%) | 1 | 3.1 |
| Latón 60-40 | 26 | 2.5 |
| Plomo (99%) | 17 | 17.0 |
| Acero de 0.6 %C | 54 | 19.0 |
| Monel | 64 | 25.0 |
| Latón rojo al Pb | 93 | |
| Bronce 88-10-2 | 95 | 63.0 |
| Aleación de Al, 8.0 %Mg | 91 | 65.0 |
| Aleación de Al, 4.5 %Cu | 96 | 46.0 |

Las aleaciones con una resistencia a la alimentación central (CFR) similar a la del acero tendrán un diseño de riser similar, mientras que aquellos con mayor CFR serán más difíciles de alimentar. Trabajos realizados por la Naval Research Laboratory indican que estas predicciones son correctas. La distancia de alimentación para el bronce al manganeso (similar al latón 60-40) en placas es 5.5 T vs 4.5 T para el acero, donde T es el espesor de la placa. Además, en el bronce 88-10-2 el rechupe se encontró a lo largo de toda la longitud de la barra.

Para aleaciones con gran CFR, que es el caso de la aleación C83600, es aconsejable el enfriamiento local en aquellas porciones de la pieza para las cuales sean indicadas máximas resistencias. Por ejemplo, se ha demostrado para esta aleación que en barras de 5 cm x 5 cm (2" x 2") y placas de 2.54 cm (1")

de espesor, se requieren enfriadores para producir un gradiente de $13^{\circ}\text{C} / \text{cm}$, el cual es el gradiente mínimo que asegura la solidez en esta aleación.

4.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACION

El principal objetivo que debe cumplir el sistema de alimentación es suministrar metal limpio dentro de la cavidad del molde, desde la cuchara sin dañar la calidad del metal. Otras consideraciones secundarias, tales como facilidad de moldeo, eliminación de las entradas y alto rendimiento de fundición, no deben originar un diseño de sistema de alimentación que dificulte la producción de piezas de alta calidad.

Con la finalidad de realizar un buen sistema de alimentación es necesario conocer las características básicas de solidificación y de enfriamiento de la aleación.

Pocas piezas fundidas son geométricamente sencillas y los arcos exteriores, re-entradas y ángulos afectan la velocidad; también la posición de las entradas, de los alimentadores y de la velocidad de llenado del molde tienen un efecto importante.

El método de introducir el metal dentro de la cavidad del molde tiene un efecto pronunciado sobre la temperatura del metal y un significativo efecto sobre la superficie (puntos calientes) debido al sobrecalentamiento de la arena, gradientes de la temperatura final, inclusiones, oxidos, etc.

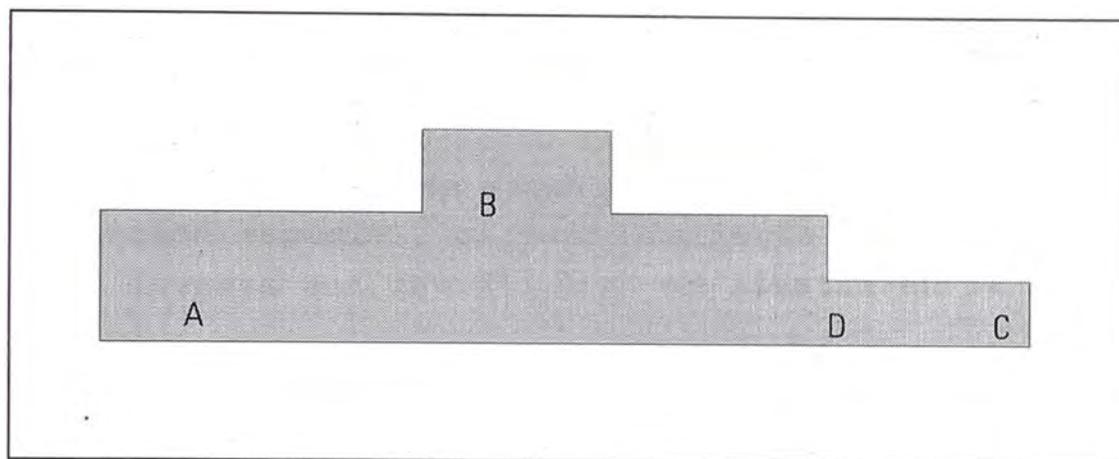
La importancia de un correcto tamaño y ubicación del sistema de alimentación nunca debe ser menospreciada.

La técnica de alimentación empleada para los bronce al manganeso es similar a la usada para el acero. En otras palabras

las entradas y risers estan dispuestos de tal manera que el enfriamiento sea direccional considerando la distancia de alimentación.

La técnica central usada se ilustra mejor en la Fig. 4.9.

Fig. 4.9. Fundición hipotética



Esta fundición hipotética consiste esencialmente de una placa la cual se adhiere una sección delgada C y una principal B.

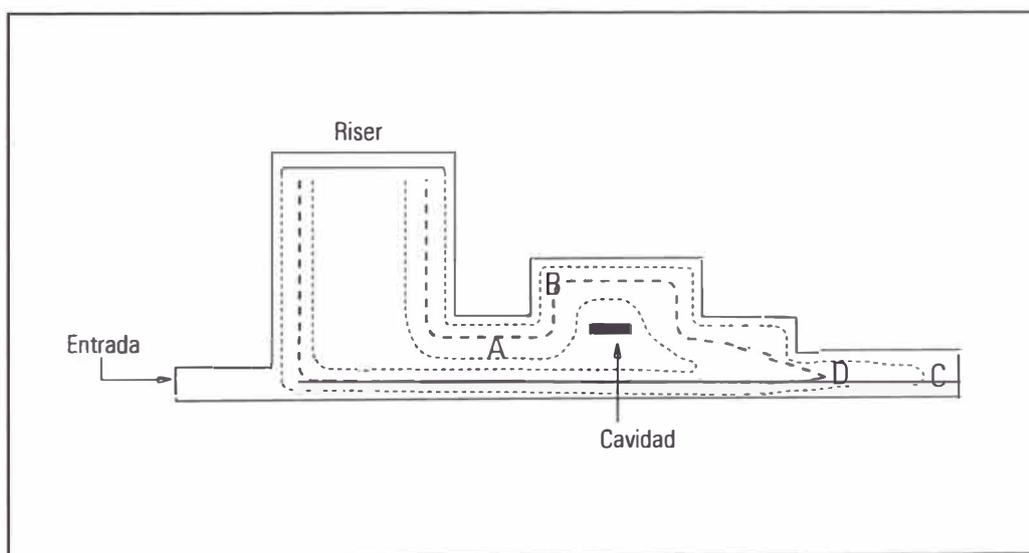
El extremo final delgado de la sección C puede sufrir un rápido enfriamiento después del vaciado como resultado del efecto extremo final. Debido a esto es deseable colocar un enfriador en la parte opuesta a la alimentación sobre la sección pesada A de tal manera que el extremo final C se enfría

rápidamente y el extremo A enfriara lentamente debido al retardado efecto de alimentación.

Para resaltar este efecto de enfriamiento diferencial también sería sensible la entrada próxima al alimentador. El flujo del metal líquido tendería a calentar el extremo de la fundida mientras que el metal alcanza el extremo lejano y la llegada sería relativamente caliente, de esta manera induce con gradiente de temperatura favorable aún antes que empiece el enfriamiento. Además esta disposición resultaría que la alimentación se llena completamente con metal caliente, una situación ventajosa para el enfriamiento direccional.

La sección B presenta algún problema, y a menos que se tome una precaución especial, un punto caliente se formaría en esta área y se levanta una cavidad como se ilustra en la Fig. 4.10.

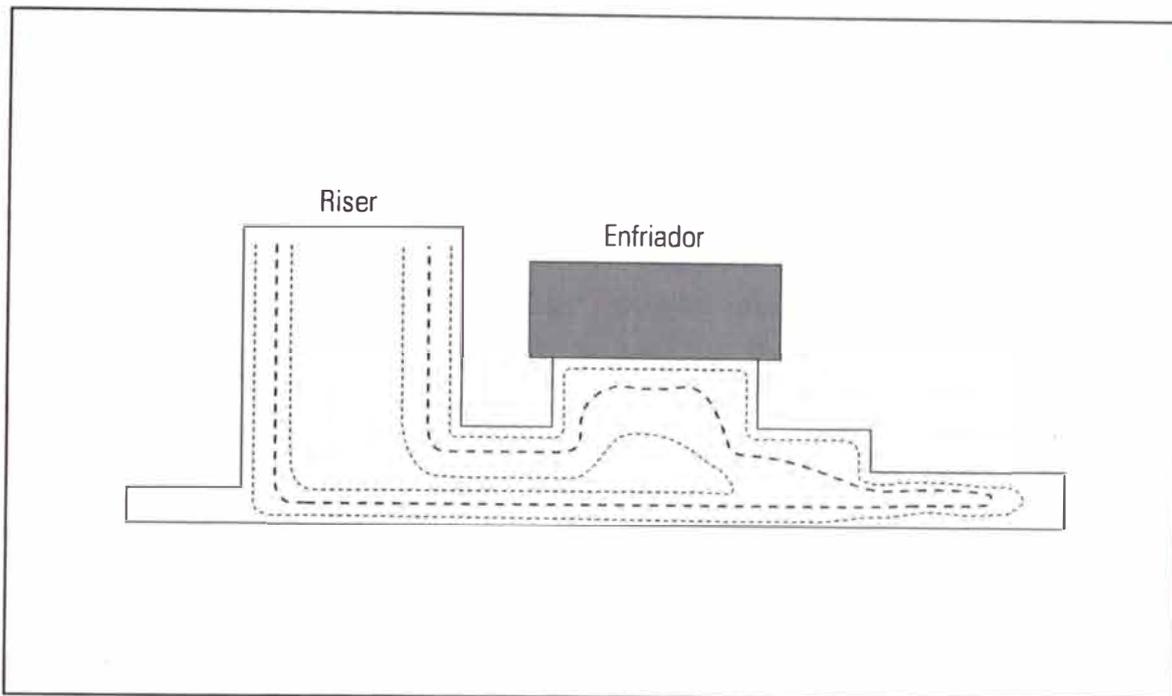
Fig. 4.10



Esta figura ilustra la posición de solidificación en etapas sucesivas de enfriamiento e indica el camino en la cual se desarrolla la cavidad.

Un método para evitar la formación de la cavidad en la parte inferior de la sección B es adicionar una alimentación en la sección, sin embargo, frecuentemente este procedimiento es inconveniente por lo que generalmente una mejor alternativa es colocar un enfriador sobre la sección como se ilustra en la Fig. 4.11.

Fig. 4.11



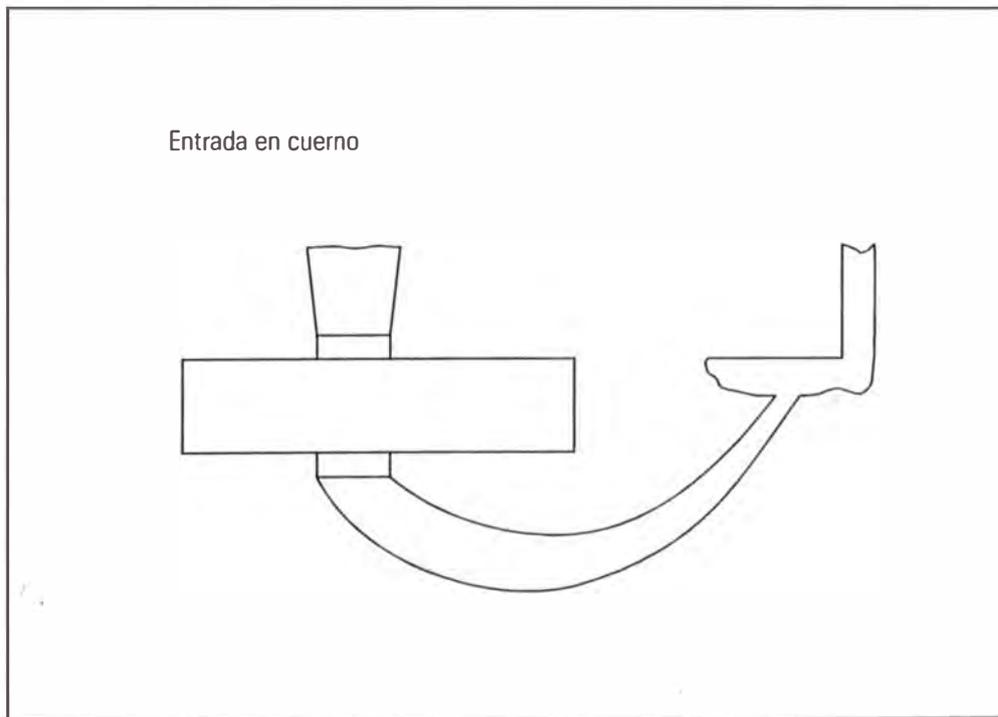
En las aleaciones de cobre del grupo I, con un estrecho rango de solidificación o un rango de menos de 50°C entre el punto donde empieza la solidificación (liquidus) y el punto donde la aleación está sólida completamente (solidus); tales como los bronce al aluminio, latones amarillos, bronce al manganeso, latón blanco al manganeso, cobre y cobre-cromo; el estrecho rango de solidificación se produce por la aleación con grandes cantidades de elementos aleantes, tales como Zn, Al ó Mn ó con pequeñas cantidades de Cr. Todos éstos elementos son fácilmente oxidables y forman películas tenaces de óxidos insolubles.

De aquí, que el vaciado y los sistemas de alimentación para esta clase de aleaciones deben ser cuidadosamente diseñadas para evitar la turbulencia, que puede producir películas de óxidos que serán atrapadas como inclusiones en la pieza. Estas inclusiones producirán un marcado deterioro en las propiedades mecánicas.

Para evitar la turbulencia se usan sistemas sin presión. Los moldes deben llenarse con la mínima turbulencia posible, teniendo una alimentación por el fondo. Varios tipos de sistema de alimentación han sido ideados para evitar la formación de óxidos entre los principales se tiene:

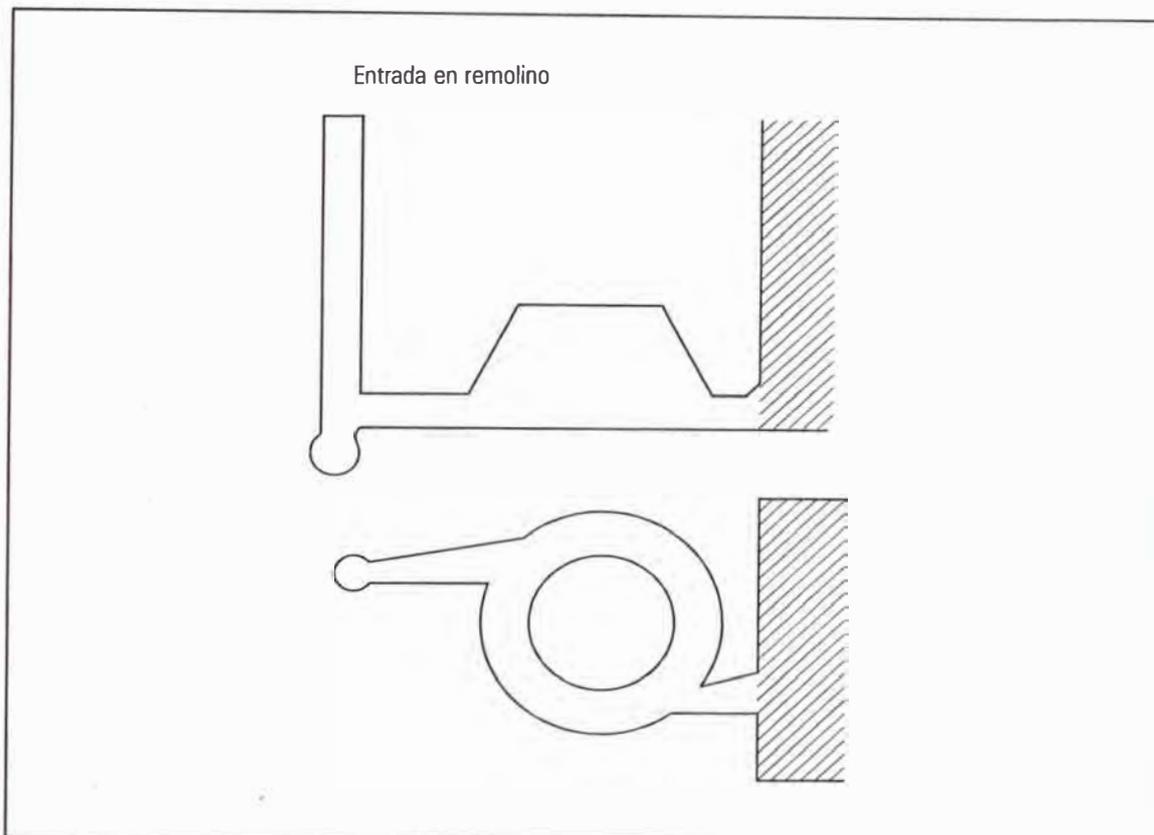
La entrada en cuerno que se muestra en la Fig. 4.12, es muy buena y su efectividad es amplia debido a su gradual adelgazamiento inverso, lo cual disminuye lentamente la velocidad del flujo de metal y evita crear el efecto "fuente"

Fig. 4.12. Entrada en cuerno.



Otro método de entrada empleado es la entrada en remolino; su acción es de crear un vortex en la cavidad del cono causando que las inclusiones de óxidos floten y se junten en la parte superior de la cavidad en lugar de expandirse en el molde entero.

Fig. 4.13. Entrada en remolino



Las piezas que son de sección uniformes delgadas y uniformes y que tienen área grande puede alimentarse satisfactoriamente por el método mostrado en la figura. Esta forma continua de alimentación sirven de un eficiente regulador (estrangulamiento) la cual reduce la formación de óxidos si las dimensiones son cuidadosamente escogidas.

BALSA

La producción de piezas de alta calidad requiere, no solamente de adecuadas operaciones de fusión, moldeo y modelos diseñados apropiadamente, sino también de una comprensión de los principios del diseño del sistema de alimentación, a fin de pueda entregarse metal limpio a la cavidad del molde, con una mínima cantidad de turbulencia.

La balsa o depósito de vaciado permite llenar el bebedero prontamente y mantener una carga constante durante todo el vaciado. Si el peso de metal vaciado en un molde excede de 13.61 kg (30 lbs), la balsa ofrece muchas ventajas. El "vaciador" puede dirigir el flujo de metal desde la cuchara dentro de la balsa con menos probabilidad de derramarse y el bebedero no necesita ubicarse cerca al borde del molde. La cuchara de vaciado puede llevarse a 2.54 cm (1") o 5.08 cm (2") de la balsa y puede mantenerse más fácilmente una velocidad de flujo continuo a través de una gran carga de vaciado.

Si hay cualquier breve interrupción en el vaciado del metal dentro de la balsa, el metal excedente suministrará el metal necesario hasta que se reanude el vaciado.

La principal desventaja del uso de las balsas, es que se baja el rendimiento, produciéndose un mayor reciclado de metal; sin embargo, si el vaciado se descontinúa antes que el metal alcance el extremo superior de los risers, el exceso de metal de la balsa drenará hacia adentro y llenará los risers, de este modo se minimiza el desperdicio.

La Fig. 4.14, presenta una balsa típica y la Fig. 4.15 muestra la sección de un molde de arena con una balsa típica.

Fig. 4.14. Balsa típica.

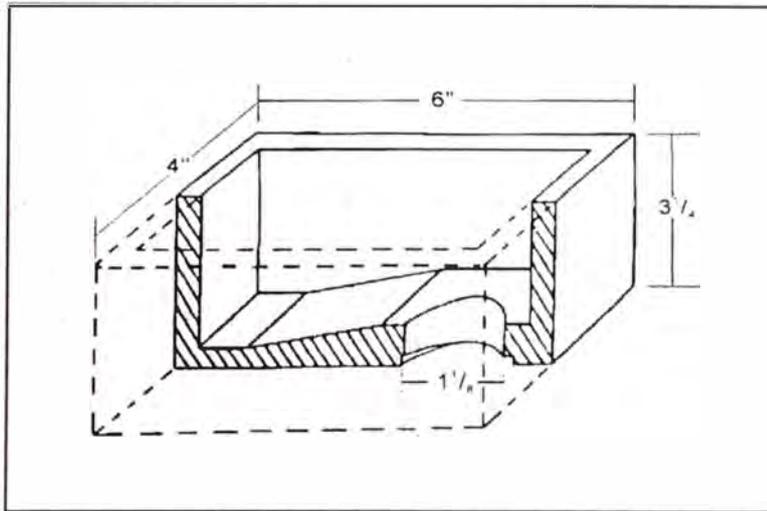
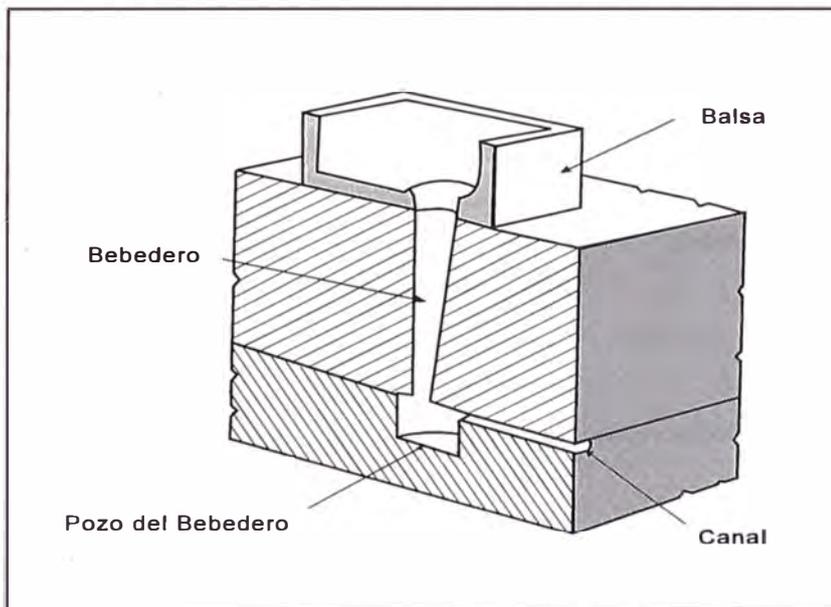


Fig. 4.15. Sección de un molde de arena con una balsa típica.



BEBEDERO

El factor más importante en el sistema de alimentación, es el tamaño correcto del bebedero. Si se selecciona un tamaño incorrecto, o si el bebedero no tiene ahusamiento o tiene un ahusamiento invertido, el daño hecho al metal que ingresa a la cavidad del molde puede ser extensivo y difícil de corregir.

En vista de que la mayoría de moldeadores pueden seleccionar sus propios bebederos, un buen supervisor verá que los moldeadores se limiten al uso de bebederos que reúnan los requerimientos de un flujo de metal no turbulento, dentro del sistema de alimentación.

Si no se usa una balsa, el bebedero actúa como un embudo que entrega metal dentro de la cavidad del molde. Un bebedero ensanchado superiormente realizará esto con un mínimo derrame.

En vista de que la mayoría de moldes de alta producción que requieren menos de 13.61 kg de peso vaciado, usan cajas de moldeo con una altura del semimolde superior o tapa de 10 cm (4") a 15 cm (6"), pueden usarse con estos tamaños estándares de bebedero, para todas las aleaciones de cobre. El tercio superior del bebedero es la porción del embudo, que debe tener un diámetro de abertura de aproximadamente 5 cm (2"). El resto de la porción del bebedero debe ahusarse hacia abajo hasta un diámetro de abertura de entre 1.27 cm (1/2") a 2.22 cm (7/8"), dependiendo de la deseada velocidad de vaciado.

Existen muchos gráficos y fórmulas para calcular las dimensiones de un bebedero ahusado (se excluye al embudo, que puede ser cortado o colocarse una balsa). Primero, la velocidad de vaciado deseada se selecciona y luego se determina el diámetro de salida del bebedero (Fig. 4.16), basado sobre la altura esperada de metal en el bebedero y la balsa. Una vez que se obtiene el diámetro de salida del bebedero, puede

determinarse el adecuado diámetro de entrada del bebedero (Fig. 4.17).

Fig. 4.16. Velocidad de vaciado de las aleaciones de base cobre, en bebederos ahusados de diversos diámetros y alturas.

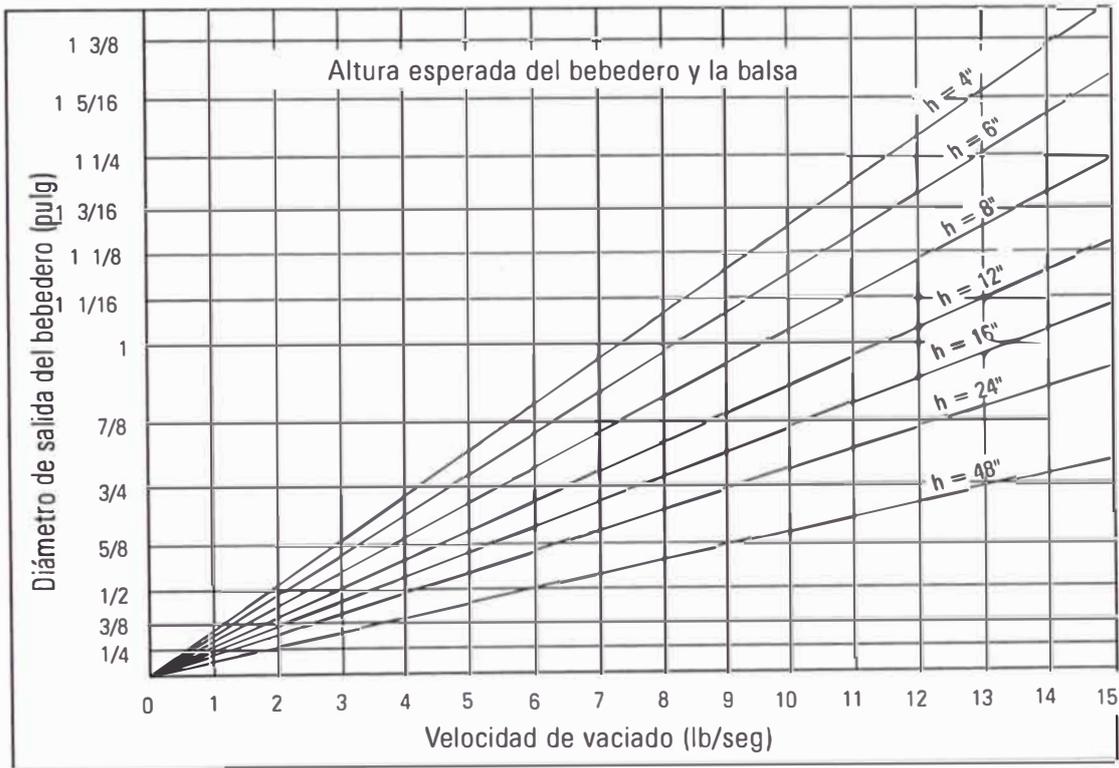
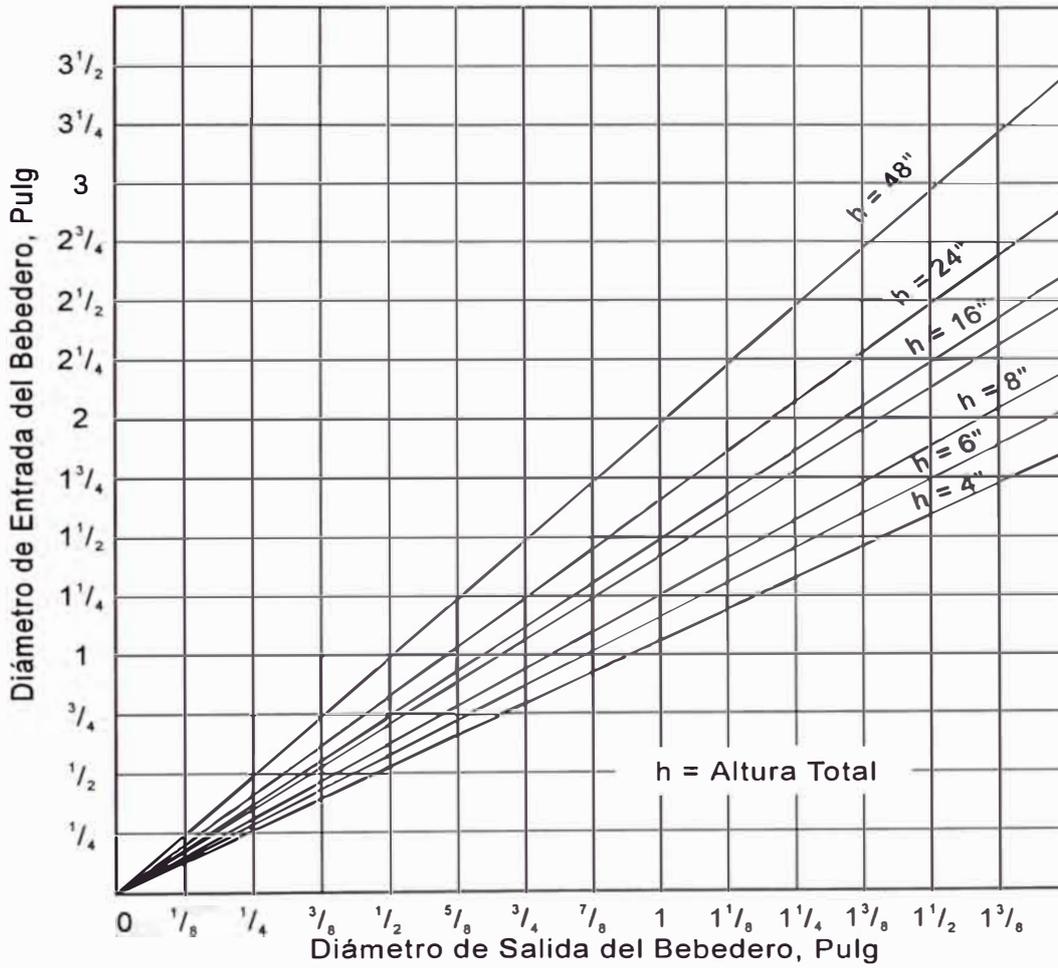


Fig. 4.17. Diámetros de entrada y salida del bebedero, para diferentes alturas.



Las correctas dimensiones del bebedero, aumentan críticamente a medida que la altura del bebedero se incrementa por encima de 30 cm (12"). Para bebederos pequeños (10 a 15 cm), es práctica común ahusar el bebedero de 5 a 10° por lado.

Un bebedero ahusado hacia abajo, se llena mucho más rápidamente, se conserva lleno durante el vaciado y causa una mínima cantidad de aire a ser aspirado dentro del chorro de metal a medida que este fluye hacia adentro.

Base del bebedero

En vista de que la velocidad del chorro es máxima en el fondo del bebedero y es proporcional a la raíz cuadrada de la altura de caída del metal, es obligatorio que se use un "pozo" en la base del bebedero para amortiguar la caída del chorro de metal.

El pozo también cambia el flujo vertical del metal a un flujo horizontal, con la mínima cantidad de turbulencia en el canal de colada. Tamaños recomendados para la profundidad del pozo, deben ser aproximadamente el doble de la altura del canal de colada; el diámetro debe ser de 2 a 3 veces el diámetro de la base del bebedero. Un pozo con una profundidad de 2.54 cm a 3.81 cm (1 a 1 1/2") y un diámetro de 3.81 cm a 5.08 cm (1 1/2 a 2") es, usualmente adecuado para la mayoría de tamaños de bebedero y velocidad de vaciado. El uso de grandes dimensiones del pozo, originarán una ligera reducción en el porcentaje de rendimiento de fundición.

4.3.1 AREA DE CHOQUE

El método óptimo para controlar la velocidad de vaciado es con un adecuado tamaño del diámetro de salida del bebedero ahusado hacia abajo. El diámetro de salida se vuelve el "choque"

del sistema de alimentación, debido a que es la menor área de sección transversal, a través del cual el flujo de metal ingresa al molde. Si no puede usarse el bebedero ahusado hacia abajo, es necesario emplear un método alternativo de proporcionar un choque en o cerca de la base del bebedero.

Una técnica, a menudo mal aplicada, es el uso de los llamados "filtros" en la base del bebedero. Los filtros o coladores con múltiples agujeros pueden solamente eliminar los grandes trozos de óxidos o no metálicos y dividen al flujo de metal en múltiples pequeños chorros, de este modo se incrementa la turbulencia, exposición al aire y formación de óxidos y escorias dentro del molde.

Estos filtros, hechos de arena de alma, acero estañado, mica, fibra de vidrio o cerámica, solamente restringen la velocidad del flujo de metal. Por esta razón es mejor proporcionar solo un simple agujero, el cual tiene el correcto diámetro de salida del bebedero adecuadamente ahusado, tal como se muestra en la Fig. 4.18(b). Tal choque nunca debe colocarse en la parte superior del bebedero ni en la balsa.

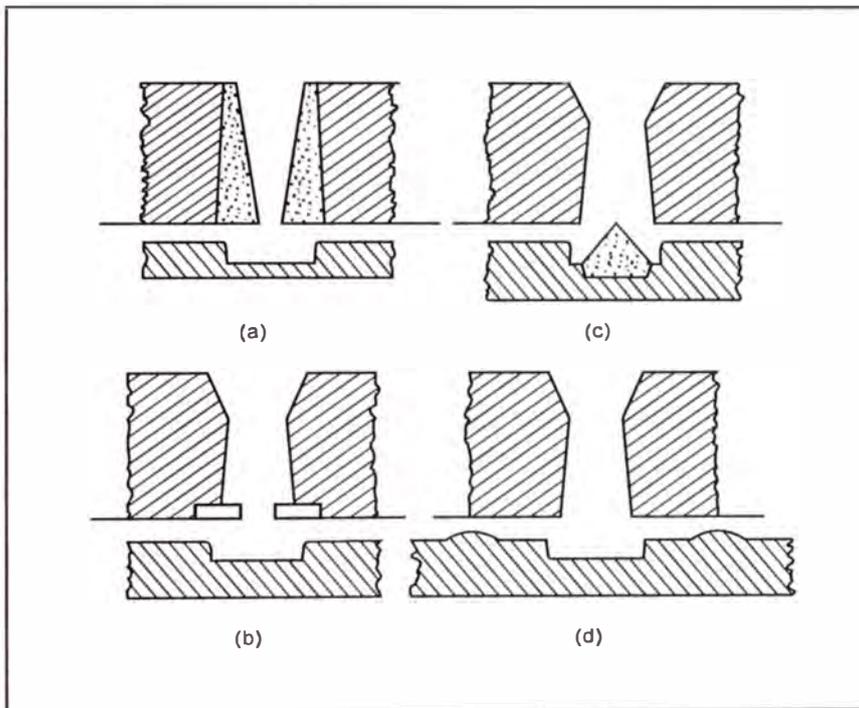
Una técnica menos común, aún cuando efectiva, es usar un alma en forma de cono, que se coloca en el centro del pozo en base del bebedero, como se muestra en la Fig. 4.18(c). En este caso, la abertura en forma de anillo entre la salida del bebedero y el cono debe ser del tamaño de la adecuada área de choque.

La técnica más familiar (Fig. 4.18(d)) es proporcionar una restricción en el canal de colada a 2.54 cm (1") del pozo (nunca en el área de entrada o ataque). Estas restricciones deben ser suavemente perfiladas y colocadas al fondo del canal de colada. El espesor de la abertura del choque debe ser de 1/4 a 3/4 de la altura del canal de colada y el área de la sección transversal del choque no debe exceder de 1/4 del área de la base del

bebedero.

La colocación del choque cerca al pozo de vaciado, asegura que el bebedero pueda ser llenado prontamente y mantenerse lleno durante todo el vaciado. Esto también permite la disipación de cualquier turbulencia antes que el chorro alcance las ubicaciones de las entradas.

Fig. 4.18. Métodos alternativos para corregir el problema de un bebedero de ahusamiento inverso.



Los filtros de acero estañado contaminan al metal, introduciendo excesivas cantidades de fierro dentro del baño, lo que origina puntos duros que deterioran las herramientas durante el maquinado. Los mejores materiales son la mica y la fibra de vidrio, dado que estos son relativamente delgados y pueden colocarse sobre el pozo en la línea de partición antes del cierre del molde sin requerir especiales estampas en el modelo.

4.3.2 VELOCIDAD DE VACIADO

La velocidad de vaciado depende de factores tales como peso de pieza, tamaño de sección, altura del bebedero y tipo de aleación. Las piezas de aleaciones del Grupo I, de menos de 13.61 kg, son vaciadas entre 0.91 y 1.81 kg/seg, a fin de obtener condiciones limpias y no turbulentas.

La Fig. 4.17, presenta los requeridos diámetros de salida del bebedero a diversas alturas de bebedero, para específicas velocidades de flujo durante el vaciado. La Tabla 4.3 presenta valores de la velocidad de flujo en salidas del bebedero de los tamaños usados, comúnmente de diversas alturas y diámetros.

Cuando se usa bebederos de 10 cm a 15 cm de altura, es adecuado un diámetro de salida del bebedero de 1.27 cm (1/2") a 1.91 cm (3/4") para obtener un velocidad del flujo de 0.91 a 1.81 kg/seg. Esto es totalmente satisfactorio en piezas con pesos brutos de menos de 13.61 kg (30 lbs). No será necesario emplear diámetros de salida de 2.22 cm a 2.86 cm (7/8" a 1 1/8") a menos que se use el vaciado automático.

La producción de la mayoría de piezas requieren bebederos con diámetros de salida de 1.59 cm a 1.91 cm (5/8" a 3/4"), que es suficiente para vacear la mayoría de los moldes a una velocidad de 13.61 kg (30 lbs) en 8 a 10 seg.

El tiempo total de vaciado en segundos, puede estimarse

dividiendo el peso total vaciado en el molde (pieza más risers y entradas) entre la velocidad del flujo indicada para el diámetro de salida del bebedero seleccionado, como se muestra en la Fig. 4.16.

Realmente, la velocidad de flujo a través del fondo del bebedero no permanece constante durante el vaciado. En vez de ello, disminuye a medida que el nivel de metal en la cavidad del molde aumenta, de este modo se origina la "contrapresión" por el decremento en la altura efectiva (carga) de metal en el bebedero.

Esta reducción de flujo, produce un aumento en el tiempo de vaciado, esto es llamado el "factor de entrega", y es mayor para piezas altas de altura próximas a la del bebedero, que en las piezas planas. De este modo, si la pieza es 1/4 tan alto como la altura total del bebedero y la balsa, el factor de entrega es 1.1 veces el tiempo de vaciado calculado. Esta información se presenta en la Tabla 4.4 y en la Fig. 4.19.

Como se ha observado, la óptima velocidad de vaciado varia, dependiendo del tamaño y espesor de la pieza. Un estimado de la mejor velocidad de vaciado puede obtenerse de la ecuación:

$$W = \frac{1.71 \sqrt{W_t}}{2.18 + 1.09T}$$

Donde:

W = Velocidad de flujo, en kg por segundo.

W_t = Peso de la pieza, en kg.

T = Promedio de espesor de la sección más delgada, en cm.

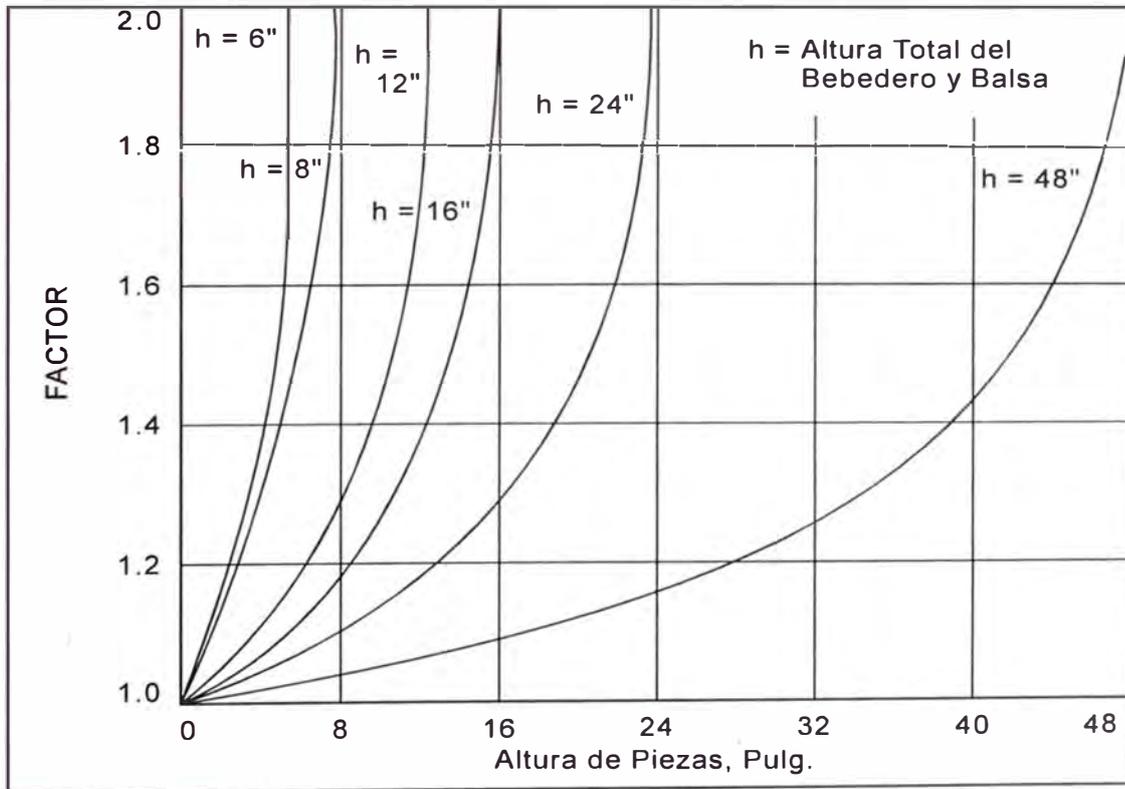
TABLA 4.3.

Velocidades de flujo de aleaciones de base cobre, a través de bebederos ahusados de diversos diámetros y alturas.

| Bebedero | | Velocidad de Flujo (kg/seg), para diversas alturas de bebedero (cm) | | | | |
|-------------------------|---------------|--|------|------|------|-------|
| Area (cm ²) | Diámetro (cm) | 10 | 15 | 30.5 | 61 | 122 |
| 1.27 | 1.27 | 0.82 | 0.91 | 1.36 | 1.81 | 2.72 |
| 1.99 | 1.59 | 1.27 | 1.50 | 2.04 | 2.72 | 4.08 |
| 2.87 | 1.91 | 1.81 | 2.04 | 2.95 | 4.08 | 6.12 |
| 3.87 | 2.22 | 2.49 | 2.95 | 4.08 | 5.67 | 8.16 |
| 5.07 | 2.54 | 3.40 | 3.86 | 5.21 | 7.48 | 13.38 |
| 6.42 | 2.86 | 4.31 | 4.76 | 7.71 | 9.30 | 13.61 |

Fig. 4.19.

Factor de entrega en piezas coladas por el fondo, de diversas alturas.

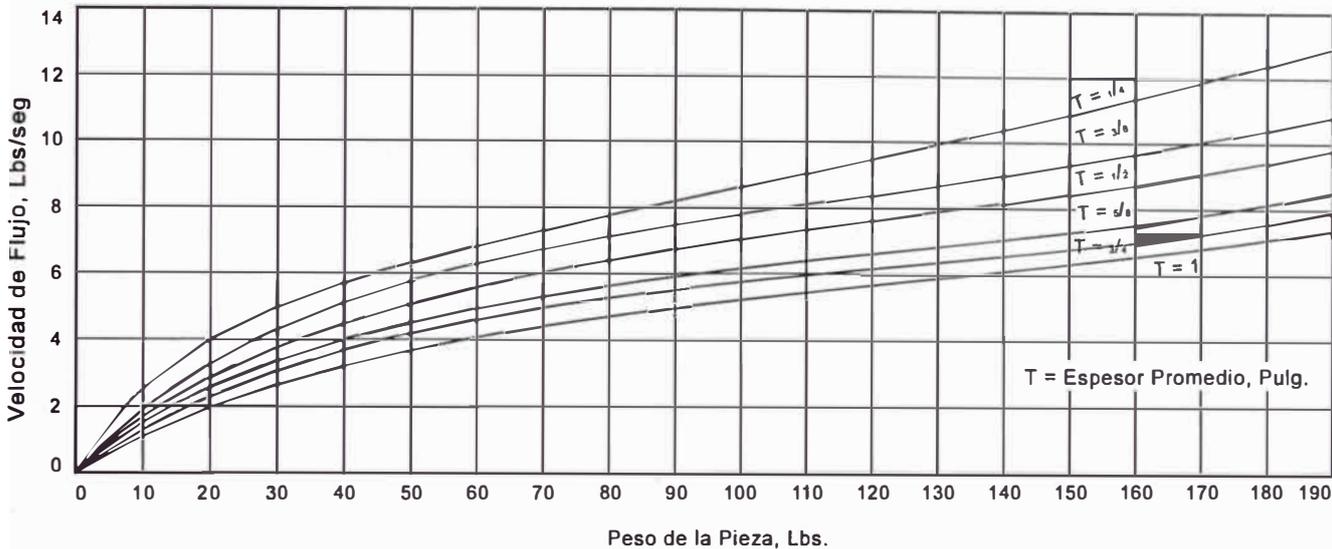


Esto, también se presenta gráficamente en la Fig. 4.20, para diferentes espesores de sección. Ninguno de estos cálculos dan valores absolutos debido a los efectos de fricción, dimensionamientos imprecisos del bebedero, canal de colada y entradas, diseño de piezas, volumen relativo de la pieza por encima y debajo de la línea de partición, altura del "pico" de la cuchara de vaciado por encima del bebedero, y otros. Sin embargo, los cálculos proporcionan un punto de partida del cual pueden modificarse las dimensiones del bebedero, como resultado de la medición del real tiempo del vaciado más una contribución del acabado superficial y calidad de la pieza.

TABLA 4.4. Factor de entrega para piezas coladas por el fondo.

| |
|--|
| Si la pieza es tan alta como el bebedero x 2.0 |
| 3/4 tan alta como el bebedero x 1.3 |
| 1/2 tan alta como el bebedero x 1.2 |
| 1/4 tan alta como el bebedero x 1.1 |

Fig. 4.20. Velocidad de flujo horizontal como una función del peso de la pieza.



Debe esperarse que las grandes piezas requerirán bebederos más grandes a fin de dar los razonables tiempos de llenado. Sin embargo, las grandes piezas requieren grandes cajas de moldeo y, por lo tanto, altos bebederos; de este modo, el efecto es autocompensatorio.

Un bebedero de 2.54 cm (1") de diámetro con una altura de 61 cm (24") entrega 7.48 kg/seg y debe llenar en 26 seg una pieza de 150 kg, asumiendo un factor de entrega de 1.3. Un bebedero de 1.91 cm (3/4") de diámetro llenará la misma pieza en 48 seg. Muchas piezas grandes de alto grado, se han producido usando bebederos relativamente pequeños.

En la mayoría de casos, donde se usan altos bebederos 7.62 cm a 10.16 cm (3 a 4") con grandes diámetros de 5.08 cm a 7.62 cm (2" a 3"), ellos no se llenan completamente hasta que se llene la mitad del molde, y las velocidades de llenado no están aproximadamente tan altos como los valores calculados basados sobre el tamaño de bebedero diseñado.

Cuando se requieren altas velocidades de flujo (mayores de 2.2 kg/seg) y se usan bebederos de diámetros relativamente pequeños, tales cantidades de metal no pueden consistentemente ser entregados dentro de la abertura del bebedero sin el uso de una balsa. Para las aleaciones del Grupo I, es buena práctica tapar la abertura del bebedero con un tapón calentado de grafito o de refractario, hasta que se llene la balsa. Esto asegura un llenado rápido y completo del bebedero cuando es retirado el tapón.

Dicha técnica es aún más esencial con altos bebederos, debido a que aumentan los problemas de velocidad y turbulencia de metal. Similarmente, con frecuencia se usan bebederos rectangulares ahusados, debido a que estos son fáciles de hacer y modificarse, a la vez que son menos propensos a la formación de remolinos como en los bebederos circulares.

En pequeñas piezas sino se usa una balsa, es importante colocar la cuchara de vaciado tan cerca al bebedero como sea posible a fin de no incrementar la altura efectiva del bebedero. Si una cuchara de vaciado está demasiado llena y no puede inclinarse, o si el bebedero está ubicado muy cerca al centro del molde tal que la cuchara de vaciado debe elevarse para alcanzar al bebedero, la velocidad de vaciado aumentará significativamente, debido a la adicional distancia de vaciado.

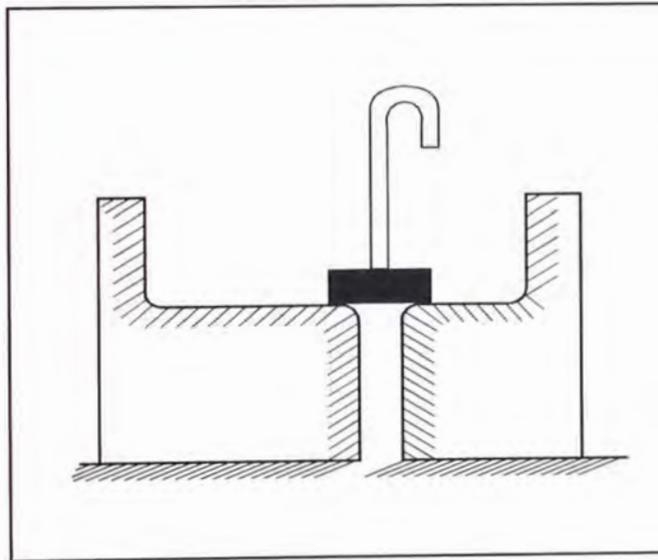
Este efecto se minimiza con el empleo de una balsa; sin embargo, la distancia entre el pico de la cuchara y la abertura del bebedero debe aún minimizarse, a fin de obtener la mínima turbulencia posible.

4.3.3 CANALES DE COLADA Y ENTRADAS

Los canales de colada necesarios, para los bronce al manganeso, no son complicados, sin embargo deben observarse las siguientes prácticas:

- a) Debe mantenerse lleno el canal de colada, mientras se realice el vaciado. El área de sección transversal debe ser mayor que el área inferior del bebedero o área de choque.
- b) La balsa o depósito de vertido, debe ser amplio y del tipo mostrado en la Fig. 4.14. Cuando la colada es larga es conveniente colocar un tapón en el depósito de vaciado como se muestra en la Fig. 4.21.

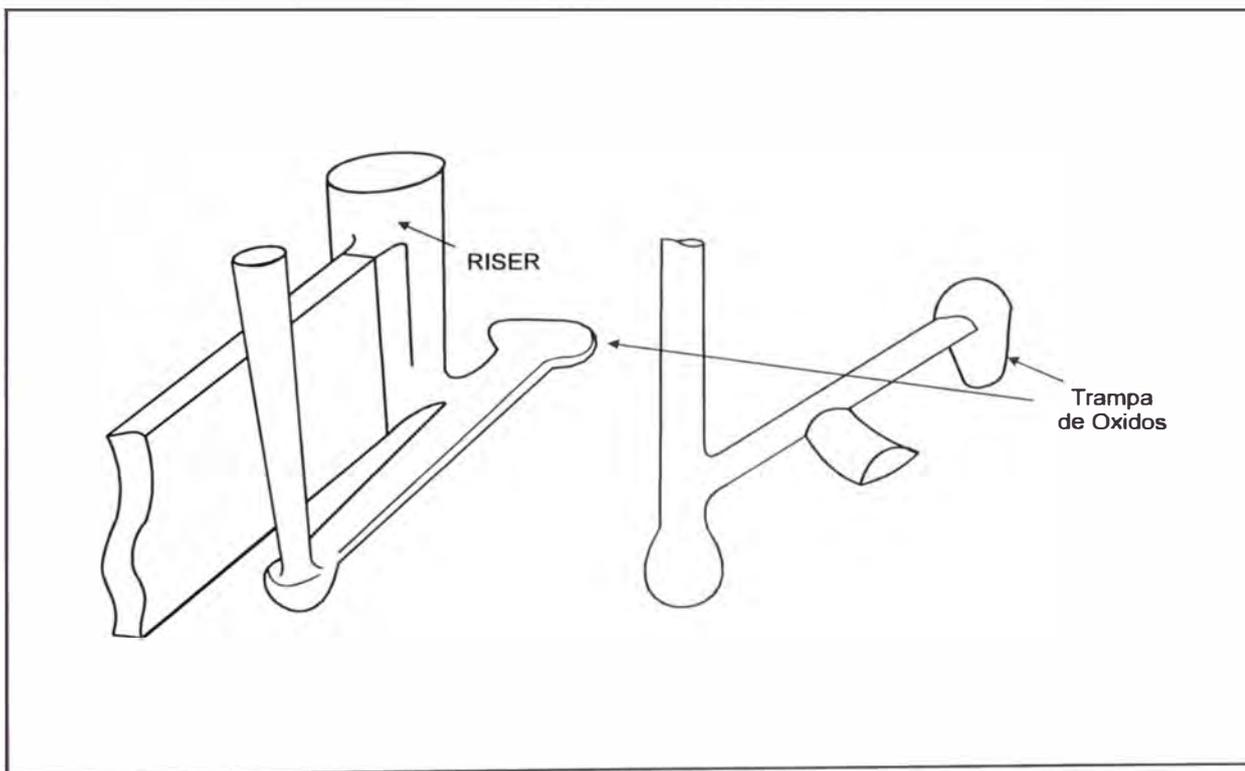
Fig. 4.21. Balsa con tapón.



El tapón no es removido hasta que la balsa este lleno. Se debe recordar que una simple interrupción durante el vaciado puede estropear completamente la fundida debido al entrapamiento de aire y óxidos.

- c) En el canal de colada puede incorporarse alguna forma de trampa de óxidos como los pozos que se muestran en la Fig. 4.22 y sirven como colectores de inclusiones de óxido los cuales inevitablemente se forman cuando el primer metal fundido entra al sistema de alimentación.

Fig 4.22. Trampa de Oxidos



Para todas las aleaciones de cobre, es obligatorio que todos los canales de colada se coloquen en el semimolde inferior o base, con la mayor parte de la pieza como sea posible colocada en el semimolde superior o tapa.

De esta manera todos los canales de colada se llenarán completamente antes que cualquier metal ingrese a las entradas que se colocan en la tapa del molde. El metal luego dejará las entradas con una mínima cantidad de turbulencia y empezará a llenar la cavidad de la pieza.

Los canales de colada deben ser rectangulares cuando sea posible, y su área total máxima de sección transversal deben ser de 2 a 4 veces el área de choque (área de salida de bebedero cuando no se usa el choque separado). La sección transversal del canal de colada debe ser lo bastante grande para prevenir el enfriamiento prematuro del metal durante el vaciado.

Un canal de colada rectangular, cuyo ancho sea mayor que su profundidad, trabaja mejor. En general, los canales de colada deben dimensionarse de tal forma que su ancho sea alrededor de 2 veces su profundidad, sin embargo un canal de colada cuadrado será la segunda elección.

El canal de colada menos deseable es aquel en que la profundidad excede al ancho; sin embargo, limitaciones de espacio a veces necesitan este diseño a fin de mantener la deseada sección transversal del canal de colada en relación al área de choque.

El concepto de "relación de áreas", comúnmente usado en el diseño de sistemas de alimentación, se expresa como la relación de las áreas de sección transversal de los canales de colada y entradas a la del choque (choque: canales de colada: entradas).

Si no hay un sistema de choque separado, el área de choque es aquella de la abertura del fondo de un bebedero ahusado hacia abajo. La significación de la relación de áreas se basa en el hecho que para una velocidad de flujo del líquido de volumen constante, la velocidad del chorro es inversamente proporcional al área de la sección transversal del canal en el cual esta

fluyendo. Lo más deseable es que el metal ingrese a la cavidad de la pieza a una mínima velocidad y de aquí con mínima turbulencia. A fin de alcanzar esto el área de la sección transversal de las entradas debe ser por lo menos igual, y preferentemente mayor que, la de los canales de colada. Los canales de colada deben ser iguales o mayores en área que el choque.

En tal sistema, el metal líquido se mueve a una velocidad siempre decreciente a través de los sucesivos canales de áreas incrementadas de sección transversal, es referido como un sistema de alimentación "sin presión". Estos sistemas se recomiendan principalmente para las aleaciones del grupo I, con relación de áreas tan altas como 1:4:6.

Como un ejemplo de esta relación consideremos un sistema de alimentación en el que se usa un bebedero de 2.22 cm (7/8") de diámetro con un área de sección transversal de 3.87 cm². El área total de los canales de colada (4 veces la del bebedero) será 15.48 cm² y el área total de las entradas será 23.22 cm².

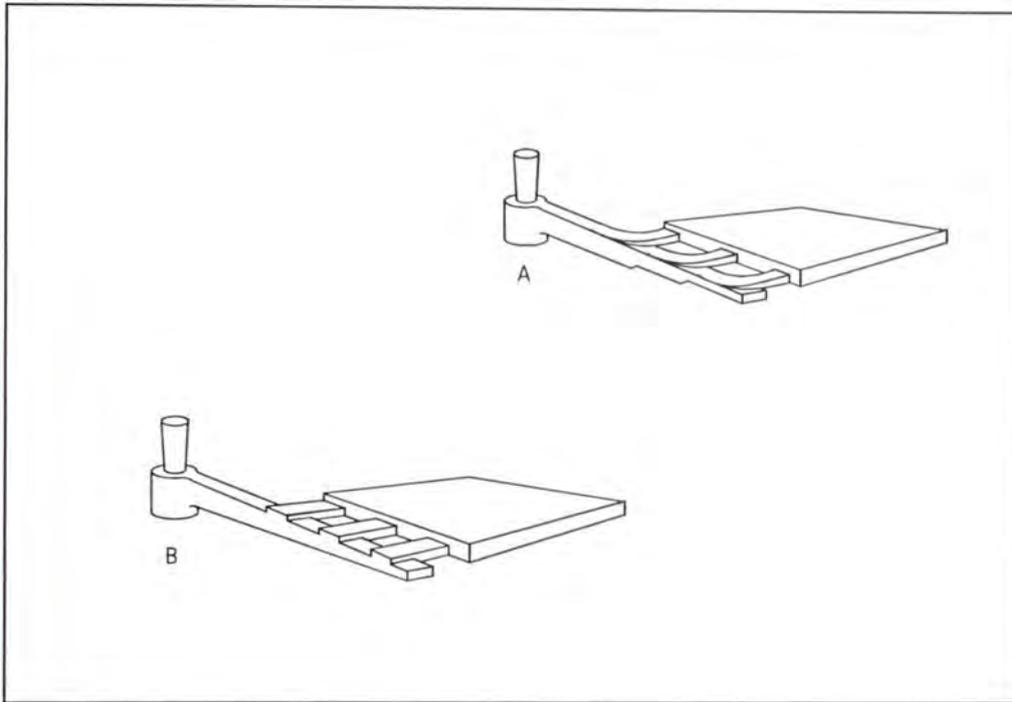
Si el sistema empleado es un diseño de doble canal con cuatro entradas en cada canal, luego el área de canal de colada sería de 7.74 cm² y cada entrada será de 2.90cm². De este modo, con el bebedero de 2.22 cm (7/8") de diámetro nosotros podemos usar 2 canales de colada de 2.54 cm (1") x 3.05 cm (1.2") y 8 entradas de 0.95 cm (0.375") x 3.05 cm (1.2").

A medida que aumenta el tamaño del bebedero, las áreas respectivas de los canales de colada y entradas también incrementan en proporción a la relación de áreas seleccionadas; por lo tanto, para un mejor rendimiento (peso de metal vaciado/peso de pieza) es ventajoso el uso de pequeños bebederos.

El diseño de un canal de colada y sistema de alimentación debe también asegurar que volúmenes iguales de metal fluyan por cada entrada cuando se usa más de una entrada con un canal de colada dado. Si se usa un canal de colada de área constante de sección transversal con entradas múltiples, el volumen de metal que pasa a través de cada entrada será diferente, dependiendo de la ubicación de la entrada en el canal de colada.

Por la entrada más remota del bebedero pasará el mayor volumen de metal, por la entrada más cercana al bebedero la menor cantidad y por las entradas intermedias pasarán cantidades proporcionales a su ubicación. Es posible obtener una entrega uniforme de metal a través de cada entrada, variando la sección transversal del canal de colada, a lo largo de su longitud por cualquiera de las 2 formas, tal como se ilustra en la Fig. 4.23. Una forma es reducir la sección transversal del canal de colada en una cantidad igual al área de cada entrada que ha pasado, de éste modo resulta en un canal de colada de diseño "escalonado" como se muestra en la Fig. 4.23(a) para una simple pieza y en la Fig. 4.24 para múltiples piezas.

Fig. 4.23. Canales de colada escalonado y ahusado en sistemas de alimentación para una simple cavidad.

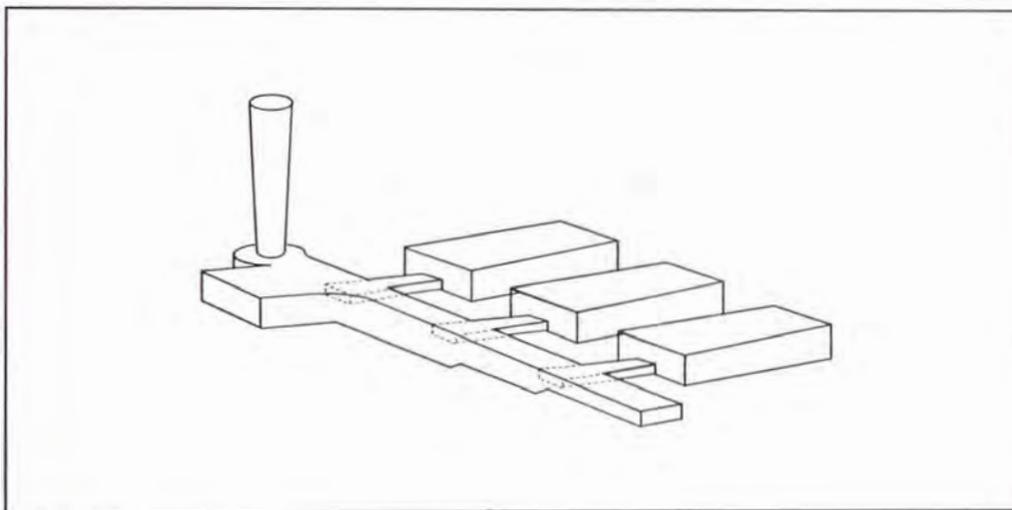


Como ejemplo, supongamos que tenemos un sistema de alimentación con una relación de áreas de 1:4:4, consistente de un simple canal de colada y cuatro entradas, donde el área inicial del canal de colada (adyacente a la base del bebedero) es 6.45 cm^2 . En vista de que el área total de las entradas es igual a la máxima área de canal de colada, cada una de las entradas tendrá un área de 1.61 cm^2 .

Para obtener un flujo uniforme a través de cada entrada, el canal de colada debe reducirse de 6.45 cm^2 a 4.84 cm^2 después de pasar la primera entrada, de 4.84 cm^2 a 3.23 cm^2 luego de pasar la segunda, y de 3.23 cm^2 a 1.61 cm^2 después de pasar la tercera.

No hay necesidad de reducir el área de canal de colada después de pasar la última entrada; por lo tanto si se usa un canal de colada escalonado habrá un "escalón" menos que las entradas. Una segunda técnica (Fig. 4.23(b)) es simplemente ahusar el canal de colada desde un extremo al otro tal que se reducirá el área de la sección transversal a la misma velocidad como si se hubiera usado un canal de colada escalonado.

Fig. 4.24. Sistema de alimentación en cavidades múltiples con un canal de colada escalonado.



El empleo de canales de colada escalonados o ahusados para obtener flujos uniformes a través de las entradas, supone que los moldes son horizontales y nivelados. Debido a que la inclinación del molde, accidental o deliberada, afecta la forma en que el metal fluye dentro del molde, esta técnica debe restringirse en su uso a fin de obtener llenados secuenciales o progresivos del molde.

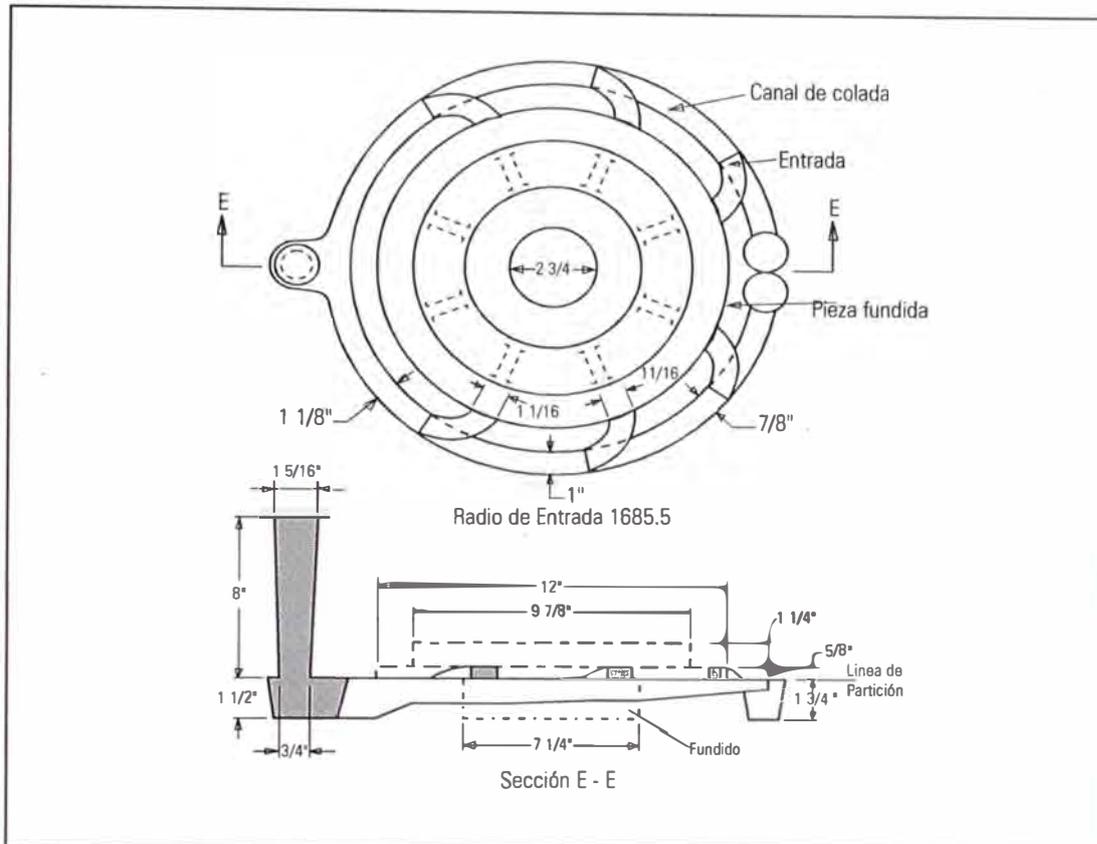
Un refinamiento del diseño del canal de colada es el uso de un pozo de rebose al final del canal de colada, con o sin un "desfogue" que permita el escape del aire desplazado. Estudios con moldes transparentes (o cinematografía por rayos X en el caso de moldes de arena) muestran que el metal que está fluyendo

a través de un canal de colada con el extremo "muerto" (sin pozo ni desfogue) choca las paredes del extremo con una fuerza considerable y el impulso causa una onda de choque que recorre hacia atrás del canal de colada en la dirección opuesta.

Esta onda puede causar la interrupción prematura del flujo a través de las entradas, produciéndose las uniones frías y misruns (falta de llenado). Un pozo de rebose, como se muestra en la Fig. 4.25, sirve para absorber el impacto del metal a medida que este alcanza el final del canal de colada y previene el retroceso de la onda de choque.

La ubicación preferida de las entradas es la tapa, traslapando el canal de colada en la línea de partición. Son más deseables las entradas planas rectangulares que las entradas cuadradas, y una entrada con su ancho en un plano vertical es la menos deseable. Como se mencionó previamente, a fin de evitar un sistema de alimentación a presión, es necesario que el área total de entradas en cada canal de colada sea por lo menos igual a aquella área del mismo canal de colada.

Fig. 4.25. Sistema de alimentación de un anillo.



Las Figs. 4.23 (a) y (b) ilustran un buen sistema de alimentación con entradas perfiladas y ángulo recto.

Ensayos han demostrado que las entradas perfiladas son ligeramente superiores a las entradas en ángulo recto, en reducir la turbulencia a un mínimo. Las entradas deben de entregar metal a la cavidad del molde al nivel más bajo posible a fín de minimizar la tendencia hacia la erosión y turbulencia asociado con la caída del chorro de metal.

Para asegurar el llenado no turbulento de la cavidad más cercana al bebedero, y evitar que arrastre cualquier escoria dentro de la cavidad, la primera entrada no debe estar a menos de 5.08 cm (2") de la base del bebedero. La escoria u óxidos, a menudo son atrapados por la adherencia del molde sobre la

superficie superior del canal de colada entre el bebedero y la primera entrada; por lo tanto, aumentando la longitud de esta sección se consigue un efecto beneficioso, especialmente en aleaciones del grupo I.

Los mismos principios básicos se aplican en los moldes partidos verticalmente como en los sistemas de alimentación horizontal con solo unas pocas desviaciones necesarias para minimizar la adicional turbulencia característica de los sistemas de alimentación vertical.

CAPITULO V:

METALURGIA DEL BRONCE AL MANGANESO

5.1 CONSTITUCION DE LA ALEACION

En general, existen 3 calidades o quizas más, generalmente grupos de calidades de una aleación, respecto a la cual se requiere información. Ellos son:

- a) **Composición química.-** Esta puede determinarse por análisis químico, donde se obtiene la cantidad y clase de los elementos aleantes.

- b) **Propiedades físicas.-** La determinación de estas, se realiza mediante ensayos sobre el metal, con la ayuda de instrumentos diseñados para este fin. Por ejemplo, las propiedades mecánicas, límite de fluencia, resistencia a la tracción y ductilidad se determinan con la **Máquina de Ensayo de Tracción.**

- c) **Estructura.-** La microestructura de la aleación puede determinarse usando un microscopio y, usualmente, la cantidad de una fase en particular se estima con un ocular dividido en cuadrados.

El problema de determinar la relación entre estas 3 calidades en general y más, específicamente, el efecto de la variación de los 5 o 6 elementos de aleación, por conveniencia, ha sido llamado el "problema de constitución"

5.2 DIAGRAMAS DE EQUILIBRIO

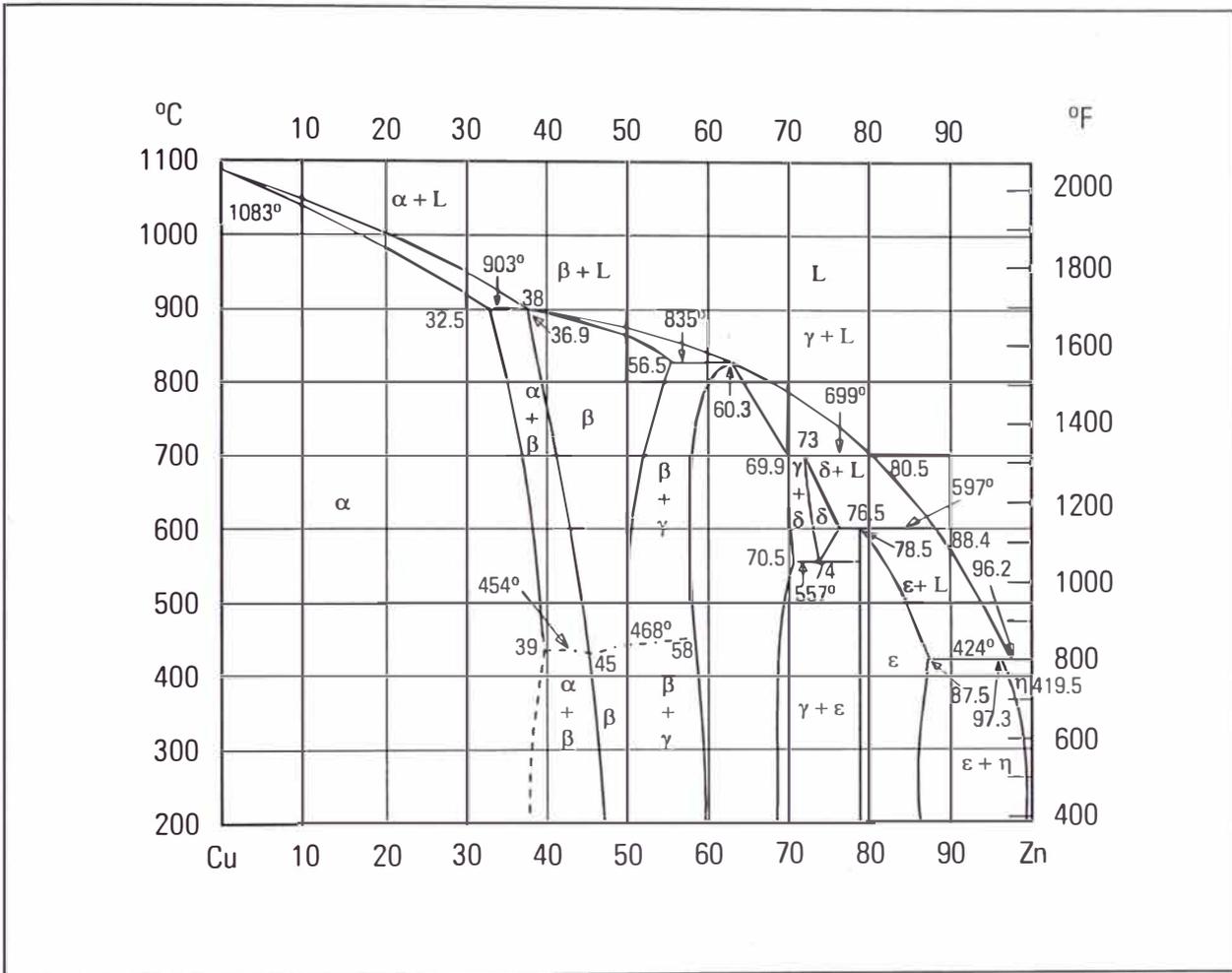
Para estudiar la metalurgia de este grupo de aleaciones, revisaremos los Diagramas de Equilibrio Cobre - Zinc y Cobre - Plomo.

5.2.1 Diagramas Binarios

a) Cobre-Zinc

La Fig. 5.1 ilustra el relativo amplio rango de solubilidad del zinc en el cobre en el estado sólido, por lo tanto, composiciones conteniendo hasta 32.5% Zn, solidifican como una fase simple de solución sólida "alfa" (α). A mayores niveles de zinc, podemos encontrar una segunda solución sólida "beta" (β), la cual es una fase intermedia.

Fig. 5.1. Diagrama de equilibrio Cobre - Zinc.



El zinc es relativamente barato, sin embargo es un potente elemento de aleación en el cobre, que mejora la resistencia y dureza, a través del mecanismo de endurecimiento por solución sólida. Notar que en cantidades de hasta 15% Zn, produce sólo una ligera disminución de la temperatura del liquidus y las aleaciones binarias tienen rangos de solidificación muy estrechos. El zinc tiene una alta presión de vapor en las aleaciones fundidas y se pierde fácilmente por evaporación y oxidación. Esto explica la necesidad de reemplazar el zinc perdido en la fusión y explica la presencia del óxido de zinc en la atmósfera de la fundición.

La fase alfa o latón alfa (α), es blanda y dúctil. Presenta una estructura cúbica de cara centrada, FCC, al igual que el cobre. El zinc distorsiona la red de cobre.

En las aleaciones Cu-Zn, también aparece la fase "beta prima" (β'), que es dura y frágil. Es una fase ordenada. A altas temperaturas tenemos a la fase beta (β), la cual es plástica y de estructura cúbica de cuerpo centrado, BCC. Es una fase desordenada. A mayores porcentajes de Zn, se presentan las fases gamma (γ) y delta (δ), que son, completamente frágiles.

A continuación se tiene las fases presentes a diferentes contenidos de zinc, en las aleaciones Cu-Zn.

| | |
|---------------------------|------------------|
| Latones α | hasta 39% Zn |
| Latones $\alpha + \beta'$ | de 37.5 a 45% Zn |
| Latones β' | de 46.0 a 50% Zn |
| Fase γ | mayor que 50% Zn |

En los latones alfa, la ductilidad aumenta a medida que se incrementa el contenido de Zn, hasta que aparece la fase beta prima (β'). La resistencia a la tracción aumenta a medida que se incrementa el contenido de Zn, hasta que empieza a descender debido a la aparición de la fase gamma (γ).

El latón alfa (α) tiene la mayor resistencia al choque, pero disminuye en cuanto aparece el latón beta prima (β') y la aleación es muy frágil cuando se presenta la fase gamma (γ). La dureza aumenta con el latón (β') y aún más con la fase (γ). El latón (α) se puede laminar en caliente y en frío, excepto cuando tiene plomo, ya que el plomo es insoluble en el latón (α), por lo cual no es posible laminar al latón (α) conteniendo plomo; mientras que el plomo se disuelve en el latón (β), pudiendo trabajarse en caliente los latones (β) conteniendo plomo.

Influencia de los elementos aleantes sobre el latón α

Aluminio.- Aumenta la resistencia mecánica, mejora la fluidez, pero produce inclusiones de óxidos y películas de alúmina, que producen porosidades.

Fierro.- En pequeñas cantidades es un refinador de grano, también aumenta dureza y resistencia a la tracción.

Plomo.- Aumenta la maquinabilidad y se presenta en la estructura como glóbulos, hay que evitar su segregación.

Manganeso.- Se usa como desoxidante y tiene efecto similar al fierro.

Níquel.- Mejora propiedades mecánicas, aumenta resistencia a la corrosión y también refina el grano.

Fósforo.- Se combina con el fierro y aumenta la dureza, reduce el crecimiento del grano y mejora fluidez.

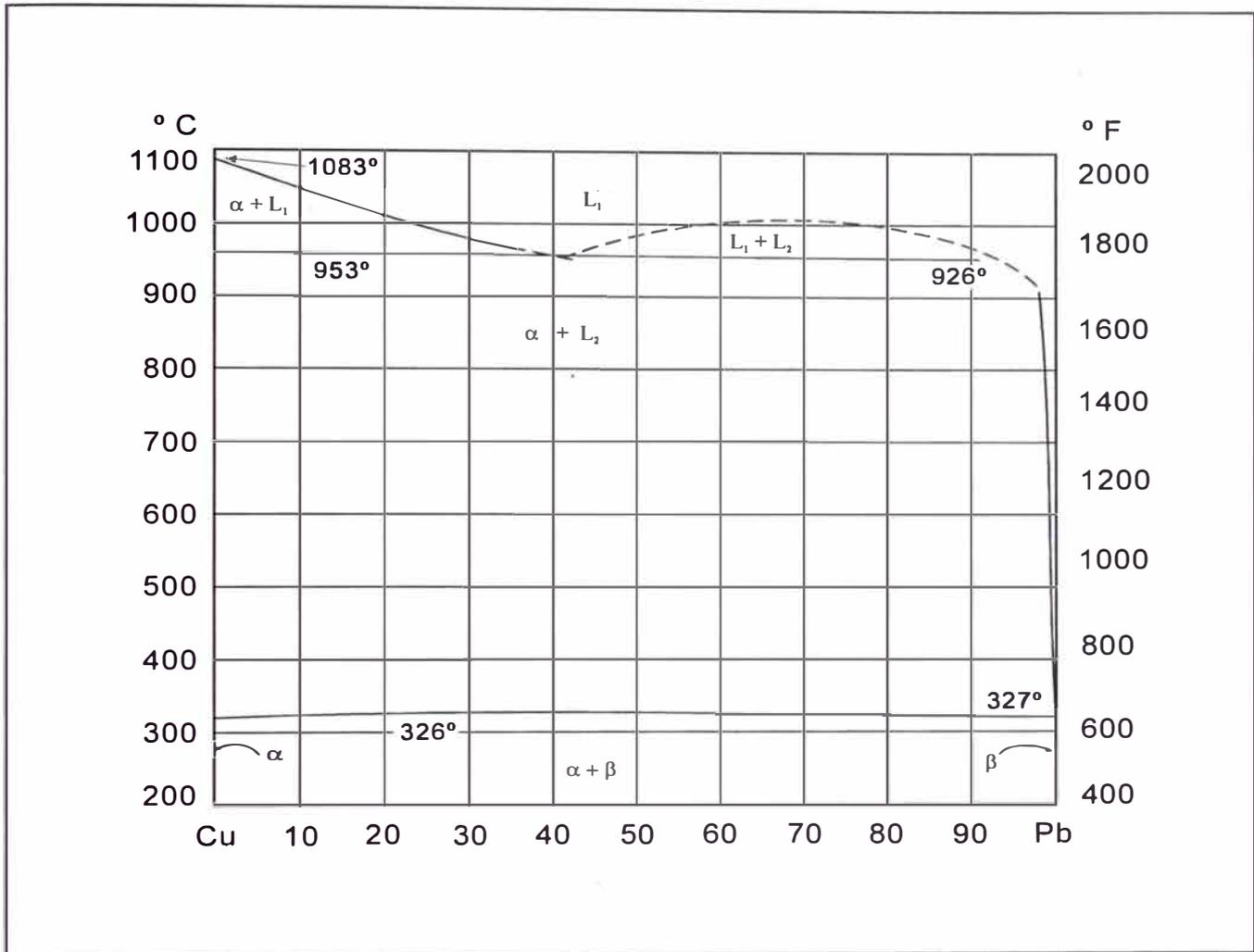
Silicio.- Mejora la resistencia a la corrosión, especialmente al ataque intergranular.

Estaño.- Eleva la resistencia a la tracción y dureza, baja la ductilidad y mejora la resistencia a la corrosión, también aumenta la fluidez.

b) Cobre-Plomo

En la Fig. 5.2, puede verse que el plomo, aún cuando es continuamente soluble en el cobre fundido, es virtualmente insoluble en el estado sólido (su solubilidad es menor que 0.005% en el cobre sólido).

Fig. 5.2. Diagrama de equilibrio Cobre - Plomo.



En el extremo del diagrama rico en cobre, la solidificación de la aleación comienza con la cristalización del cobre, esencialmente puro, a medida que la temperatura cae por debajo del liquidus.

Conforme continua la solidificación a través del rango liquidus - solidus, se produce el adicional crecimiento de los cristales de cobre, mientras que el liquido remanente aumenta en contenido de plomo, alcanzando un valor de 41% a la temperatura monotéctica de 953 °C.

A la temperatura monotéctica, se produce la adicional precipitación de cobre desde el baño, isotérmicamente, hasta que el líquido, eventualmente alcance una composición de 92.6% Pb. Luego, el enfriamiento prosigue produciéndose un pequeño cambio hasta 326 °C, solidificando el líquido residual como plomo, esencialmente, puro.

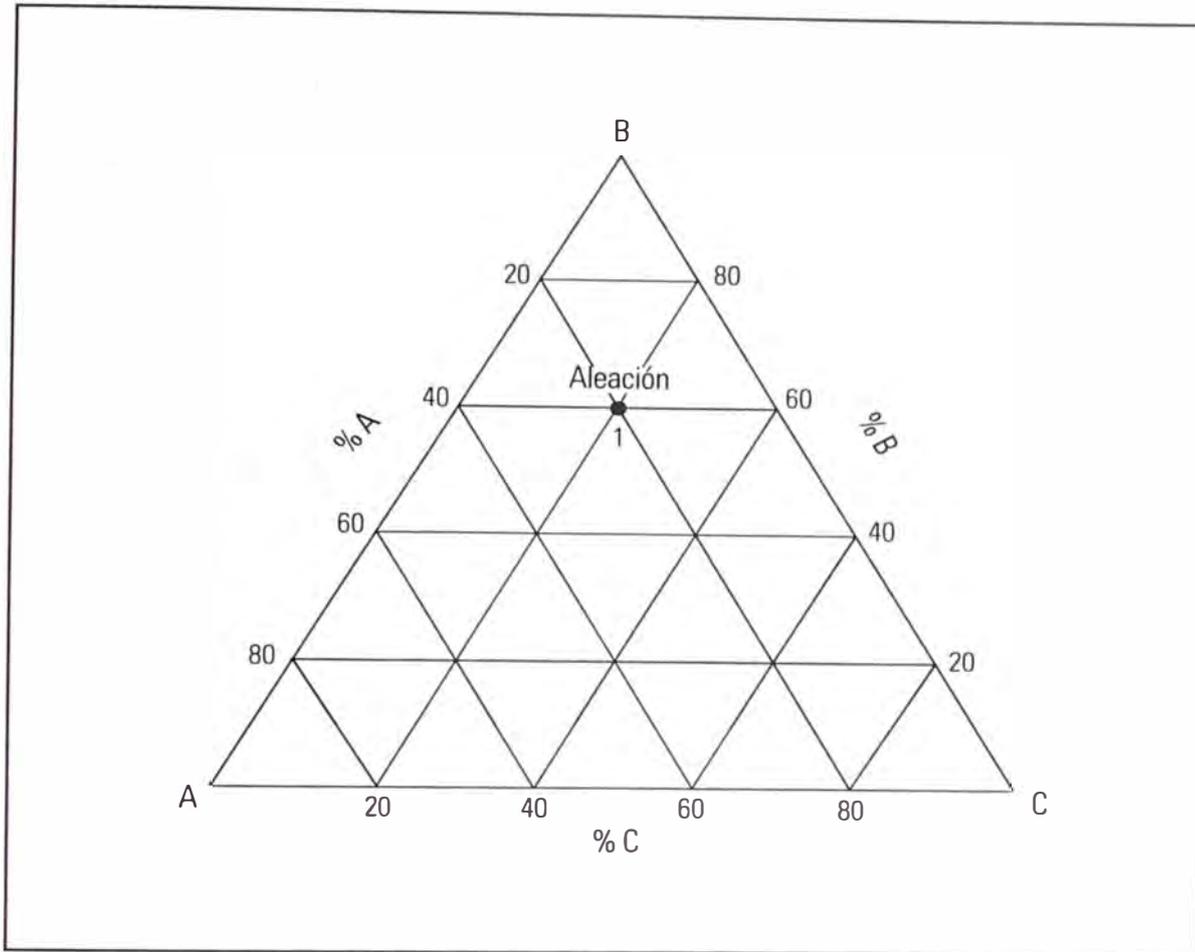
El plomo interrumpe la continuidad de la estructura de la matriz de la aleación y, de este modo, pequeñas cantidades de plomo cuando están bien distribuidas, pueden servir como un lubricante y como "rompedor de virutas", mejorando la maquinabilidad.

5.2.2 Diagramas Ternarios

Para representar adecuadamente las variaciones de presión, temperatura y las 2 variables independientes de la concentración en sistemas de 3 componentes, sería preciso el empleo de cuatro dimensiones. Fijando la presión a 1 atmósfera son suficientes 3 dimensiones. Como incluso esta clase de representación presenta dificultades, también puede fijarse la temperatura para reducir a 2 dimensiones el diagrama necesario.

La Fig. 5.3, muestra el método triangular usual utilizado para representar las 2 variables de composición en un sistema ternario, cuando se han fijado la presión y la temperatura.

Fig. 5.3. Método de representar las composiciones en un sistema de aleaciones ternario. Se muestra la ubicación de la aleación 1, que contiene 20% de A, 60% de B y 20% de C.



Un vértice del diagrama representa el 100% de un componente, por ejemplo el metal A. La base del diagrama, opuesta al vértice del metal A, representa 0% del metal A y las líneas paralelas a esta base indican porcentajes variables de metal A. De esta forma, el punto que representa a la aleación 1, se encuentra en el 20% de la distancia entre la base y el vértice; por tanto, la aleación contiene 20% de A. Un razonamiento similar muestra que la aleación 1 contiene 60% de B y 20% de C.

5.3 ZINC EQUIVALENTE

En los sistemas de aleaciones, el método general de determinar la constitución es, básicamente la regla de fases y por lo tanto el diagrama binario se usa en aleaciones que tienen 2 componentes metálicos, y en aleaciones de 3 componentes metálicos, el modelo sólido es el método formal, sin embargo, por conveniencia en la representación y para aclarar el problema, se usan secciones isotérmicas y secciones de composición constante..

En vista de que los sistemas de 3 componentes, presentan dificultades, aquellos sistemas de 4 y 5 componentes, son aún más difíciles. Por lo que se recurre al principio de la equivalencia, en el caso de los bronce al manganeso, al **"Zinc equivalente" de Guillet**.

El principio de equivalencia se usa para aclarar los problemas estructurales en otras aleaciones diferentes a los bronce al manganeso. Por ejemplo, en la metalurgia de los aceros rápidos (de alta velocidad), se hace uso del equivalente del tungsteno en la selección de una sección constante de tungsteno del sistema hierro-carbono-tungsteno, para representar la composición del acero comercial de alta velocidad; también, en la metalurgia ferrosa, la cantidad de elemento aleante requerido para estrechar el campo de la fase γ , forma una base para compilar una lista de cromo equivalente.

La determinación del zinc equivalente y su posterior aplicación en los latones es de gran importancia, pues en base a dicho cálculo se puede determinar con anterioridad a la colada, el tipo de estructura a obtener.

El principio de zinc equivalente es usado para esclarecer los problemas estructurales en aleaciones como el bronce al manganeso.

La discusión de algunos detalles en los siguientes aspectos:

- a) Uso, aplicación y limitaciones del zinc equivalente usando la interpretación de dos componentes.
- b) Descripción del método propuesto usando zinc equivalente con la interpretación de tres fases.
- c) Probable efecto de elementos basados en una comparación de tres componentes en equilibrio cobre - zinc y un tercer elemento; el tercer elemento se considera variable.

Interpretación binaria del Zinc Equivalente

Como se indicó anteriormente, este es el método más usual de consideración de la constitución de los bronce al manganeso. Los bronce al manganeso se derivan de latones de 58 %Cu y 42 %Zn. Este latón, tiene una estructura de 2 soluciones sólidas; conteniendo 40% de solución sólida α y 60% de solución sólida β .

La adición de elementos tales como aluminio, estaño, fierro y manganeso alteran su microestructura y la capacidad del zinc reemplazante recibe el nombre de Guillet o zinc equivalente.

El zinc equivalente reemplazado, o los valores de zinc ficticio para las distintas aleaciones metálicas fueron determinadas hace años en una investigación, y son valores dignos de confianza siempre que las cantidades agregadas no sean grandes.

TABLA 5.1. Zinc Equivalente

| Elemento aleante | Zinc Equivalente |
|------------------------------------|-------------------------|
| 1 %Si, afecta a la estructura como | 10.0 %Zn |
| 1 %Al, afecta a la estructura como | 6.0 %Zn |
| 1 %Sn, afecta a la estructura como | 2.0 %Zn |
| 1 %Mg, afecta a la estructura como | 2.0 %Zn |
| 1 %Pb, afecta a la estructura como | 1.0 %Zn |
| 1 %Fe, afecta a la estructura como | 0.9 %Zn |
| 1 %Mn, afecta a la estructura como | 0.5 %Zn |
| 1 %Ni, afecta a la estructura como | -1.3 %Zn |

De esta manera el 1% de aluminio tiene un efecto similar que el 6 % de zinc, y el 1% de estaño un efecto similar al 2 % de zinc, pero el signo negativo indicado en el valor numérico del níquel implica que 1% de níquel actúa de la misma manera que 1.3 % de cobre.

Aunque en las aleaciones complejas, tales equivalentes sólo pueden aplicarse con ciertas reservas, su exactitud ha sido generalmente confirmada. Por lo tanto, es posible preveer el conjunto estructural de las aleaciones, siempre que se conozca la composición de dicha aleación y a condición de que el elemento en particular interesado no este presente en proporciones mayores del 2%.

Los elementos arriba indicados, raramente se encuentran todos juntos en cualquier composición. El fierro casi siempre está presente en proporciones del 1 al 2%, mientras que el estaño no excede normalmente del 1% y el manganeso puede variar del 0.1 al 5%. Las aleaciones que tienen un contenido de estaño del 1% tienen generalmente un bajo contenido en aluminio y manganeso.

TABLA 5.2. Propiedades Mecánicas de Latones, colados en arena

| %Zinc | %Fase Alfa | Resistencia a la tracción, kg/mm² | %Alargamiento sobre 50 mm |
|--------------|-------------------|---|----------------------------------|
| 33.7 | 100 | 23.6 | 63.0 |
| 38.0 | 75 | 33.9 | 56.0 |
| 41.8 | 55 | 38.7 | 50.0 |
| 45.5 | 0 | 47.9 | 27.0 |

TABLA 5.3. Propiedades Mecánicas del Bronce al Manganeso, colado en arena

| %Zinc | %Fase Alfa | Resistencia a la tracción, kg/mm² | %Alargamiento sobre 50 mm |
|--------------|-------------------|---|----------------------------------|
| 31.0 | 100 | 32.8 | 24.0 |
| 37.5 | 70 | 42.8 | 50.0 |
| 41.1 | 25 | 53.9 | 28.0 |
| 47.8 | 0 | 38.4 | 4.0 |

Las Tablas 5.2 y 5.3 muestran las diferencias entre las propiedades mecánicas de una serie de latones ordinarios y una serie correspondiente de bronce al manganeso. En los latones ordinarios colados en arena, el cambio de estructura simple a estructura duplex tiene lugar entre contenidos de zinc del 34% al 45%. Es decir, con 34 % de zinc, la estructura es toda ella alfa y con 45% de zinc la estructura es beta por completo.

El bronce al manganeso, tal como se indica en la Tabla 5.3 contiene, además de zinc, 1% de fierro, 1% de estaño y 0.25% de aluminio, siendo el resto en cada caso, el cobre correspondiente. Los resultados indicados en ambas Tablas 5.2 y

5.3, fueron obtenidos de probetas de ensayo similares coladas en arena.

El uso del zinc equivalente en la determinación del zinc equivalente de una aleación, se ilustrará con el siguiente ejemplo:

TABLA 5.4. Cálculo del Zinc Equivalente de un bronce al manganeso

| ALEACION | | Zinc Equivalente | Zinc Equivalente x % | %Zinc |
|----------------------------------|-------|---------------------|--|-------|
| Elemento | % | | | |
| Cobre | 58.40 | | | |
| Estaño | 0.50 | 2.0 | 1.00 | |
| Aluminio | 0.50 | 6.0 | 3.00 | |
| Manganeso | 0.90 | 0.5 | 0.45 | |
| Fierro | 0.90 | 0.9 | 0.81 | |
| Níquel | 0.50 | -1.3 | -0.65 | |
| Silicio | 0.01 | 10.0 | 0.10 | |
| Plomo | 0.10 | 1.0 | 0.10 | |
| Zinc | 38.19 | | | 38.19 |
| %Zinc equivalente de aleantes | | | 4.81 | |
| %Zinc en aleación | | | 38.19 | |
| %Zinc ficticio total en aleación | | | 43.00 | |
| %Cobre | | | 58.40 | |
| % ficticio total | | | 101.40 | |
| %Zinc equivalente de aleación | | | $(43.00/101.40) \times 100 =$ 42.40% | |

El diagrama de equilibrio indica que a esta aleación le corresponde aproximadamente un 40 % de alfa y un 60 % de beta, ver Fig. 5.1.

5.4 METALURGIA DE LOS BRONCES AL MANGANESO

A medida que el contenido de zinc de las aleaciones Cu-Zn, aumenta significativamente por encima de 32.5% (como en las aleaciones C86400 y C86500), las microestructuras de las aleaciones empiezan a presentar un incremento en la cantidad de una segunda fase, "beta" (β). La fase beta tiene una significativa mayor dureza y resistencia (y baja ductilidad) que la fase α , y es por ello que tiene un marcado efecto de endurecimiento sobre las aleaciones.

La fase β o, más precisamente, la fase "beta prima" (β'), primero aparece en la microestructura de la aleación a la temperatura ambiente, a un contenido de zinc de alrededor de 39%. A 40% Zn, como se muestra en la Tabla 5.5, la presencia de esta fase es manifestada por un súbito incremento en la resistencia de la aleación.

TABLA 5.5. Resistencias a la tracción de aleaciones recocidas binarias Cu-Zn

| % Zinc | Resistencia a la tracción, kg/mm² |
|---------------|---|
| 0 | 22.40 |
| 15 | 28.00 |
| 20 | 30.80 |
| 30 | 32.90 |
| 35 | 33.60 |
| 40 | 37.80 |

Otro de los elementos aleantes, tales como el aluminio, tienen una tendencia aún más fuerte para promover la formación de la fase beta, cuando se añaden a las aleaciones Cu-Zn. Por ejemplo, una adición de 1% Al tiene el mismo efecto de una

adición de 6% Zn. De este modo, se dice que el aluminio tiene un zinc equivalente de 6.

Con porcentajes mayores al 2% de Al, Sn, Fe y Mn, los valores del Zn equivalente no son confiables. Cuando un elemento no entra en solución sólida y permanece como partícula discreta o compuesto intermetálico, no se cumplirá la equivalencia.

En el caso de las aleaciones C86400 y C86500 (que difieren básicamente solo en la ausencia o presencia de plomo), nosotros podemos, por lo tanto, esperar una microestructura que refleje la proporción alfa-beta, a ser encontrada en una aleación binaria de 55% Cu y 45% Zn. Esto puede observarse en la microestructura presentada en la Fig. 5.5. Notar aquí que la fase alfa, la cual aparece como una estructura acicular, se ha formado por la precipitación desde una fase simple, beta, que aparece como la matriz de la estructura a temperatura ambiente.

Fig. 5.5. Microestructura en bruto de colada de la aleación C86500 (58% Cu, 0.5% Sn, 39.5% Zn, 1% Fe y 1% Al). Fase α , clara, acicular en una matriz de β . (100 X)



El plomo, cuando esta presente, se presenta como partículas insolubles dentro de la estructura de la matriz. Las aleaciones C86400 y C86500, que tienen estructuras bifásicas, pueden ser consideradas como aleaciones de resistencias moderadas.

A pesar de su, relativamente, bajos contenidos de zinc, las aleaciones C86200 y C86300 presentan microestructuras que contienen poco o nada de fase alfa. Esto es debido a la alta equivalencia de zinc de las adiciones de 4 a 6% Al, produciendo un efectivo contenido de zinc de 50 a 55%. Se presentan microestructuras típicas de las aleaciones C86200 y C86300, en las Figs. 5.6 y 5.7, respectivamente. El alto contenido de beta de estas estructuras, explica sus, inusualmente, altas resistencias mecánicas.

Fig. 5.6. Microestructura en bruto de colada de la aleacion C86200, presenta una estructura de matriz de fase β con, relativamente, pequeñas partículas aciculares de fase α , en los bordes y dentro del grano. (200 X)

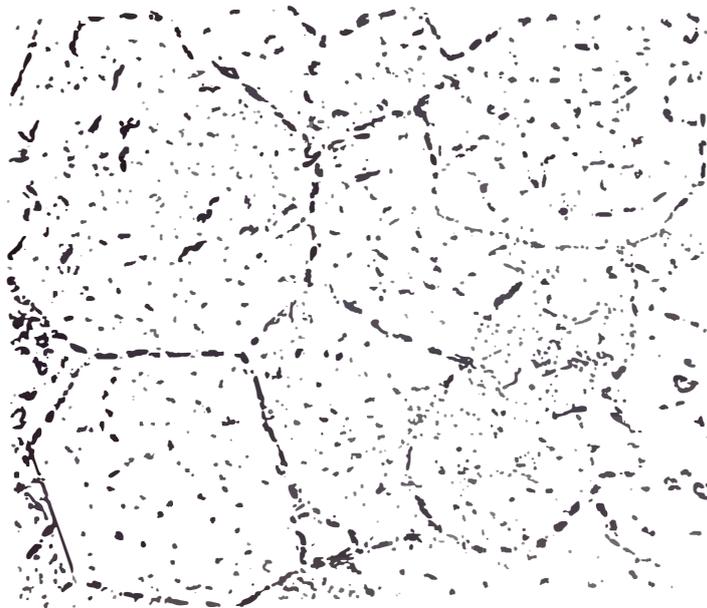


Fig. 5.7. Microestructura en bruto de colada de la aleación C86300 (63% Cu, 25% Zn, 3% Fe, 6% Al y 3% Mn). Los constituyentes son los mismos que en la Fig. anterior, excepto que muy poca fase α esta presente. Los puntos oscuros, son partículas de la fase intermetálica rica en fierro.



Las pequeñas inclusiones negras que se observan en la microestructura, son partículas de un complejo, intermetálico rico en fierro. El fierro es, esencialmente, insoluble en estas aleaciones y se añade, principalmente, para refinar el grano. Esto es, particularmente, importante para piezas con secciones delgadas y gruesas. En ausencia de adiciones de fierro, las secciones gruesas que se enfrían más lentamente, tenderán a desarrollar tamaños de grano gruesos, con la consiguiente reducción en las propiedades mecánicas.

Normalmente, estas inclusiones ricas en fierro son pequeñas y bien distribuidas, formando partículas de forma redondeadas a rosetas. Bajo ciertas condiciones, que incluyen cuando están presentes excesivas cantidades de fierro, estas partículas pueden formarse como inclusiones alargadas o "puntos duros", los cuales afectan adversamente la maquinabilidad y la apariencia cosmética de las aleaciones.

El rol del manganeso en los latones amarillos de alta resistencia, permanece oscuro. Aún cuando, este tenga bajo zinc equivalente (0.5), aumenta ligeramente la resistencia sin reducir la ductilidad. El manganeso, también es considerado que tiene cierto beneficio como un mediano desoxidante y mejora las características de fundición de las aleaciones.

Las propiedades mecánicas de los latones amarillos de alta resistencia, son fuertemente influenciadas por la proporción de la fase beta en la microestructura; esto, a su vez, es marcadamente afectado por el porcentaje de zinc y otros elementos aleantes presentes en la aleación. Por esta razón, a pesar de la amplitud en los límites de composición permitidos por las especificaciones, deben controlarse las composiciones reales dentro de límites, relativamente estrechos y cuidadosamente balanceados, para alcanzar las propiedades deseadas reproducibles. Para aplicaciones críticas, no es raro especificar requerimientos microestructurales tanto como composición y propiedades mecánicas, para propósitos de resistencia a la corrosión. En el caso de las aleaciones "totalmente beta" (C86200 y C86300), severos desbalances en la composición, pueden, realmente, producir la formación de pequeñas cantidades de fase "gamma" (γ) en los bordes de grano, originándose una severa fragilidad de las piezas.

Debe observarse que todas las aleaciones "totalmente beta", generalmente, tienen buena tenacidad en caliente (a menos que

este contaminada con plomo). Sin embargo, estos materiales tienen una reputación por ser "frágiles en caliente" a casi 400 °C y requieren mucho cuidado en el desmoldeo.

La velocidad de enfriamiento en el molde tiene un marcado efecto sobre la identidad, tamaño y forma de los constituyentes MICROESTRUCTURALES. De este modo, existen diferencias en las microestructuras y propiedades, de las secciones gruesas y delgadas de las piezas, y entre las piezas fundidas en moldes metálicos (enfriadores) y en moldes de arena. **La transformación de beta a alfa, no puede suprimirse, aún con un rápido enfriamiento. Por esta razón, no es posible una adecuada mejora con un tratamiento térmico,** aún cuando, a veces se realiza un recocido de alivio de tensiones a 316 °C, especialmente, después de soldarse.

5.5 EFECTO DE ELEMENTOS ALEANTES E IMPUREZAS

Al igual que en las aleaciones ordinarias cobre - zinc, el aumento del contenido de zinc que disminuye la cantidad del constituyente alfa, origina un aumento progresivo de la dureza y resistencia a la tracción hasta que la estructura es enteramente beta. Sin embargo, a diferencia de las aleaciones cobre - zinc, la ausencia del constituyente beta en este bronce al manganeso en particular, no corresponde con la ductilidad más alta. Esto es debido a que en la estructura puede aparecer un constituyente frágil rico en estaño. Además, la presencia de un 1% de hierro, es suficiente para formar un constituyente endurecedor rico en hierro.

A fin de asegurar que se mantengan las adecuadas proporciones de alfa y beta, en las microestructuras de los bronce al manganeso, particular atención debe darse al peligro de contaminación desde otras aleaciones, durante la fusión. Esto atañe a cualquier objeto metálico, cargado intencionalmente al horno, tanto como a residuos metálicos adheridos a los

revestimientos del horno o al interior de los crisoles o a las cucharas de vaciado.

El plomo y estaño, son 2 elementos comunes que pueden introducirse inadvertidamente dentro de la colada de los latones amarillos de alta resistencia. En el caso de las aleaciones C86500 y C86400, las Tablas 2.1 y 3.1 indican que la presencia de tan poco como 1% Pb, en promedio (añadido para aumentar maquinabilidad) es suficiente para reducir la resistencia a la tracción y límite de fluencia en 3.5 kg/mm² y la elongación en 5%.

Efectos similares pueden ocurrir por la contaminación no intencional del plomo en las aleaciones C86200 y C86300. En las 2 últimas aleaciones, cuando el estaño se mantiene en niveles por debajo de 0.20%, es posible obtener las mínimas propiedades mecánicas. Para las aleaciones C86400 y C86500, los límites permisibles para el contenido de Sn, son un tanto mayores, siendo 1.5 y 1.0% respectivamente. El estaño, en efecto, es a veces añadido a estas aleaciones a fin de reducir su tendencia hacia la corrosión por descincificación en ambientes marinos.

Cuando el níquel esta presente, actúa en una manera similar al cobre y, de este modo promueve la estabilidad de la fase alfa en la microestructura. Este tiene un zinc equivalente de -1.3.

Aluminio

De todos los elementos que pueden estar presentes en los bronce al manganeso, no hay duda de que es el aluminio el que tiene la mayor influencia benéfica sobre las propiedades de resistencia, como puede verse en la Tabla 5.6 en una aleación colada en coquilla y que contiene 59% de cobre.

TABLA 5.6

| %Aluminio | Resistencia a la tracción, kg/mm² | %Alargamiento sobre 50 mm |
|------------------|---|----------------------------------|
| 0.00 | 39.2 | 45.0 |
| 1.00 | 50.4 | 30.0 |
| 1.54 | 55.4 | 17.0 |
| 2.18 | 57.3 | 16.0 |
| 3.02 | 66.2 | 18.5 |

Como se ve, la resistencia a la tracción incrementa hasta que el contenido de aluminio es del 3%. Cada 0.1% de aluminio aumenta la resistencia a la tracción en 0.78 kg/mm², lo que representa un incremento más del doble que cualquier otro elemento normalmente presente en el bronce al manganeso.

Fierro

Este elemento también se encuentra prácticamente en casi todos los latones de alta resistencia. En porcentajes del orden del 1%, afina la estructura. Cuando el fierro está en exceso alrededor del 0.35%, hay en la estructura un constituyente diferente que es visible bajo el microscopio como un compuesto rico en fierro de un color azulado. La influencia del fierro sobre las propiedades mecánicas de las aleaciones cobre - zinc es pequeña, pues con contenidos del orden del 2.5% la resistencia a la tracción se incrementa sólo en 2.3 kg/mm². Su principal ventaja parece ser la de impedir el crecimiento del grano de los latones complejos de alto contenido de aluminio.

Manganeso

Casi todos los latones de alta resistencia contienen manganeso. Su principal utilidad radica en el hecho de que aumenta el porcentaje de fierro que puede entrar en solución.

Aún así, da un pequeño aumento en las propiedades mecánicas. Cada adición de 0.10% de manganeso aumenta la resistencia a la tracción en 0.23 kg/mm². La dureza también aumenta ligeramente, a expensas de una ligera disminución de la ductilidad.

Plomo

La presencia del plomo es en principio indeseable, pues tiene un efecto adverso sobre la resistencia al impacto y sobre las propiedades mecánicas en general, no obstante mejora la maquinabilidad. Debido a su muy limitada solubilidad en los latones, el plomo no tendría que estar presente en los latones de alta resistencia, más que en ligeras trazas.

Estaño

El efecto del estaño sobre las propiedades mecánicas de una aleación cobre - zinc colada en coquilla y con un contenido de 59% de cobre es el siguiente:

TABLA 5.7

| %Estaño | Resistencia a la tracción, kg/mm² | %Alargamiento sobre 50 mm |
|----------------|---|----------------------------------|
| 0.00 | 39.2 | 45.0 |
| 0.47 | 41.3 | 44.0 |
| 1.00 | 42.1 | 32.0 |
| 2.11 | 41.1 | 13.0 |
| 2.98 | 33.5 | 1.5 |

Como se ve en la Tabla 5.7, el máximo de resistencia a la tracción se obtiene con un contenido de 1% de estaño, más allá del cual, disminuyen la resistencia y la ductilidad. Se observa que hasta el 1% de estaño, se va incrementando la resistencia a

la tracción en 0.53 kg/mm^2 por cada 0.1% de estaño presente. El peligro de un estaño superior al 1%, es de que se puede separar de la estructura como un constituyente rico en estaño, formándose entre los cristales y originando fragilidad. Las aleaciones que contienen más del 61.5% de cobre y 1.1% de estaño son particularmente propensas a la fragilidad.

Níquel

En las especificaciones de bronce al manganeso, el níquel se halla en contenidos hasta del 3%. Hay un bronce al manganeso muy particular (bronce turbadium) que contiene el 2% de níquel y al que se le atribuye una combinación de propiedades físicas mucho más altas que los bronce al manganeso ordinarios y que es especialmente resistente a la corrosión y a la cavitación por erosión, como sucede en las hélices marinas.

5.6 METALOGRAFIA

La metalografía es el estudio de las características estructurales o de constitución de un metal o una aleación para relacionarlas con las propiedades físicas o mecánicas.

Las probetas de las aleaciones de base cobre, para el análisis metalográfico, se preparan de igual forma que para las otras aleaciones.

5.6.1 Análisis Macroscópico

Las muestras para el análisis macroscópico, se extraen de grandes masas usando herramientas comunes de corte. Las herramientas deben mantenerse afiladas para minimizar el trabajado en frío de la muestra.

Preparación de la superficie

Usualmente, pueden obtenerse superficies adecuadas para el macroataque, en 2 operaciones de maquinado. En la primera operación, se hace un corte grueso para eliminar el metal que fue trabajado en frío durante el seccionamiento; en la segunda se hace un corte delgado, usando una herramienta en forma de V, para eliminar el efecto residual del trabajado en frío.

La necesidad para una adicional preparación de la superficie, depende de la cantidad de detalle requerido. El detalle de la superficie revelada por el ataque, aumenta a medida que decrece la irregularidad de la superficie. La superficie maquinada es, a menudo pulida usando un papel abrasivo de grano 180 o más fino y algunas veces tan fino como de grano 600.

Ataque

Un ataque profundo elimina los efectos del trabajado en frío, sin embargo, produce una superficie rugosa; por lo tanto, es práctica común el ataque profundo de la superficie maquinada o con desbaste grueso, repulir ligeramente, luego atacarlo ligeramente.

La selección de un reactivo de ataque para un análisis macroscópico, depende principalmente de la aleación a atacar y a las características a ser examinadas. Debido a la capacidad de que 2 o más reactivos de ataque, a menudo se sobreponen o son lo mismo, la selección de un reactivo específico, es arbitraria. La Tabla 5.8, presenta los reactivos de ataque para el análisis macroscópico del cobre y las aleaciones de base cobre.

TABLA 5.8. Reactivos de ataque para el examen macroscópico del cobre y aleaciones de cobre

Procedimiento para su uso: Sumergir a temperatura ambiente, enjuagar en agua caliente, secar.

| COMPOSICION | ALEACION | COMENTARIO |
|--|--|--|
| 1. 50 ml HNO ₃ , 0.5 g AgNO ₃ , 50 ml H ₂ O | Cu y todas las aleaciones de Cu. | Produce un ataque profundo y brillante. |
| 2. 10 ml HNO ₃ y 90 ml H ₂ O | Cu y todos los latones. | Granos; rajaduras y otros defectos. |
| 3. 50 ml HNO ₃ y 50 ml H ₂ O(a) | Cu, todos los latones, bronce al Al(b) | Igual al anterior; mejor contraste. |
| 4. 30 ml HCl, 10 ml FeCl ₃ , 120 ml H ₂ O | Cu y todos los latones. | Igual al anterior(c). |
| 5. 20 ml ácido acético, 10 ml 5% CrO ₃ , 5 ml 10% FeCl ₃ , 100 ml H ₂ O(d) | Todos los latones. | Produce un ataque profundo y brillante. |
| 6. 2 g K ₂ Cr ₂ O ₇ , 4 ml de solución saturada de NaCl, 8 ml H ₂ SO ₄ , 100 ml H ₂ O(e) | Cu, aleaciones de alto Cu, bronce fosforoso. | Bordes de grano e inclusiones de óxidos |
| 7. 40 g CrO ₃ , 7.5 NH ₄ Cl, 50 ml HNO ₃ , 8 ml H ₂ SO ₄ , 100 ml H ₂ O | Latón y bronce al Si. | Macroestructura en general. |
| 8. 45 ml ácido acético y 45 ml HNO ₃ | Cu. | Borde de grano y macroataque para el pulido por ataque. |
| 9. Saturado (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ | Cu y aleaciones de Cu. | Usar después del ácido acético enlistado antes, aumenta contraste del latón. |
| 10. 40 ml HNO ₃ , 20 ml ácido acético, 40 ml H ₂ O | Cu y aleaciones de Cu. | Macroataque 90-10, 70-30 y latón al Pb. |

(a) La solución debe agitarse durante el ataque, para prevenir la picadura de algunas aleaciones.
 (b) Los bronce al Al, pueden formar manchas, las cuales pueden eliminarse por una breve inmersión en HNO₃ concentrado.
 (c) Excelente para el contraste del grano.
 (d) La cantidad de agua puede variarse como desee.
 (e) Sumergir la muestra de 15 a 30 min., luego frotar con solución fresca.

El análisis macroscópico es una fase importante en la metalografía, consiste en la observación visual o con la ayuda de un microscopio de pocos aumentos (usualmente menos de 10), de la naturaleza de las heterogeneidades de un metal o aleación y la magnitud en que se presentan, también se observan áreas grandes de la probeta.

La finalidad del examen macroscópico es detectar defectos, etc sobre toda una sección o partes relacionadas de ella. Son muy usadas en etapas sucesivas de un proceso donde el macroataque a secciones seleccionadas puede servir para detectar la primera aparición de un defecto en la secuencia de operaciones, evitando el gasto que representaría la continuación del proceso que sólo originaría productos de baja

calidad.

El exámen macroscópico comprende también la observación de fracturas, las cuales pueden revelar muchas características del metal relacionadas con su resistencia, ductilidad, tamaño de grano, etc.

Se puede observar que la fractura comienza en el centro de la probeta y luego se extiende por una separación de cizalladura a lo largo de una línea.



Se observa una fractura dúctil. También el cizallamiento y la estructura fibrosa.

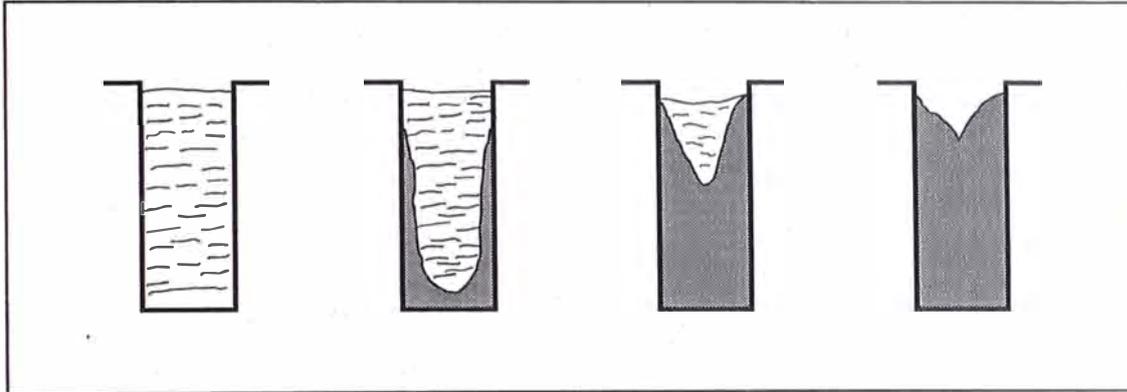


Con la macrografía se puede observar el rechupe formado en el riser por la aleación.



Secuencia de la solidificación progresiva durante el enfriamiento de la aleación de corto rango de solidificación. Notese la demarcación entre las fases líquida y sólida.

Se observa la formación del rechupe del riser de la vista anterior.



5.6.2 Análisis Microscópico

Las muestras de cobre y de las aleaciones de cobre, para el análisis microscópico, son extraídas de grandes masas por corte con sierra, cizalla, limado, taladrado o con discos abrasivos de corte.

Montaje

En general, los procedimientos para el montaje de las muestras de cobre y de aleaciones de cobre, son los mismos que para los otros metales. El cobre y las aleaciones de cobre son, extremadamente susceptibles al endurecimiento por trabajado; por lo tanto, cuando sea posible, la cara usada para el examen debe ser aquella que fue sometida al mínimo corte.

Frecuentemente, se usa la bakelita como material de montaje. El Diallyl phthalate o fibra de vidrio, es una adecuada alternativa a la bakelita. El metil metacrilato es más blando que la bakelita y de este modo no es bueno para preservar los bordes. Sin embargo, su transparencia es algunas veces ventajoso.

La combinación de calor y presión necesarias para la compresión de los materiales de montaje, a veces rompen o afectan adversamente las muestras, especialmente aquellas de planchas delgadas o flejes. Bajo estas condiciones, deben usarse las resinas epóxicas o algunos otros materiales de montaje, colables.

Pulido

Es preferido el pulido en húmedo para el cobre y las aleaciones de cobre. La práctica común, implica el pulido grosero de la superficie de la muestra, para eliminar el metal

que ha sido trabajado en frío, luego el pulido final para obtener una adecuada superficie. El pulido final se realiza usando discos planos y lijas de carburo de silicio de grano, progresivamente más finos, usualmente 240, 320, 400 y 600. A veces se emplea, lijas de grano ultrafino de 800 y 1200.

Una aceptable alternativa al pulido húmedo, es el pulido seco sobre fajas que tienen lijas, de grano progresivamente más finos (180, 240 y 320), luego pulir manualmente sobre papeles esmeril progresivamente más finos (1, 0, 00, 000 y 0000). El pulido húmedo es lo recomendable; durante ambos procedimientos, la muestra debe siempre rotarse 90°, antes de pulir usando la lija del siguiente tamaño más fino.

Pulido grosero

La mayoría del cobre y de las aleaciones de cobre, son relativamente blandos y requieren un pulido medio que proporcione un máximo de corte o "viruta" con una mínima fricción. El pulido grosero debe realizarse usando pasta de diamante impregnado en paños de nylon. También, se usan para el pulido grosero, paños de lona fina (dril), paños fino de lana y algodón (listado en orden decreciente de preferencia).

El abrasivo preferido para el pulido grosero, sobre cualquiera de los paños mencionados anteriormente, es la pasta de diamante de 3 a 9 micras. Sin embargo, la alúmina (Al_2O_3) de grano 400, usado con agua destilada como vehículo, es una alternativa aceptable. Generalmente, se recomienda una velocidad del disco de aproximadamente 200 RPM.

Pulido fino

Generalmente, se prefieren paños peludos para el pulido final. Usualmente, el abrasivo es $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ de 0.3 micras o $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ de 0.05 micras; ambos abrasivos se usan con agua como vehículo. Otros abrasivos que han demostrado ser satisfactorios para el pulido final son el óxido de magnesio (MgO) en agua destilada, óxido férrico (Fe_2O_3), sílice coloidal (SiO_2) y pasta de diamante fino. La velocidad del disco recomendable es de 150 a 200 RPM.

La rotación de la muestra durante el pulido, despierta numerosas opiniones. El pulido manual necesita desarrollar un personal técnico que pueda requerir un grado de destreza manual; es preferible el pulido mecánico ya que se obtienen más resultados reproducibles.

Después del pulido, la muestra se enjuaga en agua y se seca con aire caliente. El pulido automático (usualmente vibratorio), ha demostrado ser altamente satisfactorio para el pulido de las aleaciones de cobre. El pulido automático, minimiza grandemente las variables humanas. El pulido por ataque (pulido y ataque combinado), usando soluciones de nitrato férrico $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ o hidróxido de amonio/persulfato de amonio $[\text{NH}_4\text{OH}-(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$, pueden usarse sin peligro, empleando equipo automático antes que manualmente.

Pulido electrolítico

Este pulido alivia muchas de las dificultades encontradas en el pulido mecánico del cobre y aleaciones de cobre.

Aparte de ofrecer las usuales ventajas sobre el pulido mecánico del ahorro de tiempo, minimizar las variables humanas y minimizar los artefactos resultantes del metal alterado, el pulido electrolítico ofrece ciertas ventajas en el cobre y las

aleaciones de cobre:

- * Es excelente para revelar la forma y el tamaño de grano, en todos los lados de la muestra.
- * Es, especialmente muy adaptado para emplearse en aleaciones de cobre monofásicas.
- * Revela la microestructura real con menos dificultad que el pulido mecánico.

Las desventajas del pulido electrolítico, en el cobre y las aleaciones de cobre son:

- * Diferentes velocidades de ataque originan ciertas fases de aleaciones multifásicas que permanecen en relieve.
- * El efecto del borde del pulido electrolítico, por medio del cual los bordes de la muestra son atacados y pulidos más que en otras áreas, limita la aplicación del proceso para el examen de superficies en los bordes.
- * El ataque alrededor de las partículas no metálicas, huecos e inclusiones en la muestra, puede ocurrir a una velocidad más rápida que el ataque de la matriz y así el tamaño del hueco o la inclusión, puede ser exagerado.

EXAMEN DE LAS MUESTRAS PULIDAS

Las muestras pulidas del cobre y aleaciones de cobre, frecuentemente son examinados metalográficamente. Las características reveladas incluyen la presencia de óxidos en el cobre fundido, partículas de plomo y cavidades en los latones rojos fundidos, óxidos en el cobre, y corrosión en las juntas soldadas.

Las muestras pulidas se usan también para el examen de microprobetas. Las muestras, también se examinan bajo luz polarizada para diferenciar las inclusiones de óxido cuproso (Cu_2O) de otras inclusiones. Bajo luz polarizada, sólo las inclusiones de Cu_2O aparecen de color rojo carmín; bajo luz blanca, el óxido de cobre y otras inclusiones aparecen gris azulado. Los óxidos de arsénico y antimonio, también son ópticamente activos bajo la luz polarizada.

ATAQUE QUIMICO

La Tabla 5.9 enlista los reactivos químicos que se usan para el cobre y las aleaciones de cobre, e incluye los procedimientos de ataque y las aleaciones a las cuales cada reactivo se aplica comúnmente.

El reactivo 1 de la Tabla 5.9, hidróxido de amonio/peróxido de hidrógeno/solución de agua, es el reactivo usado más ampliamente. Este es óptimo para el trabajo rutinario y se aplica a la mayoría del cobre y las aleaciones de cobre. Este reactivo, es también usado ampliamente, para determinar el contenido de inclusiones de los flejes de latones y bronces.

También, se usa extensivamente, en especial para revelar las estructuras de juntas soldadas, el dicromato de potasio/ácido sulfúrico/cloruro de sodio/agua (usualmente

referido simplemente como dicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$; reactivo 4 en la Tabla 5.9).

Otro reactivo muy empleado, es el ácido crómico (H_2CrO_4 , reactivo 5 en la Tabla 5.9).

TABLA 5.9. Reactivos y procedimientos de ataque para el examen microscópico del cobre y aleaciones de cobre

| COMPOSICION(a) | PROCEDIMIENTO | COBRE O ALEACION DE COBRE |
|---|---|---|
| 1. 20 ml NH_4OH , 0-20 ml H_2O , 8-20 ml 3% H_2O_2 , | Inmersión o frotar 1 min; el contenido de H_2O_2 varía con el %Cu de la aleación a atacar; usar H_2O , fresco para mejores resultados(b). | Use fresco para el Cu y aleaciones de Cu; la película sobre el bronce al Al atacado puede eliminarse con la solución débil de Grard, preferido para latones. Ataque y pulido por ataque de Cu y aleaciones. |
| 2. 1 g $Fe(NO_3)_3$ y 100 ml H_2O | Inmersión. | Pulido por ataque del Cu y algunas aleaciones de Cu. |
| 3. 25 ml NH_4OH , 25 ml H_2O , 50 ml 2.5% $(NH_4)_2S_2O_8$. | Inmersión. | Cu; aleaciones de Cu-Be-Mn y Si; Ni-Ag; bronce, Cu-Cr; preferido por todas las aleaciones de Cu para revelar los bordes de grano, contraste del grano y deformación en frío. |
| 4. 2 g $K_2Cr_2O_7$, 8 ml H_2SO_4 , 4 ml NaCl (solución saturada), 100 ml H_2O | Inmersión; NaCl reemplazable por 1 gota de HCl por 25 ml solución; añadir justo antes de usarlo; luego con $FeCl_3$ u otro reactivo de contraste. | Cu, latones, bronce, Ni-Ag. |
| 5. CrO_3 (solución acuosa saturada) | Inmersión o frotado. | Igual al anterior; color con ataque electrolítico o con ataque de $FeCl_3$. |
| 6. 50 ml 10-15% CrO_3 , y 1-2 gotas de HCl | Inmersión; añadir HCl al momento de usarlo. | Ataque para el contraste de grano del Cu ETP, no disuelve el Cu_2O ; usar después del reactivo 3 para ver la microestructura del Cu desoxidado de alta P. |
| 7. 8 g CrO_3 , 10 ml HNO_3 , 10 ml H_2SO_4 , 200 ml H_2O | Inmersión o frotado. | Cu, latones, bronce, Ni-Ag y bronce al aluminio. |
| 8. 10 g $(NH_4)_2S_2O_8$ y 90 ml de H_2O | Inmersión; usar frío o hirviendo. | Cu, latones, Ni-Ag, oscurece β en los latones α - β . |
| 9. 10% acuoso de cloruro de Cu amoníaco más NH_4OH a neutralidad o alcalinidad | Inmersión; lavar muestra totalmente. | Cu, latones, bronce, bronce al Al, oscurece la fase β en los latones; da contraste seguido con el dicromato u otros reactivos. |
| 10. Reactivo Grard N° 1: 20 g $FeCl_3$, 5 ml HCl, 100 ml H_2O | Inmersión o frotado; atacar ligeramente o por ligeros ataques sucesivos. | |

(a) Usar reactivos concentrados a menos que se especifique lo contrario.
(b) Este reactivo puede alternarse con el $FeCl_3$.

El análisis microscópico tiene por objeto principal revelar los constituyentes de la aleación, para lo cual se procede a observar bajo el microscopio de varios aumentos por reflexión de una superficie pulida y atacada adecuadamente por un reactivo.

Cuando el contenido de zinc en las aleaciones Cu - Zn aumenta significativamente por encima de 32.5 % (en las aleaciones C86400 y C86500), la microestructura de las aleaciones empiezan a presentar un incremento en la cantidad de una segunda fase (β).

La fase β tiene significativamente una gran dureza y mayor resistencia (y baja ductilidad) que la fase α por lo cual la aleación tiene un marcado efecto de endurecimiento sobre las aleaciones.

La fase β o mas precisamente la fase beta prima β' aparece primero en la microestructura a la temperatura ambiente con un contenido de zinc cerca de 39% . Con 40 % de zinc, como se muestra en la Tabla 5.5, la presencia de esta fase se manifiesta por un rápido incremento en la resistencia de la aleación.

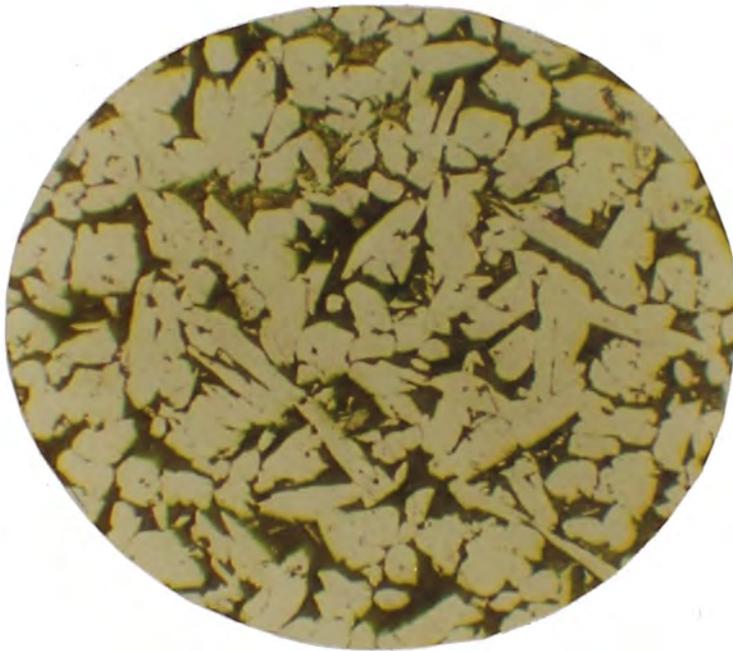
Otro de los elementos aleantes, tales como el aluminio tienen una tendencia aún más fuerte para promover la formación de la fase beta, cuando se añaden a las aleaciones Cu - Zn.

En el caso de las aleaciones C86400 y C86500 se puede esperar una microestructura que refleje la proporción de la fase alfa - beta a ser encontrada en una aleación binaria de 55% Cu y 45% Zn. Esto se puede observar en la microestructura siguiente.

Microestructura # (1)

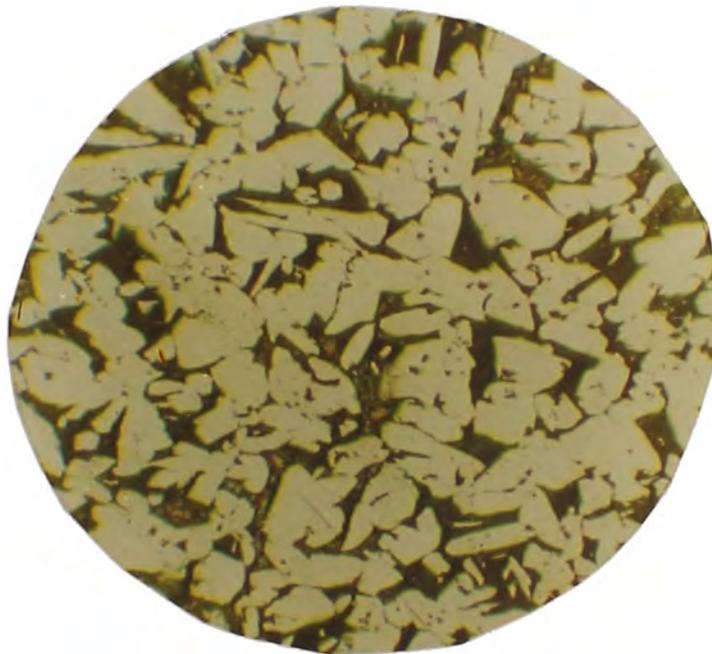
Se nota la fase α , la cual aparece como una estructura acicular, se ha formado por la precipitación desde una sola fase simple beta (β) que aparece como la matriz de la estructura a temperatura ambiente.

100 X



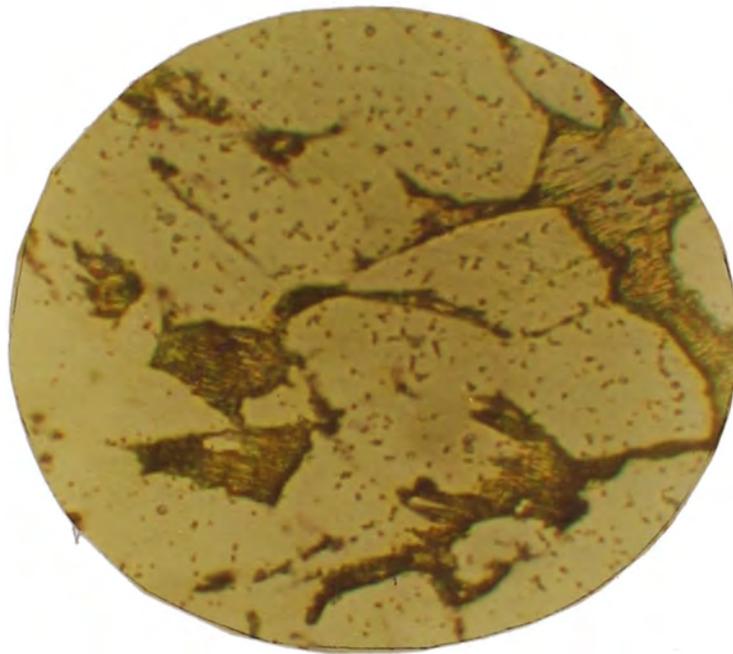
Microestructura (2)

Las pequeñas inclusiones negras que se observan en la microestructura son partículas de un complejo intermetálico rico en Hierro.



Microestrura (3)

Las inclusiones de fierro se encuentran bien distribuidas, formando partículas de forma redondeadas o rosetas.



CAPITULO VI:

TRATAMIENTO TERMICO

6.1 ALIVIO DE TENSIONES

La temperatura mínima práctica, es alrededor de 400 °C. La importancia del tiempo y temperatura, será ilustrado con el trabajo realizado por Benson y Allison (Tabla 6.1), que trabajaron con una aleación de 34.23 kg/mm² de límite de fluencia, 66.29 kg/mm² de resistencia a la tracción y 28% de elongación.

TABLA 6.1

| Tratamiento térmico, 3 hr a temp., °C | Esfuerzo inicial, kg/mm ² | Alivio de tensiones por tratamiento térmico, % |
|--|---|--|
| 200 | 7.84 | 23.5 |
| 250 | 7.70 | 54.5 |
| 300 | 7.36 | 77.5 |
| 350 | 7.36 | 92.5 |
| 400 | 6.44 | 100.0 |

De importancia práctica es la velocidad de enfriamiento desde la temperatura de tratamiento, si es demasiado rápida los esfuerzos que fueron aliviados por tratamiento térmico serán devueltos dentro de la pieza.

El alivio de tensiones de las piezas, es importante cuando ellos van a usarse en trabajos de precisión, por ejemplo, trabajo óptico, a fin de que la permanencia de las dimensiones sea retenida. Esto es también importante, en los broncees al manganeso, particularmente en las aleaciones β , que están sometidas a la acción de metales y aleaciones de bajo punto de fusión, como en el estañado. Debe haber apreciables esfuerzos en la aleación que falla por rajaduras.

El fenómeno es bien ilustrado por el trabajo de Dickenson, algunos de sus resultados son los siguientes:
El tomó barras de 10 mm², soportadas en los extremos y aplicándole una carga central, se acondicionó para calentar las barras y aplicar los diferentes metales de bajo punto de fusión. La carga de rotura y la deflexión, fueron medidas y resumidas en la Tabla 6.2. La letra "UB" significa que la muestra no se rompió. Puede verse que la aplicación de un metal fluido de bajo punto de fusión, reduce grandemente la carga y deflexión antes que se produzca la rotura.

TABLA 6.2 Carga de rotura y deflexión de barras de 10 mm², soportadas en los extremos

| Condición | Temperatura, °C | Ensayo | Beta, (Bruto de colada) | Alfa Beta, Bruto de colada |
|------------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| No revestido | 16 | Carga, kg Deflexión, mm | 1297 10.34 | 898 7.37 |
| Revestido con mercurio | 14 | Carga, kg Deflexión, mm | 200 0.15 | 399 0.41 |
| No revestido | 105 | Carga, kg Deflexión, mm | 1197 14.05 UB | 873 13.00 |
| Revestido con aleación | 103 | Carga, kg Deflexión, mm | 379 0.25 | 499 0.86 |
| No revestido | 250 | Carga, kg Deflexión, mm | 898 14.30 UB | 748 12.60 |
| Revestido con estaño | 245 | Carga, kg Deflexión, mm | 100 0.08 | 479 1.07 |

Después del quemado, las piezas pueden con ventajas ser aliviada de tensiones, a medida que el quemado puede inducir esfuerzos del mismo tipo que el límite elástico.

El tratamiento térmico de una aleación tiene por objeto la alteración de las propiedades mecánicas. Los estudios realizados

sobre esta materia, son incompletos, consisten casi enteramente del tratamiento térmico de barras de ensayo y se comparan los resultados obtenidos, con las barras en "bruto de colada" hechas al mismo tiempo.

Si el tratamiento térmico del bronce al manganeso, es visto desde el ángulo fundamental, se observará que existen 4 posibles y separadas "reacciones de tratamiento térmico", que pueden influenciar el resultado final.

6.2 EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO SOBRE LA PROPORCIÓN DE LA FASE α Y β

Si, por la aplicación del zinc equivalente o equivalente de Guillels, la aleación compleja es vista como una aleación de 2 componentes que consisten del zinc equivalente y del cobre equivalente; y su composición referida al diagrama Cu-Zn, se observará que ciertas composiciones pueden tener las cantidades de alfa y beta, variadas por el tratamiento térmico.

De este modo, una aleación con 40% de zinc equivalente, contiene aproximadamente 40% de de alfa y 60% de beta. A temperaturas por encima de 500 °C, la solubilidad del zinc en el cobre formando solución beta aumenta de modo que a 750 °C, la aleación es completamente beta. En el enfriamiento, se separa alfa y la cantidad retenida en la estructura final, es una función de la velocidad de enfriamiento, cuanto más rápido el enfriamiento menor es la cantidad de alfa y la aleación será más resistente. Las aleaciones binarias conteniendo 38-46% de zinc, se comportan similarmente.

6.3 POSIBLE ENDURECIMIENTO POR PRECIPITACIÓN

Matsuda ha reportado el endurecimiento por precipitación, que ocurre cuando ciertas aleaciones de cobre-zinc, se recalientan después del enfriamiento rápido o "templado". Esto resulta de la precipitación de alfa y el fenómeno es más pronunciado en aleaciones que contienen 40% de zinc.

Con menos de esta cantidad de zinc, los efectos del templado y revenido son menos pronunciados debido a la dificultad de retenerlas completamente como beta.

Por otro lado, el efecto no es tan pronunciado en aleaciones que contienen más de 40% de zinc, se ha encontrado que cuando ellos son templados, retienen la estructura beta, la estructura resultante no difiere grandemente de aquella obtenida por un lento enfriamiento y también en virtud del hecho de que la fase beta de alto contenido de zinc, es más estable.

La temperatura de recalentamiento para las aleaciones templadas que contienen aproximadamente 40% de zinc, es 250 a 350 °C, que produce una gran cantidad de partículas finas de alfa.

6.4 RELACIÓN DE VOLUMENES DE FASES CONTENIENDO UNA FASE FRÁGIL A LA FASE BINARIA COBRE-ZINC DEL DIAGRAMA

Aquí las aleaciones complejas son consideradas que están compuestas por 3 componentes, no 2, y los volúmenes que contienen el constituyente frágil, con el cual esta comprometido son:

- a. Duplex : Alfa y gamma.

b. Tres fases: Alfa, beta y gamma.

c. Duplex: Beta y gamma.

El significado es mejor explicado por diagramas, sin embargo como regla general, el más cercano al borde se acerca al límite de composición, con respecto al componente diferente al cobre y zinc, por ejemplo estaño, lo más probable es este factor responsable de la influencia sobre los resultados del tratamiento térmico.

En el caso de las aleaciones con estaño, es el campo de 3 fases que es más probable que influya al proceso y en el caso de las aleaciones con alto aluminio, es el campo duplex de beta y gamma.

6.5 EFECTO DEL CALENTAMIENTO SOBRE LA CANTIDAD DE LOS COMPONENTES DE FIERRO-ZINC

Uno no puede ser dogmático respecto a este aspecto del tratamiento térmico. Aún cuando del trabajo de Dix, aparece que su solubilidad no es afectada por los tratamientos térmicos. El encontró que la cantidad no fue alterada en las probetas después del templado en agua desde 850 °C, luego de 7 3/4 hr de calentamiento.

En otros, este fue ligeramente redondeado y menor en cantidad después del mismo tratamiento térmico. Sin embargo, se registra como una posibilidad para unos, aún cuando no están seguros, que la naturaleza y estabilidad de los compuestos no es independiente de la composición total de las aleaciones en las cuales ellos se presentan.

6.6 EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Discusión detallada del tratamiento térmico se dará cuando se traten con ejemplos de tipos de aleaciones, sin embargo, los posibles efectos generales de las 4 reacciones, pueden ser como sigue:

Aleaciones duplex alfa beta (sin estaño)

Los resultados del tratamiento térmico, pueden ser afectadas por (6.1), (6.2) y posiblemente (6.4).

Aleaciones duplex alfa beta conteniendo estaño

Los resultados son afectados por (6.1), (6.2), (6.3) y posiblemente (6.4).

Aleaciones esencialmente beta

Los resultados son afectados por (6.3) y posiblemente (6.4); si estan presentes pequeñas cantidades de alfa, también por (6.1).

Finalmente, si los bronce al manganeso se mantienen a temperaturas sobre 700 °C, por un tiempo indebidamente largo, hay un crecimiento de grano produciendo cristales muy grandes.

Ahora discutiremos tres tipos de bronce al manganeso, que los fundidores emplean bastante, ellos son:

1. Aleaciones conteniendo plomo.
2. Aleaciones con alto aluminio.
3. Aleaciones conteniendo estaño.

6.6.1 Aleaciones conteniendo plomo

Existe una opinión dividida sobre el efecto del plomo en el bronce al manganeso, la proporción límite y la forma en que este ocurre.

Es reconocido que el plomo baja las propiedades mecánicas de la aleación, sin embargo, no necesariamente disminuye tanto como para no usarlo. Un examen verdadero de algunos de los ejemplos de composición y propiedades mecánicas implicadas, presenta las pobres propiedades mecánicas aún en ausencia del plomo. En otras palabras, el bronce al manganeso fue malo para comenzar.

El trabajo de Hesse, Myskowski, Loring y Halliwell, es el más comprensivo y completo, en que se estudió la composición como un todo. De este trabajo que incluyó 483 ensayos, Halliwell concluyó que el plomo hasta el 0.6% baja la resistencia a la tracción en 42 kg/mm², baja la elongación en 10% y la dureza Brinell en 10. El efecto de 1% sobre aleaciones conteniendo 1 %Al, 1.3 %Fe, 0.5 %Mn y cobre, se presenta en la siguiente Tabla 6.3.

TABLA 6.3 Efecto del plomo

| Propiedad | 57 %Cu | 62 %Cu |
|--|---------------|---------------|
| Resistencia a la tracción, kg/mm ² | -46.20 | -19.60 |
| Límite de fluencia, kg/mm ² | -16.20 | - 7.07 |
| Elongación, % | - 6.00 | - 6.00 |
| Dureza Brinell | - 5.00 | - 6.50 |

El contenido de plomo permisible ha sido relacionado al contenido de cobre por Halliwell y al estaño, cobre y zinc por Hesse, Myskowski y Loring, que indica una mayor aproximación

fundamental, particularmente en vista del hecho que a fin de utilizar la chatarra conteniendo plomo, ciertas especificaciones, ASTM 132-41 T, incorporan hasta 1.5 %Pb.

Las conclusiones de Halliwell presentan el rango del cobre y plomo para diferentes propiedades mecánicas.

| Resistencia a la tracción, kg/mm² | Elongación sobre 5 cm, % | % Cu | % Pb |
|---|---------------------------------|-------------|-------------|
| 45.50 | 20 | 56.0/62.0 | 0.15 |
| 45.50 | 20 | 57.0/60.5 | 0.40 |
| 45.50 | 25 | 56.0/60.5 | Traza |
| 45.50 | 25 | 58.5/60.0 | 0.40 |
| 42.00 | 20 | 56.0/62.0 | 0.0 a 0.2 |
| 42.00 | 20 | 58.0/61.0 | 0.2 a 0.6 |
| 42.00 | 20 | 58.5/61.0 | 0.6 a 1.5 |

Hesse, Myskowski y Loring, han relacionado el contenido de plomo al resto de la composición, como sigue:

| %Pb | Relación Cu-Zn | %Sn |
|------------|-----------------------|-------------|
| 0.7 | 1.20 - 1.25 | Menor a 0.6 |
| 0.0 | 1.20 - 1.25 | 1.0 |
| 1.5 | 1.26 - 1.28 | 0.3 a 0.6 |
| 1.0 | 1.26 - 1.28 | 0.0 |
| 1.0 | 1.30 - 1.34 | 0.4 a 0.6 |
| 0.0 | 1.30 - 1.34 | 0.0 |

El punto principal que ha sido pasado por alto, en prácticamente todos los trabajos, es la distribución y finura del plomo. Se cree que si mucho cuidado se da a este punto, habrá poca dificultad en incorporar hasta 1.5 %Pb en muchas aleaciones. Por ejemplo, se añadió 1.3 %Pb a una aleación esencialmente beta, siendo las propiedades mecánicas las siguientes:

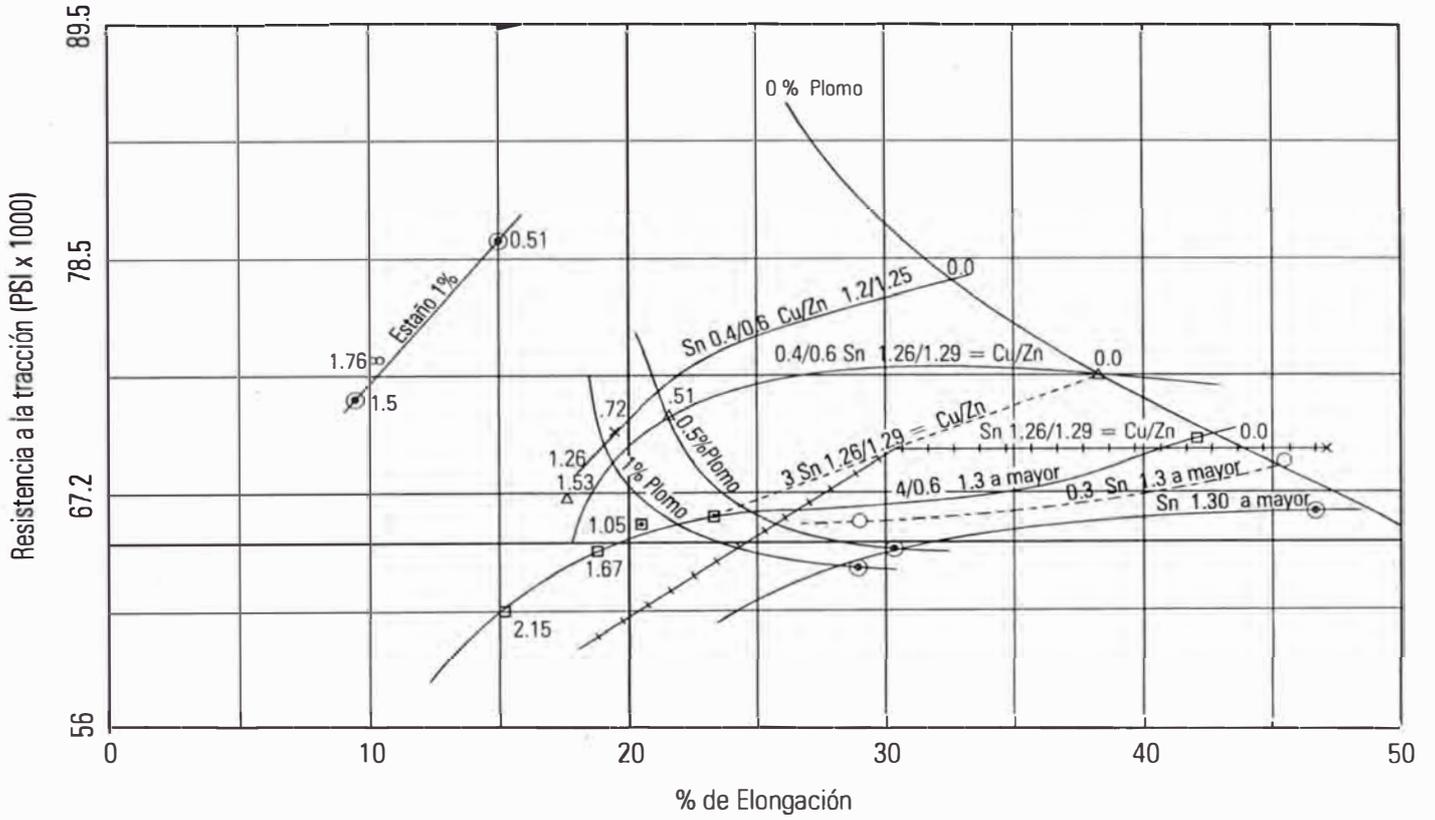
| | Resistencia a la tracción, kg/mm² | Elongación sobre 5 cm, % |
|-----------|---|---------------------------------|
| (a) | 71.75 | 20 |
| (b) | 71.75 | 20 |
| Requerido | 68.95 | 13 |

Luego, para ilustrar la influencia de la distribución y tamaño de partícula, las siguientes barras de ensayo cuyas propiedades mecánicas se presentan debajo, fueron en algunos casos cortadas de pequeñas barras adyacentes y en todos los casos del mismo crisol de metal. La aleación sin adición de plomo tuvo un límite de fluencia de 29.89 kg/mm², resistencia a la tracción de 64.82 kg/mm² y elongación de 22%. Con una adición de 0.8 %Pb, los resultados fueron como sigue:

| Límite de fluencia, kg/mm² | Resistencia a la tracción, kg/mm² | Elongación sobre 5 cm, % |
|--|---|---------------------------------|
| no especificado | 48.65 | 10.0 |
| 26.32 | 53.90 | 21.5 |
| 23.10 | 55.30 | 26.0 |
| 22.26 | 45.50 | 8.7 |

Parece ser que la mayor disminución en las propiedades mecánicas, se produce con la adición del primer 0.5 %Pb, esto se presenta en la Fig. 6.1, que es el ploteo de algunos resultados publicados. Al determinar el valor del plomo en el bronce al manganeso, en muchos casos no debe pasarse por alto su efecto beneficioso sobre la resistencia a la corrosión.

Fig. 6.1 Curvas diseñadas para mostrar el efecto del plomo y del estaño, sobre las propiedades de tracción de los bronce al manganeso.



6.6.2 Aleaciones con alto aluminio

El aluminio es el elemento que da origen a un mayor incremento de la resistencia; en consecuencia se ha encontrado que los bronce al manganeso de alta resistencia que tienen una resistencia a la tracción mayor a 68.95 kg/mm^2 , son altos en aluminio. Por ejemplo, con una composición apropiada, Duma usó una aleación conteniendo de 4.5 a 5.7 %Al, para producir una aleación que tenga una resistencia a la tracción de 77.00 kg/mm^2 máximo.

La siguiente puede ser tomada como una composición típica de la aleación H.S.B. 44:

| Elemento | % |
|-----------|-------|
| Cobre | 62.25 |
| Aluminio | 4.50 |
| Fierro | 1.50 |
| Manganeso | 2.25 |
| Zinc | Resto |

El zinc equivalente de la aleación, usando los equivalentes de Guillet (pero aplicando sus limitaciones) es 49.6%. Usando una representación de 3 componentes, la aleación se reduce a lo siguiente:

| | |
|-------------------|-------|
| Aluminio | 4.5% |
| Zinc equivalente | 32.4% |
| Cobre equivalente | 63.1% |

Del zinc equivalente de 49.7, referido a los límites de fase cobre-zinc debido a Deven y Pickup, muestra que la aleación consiste de beta con algo de gamma, que significa que puede ser frágil. Usando un diagrama antiguo que coloca el límite en 50%,

es un poco más confortante, pero no muy útil.

Considerando la aleación como de 3 componentes, es más informativo referirse a secciones isotérmicas del sistema cobre-zinc-aluminio. Este muestra el estrecho rango de composiciones, sobre el cual se obtienen solamente aleaciones beta. A medida que se incrementa el contenido de aluminio, es necesario aumentar el contenido de cobre para evitar la ocurrencia de gamma, que vuelve frágil a la aleación.

La anulación de la fragilidad, que significa pobre elongación, es quizás el problema que se encuentra en esta aleación, antes que en la aleación BSS 208 Clase 1, que es una aleación de mucho menor resistencia a la tracción. En vez de tener un límite de fluencia de 37.66 kg/mm², resistencia a la tracción de 68.25 kg/mm² y elongación de 12%; cuando apreciable cantidad de gamma ingresa a la estructura las propiedades que se obtienen son: límite de fluencia nada, resistencia a la tracción 30.94 kg/mm² y elongación nada.

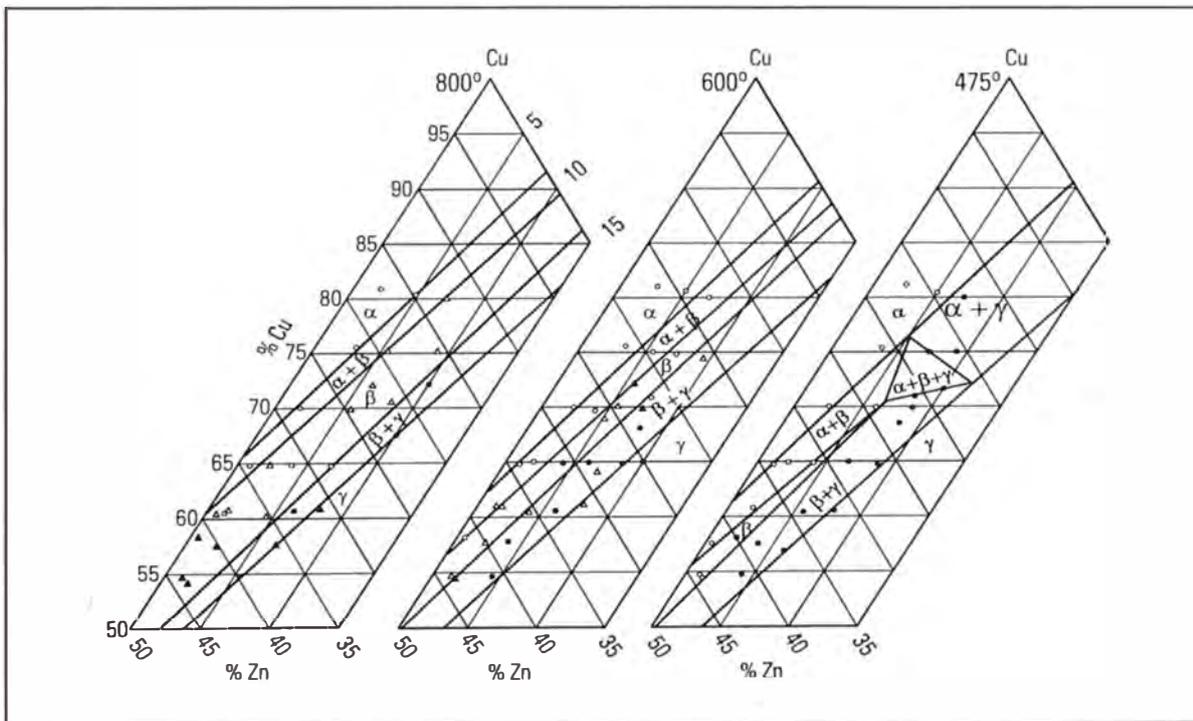
En la práctica, esto puede resultar de un zinc equivalente demasiado alto, generalmente producido cuando se añade un porcentaje de zinc para compensar las pérdidas de zinc en la fusión y estas pérdidas de zinc planeadas, no tienen lugar. Esto puede parecer sorprendente, particularmente si el mismo procedimiento ha sido aplicado para las aleaciones duplex del tipo BSS 208 Clase 1.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la pérdida de zinc no es grande, en la fusión de las aleaciones beta. Esto es debido en primer lugar, a causa de la película de óxido de aluminio, resultante del alto contenido de aluminio, que inhibe la vaporización del zinc y en segundo lugar, no hay mucho zinc presente en la aleación, 20% comparado al 10% en las aleaciones de menor resistencia.

Retornando al estudio del diagrama de fases, para las aleaciones cobre-zinc-aluminio, pueden hacerse las siguientes observaciones relativas a los bronce al manganeso de alta resistencia.

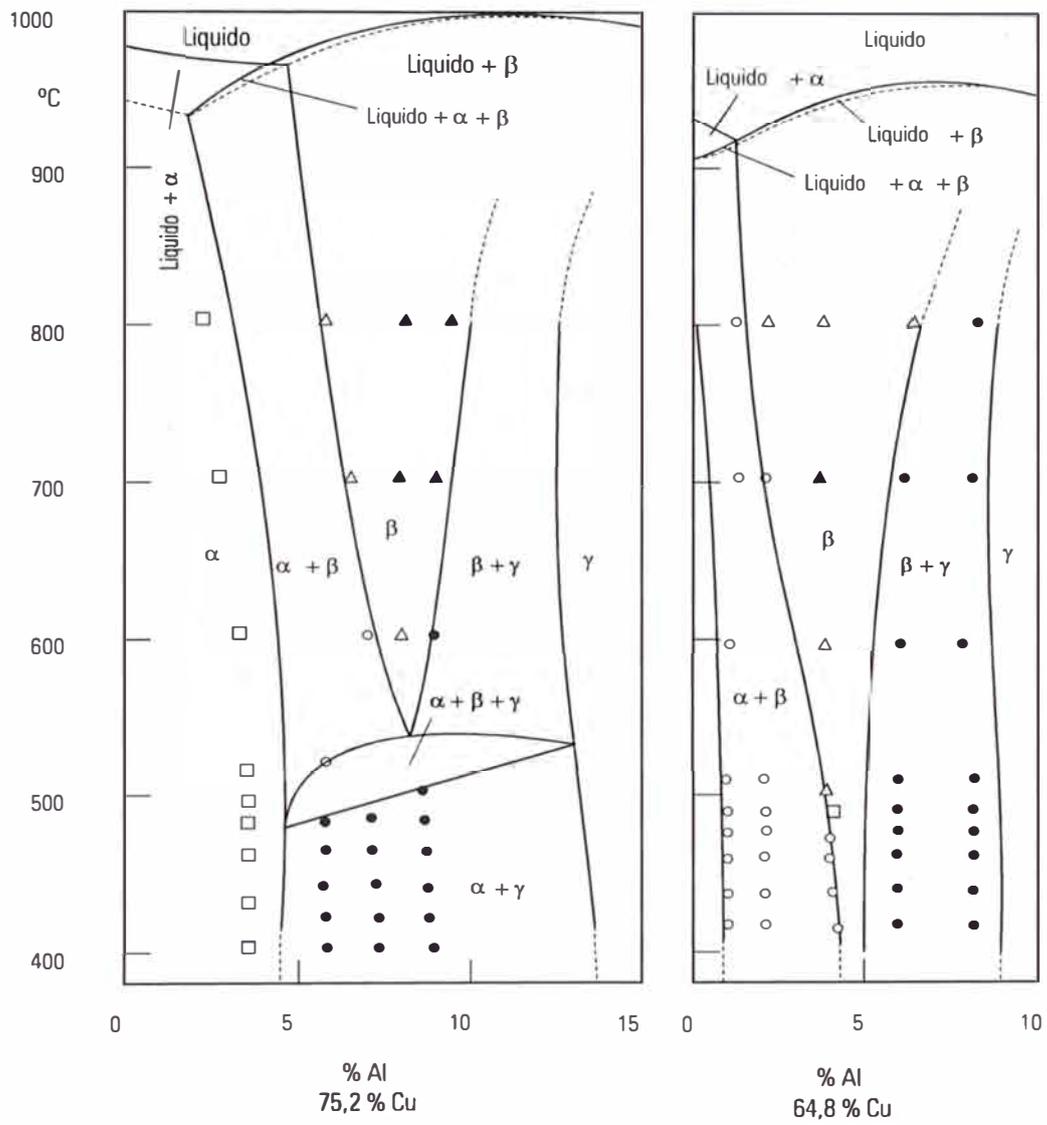
1. Los límites de las fases sobre el diagrama, Fig. 6.2, son para condiciones de equilibrio o condiciones de muy lento enfriamiento, mientras que en las piezas fundidas, el enfriamiento es mucho mayor. Esto tiene una consecuencia práctica para el área de 3 fases alfa-beta-gamma, que persiste a temperaturas hasta 515 °C, desapareciendo a 600 °C. Así, si la velocidad de enfriamiento de la pieza es suficiente para retener la estructura de 600 °C, entonces las aleaciones que pueden, normalmente contener gamma, pueden estar libres de esta fase, en el estado fundido.

Fig. 6.2 Secciones isotérmicas del sistema cobre-zinc-aluminio.



2. La máxima cantidad de aluminio a la cual puede usarse en la aleación, sin ingresar al campo duplex beta-gamma con el aumento de aluminio o al campo de 3 fases alfa-beta-gamma con aumento de cobre, es aproximadamente 60%, con referencia a la sección isotérmica a 475 °C, la cual es una aproximación que puede considerarse que representa a las aleaciones fundidas.
3. El cobre no puede aumentarse sin límite, sin encontrar un campo que contenga gamma. Para las condiciones de equilibrio a 410 °C, este aparece ser 65% y aumenta a 73% a 515 °C. Para las piezas fundidas, la cantidad límite puede ser alrededor de 70 %Cu.
4. En referencia a ciertas secciones de contenido constante de zinc, la Fig. 6.3 presenta que a bajas temperaturas, existe un campo de 3 fases o 2 fases conteniendo gamma. La atención se extiende a estos, en las secciones de contenido constante de zinc.

Fig 6.3 Secciones constantes de zinc, en los sistemas cobre de zinc-aluminio.



La implicación de ellos, es que un calentamiento prolongado a bajas temperaturas puede volver a la aleación frágil. A continuación, presentamos los resultados del tratamiento térmico de barras de la aleación H.S.B. 44, que ilustran este punto. Todas las barras fueron coladas del mismo crisol de metal.

| Condición | Límite de Fluencia, kg/mm ² | Resistencia a la tracción, kg/mm ² | Elongación sobre 5 cm, % |
|---|--|---|--------------------------|
| - Bruto de colada 1 3/4 hr a 700 °C | 46.62 | 75.60 | 21.0 |
| - templado en agua | 40.81 | 70.00 | 10.0 |
| - Igual al anterior más 4 hr a 425 °C | 36.40 | 39.20 | 0.5 |
| - Igual al anterior más 4 hr a 525 °C | 33.04 | 41.09 | 0.5 |

La velocidad de enfriamiento de la barra en bruto de colada, produce las mejores propiedades mecánicas y la fragilidad de la barra templada y revenida es notable. Lo anterior no es una completa explicación de los cambios de fases que pueden ocurrir en estas aleaciones complejas, sin embargo, indican que tendencia y conclusiones tentativas que tienen algunas implicancias prácticas, pueden deducirse.

Estas son, que la velocidad de enfriamiento, normalmente, asociada con la fundición, puede ser lo suficientemente rápida para suprimir los indeseables cambios de fase, que pueden dar

origen a la pérdida de ductilidad. Es aconsejable no evaluar la calidad de metal, sobre los resultados de una barra de ensayo enfriada rápidamente (molde metálico), si esta es para ser usada en piezas fundidas en moldes de arena.

Esto puede sonar redundante, sin embargo, es frecuente hacerlo en la práctica y suficiente se ha mencionado, para indicar que puede considerarse como aleaciones beta, usando una representación de 2 fases, puede realmente volverse a ser aleaciones que sufren indeseables cambios de fase, a relativamente bajas temperaturas.

6.6.3 Aleaciones conteniendo estaño

En los bronce al manganeso conteniendo estaño, el primer punto a considerarse es la necesidad del estaño en estas aleaciones. Puede aparecer redundante discutir esto, sin embargo se considera necesario debido a que algunos autores, recientemente han considerado innecesario e indeseable al estaño en los bronce al manganeso. Es indeseable, a causa de la fragilidad que resulta del excesivo estaño y que puede producirse cuando una adecuada cantidad de estaño es añadido a una composición no adecuada.

Sin embargo, el estaño tiene una función definida, esto es conferir un aumento en la resistencia a la corrosión, aún cuando hay algunos autores que tienen duda al respecto. No es apropiado considerar en gran detalle los "bronce al manganeso con estaño vs sin estaño", para un gran número de medios corrosivos, sin embargo algunas observaciones se harán respecto a la corrosión del bronce al manganeso en agua de mar.

En recipientes recubiertos de cobre con impulsores de bronce al manganeso, algunos experimentos se hicieron tomando a la lámina de cobre y muestras de bronce al manganeso, cuyas áreas superficiales fueron, aproximadamente de la misma relación

de las áreas de estos materiales, cuando se usaron sobre los barcos de madera.

Resistencia a la corrosión

El bronce al manganeso fue colocado sobre el cobre y el lote sumergido en agua de mar, que fue agitada por 4 horas diariamente. Se usaron 3 grados de bronce al manganeso.

1. Aleaciones beta - H.S.B. 44. (sin estaño)
2. Aleaciones duplex alfa y beta - B.S.S. 208 Clase 1. (sin estaño)
3. C.X.3 - que contiene de 0.7 a 1.4 %Sn.

El comportamiento de las 3 muestras, fue como sigue: Las aleaciones libres de estaño, rápidamente se deszinifican; una capa blanca no adherente "crece" formándose alrededor de ellos y debajo, la cual tiene la superficie del color usual del cobre deszinificado. La aleación C.X.3 no se comporta de esta manera, no se deszinifica, sin embargo, las áreas beta fueron corroidas en preferencia a la fase alfa.

Las pérdidas de peso de las muestras bajo estas condiciones, fueron las siguientes:

| Aleación | Pérdida de peso, miligramos/cm²/24 hr |
|------------------------------------|---|
| C.X.3 | 0.134 |
| B.S.S. 208 Clase 1 (sin estaño) | 2.15 |
| H.S.B. 44 (sin estaño) | 2.74 |

El tiempo de inmersión fue del orden de las 300 horas y, es evidente, el comportamiento superior de la aleación conteniendo estaño. A fin de tener alguna idea de la performance esperada, Hudson considera que si la pérdida en peso no excede de 0.7 miligramos/cm²/24 hr, puede esperarse una performance satisfactoria.

Deszincificación

Hesse, Myskowski y Loring, encontraron que el estaño fue el elemento más efectivo en inhibir la deszincificación. Ellos emplearon un ensayo acelerado, que involucra al ácido clorhídrico como medio corrosivo y determinando la resistencia a la tracción a intervalos. Un resumen de sus resultados presentamos a continuación.

| Aleación Conteniendo | Original | Resistencia a la tracción, kg/mm ² | |
|-------------------------|----------|---|-------------------------|
| | | Después de 1 semana | Después de 3 semanas |
| Sin estaño | 47.95 | 12.67 | 0 |
| 0.50 %Sn | 48.79 | 35.63 | 20.30 |
| 0.50%Sn, 0.33 %Pb | 48.23 | 40.74 | 26.60 |
| 0.50 %Pb | 43.61 | 27.23 | 0.07 |
| 0.10 %P | 42.70 | 18.55 | 6.27 |
| 0.24 %As | 44.87 | 26.46 | 5.53 |
| 0.15 %Sb | 42.91 | 9.52 | 0 |

En lo que atañe a la acción galvánica, prácticamente toda la lista de potenciales (relativo al calomel) de diferentes metales en agua de mar, no se distingue entre el bronce al manganeso con estaño y libre de estaño, y frecuentemente no presentan la composición. Los potenciales en agua de mar de los 3 grados de bronce al manganeso, relativos a la semi celda saturada de calomel, son:

| Aleación | Volts |
|------------------|--------|
| C.X.3 | - 0.29 |
| H.S.B. 44 | - 0.35 |
| B.S.S 208Clase 1 | - 0.33 |

Sin entrar muy profundamente en materia, puede decirse que la polarización y las áreas relativas deben considerarse, cuando se aplican estas tablas de potenciales.

Para terminar diremos que no es recomendable el uso de recipientes recubiertos de cobre conjuntamente con impulsores de bronce al manganeso.

Frecuentemente, cuando uno investiga la composición de las aleaciones citadas, con el objeto de demostrar el efecto nocivo del estaño sobre las propiedades mecánicas, se ve que el estaño es incorporado en composiciones inadecuadas, por ejemplo el aluminio es indebidamente alto. La siguiente composición es un ejemplo.

| Elemento o Propiedad | Aleación | |
|--|------------|------------|
| | Con estaño | Sin estaño |
| Cobre | 62.25 | 62.50 |
| Estaño | 1.00 | nada |
| Aluminio | 3.00 | 3.00 |
| Fierro | 2.00 | 2.00 |
| Manganeso | 2.50 | 2.50 |
| Zinc | 29.00 | 30.00 |
| Límite de fluencia, kg/mm ² | 36.05 | 34.51 |
| Resistencia a la tracción, kg/mm ² | 68.95 | 65.80 |
| Elongación, % | 14.00 | 25.00 |

A primera vista, puede aparecer que lo anterior es evidencia de los efectos nocivos del estaño sobre las propiedades mecánicas del bronce al manganeso, sin embargo la atención debe extenderse al contenido alto de aluminio.

CAPITULO VII:

PROPIEDADES MECANICAS

A continuación trataremos sobre las propiedades de la aleación C86500 o C.X.3, cuya composición es la siguiente:

| Elemento | % |
|------------------|---------------|
| Cobre | 55.00 a 57.00 |
| Estaño | 0.70 a 1.40 |
| Plomo | 0.20 máximo |
| Fierro | 0.50 a 1.50 |
| Manganeso | 0.05 a 0.50 |
| Níquel | 0.20 máximo |
| Aluminio | 0.05 a 0.50 |
| Otros elementos | 0.10 |
| Zinc | Resto |
| Zinc equivalente | 46.00 máximo |

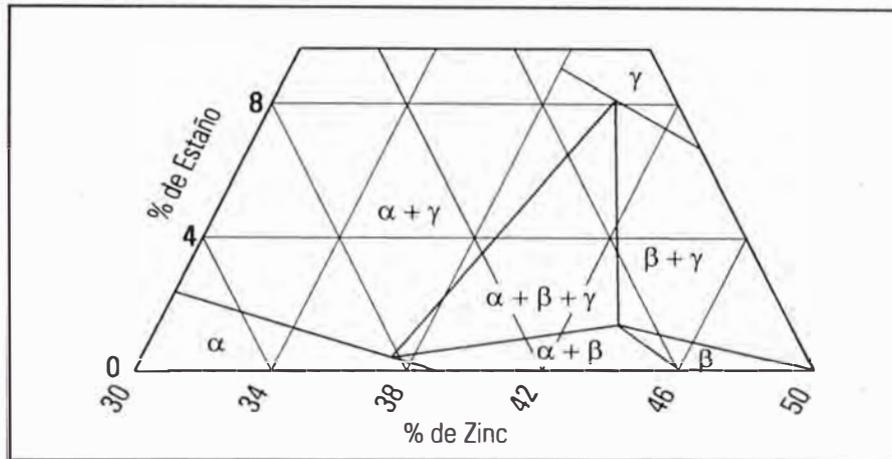
La limitación del zinc equivalente implica una restricción adicional sobre la elección de la composición, para el rango especificado de composición, teniendo un zinc equivalente mínimo de 43% y un zinc equivalente máximo de 47%. Sin embargo, el zinc equivalente máximo especificado de 46% no tiene significado práctico en lo que respecta a las propiedades mecánicas, como se muestra en los siguientes ejemplos de las barras de ensayo.

| Zinc equivalente, % | Límite de fluencia, kg/mm ² | Resistencia a la tracción, kg/mm ² | Elongación, % |
|------------------------|--|---|------------------|
| 46.23 | 33.18 | 55.86 | 11.0 |
| 46.30 | 33.88 | 52.64 | 7.0 |
| 44.94 | 32.62 | 58.10 | 23.5 |
| 44.90 | 26.81 | 54.95 | 34.5 |

Lo anterior puede ser criticado, sobre la base de que los límites son demasiado pequeños, sin embargo es enfatizado por todos que existen sólo rangos estrechos cuando se trabajan con la aleación C86500 o C.X.3.

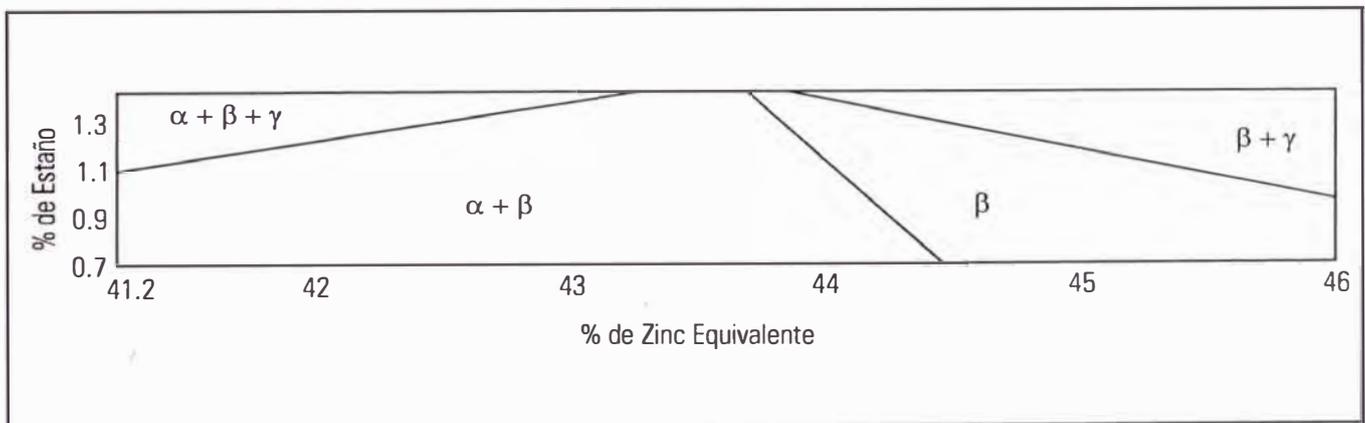
Consideremos ahora la representación de 3 componentes de esta aleación, la Fig. 7.1 es una porción ampliada del sistema cobre-zinc-estaño, a una temperatura de 410 °C. Luego, los límites del zinc equivalente son de 41.2 a 46% y uno puede dibujar un paralelogramo sobre este diagrama cobre-zinc-estaño, los lados del cual representan, aproximadamente los límites de la aleación C86500 o C.X.3, en lo respecta al contenido de estaño y zinc equivalente del resto de la aleación.

Fig. 7.1 Porción del diagrama de las aleaciones cobre-zinc-estaño.



Para mayor claridad, los datos mostrados por el paralelogramo han sido reploteados sobre coordenadas rectangulares, como se ilustra en la Fig. 7.2 y se muestran los límites entre las regiones de composición, en las que ocurren diferentes microconstituyentes o fases.

Fig. 7.2 Rango de composición de la aleación C86500 o C.X.3. La figura presenta la posible estructura de las aleaciones que conforman los requerimientos de composición química.

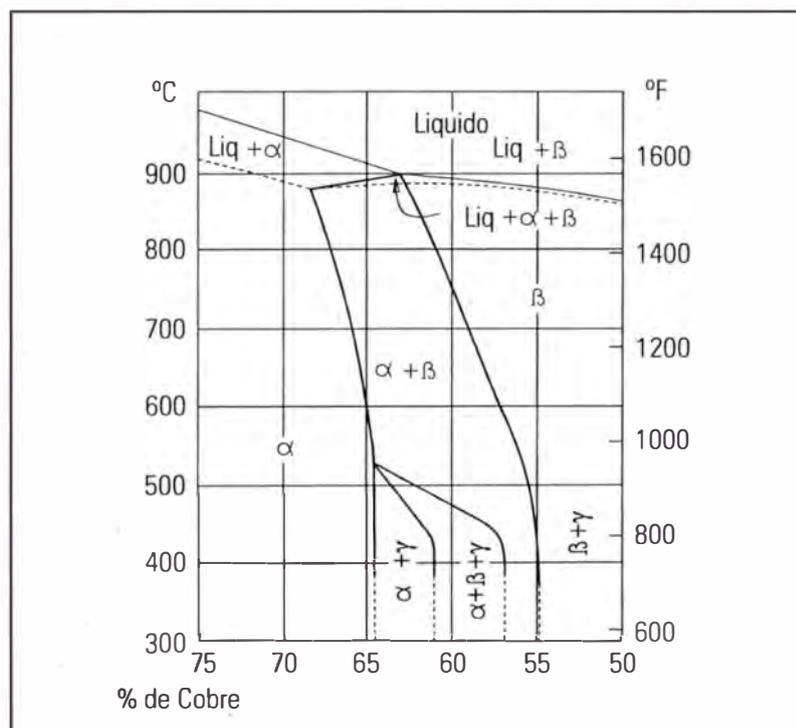


Puede verse que hay 4 regiones, de cada una de las cuales pueden obtenerse aleaciones de diferentes microestructuras y propiedades mecánicas. Es deseable producir aleaciones cuyas composiciones caigan en el campo donde la estructura es duplex alfa y beta, de esta manera la elección de la composición es aún mas restringida.

Haremos algunas observaciones de los diagramas de fase, que tienen alguna relación en problemas prácticos.

1. Puede encontrarse la fase gamma en la microestructura, aún cuando la aleación diera las propiedades mecánicas deseadas. Esto puede sonar extraño, debido a que en las aleaciones beta, la fase gamma presente lo vuelve frágil y de pobre elongación. La razón parece ser, que en estas aleaciones la fase gamma se asocia con la fase alfa, así como beta y la fase alfa esta presente en considerables cantidades. Ver la sección de aleaciones de 1 %Sn, en la Fig. 7.3.

Fig. 7.3 Sección vertical de las aleaciones de cobre-zinc-estaño, conteniendo 1 %Sn.



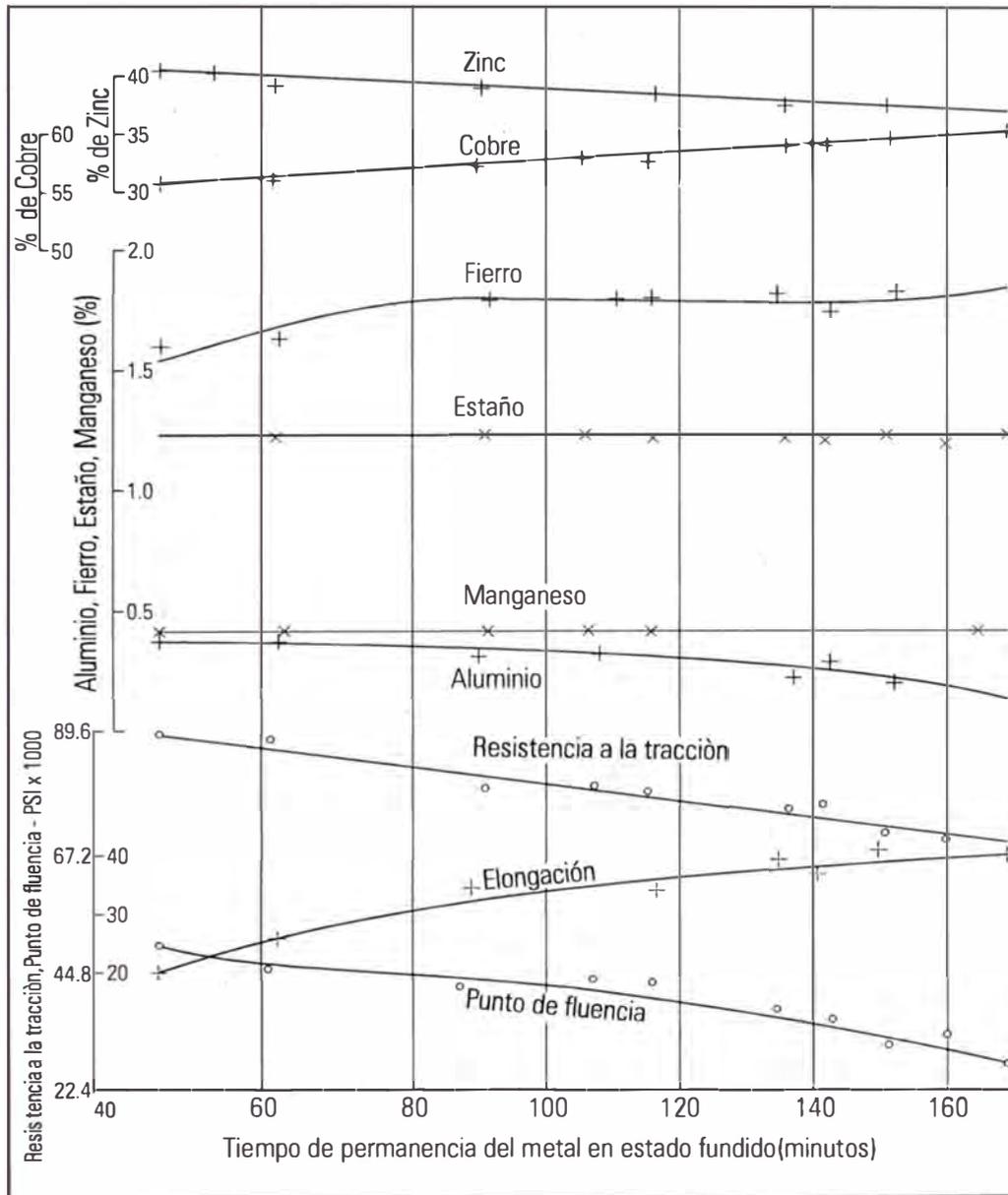
Desde luego, si la fase gamma esta asociada sólo con beta, entonces se producirá fragilidad. En este estado, es interesante recordar que los latones se vuelven frágiles con una traza de fase gamma, sin embargo los broncees pueden tolerar una apreciable cantidad de fase delta. Ahora, a medida que el constituyente delta de las aleaciones cobre-estaño, tiene una estructura cristalina similar a la fase gamma en las aleaciones cobre-estaño, esta puede referirse como fase gamma, para uniformidad de nomenclatura.

Puede aparecer que la diferencia en comportamiento es una de clase y cantidad de fase asociada antes que clase de aleación. Algunos autores se refieren a la antes mencionada fase gamma como Cu_4Sn o más correctamente como Cu_3Sn_8 .

2. Gran cuidado debe ejercerse en la fusión por la pérdida sin control y excesiva del zinc, que puede dar origen a 2 efectos opuestos. Primero, bajando el contenido de zinc, disminuyendo el límite de fluencia, la resistencia a la tracción y aumentando la elongación. Segundo, en las aleaciones de alto estaño el efecto de bajar el contenido de zinc, es cambiar la estructura de duplex alfa beta, a 3 fases alfa, beta y gamma y si hay bastante gamma, la aleación tendrá baja elongación.

Esto es un poco confuso, como es, generalmente, un efecto no esperado de pérdida de zinc. Una de las medidas más prácticas de control, es fundir uno o más crisoles de metal, bajo diferentes condiciones de temperatura y también mantenerlos por diferentes tiempos, colando las barras de ensayo a intervalos, las barras de ensayo son sacadas y el metal analizado, ploteando curvas de variación de propiedades y composición contra el tiempo, tal como se muestra en la Fig. 7.4. El objeto es, desde luego, fundir bajo condiciones constantes.

Fig. 7.4 Efecto del tiempo de mantenimiento, sobre las propiedades físicas y composición del bronce al manganeso C86500 (C.X.3). Tamaño del baño, 80 kg.

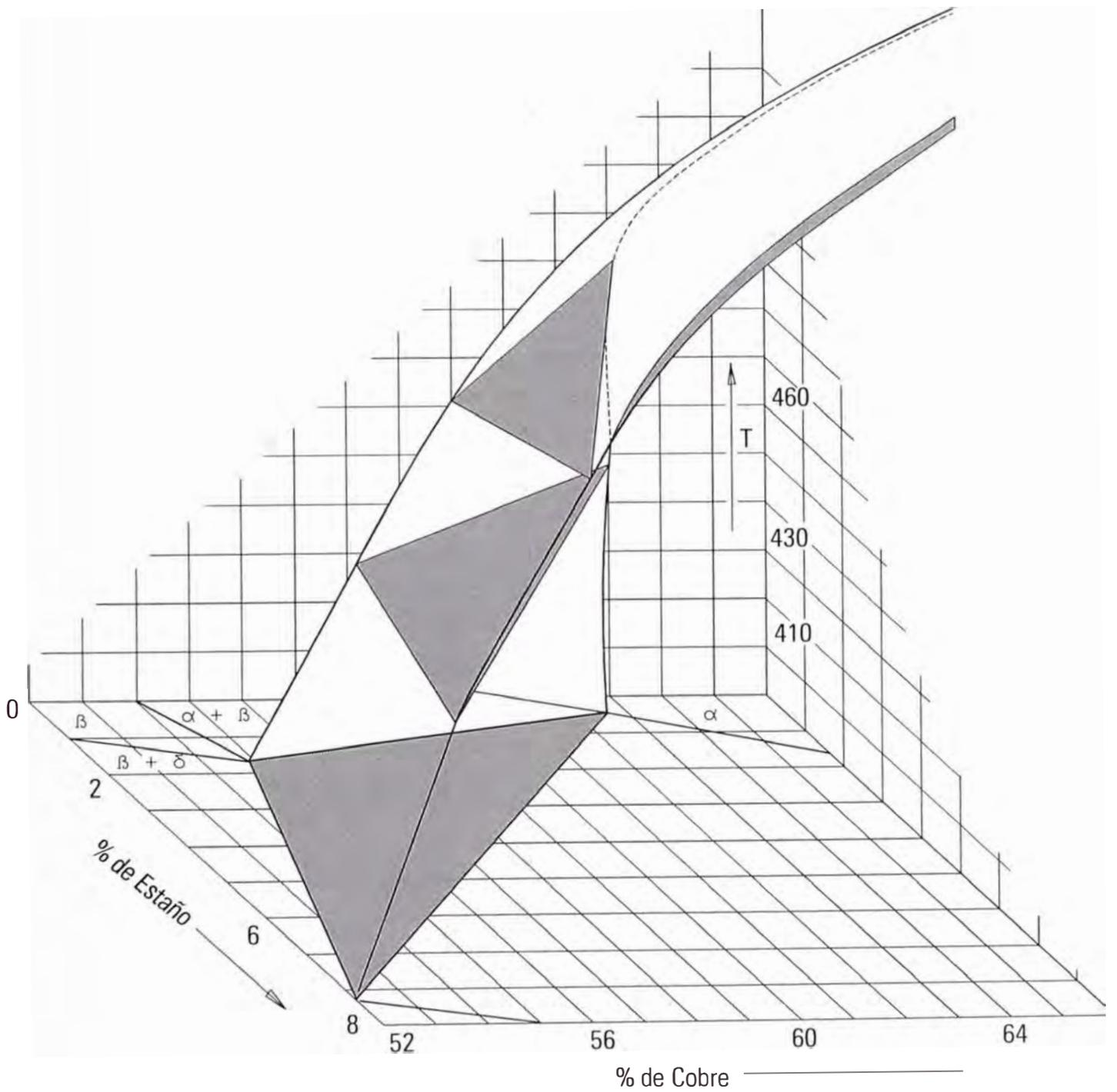


3. Examinando la sección isotérmica otra vez, uno ve que para mantener una aleación, esencialmente alfa-beta, el contenido mínimo de zinc no corresponde al contenido máximo de estaño y que un zinc equivalente máximo de 43.5%, permite al máximo de estaño retener una estructura alfa-beta. Por encima de este punto, relativamente pequeños aumentos de zinc necesitan una rápida reducción en el contenido de estaño, para evitar la formación de una estructura enteramente de beta.

Por lo tanto, uno no puede añadir de 0.50 a 1.50 %Zn, para compensar las pérdidas de zinc como en la aleación B.S.S. 208 Clase 1, debido a que el contenido de estaño tiene importante relación sobre el asunto.

4. Considerando el volumen de las 3 fases alfa, beta y gamma, la Fig. 7.5 es un intento para mostrarlo en la forma tridimensional. El primer punto es que a medida que se eleva la temperatura, los límites pasan a mayores contenidos de estaño o se alejan del lado binario cobre-zinc, del diagrama.

Fig. 7.5 Representación esquemática tridimensional de 3 volúmenes de fases alfa, beta y gamma, en el sistema cobre-zinc-estaño.



Esto es de ayuda en la producción de piezas fundidas, debido a que la velocidad de enfriamiento siendo más rápida que la velocidad de equilibrio, preserva una estructura que es, razonablemente estable y libre de fase gamma.

Los siguientes son los resultados del tratamiento térmico de barras de aleación C86500 o C.X.3, hechas de piezas adyacentes de adecuado espesor.

| N° | Tratamiento Térmico | Resistencia a la tracción, kg/mm ² | Elongación sobre 5 cm, % |
|----|--|---|--------------------------|
| 1 | Bruto de colada | 62.51 | 16.65 |
| 2 | 1 hr 700°C enfriado en horno | 63.70 | 22.00 |
| 3 | 1 hr 700 °C templado en agua | 58.10 | 9.33 |
| 4 | 1 hr 700 °C enfriado en aire a 500 °C, mantenido 1 hr | 56.98 | 9.33 |
| 5 | 1 hr 700 °C, enfriado en aire a 400 °C, mantenido 1 hr | 63.56 | 21.30 |
| 6 | 1 hr 700 °C, enfriado en aire a 400 °C, mantenido 4 hr | 62.09 | 18.70 |
| 7 | 1 hr 700 °C templado en agua luego 350 °C por 1 hr | 36.40 | 2.00 |
| 8 | 1 hr 700 °C templado en agua luego 350 °C por 4 hr | 31.36 | 2.00 |
| 9 | 4 hr a 350 °C | 60.2 | 14.70 |
| 10 | 8 hr a 350 °C | | 13.30 |

El templado en agua disminuye la ductilidad apreciablemente, sin embargo el templado en agua y recalentamiento, baja la resistencia y elongación muy apreciablemente, la elongación cae a 2%.

El examen de la microestructura, muestra que ocurre la precipitación en los bordes de grano, lo cual es probablemente

un intercrecimiento de alfa y gamma. El fenómeno del borde de grano, no fue perceptible en aquellas muestras que han sido mantenidas a altas temperaturas, luego enfriadas a 400 °C y puede verse que la elongación no se deterioro grandemente.

Esta fragilidad puede, en realidad, tener importantes consecuencias prácticas, particularmente si una pieza es rápidamente enfriada, esto es una pequeña y luego recalentada a una, relativamente baja temperatura. El efecto del recalentar una estructura en bruto de colada, es presentada comparando los resultados del ensayo 9 y 10 en la tabla precedente, con aquellos del ensayo 1 en la misma tabla.

Puede observarse que el calentamiento a la, relativamente, baja temperatura de 350 °C, ha producido en algunos disminución en la elongación, sin embargo, no una muy pronunciada, como en el caso de las muestras templadas en agua y recalentadas. La explicación para este comportamiento es buscado en las relaciones de fases, en las aleaciones cobre-zinc-estaño, la atención se dirigirá a los límites de los campos conteniendo gamma, alfa y beta. Con el aumento de temperatura, esto pasa al contenido mayor de estaño, para un contenido constante de cobre.

La composición de una aleación compleja debe ser tal, que cuando el equilibrio a temperatura ambiente, su estructura contendrá gamma, sin embargo como resultado del rápido enfriamiento, se retiene una estructura típica de equilibrio a alta temperatura, su calentamiento tenderá hacia un equilibrio y puede esperarse en la estructura una cantidad variable de gamma, dependiendo de si se alcance o no el equilibrio.

Fig 7.6 Secciones del sistema cobre-zinc-estaño a %Cu constantes.

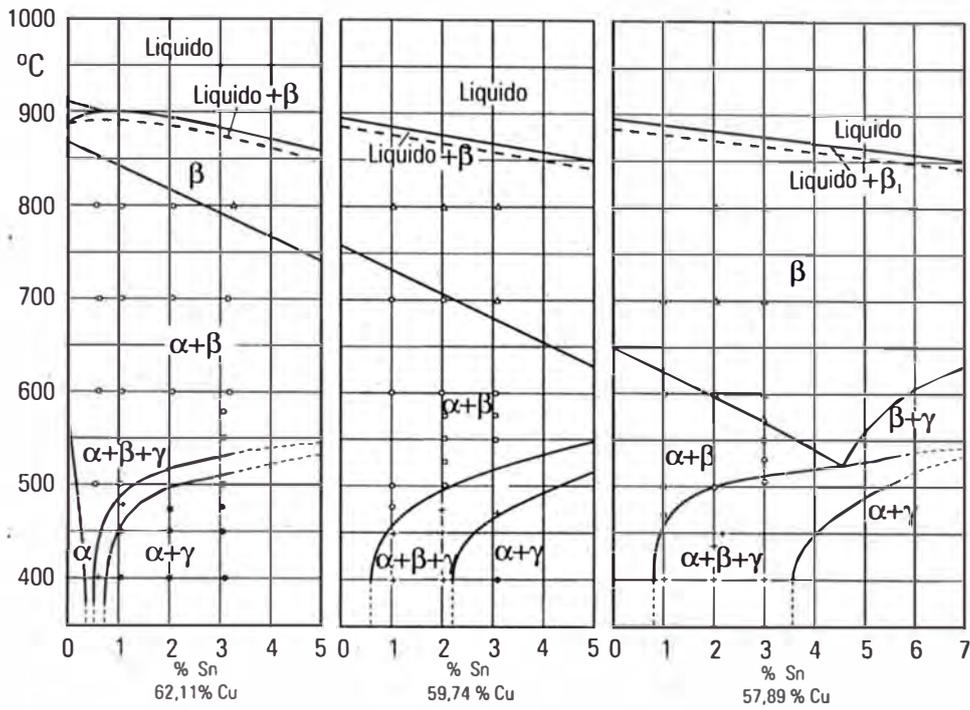
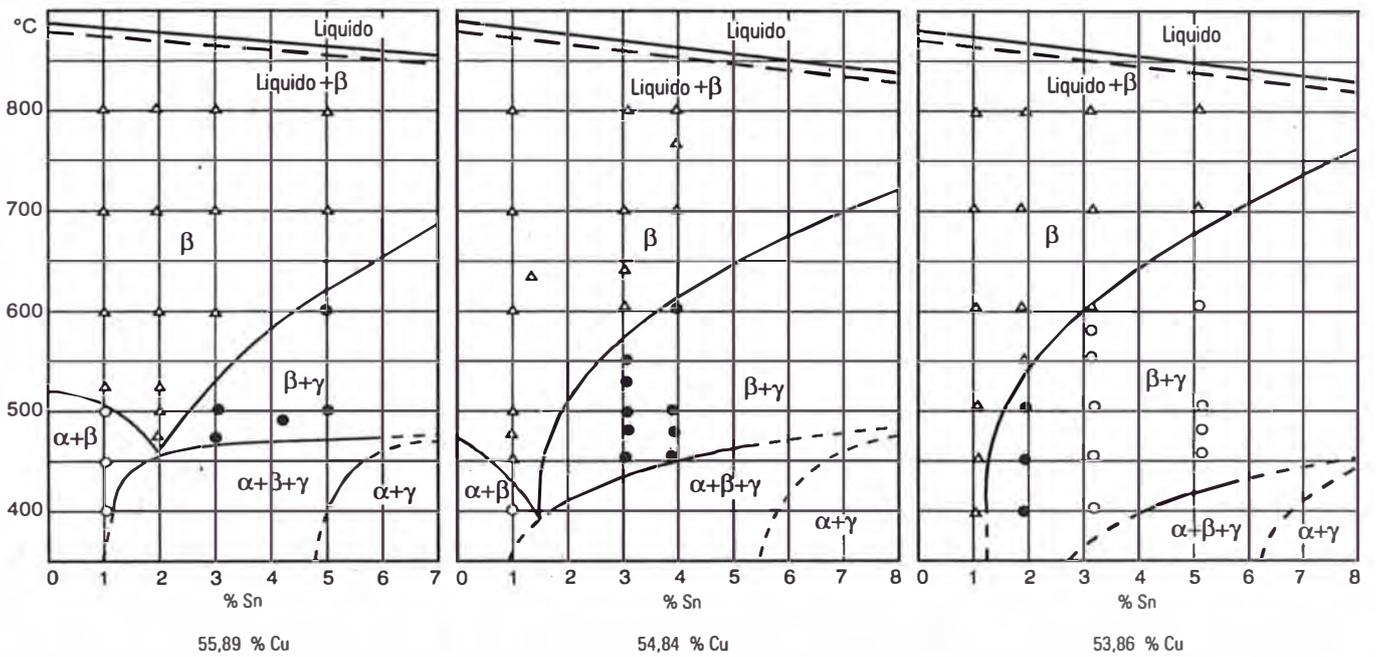


Fig 7.7 Secciones del sistema cobre-zinc-estaño a %Cu constantes.



El estudio de secciones del sistema cobre-zinc-estaño, en las Figs. 7.6 y 7.7, presentan la tendencia de las relaciones de fases con el aumento del contenido de cobre y un interesante y significativo punto surge en que, el aumento del cobre resulta en que aparecen los campos de 3 fases conteniendo gamma a bajos %Sn. Probablemente, las consecuencias prácticas son las siguientes:

1. La estructura de equilibrio de la aleación, debe mostrar que contiene gamma, luego recalentando una pieza, esto es, para aliviar tensiones a temperaturas donde la estructura de equilibrio muestra que contiene gamma, puede resultar en una disminución de la elongación. Tales temperaturas, son del orden de 350 °C a 400 °C. Efectivamente, se ha encontrado que esto ocurre.
2. Mientras que 400 °C es, generalmente, considerado la temperatura mínima de alivio de tensiones, probablemente 500 °C será lo más seguro, de este modo se evita el campo de 3 fases en todos, sin embargo el contenido de cobre sobre 61%.
3. Por otra parte, el control de la composición para que la constitución de equilibrio no contenga gamma, permite recalentar a temperaturas de, por ejemplo, 350 °C, sin alguna reducción de la ductilidad.

Es deseable enfatizar, que relativamente ligeras diferencias en composición se diferenciará entre aleaciones, que se comportan como en (1) y como en (3). Una de las razones para la diferencia en las propiedades mecánicas entre barras de ensayo fundidas en moldes de arena y en moldes metálicos, de la aleación C86500 o C.X.3, se encuentra en lo anterior.

En el caso de la aleación C86500 o C.X.3, las barras de ensayo fundida en moldes metálicos, frecuentemente tienen propiedades mecánicas más deseables que las barras de ensayo

fundidas en moldes de arena, como se muestra en los siguientes ejemplos de barras de ensayo fundidas, de la misma colada de metal.

| N° | Resistencia a la tracción, kg/mm ² | |
|----|--|----------------|
| | Molde metálico | Molde de arena |
| 1 | 57.05 | 50.12 |
| 2 | 63.35 | 58.10 |
| 3 | 56.42 | 52.99 |

Es por lo tanto, imprudente suscribir algún hábito negligente de evaluar el bronce al manganeso sobre barras de ensayo, sin averiguar sobre la manera en que ellas fueron fundidas, ya sea las aleaciones C86500 o C.X.3, o aleaciones duplex alfa beta o aleaciones beta.

Finalmente, para concluir esta sección que trata con la aleación C86500 o C.X.3, uno esta apto para efectuar las mejoras en las propiedades mecánicas, por el enfriamiento en el horno desde temperaturas del orden de 700 °C, como indican los resultados siguientes:

| | Límite de fluencia, kg/mm ² | Resistencia a la tracción, kg/mm ² | Elongación, % |
|-----------------------------------|---|--|------------------|
| Bruto de colada | 31.57 | 57.05 | 21 |
| Enfriado en el horno desde 700 °C | 30.38 | 56.00 | 27 |

7.1 PROPIEDADES FISICAS GENERALES

Estas son un suplemento a la información de límite de fluencia, resistencia a la tracción y elongación, y se dan con fines referenciales.

Módulo de elasticidad o de Young

| | |
|-----------|--------------------------|
| Alfa beta | 8540 kg/mm ² |
| Beta | 11060 kg/mm ² |

Compresión y torsión.- Para una aleación que tiene una resistencia a la tracción de 49.00 kg/mm² y 32% de elongación sobre 5 cm, los datos de resistencia son los siguientes:

| | |
|---|-----------|
| Módulo de elasticidad, kg/mm ² | 9964.50 |
| Compresión: | |
| Límite de proporcionalidad, kg/mm ² | 10.85 |
| Resistencia a la compresión, kg/mm ² | 29.67 |
| Torsión: | |
| Módulo de ruptura, kg/mm ² | 43.25 |
| Módulo de rigidez, kg/mm ² | 3233.30 |
| Resistencia al corte, kg/mm ² | 30.23 |
| Límite de fatiga, kg/mm ² | 10.50 |
| Relación de Poisson | 0.306 |
| Dureza Brinell: | |
| Alfa beta | 110 - 140 |
| Beta | 180 - 220 |

7.2 PROPIEDADES A TEMPERATURAS ELEVADAS

Las propiedades del bronce al manganeso fundido, cambian rápidamente con el aumento de la temperatura. La resistencia a la tracción decrece rápidamente con la temperatura, siendo 60% de su valor original a 300 °C; la elongación aumenta

rápidamente.

Se ha encontrado que la elongación alcanza un máximo a aproximadamente 300-350 °C. En vista de que su resistencia no es muy grande a temperaturas elevadas, mucho cuidado debe tenerse para empaquetar las paletas de los impulsores en el tratamiento térmico, para prevenir el alabeo.

Propiedades a temperaturas Bajo Cero

| Temperatura, °C | Resistencia a la tracción, kg/mm ² | Elongación sobre 5 cm, % |
|----------------------|---|--------------------------|
| Temperatura ambiente | 50.75 | 44 |
| - 10 | 49.35 | 45 |
| - 80 | 52.85 | 43 |
| - 120 | 56.70 | 45 |
| - 180 | 66.36 | - |

Conductividad térmica

| Temperatura promedio, °C | Conductividad térmica, calorías/cm ² /seg/°C/cm de espesor |
|--------------------------|---|
| 81.5 | 0.171 |
| 120.5 | 0.175 |
| 181.5 | 0.181 |
| 230.5 | 0.184 |
| 266.0 | 0.195 |
| 311.5 | 0.200 |
| 392.0 | --- |

Conductividad eléctrica

| | |
|-----------|------------------------|
| Alfa beta | 24% del cobre standard |
| Beta | 13% del cobre standard |

Coefficiente de expansión térmica

| | Coefficiente de expansión térmica | |
|-----------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| | Rango de temperaturas 20 - 90 °C | Rango de temperaturas 20 - 260 °C |
| Alfa beta | 0.00001077 | 0.00001177 |
| Beta | 0.00000990 | 0.00001160 |

Coefficiente de fricción.- Los siguientes son los valores del coeficiente de fricción de las aleaciones, contra el acero suave usando una presión estática de 0.007 a 0.084 kg/mm². El lubricante fue el aceite de colza.

| Aleación | Coefficiente de fricción |
|---------------------|--------------------------|
| Bronce de cañon | 0.155 |
| Metal blanco | 0.109 |
| Bronce al manganeso | 0.124 |
| Aluminio | 0.111 |
| Acero para ejes | 0.137 |

CAPITULO VIII

APLICACIONES INDUSTRIALES

Antes de presentar una lista de las aplicaciones conocidas, es importante discutir los factores metalúrgicos que gobiernan la selección de la aleación para una aplicación determinada.

Resistencia a la cavitación.- El deterioro del metal por cavitación, es producido por el impacto que resulta cuando las burbujas en el fluido, por ejemplo agua de mar, colapsan o se aplastan sobre la superficie del metal. Tal daño se encuentra en hélices, impulsores de bombas y partes metálicas similares.

En los últimos años, se han realizado considerables investigaciones sobre la resistencia a la cavitación de metales y aleaciones, encontrándose que el bronce al manganeso tiene alta resistencia a la cavitación.

Aquellas cualidades que confieren resistencia a la cavitación sobre un metal son alta resistencia, y dureza, habilidad para adquirir un alto pulido y retenerlo, buena resistencia a la corrosión, tamaño de grano fino y libre de escoria e inclusiones,

De este modo, el bronce al manganeso se usa para partes de

bombas, partes de turbinas y hélices de barcos. En relación a la última aplicación, debe advertirse acerca del tiempo que se han usado estas hélices y su tamaño, por ejemplo las hélices del "Queen Mary" pesan 55 toneladas.

Resistencia a la corrosión.- En virtud de su buena resistencia a la corrosión, los bronce al manganeso conteniendo estaño, se usan extensivamente para accesorios de barcos. También se aplican en equipos de decapado.

Resistencia.- La alta resistencia de estas aleaciones, son útiles para muchas aplicaciones, por ejemplo en el montaje de cañones y engranajes. Respecto a las hélices, la alta resistencia permite producir paletas de hélice muy delgadas, que han producido un aumento de la eficiencia de alrededor del 7%. También encuentra aplicación, en la fabricación de herramientas que no producen chispas, para las industrias de aceites y explosivos.

Calidad no-magnética.- En vista de que estas aleaciones son, esencialmente, no magnéticas y resistentes, estas se usan en la construcción de equipos eléctricos.

Sustituto para piezas forjadas.- Debido a su alta resistencia y estructura de granos equiaxiales, que no dan origen a planos de fragilidad en las piezas fundidas de bronce al manganeso, se emplean frecuentemente para reemplazar las piezas forjadas.

Sustituto para fundición maleable.- Los materiales ferrosos han sido reportados no satisfactorios en algunas aplicaciones, debido a los efectos de la corrosión, las piezas inyectadas de aleaciones de zinc (Zamak) se desgastaron en cuestión de horas, así como los latones, sin embargo el bronce al manganeso, tuvo una mayor vida.

Propiedades antifricción.- El bronce al manganeso encuentra aplicación como un metal antifricción, donde grandes cargas son aplicadas, por ejemplo como antifricción en muñones. A este respecto, es bueno emplear composiciones altas en cobre y altas en aluminio, en vista de que ciertas composiciones no son satisfactorias para este comportamiento.

Tenacidad específica.- Este factor empírico relaciona la resistencia del material respecto a su gravedad específica y es útil para el conformado y estimado del peso de un componente en relación a su resistencia.

Los bronce al manganeso tienen la más alta tenacidad específica de las aleaciones de base cobre, como se muestra en la siguiente tabla y esto sin duda influye en su selección para muchas aplicaciones, donde el peso así como la resistencia, es una consideración importante.

| Aleación | Tenacidad específica |
|------------------------------------|-----------------------------|
| Bronce al manganeso (alfa beta) | 10976 |
| (beta) | 13888 |
| Bronce al aluminio | 13440 |
| Monel | 7616 |
| Aleación Y | 15904 |
| Electron AZ8 | 19936 |
| Bronce de cañon | 4600 |

CAPITULO IX

CONCLUSIONES

- * Los bronce al manganeso tienen una resistencia a la tracción muy elevada y es la más resistente de todas las aleaciones de cobre; en condición de bruto de colada.
- * El alto contenido de zinc de las aleaciones plantean el problema de la gran pérdida de zinc. Cuando se emplean hornos que queman combustible son útiles los fundentes para reducir las pérdidas del zinc en la fusión.
- * Se debe aplicar la cantidad correcta de fundente ALBRAAL 2 (0.5 kg. por cada 100 Kg. de carga) para formar una cubierta protectora; es necesario sumergir hasta el fondo del baño y remover de abajo hacia arriba con la finalidad que el fundente entre en contacto con el máximo posible del metal fundido.
- * Los desoxidantes E1 por 50 kg. o dos tubos desoxidantes E3 x 100 kg. de carga se mantienen sumergidos durante 4 segundos, se remueve suavemente y se retira la herramienta .

* Los fundentes en la fusión en las aleaciones a base de cobre se usan específicamente para eliminar los gases o prevenir su absorción dentro del baño, para reducir las pérdidas de metal, para eliminar impurezas específicas e inclusiones no metálicas.

* Se recomienda fundir lo más rápido posible a fin de minimizar el grado de sobrecalentamiento y luego vaciar prontamente para evitar largos tiempos de espera en el horno. Antes del vaciado, es necesario reemplazar la pérdida de zinc por vaporización.

* La temperatura adecuada de sangrado es aquella en la que el zinc primero empieza a "flamear" desde la superficie del baño. Se debe ejercitar un buen criterio para tomar en cuenta el tamaño y diseño de la pieza:

| | |
|---|--------|
| Piezas ligeras de espesores menores a 13 mm | 1080 C |
| Piezas cuyos espesores entre 13 mm y 38 mm | 1040 C |
| Piezas gruesas de espesores mayores a 38 mm | 1000 C |

* Para fundir los bronce al manganeso se prefiere generalmente hornos a gas o aceites pesados, por la finalidad con que ellos pueden controlar la combustión. Una llama neutra o ligeramente oxidante facilita las mejores las mejores condiciones de fusión.

* La solidificación de estas aleaciones se caracteriza por la formación de rechupes simétrico y profundos.

* La solidificación en moldes metálicos es casi cuatro veces más rápida que en moldes de arena y esta mayor velocidad de solidificación produce un cierto estrechamiento de la zona de parcial solidificación.

* La solidificación direccional se define como el proceso por el cual el metal en el molde comienza a solidificar en los puntos mas lejanos del riser y continúa solidificando progresivamente hacia el riser, el cual es la última parte que solidifica. En esta forma, la contracción o rechupe se produce en le riser, obteniéndose una pieza sana.

* El principal objetivo del sistema de alimentación es suministrar metal limpio dentro de la cavidad del molde, desde la cuchara sin dañar la calidad del metal, para realizar un buen sistema de alimentación es necesario conocer las características básicas de solidificación y de enfriamiento de la aleación.

* El factor más importante en el sistema de alimentación es el tamaño correcto del bebedero. Si se selecciona un tamaño incorrecto, o si el bebedero no tiene ahusamiento, el daño al metal que ingresa a la cavidad del molde puede ser extensivo y difícil de corregir.

* La turbulencia puede producir películas de óxidos, las cuales serán atrapadas como inclusiones en la pieza. Estas inclusiones producirán un marcado deterioro en las propiedades metálicas. Para evitar la turbulencia se usan sistemas sin presión.

* La adición de elementos tales como aluminio, estaño, fierro y manganeso alteran su microestructura y la capacidad del zinc reemplazante recibe el nombre de Guillet o Zinc Equivalente.

* La determinación del Zinc Equivalente y su posterior aplicación es de gran importancia , pues en base a dicho cálculo se puede determinar con anterioridad a la colada el tipo de estructura a obtener.

* Las propiedades mecánicas son fuertemente influenciadas por la proporción de fase beta en la microestructura, esto a su vez, es afectada por el porcentaje de zinc y otros elementos aleantes presentes en la aleación.

* De todos los elementos aleantes el aluminio ejerce la mayor influencia sobre la resistencia a la tracción. Cada 0.1 % de aluminio aumenta la resistencia a la tracción 0.78 kg/mm .

* La velocidad de enfriamiento en el molde tiene un marcado efecto sobre la identidad, tamaño y forma de los constituyentes microestructurales. De este modo existen diferencias en las microestructuras y propiedades de las secciones gruesas y delgadas de las piezas y entre las piezas fundidas en moldes metálicos y moldes de arena.

CAPITULO X

BIBLIOGRAFIA

High Tensile Brass Alloys

Issued by foundry services limited, Tamworth,
Staff England

Fundición de Latones Especiales

Hugo M. Mori BD 1787

Manganese Bronze

H.E. Arblaster AFS Transactions

Leaded and High - Strength Yellow Brasses

- Nonferrous Alloys and Pure Metals

American Society of Metals. Metals Handbook 9th
Ed. Vol 2

Fundicion de Metales

Richard Flinn

Diseño de Risers

Ing. Rigoberto Sandoval

The Character Formation and Prevention of Hard Spots
in High Tensile Brass

D.C. Stock and W. J. Smellie

Journal of Institute of Metals 93

Risering Copper - Base Casting

R. W. Ruddle. Foundry November 1970

- Effect of Chills on the Soundness and Structure of
Copper Alloys

J. Redemske, G. Prokuda, M.J. Weins, J.J. Weins

- The effective use of energy in the melting and casting
of copper and its alloys.

S.G. Temple

- Induction Melting for Brass and Bronze

Robert W. Sundeen

- Effect of section size and chills on physical
properties at central portion of sand cast bronze

W.B. George and A.H. Hesse

- The feeding of Copper base casting

T.A. Burns

Yellow Brass Alloys

Fox, D.K. Foundry Enero 1970

- Maximum Feeding Distance

H.A. Schwertz. AFS Transactions Vol 62 Pag 226

Copper rich alloy types and their solidification characteristics.

P.J. Macken. Foundry Trade Journal.

- Practica Metalográfica

George L. Kehl.

- Técnica de fusión y elaboración en horno de los distintos tipos de latones de moldeo.

Dominique Arnaud.