

INFLUENCIA DE LOS GASES EN EL ACERO

Por: David Valle Rodríguez

Ingeniero Industrial. Jefe de Fábrica de Metalúrgica Madrileña, S.A.

Resumen:

Dado que la porosidad motivada por gases constituye uno de las principales fuentes de defectos en las piezas de acero moldeado, se pretende en este artículo dar una visión general de las consecuencias que pueden tener la presencia de diferentes gases en el acero y de las medidas a tomar para su eliminación, que pasan fundamentalmente por el uso de elementos desoxidantes, realizándose un análisis general de los de uso más frecuente.

INTRODUCCIÓN

La porosidad en una pieza fundida indica que en la misma han quedado atrapadas burbujas de gas. Un caso frecuente es el de los defectos conocidos como "*picaduras*" o "*sopladuras*", defecto consistente en la aparición de un pequeño poro superficial, tras el cual se encuentra un burbuja de gas de forma redondeada o alargada con el eje perpendicular a la superficie de la pieza. También suelen presentarse sin comunicación con el exterior. La pared interior de las mismas puede ser brillante o estar más o menos oxidadas.

Estas sopladuras provocan una disminución de las características mecánicas de las piezas, defectos superficiales tras el mecanizado y en general un mal aspecto de la pieza, por lo que deben ser reparadas mediante soldadura, con el encarecimiento y las precauciones que esta operación supone, y en numerosas ocasiones la pieza será rechazada.

CAUSAS DE LA APARICIÓN DE LOS DEFECTOS POR GASES

Las sopladuras se forman debido a que el gas queda atrapado en el seno del material en el momento de la solidificación. Atendiendo a su origen podemos distinguir:

- Sopladura endógena, motivada por un contenido elevado de gas en el caldo que se desprende en el momento de la solidificación. Principalmente se debe a burbujas de CO o CO₂, que pueden verse agrandadas por difusión de hidrógeno o de nitrógeno.
- Sopladura exógena, proveniente de alta humedad en el molde o los machos, por la elaboración de estos con aglomerantes con tendencia a desprender gases, o por el uso de pinturas de recubrimiento de moldes y machos con tendencia a desprender gases.
- Retención mecánica de los gases, por insuficiente salida de gases, falta de permeabilidad del molde o por atrape de aire por las turbulencias producidas en el llenado.

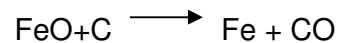
- Sopladuras de escoria: Suelen ir acompañadas de inclusiones de escoria y estar localizadas en la parte superior del molde, y están motivadas por reacciones de oxidación en el metal líquido, que dan lugar a la formación de óxidos y gas, o por reacción del caldo con el refractario del horno, con la cuchara o con el molde.

No deben confundirse las sopladuras con los rechupes, que son cavidades abiertas o cerradas, de paredes rugosas, normalmente dendríticas, motivadas principalmente por defectos de alimentación de la pieza.

Los principales gases que intervienen en la formación de las sopladuras son el oxígeno, el hidrógeno y el nitrógeno.

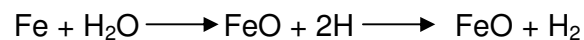
Oxígeno:

La causa más frecuente de la aparición de sopladuras es la presencia de oxígeno en el acero, que se presenta disuelto como óxido de hierro o en óxidos insolubles como óxido de manganeso, dióxido de silicio u óxido de aluminio. La reducción de los óxidos por el carbono da lugar a monóxido de carbono, que no se disuelve en el metal.



Vapor de agua:

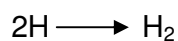
Proveniente de la humedad ambiental, de chatarra húmeda, del molde en verde, del revestimiento o de la cuchara, no se disuelve en el en el acero. A elevadas temperaturas se descompone según la siguiente reacción:



Reacción que evoluciona en sentido contrario a bajas temperaturas. El hidrógeno y el óxido de hierro afectan negativamente a las características del acero:

Hidrógeno:

Proviene principalmente de la humedad del molde o ambiental, aunque también puede provenir de los productos formadores de escoria o de las ferroaleaciones si estas no se han procesado o almacenado correctamente; se diluye rápidamente en el acero líquido, originándose los poros en la solidificación por la reacción:



El efecto más perjudicial que produce el hidrógeno en el acero es la formación de copos, con la consiguiente disminución de todas las características mecánicas, y en especial una disminución de la ductilidad. Estos copos son manchas brillantes provocadas por burbujas de hidrógeno que en las operaciones de forja o laminado dan origen a finas grietas, y es tanto más grave cuanto mayor es la sección de la pieza.

Nitrógeno:

El contenido de nitrógeno es muy pequeño en la práctica y se encuentra combinado en forma de nitruros. Su efecto es nefasto sobre las propiedades mecánicas.

DESOXIDACIÓN DEL ACERO

El objeto de la desoxidación de los aceros es la eliminación del oxígeno del caldo, dado que la reacción entre el oxígeno y el carbono es la más importante, y la que con mayor frecuencia puede originar defectos en las piezas fundidas.

El método más frecuente es mediante el uso de elementos desoxidantes que tengan afección por el oxígeno superior a la del carbono, y que al combinarse con él formen compuestos estables, insolubles, que puedan flotar en el baño.

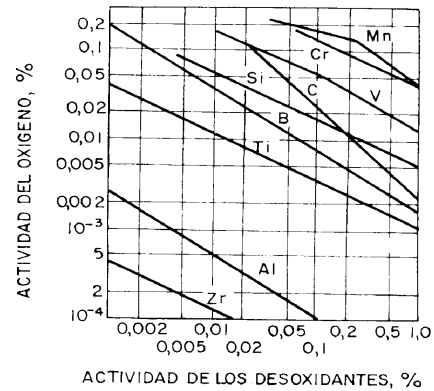
Por otro lado hay que considerar la influencia negativa que estos elementos pueden tener sobre las propiedades del acero, dado que pueden formar compuestos nocivos que afecten a las propiedades mecánicas del acero.

Otras opciones son la desoxidación mediante el carbono del acero, trabajando en vacío, aunque esta operación, además de compleja, no es suficiente para solucionar el problema por sí misma. La colada bajo vacío da magníficos resultados en la eliminación del hidrógeno, pero tiene el problema del coste de la instalación y su explotación.

La porosidad en las fundiciones es más frecuente en las piezas coladas en arena verde que en las piezas coladas en moldes de arena química. Ello es debido a el vapor de agua formado en la superficie, que provoca la disolución de oxígeno e hidrógeno en el acero. Esto es especialmente destacable en los aceros de alto carbono. Es por ello que el adecuado control de la humedad de los moldes, la permeabilidad de la arena y la presencia de salidas adecuadas para los gases tiene gran importancia en esta forma de moldeo, junto con el uso de elementos desoxidantes.

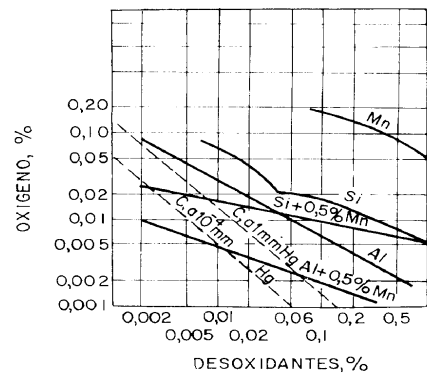
ELEMENTOS DESOXIDANTES

Los desoxidantes más empleados son el aluminio, el silicio y el manganeso. En la figura 1 puede observarse la actividad de diferentes elementos desoxidantes. En la misma se puede apreciar como el desoxidante más energético es el circonio, seguido por el aluminio y el titanio, y entre los de menor poder desoxidante se encuentran, el vanadio, el cromo y el manganeso.



El **manganeso**, aunque es un desoxidante relativamente débil, habitualmente se emplea debido a que su presencia hace que el silicio y el aluminio sean mejores desoxidantes de lo que lo son aisladamente, como puede verse en la figura 2

El **silicio** es el desoxidante más empleado, con un contenido entre el 0'3 y el 0'5% y, en presencia de manganeso, suele formar inclusiones en forma de silicatos de manganeso. Sin embargo, la utilización de silicio y manganeso es insuficiente para, por sí solos, evitar la formación de porosidades, por lo que es necesario complementarlos con desoxidantes más energéticos.



El silicio-manganeso, frente a la adición independiente de ferrosilicio y ferromanganeso, permite una más rápida difusión en el caldo y por tanto una desoxidación más intensa y un acero más uniforme. Ello es debido a que por su densidad penetra profundamente en la cuchara y les permite actuar de forma conjunta, frente a la adición independiente de ferrosilicio, que por su menor densidad se queda en la parte superior del caldo, y el ferromanganeso, que por su mayor densidad se queda en la parte inferior del acero fundido. Sin embargo, en los hornos de inducción, debido a la agitación que estos producen en el caldo, esta ventaja es menos necesaria, lo que junto con el elevado coste de esta ferroaleación, hacen que esté prácticamente en desuso.

El **aluminio** es uno de los desoxidantes más energéticos, capaz de reducir a contenidos muy bajos las cantidades de oxígeno residual. Forma inclusiones que se decantan en su mayoría rápidamente en forma de alúmina o aluminatos. Se suele utilizar como complemento del silicio y del manganeso, y

no como alternativa, normalmente al final del proceso de fusión, añadido directamente en la cuchara en la que a continuación se va a verter el acero fundido.

Aunque es conveniente añadir desoxidante con un ligero exceso, a fin de evitar que se produzcan reacciones del carbono con la humedad de la arena del molde, el aluminio debe emplearse de manera muy controlada, por los efectos perjudiciales que produce. El aluminio forma sulfuros y nitritos de aluminio, que precipitan en los bordes de grano de la austenita primaria durante el enfriamiento de la pieza, después de la solidificación, y también se produce una precipitación de nitruros de aluminio durante el tratamiento térmico. Estas precipitaciones provocan una disminución de las características mecánicas, ductilidad, resiliencia y plegado, y favorece que se produzca la rotura concoidal y los fallos por fatiga. Asimismo la presencia de cantidades relativamente grandes de aluminio en el acero da lugar a la formación de partículas de óxido de aluminio en las primeras etapas de la solidificación, dando lugar a las inclusiones “galaxia de alúmina”. Por todo ello se recomienda no sobrepasar el porcentaje de un 1 por mil de aluminio.

Debido a su baja densidad, debe cuidarse que el aluminio se introduzca en el interior del caldo y no pase directamente a la escoria, con lo que quedaría inutilizado como desoxidante. Para ello se suele añadir en el fondo de la cuchara antes de verter el caldo.

El **circonio** es el elemento desoxidante de mayor actividad, como puede verse en la figura 1. Presenta como ventaja que fija el nitrógeno y no produce precipitación de nitruros en los bordes de grano; sin embargo, empleado en exceso, da lugar a aceros sucios, con alto contenido en inclusiones de óxidos.

El **titanio** es un excelente desoxidante del acero, que al igual que el circonio, presenta características positivas de fijación del nitrógeno, aunque su actividad es menor que el aluminio y el circonio. Además el titanio afina el tamaño de grano del acero al solidificar.

El **calcio** se considera un poderoso desoxidante, que forma óxidos estables prácticamente insolubles en el acero líquido. Sin embargo, el punto de ebullición del calcio (1.439°C) es muy inferior al de solidificación del acero, por lo que de forma aislada no resulta útil como desoxidante, dado que se perdería por ebullición y se quemaría en la atmósfera, dando además problemas de higiene industrial al provocar proyecciones de metal y humos. Por ello se recomienda emplearle con otro elemento que recoja el oxígeno en forma de óxidos con mayor estabilidad y menor solubilidad en el hierro. Suele emplearse en forma de silico-calcio.

El calcio tiene una elevada afinidad por el azufre, que se manifiesta cuando el acero está prácticamente desgasificado, por lo que se convierte en un poderoso desulfurante añadido en combinación con silicio.

Sin embargo, el principal efecto que se pretende con la adición de calcio es, por encima de la desoxidación y de la desulfuración, para lo que existen otros elementos más adecuados, el conseguir en un acero desoxidado un adecuado

control de la distribución de las inclusiones no metálicas, lográndose una mejora de las características mecánicas.

El calcio se combina con los aluminatos para formar inclusiones de distribución más uniforme y menor punto de fusión que los óxidos de aluminio; reduce la solubilidad de los sulfuros en el acero fundido, de manera que precipitan en una fase más temprana de la solidificación en forma de glóbulos en vez de hacerlo en forma de películas a lo largo de los bordes de grano; y aumenta la tendencia de óxidos y sulfuros a combinarse entre sí, reduciendo el número de óxidos y sulfuros puros en el acero y por tanto disminuyendo notablemente su efecto pernicioso. Para conseguir mejorar la actuación del calcio debe procurarse que este se distribuya uniformemente en el conjunto del caldo y trabaje conjuntamente con el aluminio.

Otras ventajas de la adición de calcio son la agitación que produce en el baño, que favorece su desgasificación, y la de proporcionar mayor fluidez al acero, para lo que se emplea normalmente en la cuchara de colada.

El **siliciuro de calcio** posee una gran afinidad por el oxígeno y es un reductor muy enérgico. Es un desoxidante del caldo, con una buena reducción del óxido de hierro y del óxido de carbono, impidiendo por tanto la formación de sopladuras. Tiene propiedades como recalentador, dado que la reacción del oxígeno con cada uno de los elementos del siliciuro de calcio, para formar silicato de cal, da lugar a una reacción exotérmica que proporciona fluidez al caldo y favorece la salida de gases del metal. Otras características del siliciuro de calcio son sus propiedades como desulfurante, por la ya indicada formación de sulfuro de calcio; provoca la formación de una escoria muy fluida y ligera, que sube fácilmente a la parte superior del baño permitiendo una mejor eliminación de las inclusiones; y mejora la estructura del material, al facilitar un control en el tamaño de grano, lo que permite mejorar las características mecánicas. Se suele emplear en la cantidad de un 1 por mil. Otras aleaciones derivadas del siliciuro de calcio, empleadas en la fabricación de determinadas calidades de acero son las siguientes:

Silico-calcio-manganeso, permite mejoras en la ductilidad y resiliencia de los aceros y sustituye las adiciones del ferro-silicio y el ferro-manganeso

Silico-calcio-titanio además de las mejoras en ductilidad y resiliencia, permite obtener mayores límites elásticos que con el silico-calcio-manganeso.

Silico-calcio-aluminio pretende favorecer que el calcio y el aluminio trabajen conjuntamente en todo el caldo y mejorar la interacción entre ellos.

El **magnesio**, al igual que el calcio, forma óxidos estables, pero como, de igual manera, son prácticamente insolubles en el acero líquido y el magnesio tiene un bajo punto de ebullición, muy inferior al de solidificación del acero, no suele emplearse, obteniéndose resultados mejores y de forma más económica con el aluminio.

El **Mischmetal** es una aleación compleja compuesta principalmente por cerio y lantano, que tiene una gran capacidad desoxidante, pero un precio muy elevado que lo hace prohibitivo.

Es importante el adecuado control de la calidad de los diferentes aditivos y ferroaleaciones, limitando los porcentajes de impurezas, arenas o escorias, forma de presentación, tamaño adecuado y homogéneo, embalaje apropiado que lo proteja de la humedad, etc., a fin de conseguir un proceso estable y controlable.

INFLUENCIA DE LA DESOXIDACIÓN EN LA MORFOLOGÍA DE LOS SULFUROS

La acción de los desoxidantes se basa en su actividad química para formar óxidos estables. Pero estos elementos pueden fácilmente formar otros elementos como sulfuros, nitruros o carburos, que pueden afectar a las propiedades del acero obtenido.

Uno de los efectos que se produce es la conversión de los sulfuros globulares en sulfuros eutécticos, provocando la reducción de la ductilidad del acero.

Otro efecto perjudicial característico, que se presenta en aceros desoxidados con aluminio, es la formación y precipitación de nitruros de aluminio en los bordes de los granos, lo que afecta negativamente a las propiedades mecánicas del acero, en especial a la resiliencia y a la resistencia al plegado, favoreciendo la aparición de la rotura concoidal, fractura de tipo intergranular de grandes facetas. Los tratamientos térmicos de recocido o de normalizado favorecen la precipitación del aluminio en los bordes de grano, mientras que el tratamiento de temple tiende parcialmente a evitarlo.

PRECAUCIONES PARA REDUCIR LA POROSIDAD POR GASES EN LAS PIEZAS

- Evitar en lo posible la utilización de carga húmeda, oxidada o impregnada de aceite. (lo cual redundará en la mejora de las condiciones de seguridad e higiene en el proceso de fusión)
- Cuando no sea posible evitarla, añadir la chatarra húmeda al principio de la colada, para permitir que por el calentamiento de la misma se evapore y elimine la humedad antes de su fusión.
- Uso de desoxidantes.
- No calentar el metal a temperaturas superiores a las estrictamente necesarias para colar. Llevar la marcha del horno con la temperatura más baja posible y calentar a la temperatura de colada al final del proceso de fusión.
- Mantener secas, limpias y protegidas las cucharas de transferencia.
- Controlar la duración de la colada, que debe ser la menor posible.
- Asegurar una gran velocidad de colada con una mínima turbulencia.
- Disminuir la altura de colada.

- Los perfiles de bebedero deben impedir la aspiración de aire por el flujo del metal. Se debe colar a bebedero ahogado.
- Procurar una mínima velocidad del flujo del metal en el momento de su entrada al molde junto con una elevada cantidad de metal que fluye.
- Cuidar la permeabilidad de los moldes, procurando que esta sea lo mayor posible.
- Cuidar la realización de los vientos en los moldes para permitir el fácil y rápido escape de los gases que se formen en el proceso de colada.
- En caso de superficies de los moldes pintadas, usar pinturas de base alcohólica y permitir el secado adecuado de las mismas mediante estufado o flameado.

CONCLUSIONES

De un adecuado tratamiento del caldo en el proceso de fusión y colada, así como de un adecuado diseño de los moldes, salidas de gases, y preparación de la arena, conseguiremos evitar la aparición de sopladuras y otras inclusiones gaseosas que perjudicarían las características y el aspecto final de nuestras piezas fundidas.

El ferromanganeso, ferrosilicio, aluminio y siliciuro de calcio se encuentran entre los aditivos que mejor permitirán el control de los gases en el acero con un coste razonable.