

TEMA 9

DEFECTOS EN LAS PIEZAS FUNDIDAS

Generalidades.

Los defectos, que suelen aparecer con no poca frecuencia en las piezas fundidas, tienen en general su origen en que alguna parte del proceso no ha sido debidamente controlada. La fusión, colada y solidificación comprenden muchas operaciones complicadas, siendo un control perfecto imposible. No es sorprendente que en el proceso de fundición se encuentren mayor variedad y número de defectos, que en cualquier otro proceso de fabricación. El estudio de los defectos, antes de ser una tendencia negativa del aprendizaje, es algo muy importante para todos los que intervienen, incluso el cliente. Estos defectos deben ser analizados y comprendidos, llevando el análisis hasta sus causas para corregirlas.

Todo taller se preocupa por reducir lo que representa una pérdida de tiempo, de material y de dinero. Por eso, seguidamente después de cada colada (en general al día siguiente), todas las piezas son recogidas y examinadas por los jefes responsables, o también por operarios, interesados en:

- a) diagnosticar los defectos,
- b) evaluar las causas que los han provocado,
- c) evaluarlos en peso y en porcentaje respecto a la producción total, y registrarlos en el estado estadístico de la producción.

El diagnóstico de los defectos es una labor ardua, que requiere vasta experiencia en el arte de la fundición, y amplio conocimiento del personal de la empresa. Un error o fallo en la diagnosis de un defecto señala casi siempre el punto de partida para el nacimiento de un nuevo defecto de otra naturaleza.

Los defectos de fundición son numerosos, y puesto que cada uno puede ser provocado por muchas causas, se comprende lo difícil que puede ser establecer una clasificación satisfactoria. Se distinguen, ante todo, entre los defectos advertibles desde el exterior de la pieza y los defectos sólo advertibles por el examen del interior de la misma.

Los defectos manifiestos de la pieza pueden afectar:

1.- A la forma; como deformaciones, aplastamientos, hundimientos, empujes, rebabas y movimientos de las cajas.

2.- A la superficie; como aspecto basto, hinchazones, abombamientos, penetraciones, exfoliaciones, inclusiones de arena y darts.

3.- Al conjunto de la pieza; como soldaduras e intermitencias, piezas no llenas y discontinuidades, arranques de partes del molde, escapes de metal, falta de metal, hendiduras, grietas y roturas.

Los defectos ocultos se manifiestan por:

1.- Soluciones internas de continuidad; como porosidades, pequeños agujeros, burbujas, sopladuras, rechupes, contracciones, meniscos, tensiones y grietas.

2.- Composición y estructura inadecuada; como temple difuso, temple localizado, temple inverso, estructura abierta o gruesa y segregaciones de grafito.

3.- Inclusiones de materias heterogéneas; como gotas frías, escoria, arena y negro.

En esta clasificación no hemos recordado algunos defectos, como los debidos a un proyecto equivocado de la pieza, o a errores de la construcción del modelo o de confección del molde. No se trata en estos casos de defectos de fundición verdaderos y propios, más bien de errores de ejecución, los cuales se deben obviar con la colaboración más estrecha entre el proyectista, el modelista y el fundidor, y con una bien estudiada serie de controles y verificaciones.

De los defectos catalogados, algunos son definidos por su misma denominación, otros requieren alguna aclaración más detallada.

Defectos del exterior de la pieza.

Las deformaciones de los alabeos manifiestan tensiones internas y pueden alcanzar valores capaces de provocar también hendiduras, roturas espontáneas o por solicitaciones externas e inclusiones de pequeño valor (fig. 9.1). Las *deformaciones* y *alabeos* se presentan de modo particular en las piezas extendidas en longitud o en superficie. Tales defectos de obstáculos encontrados por la contracción, de enfriamiento anisotérmico después de la solidificación, por causas intrínsecas en la pieza (fig. 9.1 y 9.2) o por causas externas (fig. 9.3).

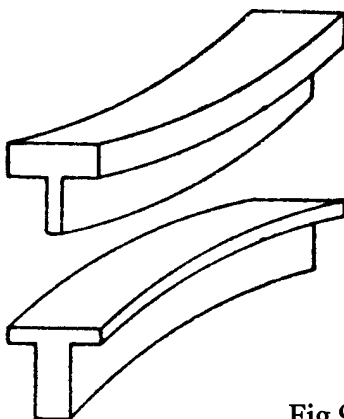


Fig 9.1

Deformación (encorvamiento) de los ejes de una pieza, causada por la heterogeneidad de los espesores: las piezas presentan la concavidad en la parte de mayor espesor.

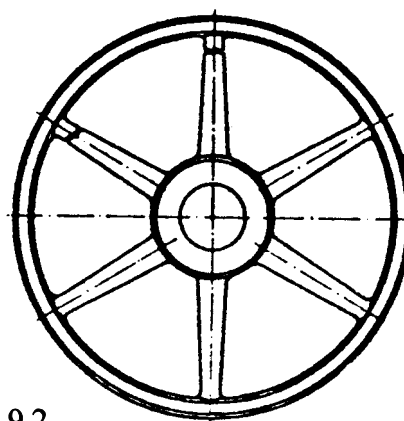


Fig 9.2

Agrietamiento y rotura de los radios de un volante causados por la excesiva diferencia de espesores entre cubo, corona y radios, y por la disposición radial en número par de éstos.

Los *aplastamientos* y los *hundimientos* consisten en la reducción del espesor de las piezas a causa del hundimiento de una parte del molde o del alma, o por la inflexión de la media caja superior por carga excesiva, etc. (fig. 9.3).

Los *empujes* y las *rebarbas* dependen del cierre imperfecto de las cajas en el acto de la colada (fig. 9.4).

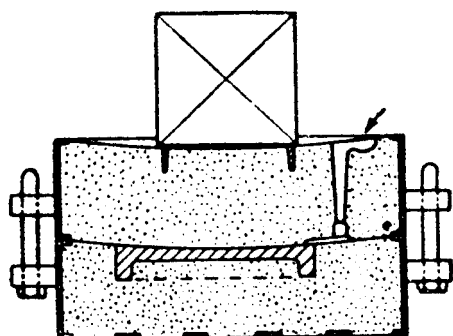


Fig 9.3

Reducción del espesor de una pieza, causada por hundimiento de la media caja superior, demasiado cargada.

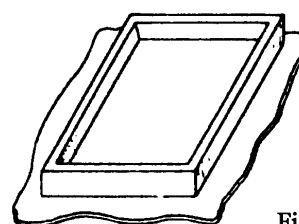
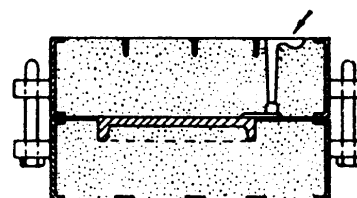


Fig 9.4

Aumento de espesor de una pieza y rebaba ocasionadas por el empuje metalostático no contrarrestado por una carga suficiente.

Los *movimientos de la caja* pueden ser motivados por varias causas. Si una pieza ocupa dos medias cajas, y éstas tienen los pernos o bulones de registro y sus respectivos agujeros deteriorados por el uso, puede ocurrir que la pieza resulte desviada, como indica la figura 9.5.

Son causas también de *falta de registro* los machos que tienen las entregas demasiado pequeñas en comparación con las portadas de moldeo o que no han sido fijados, según las reglas

del arte, con soportes adecuados en el molde, etc. (fig. 9.6).

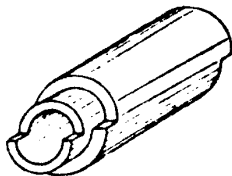
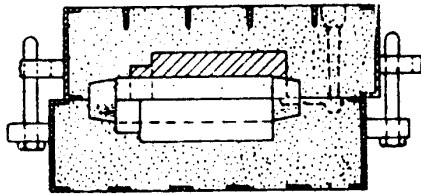


Fig 9.4

Movimiento de la caja causado por el excesivo juego entre los pernos de registro y los agujeros de las orejas de la caja.

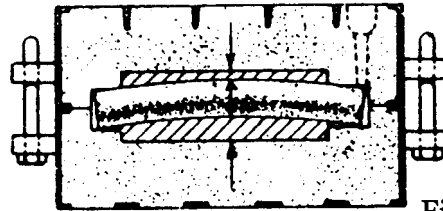


Fig 9.5

Desigualdad de espesor de un tubo a causa de la desviación del macho debida al empuje metalostático.

El *aspecto basto* de la pieza se revela en su superficie que presenta un grado de tosquedad y de rugosidad mayores que el propio de un trabajo cuidadoso. Este defecto en las piezas en seco resulta de que la arena es poco refractaria, su grano es demasiado grueso, ha sido incompletamente secada, el grano es malo o de otras causas parecidas; en las piezas en verde deriva de la arena mal trabajada y de que el negro mineral no es adecuado. Otra causa es una temperatura de colada demasiado elevada. Puede haber una auténtica sinterización.

Las *hinchazones* son unos abultamientos locales redondeados que se forman cuando, por efecto de la presión metalostática, las paredes del molde no bien atacadas ceden en un punto cualquiera (fig. 9.7). Los abombamientos son parecidos, menos levantados pero más extendidos.

Las *penetraciones* son causadas por un metal muy fluido que va a llenar los intersticios entre los gránulos de la arena de moldeo sin separarlos. Para evitar este defecto es preciso revisar el diseño de la pieza, el modelo, el molde, los elementos de colada, etc., a fin de evitar concentraciones de calor sobre las partes delgadas del molde y del macho, y asegurar un atacado uniforme y adecuado de la arena en todo punto del molde. En general, es suficiente reducir la temperatura de colada.

En las aleaciones de cobre, el defecto toma el nombre de *embrozamiento*. Para evitarlo, las arenas para fundición de bronce debe ser de grano más fino que el usado para hierro colado.

Las *exfoliaciones* se forman, en general, en las proximidades de un terrón de arena atacada y por eso poco permeable. En el acto de la colada, los gases que se acumulan en la masa del molde provocan el desmoronamiento del terrón, el cual, si el metal está aún fluido, flota y va a posarse contra las paredes superiores del molde (fig. 9.8). La pieza presenta después, por debajo, una protuberancia, y, por arriba, una inclusión de arena desprendida que no sale a la parte superior, sino que queda aprisionada en la pieza. A menudo la exfoliación está acompañada de *sopladuras* o *burbujas*.

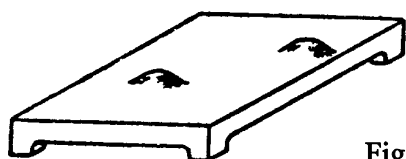


Fig 9.7

Hinchazones en un plano de funde-
debidas a hundimiento de la arena de
moldeo, mal atacada en la caja.

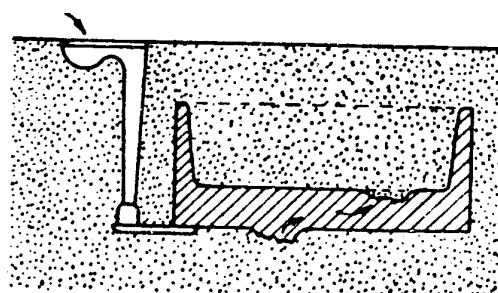


Fig 9.8

Exfoliación: Un terrón de arena se
desprende de la parte inferior (a causa de la
escasa permeabilidad) y va a flotar contra la
superficie superior del molde. La pieza presenta
después abajo una protuberancia, y encima una
cavidad con inclusiones de arena.

La *darta* es una batidura delgada de metal en la parte separada de la pieza y unida con el resto de la misma por una lengüeta de metal llamada grapa. Es causada por la escasa permeabilidad; los gases levantan una costra de arena, pero sin separarla, de la costra misma (fig. 9.9). Hay una dilatación del techo del molde que, si es muy duro, puede quedar impedida y se resquebraja.

Las *inclusiones de arena*, que se desprende de la superficie superior del molde y va a caer abajo, de donde luego puede ser arrastrada a puntos más altos del molde. El inconveniente sobreviene antes de la colada, también para hechos mecánicos externos, o en el momento de fundir, mientras el metal entra en el molde (fig. 9.10).

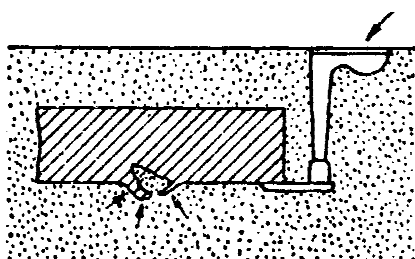


Fig 9.9

Darta: Defecto debido
a la misma causa; el terrón no se desprende
del todo y permanece aprisionado en la pro-
tuberancia.

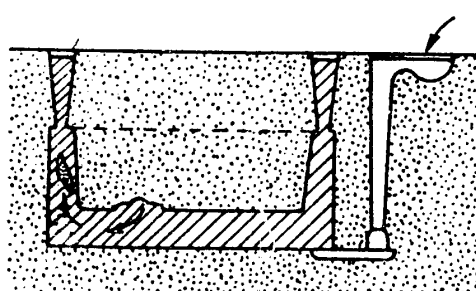


Fig 9.10

Otro defecto análogo a los preceden-
tes: el terrón se desprende de una pared superior
y, arrastrado por el metal, permanece aprisionado
en una nervadura.

Una serie numerosa de defectos es la de las piezas no llenas y de roturas.

Si se interrumpe la colada o si la corriente del metal se desdobra, el nuevo metal alcanza el vertido con anterioridad, aunque sin soldarse ambos; se tiene así la *soldadura* y la

intermitencia (figs. 9.11 y 9.12).

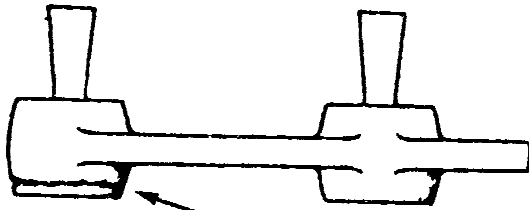


Fig 9.11

Intermitencia: la parte superior del cubo de la izquierda no se ha soldado con el primer metal entrado en el molde.

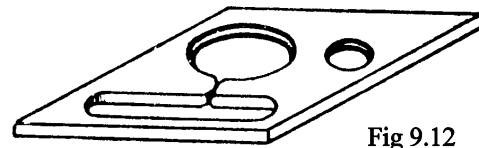


Fig 9.12

La corriente del metal se ha dividido en dos para rodear el agujero redondo o el oval; al unirse las dos corrientes, no se han soldado.

Las piezas no llenas se presentan cuando el metal, por una razón cualquiera, no llena del todo el molde; las discontinuidades, cuando en una zona dada hay una interrupción total o parcial (fig 9.13). El defecto se presenta también bajo forma de grieta o costura de bordes redondeados, y pueda tener orígenes variadísimos, como elementos de colada mal concebidos, exceso de humedad, salida de aire y gases insuficiente, colada en cajas horizontales más bien que inclinadas, metal frío, composición química equivocada, carga metalostática insuficiente, etc.

Los *arranques* de partes del molde se producen cuando, por ejemplo, el metal líquido durante la colada arranca una parte del molde, especialmente en las esquinas de los bordes. La pieza presenta en tal punto una acumulación irregular y desigual de metal. Para obviar este defecto es preciso usar arenas adecuadas y reforzar con clavos las zonas frágiles y peligrosas (fig. 9.14). Aparecen unas pequeñas depresiones de forma irregular en la pieza acabada que pueden estar distribuidas al azar o reunidas en grupos en donde se han juntado las impurezas, en uno o más vértices formados en el metal caliente. Los puntos de arena se hunden o flotan, dependiendo de la densidad del metal fundido; también pueden quedar atrapados al crecer las dendritas a lo largo de las paredes laterales de las piezas. El exceso de turbulencias en el sistema de bebederos, el *chorreado* de metal en el molde, y las malas propiedades de la arena de moldeo, son causas de este defecto.

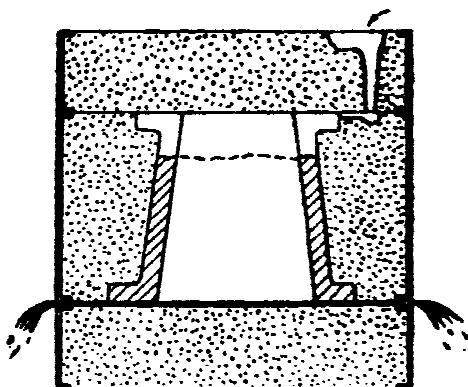


Fig 9.13

Pieza incompleta a causa de la elevación de la caja superior por carga insuficiente. La colada no consigue compensar la pérdida de metal.

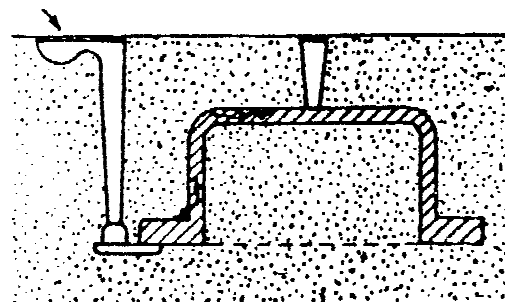


Fig 9.14

Arranque de un borde en arena del molde expuesto a la corriente del metal en la proximidad del canal de entrada a la pieza.

Las *hendiduras* y *grietas* se producen siempre que quede impedida la contracción de la pieza en estado sólido. En general son: grietas en ángulo, grietas en partes masivas y grietas de colada. Se verifican especialmente en las nervaduras, en los radios, en las piezas delgadas huecas, etc. Dependen, de modo particular, del diseño de la pieza, de la composición del metal, de la rigidez del alma o del molde, de los elementos para la colada y de la propia colada o entrada de caldo (grieta de colada).

Defectos en el interior de la pieza.

Los defectos que sólo pueden descubrirse penetrando bajo la superficie de la pieza son los más dañinos, porque, no pudiendo, en general, ser reconocidos desde el exterior por los medios normales, no salen a la luz hasta que se procede al mecanizado, al someter la pieza a la prueba de presión, o bien, aún peor, cuando, ya aplicada a su trabajo, cede a las solicitaciones externas y se rompe.

Las *porosidades*, los pequeños agujeros, las burbujas y las *sopladuras* tienen todas análogo aspecto. Se trata, en efecto (fig. 9.15), de burbujitas o burbujas esféricas o aplanadas (*vesículas*) de superficie lisa, provocadas por gases disueltos en el metal que escapan en el acto de la solidificación, o de gases o vapores que se forman en el molde, o al contacto de éste con el metal, y que, a causa de la escasa permeabilidad del molde, tratan de encontrar un paso a través del metal líquido, donde quedan aprisionadas en el acto de la solidificación.

Las *sopladuras* son a menudo provocadas por los machos rodeados por gran cantidad de metal, y por eso, aunque permeables, con escasa posibilidad de digerir todos los gases (fig. 9.16).



Fig 9.15

Agujeros, burbujas y vesículas causados por la excesiva humedad del molde. Tienen lisa la superficie interior.

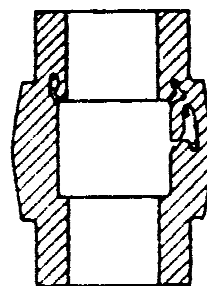


Fig 9.16

Sopladuras provocadas por el desprendimiento de gas del macho. Las cavidades están en comunicación con el núcleo y tienen la superficie interna lisa.

Hay dos tipos de puntas de agujas, burbujas o sopladuras: las de origen interno (endógenas) y las de origen externo (exógenas). Las primeras tienen las paredes internas no oxidadas, a veces brillantes; las otras, con coloraciones variables, están oxidadas. Los recursos para evitar estos defectos son diversos, por cuanto son muchas las causas que los pueden provocar, como:

- a) Crear en el molde y en el macho canales para el escape de los gases y cargadores bien dimensionados y repartidos.
- b) Emplear arena de buena calidad, bien preparada, permeable y bien seca (en el molde en seco) o bien cocida (para los machos).
- c) Emplear aglomerantes adecuados, no alterables, no higroscópicos, y en cantidad adecuada.
- d) Proteger los gases de los machos de modo que no sean obturados por el metal en el acto de la colada.
- e) Efectuar la colada con filtro.
- f) Vigilar la conducta del horno, para evitar la oxidación del metal, y colar a temperatura conveniente.
- g) Evitar el exceso de negro y los negros desmejorados.
- h) Evitar la humedad en la solera del cubilote, en la piqueta y en los calderos a fundir.
- i) Evitar coquillas, soportes, alambres finos, húmedos u oxidados. Las partes que hayan de ser inspeccionadas (soportes) deben estar cuidadosamente recocidas y estañadas.

Los *rechupes* y *contracciones* o *meniscos* (fig. 9.17 y 9.18) son cavidades con paredes recortadas por la presencia de dendritas formadas durante la solidificación. Alguna vez las dendritas ocupan por entero la cavidad, y se tiene la *porosidad dendrítica*. Si hay multitud de pequeñas cavidades diseminadas en los intervalos interdendríticos e intercristalinos, se tienen los *microrrechupes*.

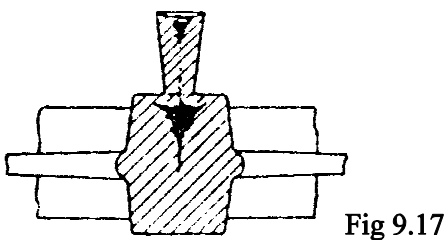


Fig 9.17
Rechupe causado por una maza-
rota insuficiente; la cavidad interna es irregu-
lar, a menudo con fenómenos de licuación.

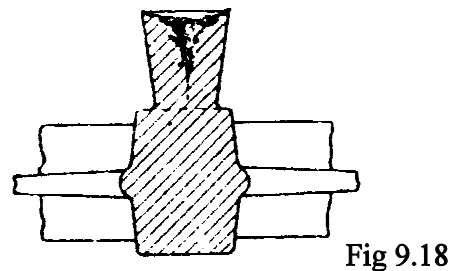
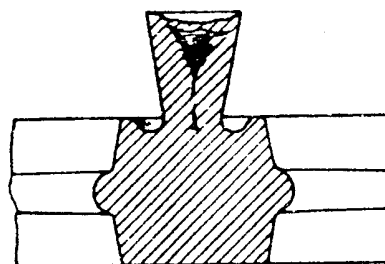


Fig 9.18
Pieza como la precedente. La ma-
zarota, de dimensiones adecuadas, consigue ali-
mentar por completo la pieza.

Alguna vez, sobre todos cuando se cuela a alta temperatura, el rechupe, al formarse, atrae hacia sí la pared superior externa que desciende hacia abajo, y se tiene así el *menisco*.

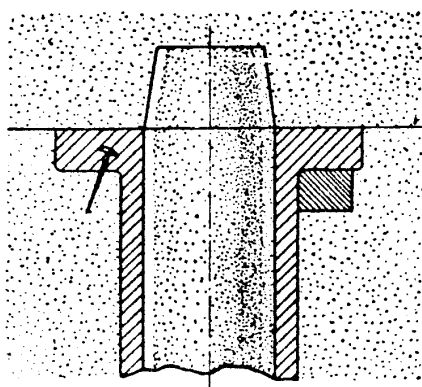
Sobre los orígenes de estos defectos se ha tratado ya en lecciones anteriores. Además, los rechupes pueden depender de un diseño inadecuado de la pieza, cuando ésta presenta nervaduras cruzadas o espesores diversos o mal concertados entre sí; de insuficiente presión metalostática, cuando la media caja superior es demasiado baja; de una concepción equivocada del dispositivo de colada cuando los bebederos y cargadores están mal dispuestos o son demasiado pequeños o están mal unidos a la pieza, etc. También la composición del metal es una de las causas más frecuentes de rechupes. En la fundición, este defecto puede ser favorecido por dos causas opuestas: exceso de elementos grafitizantes como el silicio y el fósforo, o exceso de condiciones o elementos estabilizantes de los carburos, como el exceso de manganeso o la escasez de silicio. Si los espesores son muy diversos en la misma pieza, dado que la fundición no puede ser más que de una sola calidad, es preciso alimentar con mucho cuidado las piezas, de modo que el enfriamiento comience en la zona más alejada de los cargadores y más abajo, aproximándose progresivamente a éstos.



Menisco sobre la superficie superior de una pieza, cerca de la mazarota, causado por insuficiencia de ésta.

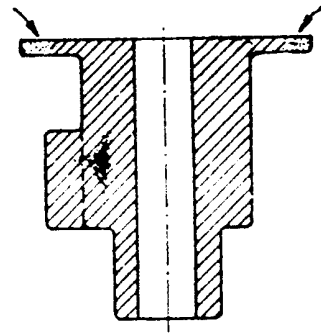
En los casos más difíciles e importantes se aplican en los puntos más altos las mazarotas destinadas a formar una reserva de metal líquido, para alimentar hasta la completa solidificación de las partes macizas de la pieza; otras veces se disponen en las paredes afectadas del molde enfriadores externos (coquillas) o internos (clavos).

La *microporosidad*, el *rechupe central*, y aún la *porosidad general* que tenga la apariencia de rechupe, pueden ser causadas por gases disueltos en el metal durante la fusión y el colado, así como por el rechupe de solidificación. Frecuentemente cabe preguntarse: ¿Será gas o rechupe?.



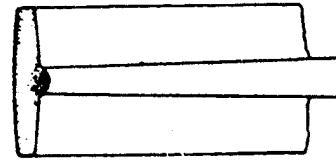
Modos de prevenir los rechupes: a la izquierda, enfriadores internos (clavos que deben estar bien recocidos, desoxidados y estañados), y a la derecha, enfriadores externos o coquillas (barnizados con aceite de linaza, cocidos en estufa y ablandados en caliente).

En algunos casos la distinción es relativamente sencilla. Las sopladuras o huecos que aparecen en una sección bien alimentada deben ser causadas por gases. Los huecos redondos, con paredes lisas, se deben generalmente a gases, mientras que los huecos angulares, quizás con ramas de dendritas penetrando en ellos, son causados usualmente por una alimentación imperfecta. A menudo, como en el caso de la fina microporosidad que se aprecia ocasionalmente en fundiciones no ferrosas, la distinción no es sencilla, y tanto el contenido de gases como el rechupe del metal deben tenerse en cuenta cuando se observa tal microporosidad.



Rechufe en una zona densa, y emblanquecimiento en una zona delgada causado por la diversidad de espesores y, por consiguiente, por la imposibilidad de acomodar la composición de la fundición.

Otros defectos comunes en la fundición son el *temple localizado*, el *temple difuso* y el *temple inverso*; tales temples o aumentos de dureza se manifiestan con un emblanquecimiento parcial o total de la sección; en la zona defectuosa casi todo el carbono es carbono combinado (carburo de hierro Fe_3C), la dureza Brinell supera los 400÷450 Hd, y el metal ya no es mecanizable en la máquina herramienta a las velocidades o con los avances previstos. Ordinariamente estos defectos derivan de una diversidad de espesores en la pieza y, por tanto, de la inadecuada composición del metal para los espesores más delgados, que resultan después de fundición blanca, de equivalente de carbono demasiado pobre, de exceso de elementos estabilizadores de los carburos (manganeso y cromo) o de escaso contenido de elementos grafitizantes (silicio), de fundición oxidada o colada fría, de exceso de humedad en el molde, de desmoldeo prematuro, del uso de calderos de colada con revestimiento húmedo o frío, etc.

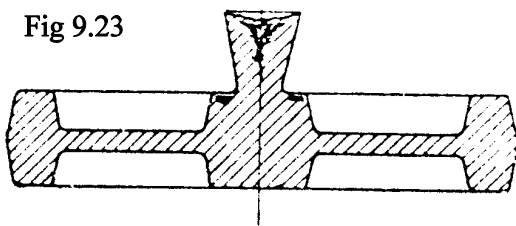


Tendencia al emblanquecimiento en la corona de una polea a causa de la composición inadecuada de la fundición (C + Si demasiado bajo).

Los defectos opuestos, esto es, la *estructura de grano abierto* o de textura gruesa y la *segregación de grafito*, son causados por la presencia de copos o laminillas de grafito de textura gruesa que se forman en las paredes macizas de la pieza. Antes de todo es preciso corregir el diseño de las piezas, sustituyendo las secciones compactas por secciones menores nervadas, o bien aligerando las secciones mayores con machos, etc. Además, se necesita reducir el equivalente en carbono, o reducir el silicio y el fósforo, o aumentar el manganeso o el cromo o similares. Convendrá también colar las piezas con metal a temperatura más baja, o verter la fundición a intervalos menores, o acelerar el enfriamiento de las paredes con refrigeradores externos (coquillas) o internos (clavos estañados) o descubriendo las piezas seguidamente después de la colada.

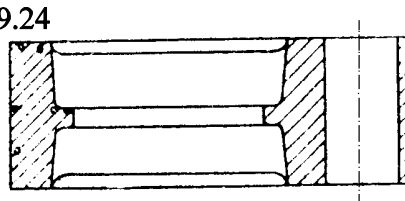
Una última categoría de defectos es la de las *inclusiones*, se produce cuando cuerpos extraños (escoria, arena, negro, etc.) son arrastrados por el metal durante la colada, o arrancados del molde, y permanecen aprisionados en el mismo metal seguidamente a la solidificación de la pieza (fig 9.23). De ordinario, las inclusiones, dado el menor peso específico del material que las forma, se encuentran en las superficie superior de las piezas. Una inclusión particular son las *gotas frías* (fig. 9.24), pequeños cuerpos esferoidales de metal incorporados al metal mismo, pero sin formar con él un todo; son ocasionadas por salpicaduras del metal en el interior del molde: las gotas, en contacto con el molde frío y a veces húmedo, se templan y oxidan, con lo que se endurecen y no se amalgaman con la masa metálica. A veces las gotas frías son causadas por sopladuras (o las provocan) y por hervor del metal.

Fig 9.23



Inclusiones en la parte superior del cubo de un volante que no han podido alcanzar la mazarota, insuficiente.

Fig 9.24



Gotas frías incrustadas en la corona de un volante. La pieza resultará de difícil mecanización en el torno.

Para impedir que las inclusiones de escoria entren en la cuchara, ésta deberá *desnatare* antes del vertido, o deberán emplearse cucharas de *pico de tetera* o de colar por el fondo. También deberán emplearse depósitos de vertido de manera que cualquier escoria que viniese de la cuchara fuese detenida y no pasase al sistema del bebedero.

El sistema de canales deberá en sí proyectarse en forma que ejerza una acción de desnatao adicional sobre el metal que penetra en el molde.

Inspección de las piezas fundidas.

Tan pronto como las piezas fundidas están suficientemente limpias, se inspeccionan ocularmente, se reparan los defectos generales si es necesario, después de lo cual se inspeccionan nuevamente. Casi todos los métodos de inspección utilizables en los metales en general pueden aplicarse para comprobar y controlar la calidad de las piezas fundidas. Los métodos radiográficos se utilizan cada vez más, particularmente si el trabajo de las piezas fundidas ha de ser severo.

En tales aplicaciones hay que tener la seguridad de que las piezas fundidas son macizas, es decir, que no presentan poros o cavidades.

Se han publicado normas muy estrictas para la inspección radiográfica, tales como las *Normas Radiográficas para Piezas Moldeadas en Acero (Radiographic Standards for Steel Castings)* del U. S. Bureau of Sips, Navy Departament, Washington D. C.).

Otras normas similares se han publicado para aleaciones de aluminio y de magnesio, y es probable que vayan apareciendo normas precisas para la inspección con elementos



fluorescentes o con polvos magnéticos.

Originalmente la inspección radiográfica de las piezas fundidas solamente era deseable por parte del consumidor, como una seguridad de la pieza fundida adquirida.

Los fundidores han encontrado ahora que tales pruebas de exactitud pueden ser de gran ayuda en sus esfuerzos para mejorar el producto obtenido. Para trabajos de calidad, la mayoría de los Talleres de Fundición importantes utilizan actualmente todas las pruebas de control de que pueden disponer.

El uso de métodos de control estadísticos de la calidad para inspeccionar las fundiciones es un nuevo y prometedor adelanto en los talleres de fundición. Por medio de los métodos estadísticos de muestreo solamente se comprueba críticamente un número reducido de piezas producidas. Esto ahorra tiempo y dinero y, a menudo, demuestra ser adecuado como comprobación del 100 % de la producción.