

LA ESMALTACION DEL ACERO DE COLADA CONTINUA ¿MITO O REALIDAD⁽¹⁾

A. CAMPOY GARCIA*
J. ABRIL APARICIO**

*Ferro Enamel Española, S.A., Castellón

**Investigación y Desarrollo, SIDMED, Sagunto (Valencia)

RESUMEN

Se expone una panorámica de la situación sobre este tema, estudiándose las diferencias existentes en la constitución de los diferentes aceros y su relación con el defecto de golpe de uña.

Se citan algunas de las características necesarias para la esmaltabilidad de aceros calmados.

Continuous Casting Enamelling

A view of the actual situation on the enamelling of continuous casting steel is exposed, studying the differences in the constitution of the different steels and its relation with fish-scale enamelling defect.

Some characteristics necessary for killed steel enamelling are mentioned.

L'émaillage des aciers de coulées continues

On expose une vue panoramique de la situation face à l'émaillage des aciers de coulées continues, en étudiant les différences de constitution qui existent entre les différents aciers et leur relation avec le défaut d'émaillage connu sous le nom de «coup d'ongle».

On cite quelques caractéristiques nécessaires pour l'émaillage des aciers calmés.

Die Emaillierung von Kontinugussstählen: Mythe oder Wirklichkeit?

Die Lage in Bezug auf das Thema wird auseinandergesetzt und die bestehenden Unterschiede zwischen dem Aufbau der verschiedenen Stähle und ihrer Verbindung mit dem Fischschuppenfehler studiert. Einige der notwendigen Eigenschaften für die Emaillierbarkeit beruhigter Stähle werden erwähnt.

1. INTRODUCCION

Lógicamente, todos nos dejamos arrastrar por aquello que hemos oído de «fuentes fidedignas», nos ha convencido y, en lo posible, lo hemos comprobado.

Constituye para nosotros una premisa bien archivada en nuestro «centro de datos» particular y cuesta mucho trabajo cambiarlo. Sin embargo, con frecuencia, lo que ocurre no es que hay que destruir esa tarjeta de datos, sino simplemente modificarla.

Este puede ser el caso del proceso de esmaltación de los aceros de colada continua. En algún rincón de esa tarjeta quedó escrito «...acero que contiene aluminio genera problemas en su esmaltación».

Cuando a esta premisa juntamos la de presencia de aluminio en los aceros de colada continua, las conclusiones que se extraen no dejan lugar a dudas, pero... ¿es válida esta conclusión?

Veamos el trasfondo de esta cuestión.

Un acero apto para preparar piezas esmaltadas debe tener una serie de características ineludibles, de entre ellas la que más afecta a la esmaltación es su resistencia al golpe de uña o ñate («fish-scale»), sobre todo por ser un defecto que aparece con el tiempo, tarde para su remedio si no ha sido previsto.

Todos los demás defectos se van a poder observar inmediatamente después de haber esmaltado una chapa.

Se centrará, pues, el interés en estudiar la causa origen del golpe de uña y cómo influir sobre la chapa para que aumente la resistencia al mismo.

Si se sabe cómo modificar el acero para colada continua, o cómo tratar el acero ya colado, para evitar el defecto de golpe de uña, se habrá conseguido quitar el mito de la no esmaltabilidad de este tipo de aceros, ya que el resto de propiedades que presentan son más bien favorables.

2. MECANISMO DE FORMACION DEL GOLPE DE UÑA

El nombre de este defecto le viene por su similitud con la huella que produce un golpe dado con la uña, si bien y por idénticas razones se conoce también con el nombre de escama de pescado («fish-scale») entre los anglosajones.

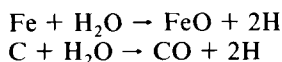
Como golpe de uña se conoce el defecto formado por pequeños saltados del esmalte en forma de media luna, de dimensiones entre 1 y 5 mm, que presentan ruptura brusca del esmalte en un lado y suave en el otro.

Estos saltados se producen libremente desde la capa del esmalte, una vez que éste se ha enfriado y tras un tiempo que puede ser muy variable.

(1) Original recibido el 11 de abril de 1986.

Está generalmente admitido que la causa de este defecto es el hidrógeno absorbido por el acero durante el proceso de cocción que, al enfriarse, produce un aumento de presión en la interfase esmalte vítreo/metal que produce la rotura.

Durante la cocción del esmalte, el agua presente en el mismo, se reduce por efecto del sustrato metálico y por reacción con el carbono superficial, produciendo cierta cantidad de hidrógeno atómico que es absorbido por el acero.



El acero puede también contener hidrógeno desarrollado durante la preparación del metal (decapado) e incluso del existente como humedad en la propia atmósfera del horno.

La difusión del hidrógeno atómico (H) o del iónico (H⁺) es muy rápida en una matriz de ferrita, tal cual se encuentra en los aceros empleados en la esmaltación. A las temperaturas de cocción del esmalte, la solubilidad del hidrógeno en el sustrato acero es mucho mayor que a temperatura ambiente.

La cantidad de hidrógeno que se difunde a través de la chapa es en función de la temperatura de cocción y de la proporción de ferrita (Fe α), que se transforma en austenita (Fe γ), dada la mayor solubilidad del hidrógeno en éste que en aquélla. Durante el enfriamiento se produce la transformación inversa, disminuye la solubilidad del hidrógeno, y éste tenderá a salir a la superficie del metal, se combinará para formar hidrógeno molecular y, en definitiva, aumentará la presión de hidrógeno en la interfase hasta llegar en ciertos casos a romper el esmalte.

3. TIPOS DE ACEROS

Desde el punto de vista que nos ocupa, en forma un poco simplista, pueden distinguirse tres tipos de aceros: a) efervescente, b) calmado, y c) estabilizado.

El nombre de efervescente proviene del aspecto tumultuoso del desprendimiento de gases que se origina en los procesos de oxidación.

Cuando esta efervescencia se controla por adición de un elemento reductor, se dice que el acero ha sido calmado.

El estabilizado es un caso especial que goza de las características de los dos anteriores.

Desde antiguo, los esmaltadores y fabricantes de fritas han experimentado que el acero calmado con aluminio no es útil para ser esmaltado, dada su facilidad para producir el defecto de golpe de uña; de ahí que el acero utilizado tradicionalmente para esmaltar sea el efervescente y esté establecido el parangón de:

- acero efervescente o estabilizado = esmaltable.
- acero calmado con aluminio = no esmaltable.

Esta prevención frente a los aceros calmados es manifestada siempre por los esmaltadores como sorpresa cuando se les ofrece un acero calmado de colada continua sin problemas de esmaltación.

Razones económicas forzaron hacia una producción del acero menos costosa, tal como la que se obtiene

mediante el proceso de colada en continuo, evitándose el paso por lingote.

Esta nueva técnica de colada, que es aplicable a la obtención de aceros calmados, desarrollados básicamente para conseguir buenas embuticiones (aceros de bajo carbono calmados con aluminio) y que dan lugar a productos no esmaltables, no puede aplicarse a los aceros efervescentes (esmaltables).

Hay, pues, razones económicas muy fuertes para desear que el acero calmado de colada continua sea esmaltable; pero para que esto sea asimilado por todos es necesario conocer los cambios que se han introducido para que así suceda.

3.1. Diferencias entre acero calmado y efervescente respecto al golpe de uña

En el proceso de fabricación, que se resume en la fig. 1, las diferencias entre aceros efervescentes y calmados, desde el punto de vista de su esmaltabilidad, sin considerar aspectos básicos para otras propiedades, como por ejemplo embutición y envejecimiento, empiezan a apreciarse en la etapa de solidificación del acero líquido.

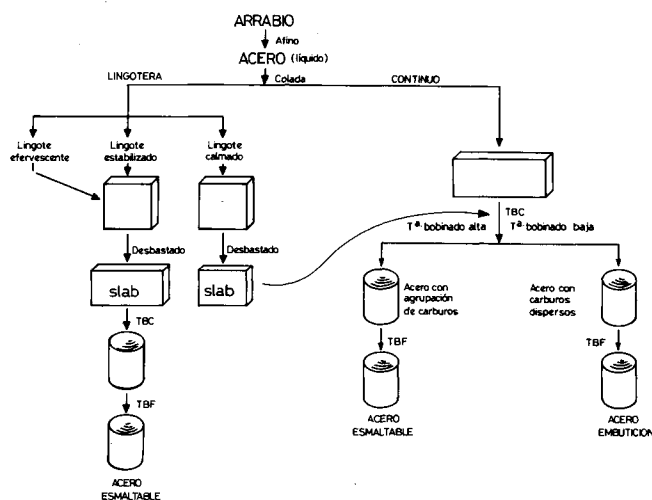


Fig. 1.—Proceso de fabricación de aceros.

En los aceros no calmados (efervescentes), el oxígeno reacciona con el carbono de la masa fundida, colada en coquilla, formando óxidos de carbono que se separan produciendo un movimiento tumultuoso del baño (efervescencia). Consecuencia de este movimiento es que las impurezas de elementos de licuación tales como azufre, fósforo, etc., se eliminan de la capa de hierro que va solidificando y se concentran en el centro y cabeza del lingote (la cabeza se elimina por despunte en el tren desbastador).

Se obtiene así una distribución formada por una zona exterior o piel ferrítica muy limpia y un núcleo rico en elementos de licuación, la cual se mantiene durante los procesos posteriores de laminación.

Las impurezas juegan un papel muy importante, pues al dejar huecos y distorsionar la red de hierro, permiten que sea retenido el hidrógeno atómico que tiende a difundirse en el hierro, dando lugar al pase del mismo a

molecular y dificultando su difusión debido a su mayor tamaño.

En los aceros calmados con aluminio, al fijar este elemento el oxígeno, no tiene lugar la efervescencia y, por tanto, la masa fundida solidifica sin que haya segregación de las impurezas hacia el núcleo del lingote, obteniéndose un acero de composición homogénea en toda su masa y, por consiguiente, menor concentración localizada de impurezas, con el resultado de no llegar a constituir una barrera importante al paso del hidrógeno.

Otros factores influyen también sobre la permeabilidad del hidrógeno. Por ejemplo, los aceros de colada continua para altas embuticiones exigen que, al finalizar el laminado en caliente, se enfríe el acero rápidamente hasta una temperatura de bobinado lo suficientemente baja como para asegurar una fina distribución de los carburos y lograr que las partículas de nitrógeno de aluminio queden atrapadas en solución sólida. Durante el laminado en frío, los nitruros precipitan y actúan como reguladores del crecimiento del grano durante el recocido posterior, consiguiéndose la estructura alargada («pancake»), bien diferenciada de la estructura de chapa efervescente.

La agrupación de impurezas y la estructura del acero son dos factores que modifican la permeabilidad del acero al hidrógeno.

Existen, pues, unos condicionantes en el acero de colada continua que se dan en forma distinta que en el efervescente, sobre los que ha sido necesario actuar para lograr que la colada continua sea esmaltable.

3.2. Aceros de colada continua aptos para esmaltación

Para aumentar la resistencia al golpe de uña es claro que hay que disminuir la permeabilidad del acero al hidrógeno.

El modo de conseguirlo es modificando su estructura, creando barreras o trampas, donde el hidrógeno atómico pueda recombinarse en hidrógeno molecular y, al aumentar su tamaño, perder facilidad de difusión.

Las trampas o microcavidades pueden ser de naturaleza muy diversa y se pueden crear a lo largo del proceso de fabricación de la chapa de acero:

- a) Durante la elaboración del mismo, aumentando las inclusiones no metálicas (fig. 2) o mediante la adición de elementos, como el Ti, con gran afinidad para el hidrógeno.
- b) Durante el laminado en caliente, formando por coalescencia carburos de gran tamaño al bobinar a temperaturas elevadas.
- c) Durante el laminado en frío por formación de microcavidades y dislocaciones al fragmentar los duros pero frágiles carburos (fig. 3).

La influencia que la temperatura de bobinado en el laminado en caliente, el grado de reducción en frío y la composición química tienen en las condiciones para lograr una buena esmaltabilidad son:

- El aumento de la temperatura de bobinado mejora significativamente la resistencia al golpe de uña, como denotan los aumentos de los tiempos de paso del hidrógeno recogidos en toda la literatura

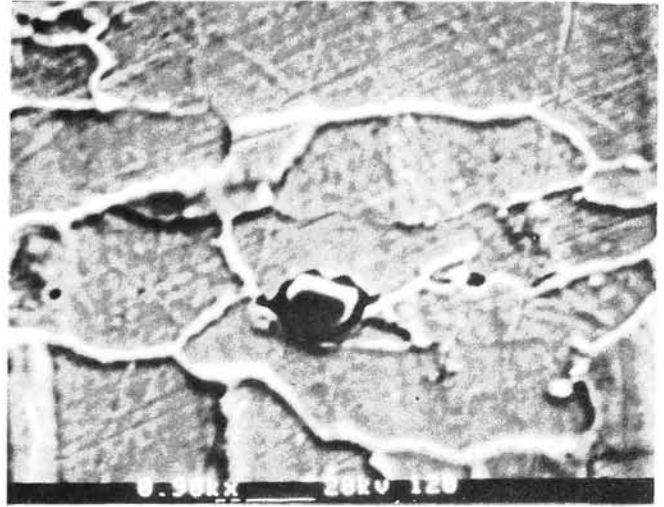


Fig. 2.—Microcavidad producida por inclusiones no metálicas (alúmina).

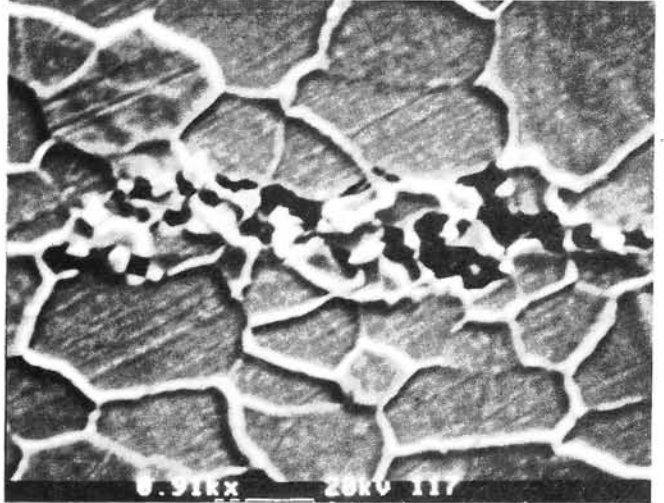


Fig. 3.—Microcavidades originadas por fragmentación de carburos.

al respecto y confirmados en nuestra experiencia (fig. 4), aunque el aumento de la temperatura de bobinado va en detrimento de la embutibilidad, circunstancia claramente reflejada por la disminución del coeficiente de anisotropía r (fig. 5).

—Aumentando el grado de reducción en frío aumenta el valor t/d^2 , independiente de la temperatura de bobinado, obteniéndose un aumento de 2 a 4 minutos en el tiempo de paso del hidrógeno al aumentar la reducción entre un 55% y un 70%. Esta mejora es debida a que el incremento en la reducción produce mayor número de microcavidades por rotura de carburos y una estructura de grano más fina, aumentando la superficie intergranular, lo que dificulta la difusión del hidrógeno.

La estructura del grano de las chapas laminadas en frío de acero bobinado a temperaturas altas presenta una forma intermedia entre la alargada tipo «pancake» del acero calmado de baja temperatura

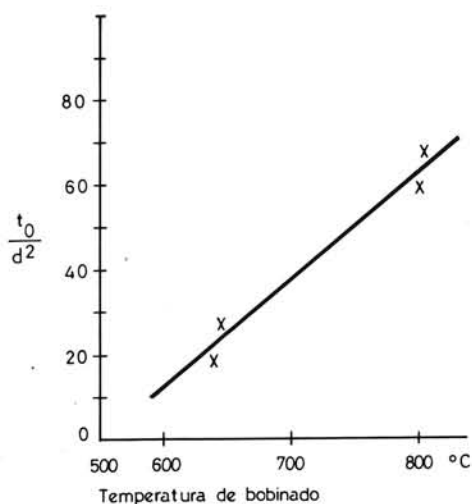


Fig. 4.—Relación temperatura de bobinado/permeabilidad al hidrógeno.

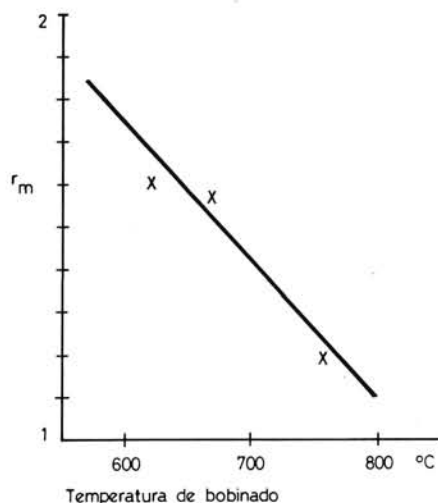


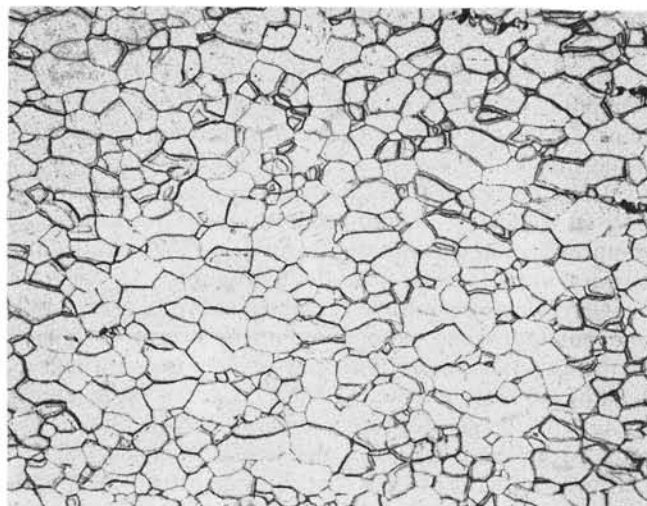
Fig. 5.—Relación temperatura de bobinado/coeficiente de anisotropía.

de bobinado y la globular del efervescente, como puede apreciarse en la figura 6.

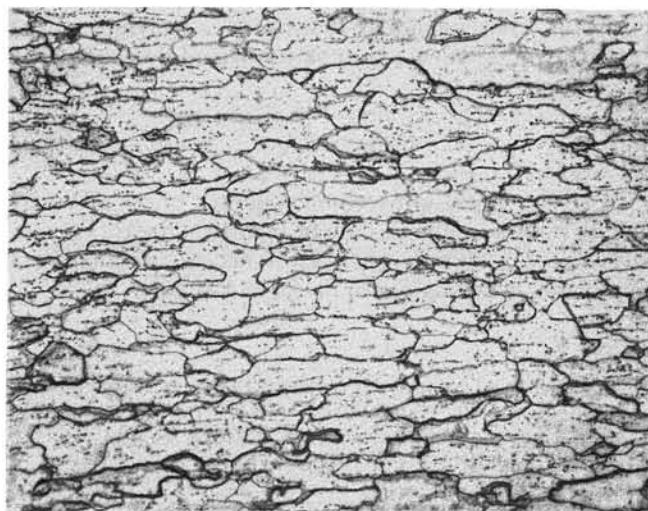
- Pequeñas cantidades de silicio, en aceros calmados con aluminio, mejoran la resistencia al golpe de uña, al actuar sobre el contenido y forma de las inclusiones no metálicas y producir distorsiones reticulares por diferencias entre su radio iónico y el del hierro.

Elementos químicos que están en muy pequeña proporción en el promedio del acero, como el Cu, Ni, Sn, As, al tener menor afinidad por el oxígeno que el hierro, se concentran en la superficie del acero, afectando al decapado y niquelado. Así, el Cu, por ejemplo, disminuye el desmonte del decapado, aumentando la tasa de níquel.

Se observa, pues, que tomando medidas adecuadas en la fabricación de la chapa (temperaturas de bobinado altas y mayores reducciones en el laminado en frío), se obtienen aceros calmados con permeabilidad al hidrógeno reducida (tabla 1).



A) Para esmaltar



B) Para embutición

Fig. 6.—Estructura granular de aceros de colada continua.

La utilización de estos aceros, una vez razonada la causa del mito de su no esmaltabilidad y superado el temor al golpe de uña, conlleva otras mejoras:

- En prensas, por ser resistentes al envejecimiento y uniforme en las propiedades mecánicas a lo largo y ancho de la chapa.
- En el acabado superficial del esmaltado, a causa de su homogeneidad en la composición química de que la limpieza de inclusiones en la piel aminora defectos como «puntos negros», «burbujas», «lunas», etc., que suelen aparecer en el acero de lingote.

Se comprueba que existen dos tipos básicos de aceros de colada continua, casi idénticos, uno tratado pensando sólo en embuticiones (no apto para esmaltar) y otro tratado de forma diferenciada del anterior (apto para la esmaltación).

TABLA I
PERMEABILIDAD AL HIDROGENO Y SUSCEPTIBILIDAD AL GOLPE DE UÑA DE CHAPAS DE ACERO LAMINADAS EN FRIO

CLASE DE ACERO	Susceptibilidad al golpe de uña	Permeabilidad al Hidrógeno $\text{cm}^2/\text{s} \cdot 10^4$
Efervescente	No	0,3 — 1,3
Calmado, con alta temperatura de bobinado	No	0,4 — 1,5
Desgasificado al vacío y calmado con Ti	No	0,7 — 1,6
Estabilizado	Muy baja	1,0 — 2,0
Calmado	Alta	1,5 — 3,0

Existe la corroboración de un número significativo de esmaltadores que están usando sin problemas de esmaltación la chapa de colada continua.

Como se ha indicado anteriormente, los cambios en el proceso de fabricación para conseguir hacer esmaltables los aceros calmados con aluminio, conllevan una cierta pérdida en sus características de embutibilidad, siendo válidos para piezas que requieran pequeñas y medianas embuticiones. Para los casos en que se precise un alto

grado de embutición, existe la posibilidad de utilizar aceros I.F. («interstitial free») desgasificados al vacío y calmados con titanio, de mayor coste y cuya técnica para superar el defecto de golpe de uña es totalmente distinta a la desarrollada para los calmados con aluminio, ya que fijan el hidrógeno por formación de hidruros de titanio.

Puede, pues, concluirse que la esmaltabilidad de la chapa de colada continua ya no es un mito sino una realidad práctica.

EL VIDRIO

CONSTITUCION, FABRICACION, PROPIEDADES

por José M.^a Fernández Navarro



Precio: 5.500 Ptas.

Edit. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
Madrid 1985

XXVI + 667 págs.; 357 figs.; 1117 refs.

Formato 26 x 17,5 cm.

El presente libro es un tratado general sobre el vidrio, en el que su estudio se aborda tanto desde el punto de vista de su constitución estructural como en lo que se refiere a su fabricación, a sus características y a su comportamiento. A lo largo de toda la obra se expone con criterio científico el estado actual del conocimiento sobre este material, basado en una cuidadosa labor crítica de selección y de revisión bibliográfica que compendia más de un millar de referencias.

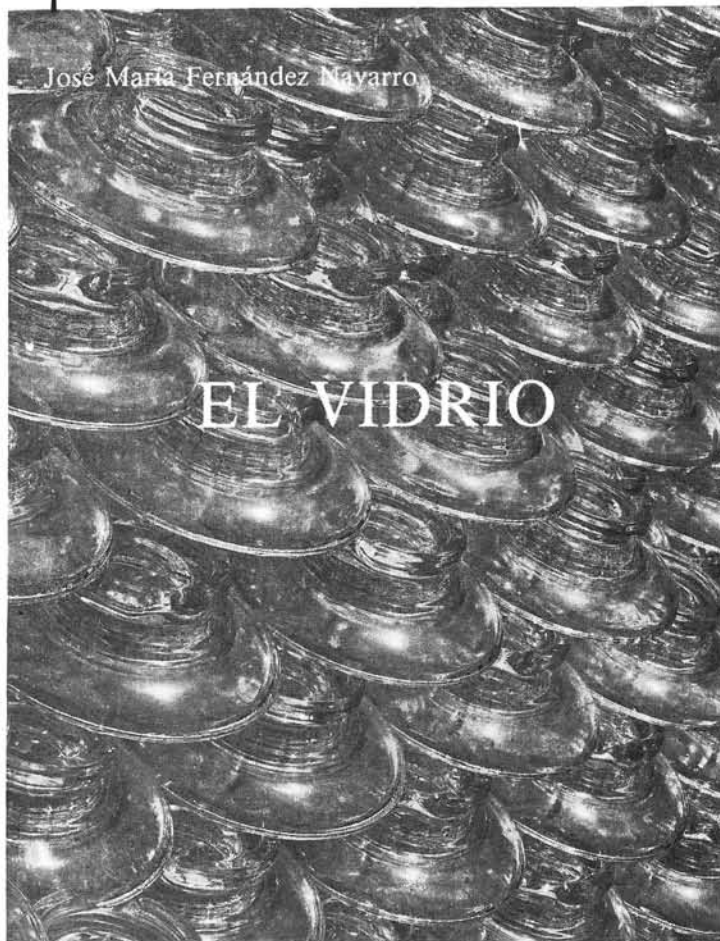
El libro está dividido en cuatro partes bien diferenciadas. La primera consiste en una amplia introducción histórica, en la que se describe la evolución del vidrio y el papel artístico y funcional, o científico y tecnológico que socialmente ha desempeñado en distintas épocas y lugares.

En la segunda parte, dedicada a la constitución de los vidrios, se exponen los principales modelos y teorías sobre su estructura, los diferentes criterios propuestos para explicar la vitrificabilidad, y el proceso de desvitrificación.

La tercera parte trata de los fundamentos de la fabricación del vidrio. Tras un capítulo inicial dedicado a las materias primas y a las condiciones que éstas deben satisfacer, se estudian desde el punto de vista fisicoquímico, y siguiendo un orden secuencial, las distintas etapas que componen el proceso de elaboración del vidrio hasta llegar a su conformación y enfriamiento. Esta parte se complementa con un extenso capítulo sobre defectos de fabricación y con otro especial dedicado a la preparación de vidrios a partir de geles.

La cuarta parte se ocupa con gran extensión de las principales propiedades del vidrio, tales como viscosidad, tensión superficial, densidad, dilatación, propiedades térmicas, mecánicas, ópticas, eléctricas, magnéticas y químicas. Siguiendo una misma sistemática, en cada una de ellas se estudia su fundamento, la influencia que ejercen distintos factores, los métodos empleados para su medida y algunas de sus aplicaciones prácticas.

Si por su estructuración y por su enfoque didáctico podría considerarse como un libro de texto recomendable para los estudiantes que deseen familiarizarse con el vidrio, la amplitud y la variedad de su contenido hacen de él una obra de consulta y de interés para cuantos se dedican al estudio de los materiales y, particularmente, para todos aquéllos cuya actividad profesional está relacionada con el vidrio, bien sea en el campo científico o bien en el sector industrial de su fabricación, de su transformación o de su utilización.



José María Fernández Navarro

EL VIDRIO

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
INSTITUTO DE CERÁMICA Y VIDRIO

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCION HISTORICA

1. Evolución del vidrio a través de los tiempos.
 - 1.1. El uso del vidrio natural.
 - 1.2. El vidrio en la Edad Antigua.
 - 1.3. El vidrio a partir de la época medieval.
 - 1.4. El vidrio a partir del siglo XVII, su evolución tecnológica y su contribución a la Ciencia.

II. CONSTITUCION DE LOS VIDRIOS

2. El estado vítreo y la estructura de los vidrios.
 - 2.1. Características del estado vítreo.
 - 2.3. Cristaloquímica del vidrio.
 - 2.4. Estructura del vidrio.
 - 2.5. Desvitrificación o cristalización del vidrio.

III. FUNDAMENTOS DE LA FABRICACION DEL VIDRIO

3. Materias primas para la fabricación del vidrio.
 - 3.1. Vitrificantes.
 - 3.2. Fundentes.
 - 3.3. Estabilizantes.
 - 3.4. Componentes secundarios.
 - 3.5. Otros componentes.
 - 3.6. Formas de expresión de la composición de los vidrios.

4. El proceso de elaboración del vidrio.
 - 4.1. Reacción de los componentes y formación del vidrio.
 - 4.2. Disolución del excedente de sílice.
 - 4.3. Afinado y homogeneización del vidrio.
 - 4.4. Reposo y acondicionamiento térmico.
 - 4.5. Procedimientos de conformación y moldeo del vidrio.
 - 4.6. Enfriamiento y recocido del vidrio.
5. Defectos del vidrio.
 - 5.1. Definición y clasificación.
 - 5.1. Defectos de masa o de fusión.
6. Preparación de vidrios a partir de geles.

IV. PROPIEDADES DE LOS VIDRIOS

7. Consideraciones generales sobre las propiedades.
8. Viscosidad.
9. Tensión superficial.
10. Densidad.
11. Dilatación térmica.
12. Resistencia al choque térmico.
13. Propiedades térmicas.
14. Propiedades mecánicas.
15. Propiedades ópticas.
16. Propiedades eléctricas.
17. Propiedades magnéticas.
18. Propiedades químicas.

Los pedidos pueden dirigirse a: SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CERÁMICA Y VIDRIO
Ctra. Valencia, km. 24,300 - ARGANDA DEL REY (Madrid) ó
Distribuidora de Publicaciones del C.S.I.C., Vitruvio, 8 - 28006 Madrid