

Estudio de los aceros navales de alta resistencia en las condiciones de Cuba

Autor : Dr en Ciencias Técnicas J. I. Vinageras Hernández.
CIDNAV. Cuba

RESUMEN

En el presente trabajo se describe el proceso de investigación realizado para evaluar el comportamiento corrosivo de aceros navales. Los aceros se evalúan para las condiciones de Cuba. En las pruebas se tuvo en cuenta la diferencia de comportamiento en las diferentes zonas del casco. Se determinó la velocidad de corrosión de los aceros y se evaluaron las características del acuatorio nacional.

INTRODUCCIÓN.

El tema de este trabajo forma parte del Programa de Investigación y Desarrollo Naval para el país.

La necesidad de desarrollar este trabajo esta dada por la existencia de un problema objetivo que limitaba el programa de desarrollo naval en el país. Las dificultades estaban dadas, por la imposibilidad de adquirir los aceros soviéticos, tradicionalmente utilizados, y comenzar a utilizar los aceros existentes en el mercado internacional.

La investigación se limitó al estudio de los aceros navales clasificados en la Norma AISI 131

Los trabajos investigativos fueron desarrollados con el objetivo de obtener datos estadísticos y premisas fundamentales para la selección de nuevos materiales de construcción, y para la posterior elaboración de recomendaciones para la protección anticorrosiva de las nuevas embarcaciones.

Los métodos de investigación utilizados fueron los siguientes:

- El análisis, con enfoque sistémico del objeto de investigación.
- El método empírico, con mediciones realizadas en probetas tomadas del material seleccionado.

El aporte del trabajo radica en que los datos estadísticos obtenidos sobre las propiedades mecánicas y el comportamiento corrosivo del acero naval de alta resistencia en las condiciones de Cuba, y permiten la elaboración de recomendaciones para su utilización y para la protección anticorrosiva de las nuevas embarcaciones, equipos y medios navales.

El análisis económico realizado demostró que esta investigación, a pesar de sus altos costos, resulta rentable de acuerdo a los planes de desarrollo de la construcción naval.

Estos resultados han sido utilizados en la práctica. Son aplicables en la economía nacional en la construcción naval y en la selección de materiales y protección del casco de los buques.

1. INVESTIGACIÓN TEÓRICA.

Para resolver los problemas de investigación de los criterios de seguridad, la selección del material fue necesario realizar un análisis multilateral de los factores relacionados con la selección del material.:

El estudio de los *factores relacionados con la selección del material y su influencia en la resistencia de las estructuras*, se dividió en: factibilidad económica, factibilidad técnica, y factibilidad tecnológica.

La *factibilidad económica* se determinó por las posibilidades de adquisición, con un precio razonable en el mercado internacional, del material seleccionado.

La *factibilidad técnica* se valoró por la resistencia mecánica del material, su tenacidad, y su resistencia a la corrosión.

El análisis *de la resistencia mecánica* condujo a las siguientes conclusiones:

- La factibilidad técnica de empleo de un material determinado es mayor, cuanto mayor sea su límite de fluencia.
- El coeficiente de reserva de resistencia mecánica del material se determina por acuerdo de los fabricantes

con las sociedades clasificadoras y no se publica. El valor de este coeficiente puede obtenerse como resultado del procesamiento estadístico de ensayos de tracción con probetas del material seleccionado.

Los principales *factores analizados en relación a las propiedades de resistencia a la corrosión del material* fueron:

1. La composición química del acero.
2. Las características corrosivas del medio, en la zona de explotación.
3. La zona del casco del buque en relación al medio corrosivo.
4. Características constructivas de los buques.
5. Métodos de protección anticorrosiva.

Como resultado del estudio se determinó, que era necesario determinar experimentalmente la velocidad de corrosión del material seleccionado, en cada una de las zonas de exposición. Esta tarea tuvo los siguientes objetivos:

- Comprobar que el material seleccionado cumple, en las condiciones de Cuba, las exigencias de corrosión establecidas para los aceros navales.
- Obtener los datos necesarios para la posterior selección del método más eficiente de protección superficial

La tenacidad del material resulta de vital importancia para las estructuras de los buques. Esto se explica, por la necesidad de soportar cargas de impacto y por la presencia de estados triaxiales de tensiones que surgen en las zonas de concentración de tensiones por grietas de corrosión y defectos en la soldadura.

El estudio de los métodos de evaluación de la tenacidad y de los factores metalúrgicos que más influyen en ella, permitió plantear, que los aceros designados para los nuevos proyectos de buques deben ser evaluados mediante los ensayos Charpy a temperatura de -40°C , cumplir las exigencias de tenacidad relacionadas con las restantes propiedades mecánicas, ser calmados, de grano afinado con Al, Nb, V, y haber recibido tratamiento térmico de normalizado.

Relacionado con *las propiedades tecnológicas del material* es conocido, que los aceros calmados, de grano fino, con bajo contenido de carbono equivalente ($C_{eq} < 0.45$) poseen satisfactorias cualidades de corte, doblado y soldadura y conformado.

Sobre la base del análisis de los factores mencionados, se realizó el estudio de las características de los aceros que se importan y se ofertan a nuestro país en el mercado internacional.

A partir de los datos especificados en las normas, se calcularon los parámetros de tenacidad, y el coeficiente de carbono equivalente. Se seleccionaron aquellos que cumplían las exigencias necesarias. Utilizando el método de comparación, se estimó por la composición química, el cumplimiento de las exigencias tecnológicas y de resistencia a la corrosión.

2. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.

La investigación se dividió en los siguientes grupos:

Primer grupo: Ensayo de las propiedades físico - químicas y mecánicas del material.

Segundo grupo: Ensayos de resistencia a la corrosión del material en las condiciones de la zona de explotación.

En la planificación de los ensayos se aplicaron los siguientes principios:

- Aplicación al máximo posible de normas nacionales e internacionales reconocidas.
- Realización del número mínimo necesario de pruebas.
- Utilización de instrumentos de medición debidamente verificados y acorde al rango de magnitudes a medir.
- Cooperación con instituciones especializadas.
- Control de la veracidad y reproducibilidad de los resultados.
- Control económico de los recursos.

En los ***ensayos de las propiedades mecánicas del material*** se efectuaron las siguientes pruebas:

- Ensayos de tracción con probetas planas de longitud base igual a 200 mm.
- Ensayos de impacto. (Prueba Charpy "V", a temperatura de -40°C .)
- Determinación de la composición química.
- Ensayos de doblado.
- Análisis de la composición química del material.

- Ensayos de corrosión bajo tensiones.

El análisis de los datos estadísticos obtenidos del procesamiento de los resultados experimentales mostró como las propiedades mecánicas cumplen las exigencias establecidas. La probabilidad relativa de que se incumplan las normas establecidas es inferior a 0.1.

Con estos datos se calculó el coeficiente de tolerancia de los valores normativos. Se comprobó que los aceros seleccionados cumplen las exigencias mecánicas establecidas.

Para el Límite de Fluencia del acero EH-36 el coeficiente de reserva es : $K_{Re} = 1.289$.

Para el Límite de Fluencia del acero Grado D el coeficiente de reserva es : $K_{Re} = 1.345$.

En el *análisis de la composición química* se compararon los valores obtenidos con los valores normalizados. El contenido en % de los elementos de la composición química, y el valor del carbono equivalente (C_{eq}) se ajusta a las exigencias establecidas. Para el acero EH 36 se obtuvo que $C_{eq} = 0.42$. Esto indica buenas propiedades de soldabilidad.

Los ensayos de doblado no mostraron fisuras en ninguna de las muestras.

En los ensayos de la resistencia a la corrosión del material en las condiciones de Cuba, las pruebas se dividieron en los siguientes grupos:

- Determinación de la cinética de corrosión de probetas sumergidas en el mar.
- Determinación de la cinética de corrosión de probetas expuestas en atmósfera marina cercana a la superficie del agua y en presencia de salpicaduras.
- Evaluación del comportamiento corrosivo en zona de cambio de marea.
- Evaluación del comportamiento corrosivo con probetas previamente tensionadas.

Los datos se tomaron de mediciones realizadas por un período de 25 meses. En los resultados obtenidos se observó como, a partir de los 3 meses de exposición sumergido, la velocidad de corrosión se estabiliza. Este fenómeno se repite a partir de los 9 meses en los ensayos atmosféricos.

En las probetas tensionadas la longitud de las grietas de fatiga no supera los valores críticos calculados por normas internacionales demostrando una buena resistencia a la rotura frágil de los aceros utilizados. Se utilizaron probetas tensionadas en forma de herradura y probetas con concentradores tipo "V". Se compararon los resultados obtenidos en condiciones atmosférica, sumergidas en agua salada, y sumergidas en solución de ácido sulfúrico.

CONCLUSIONES

El estudio completo del comportamiento de los aceros navales en las condiciones de Cuba y su adecuación a las distintas zonas del buque, permitió obtener los datos necesarios para la selección de los métodos más apropiados de protección anticorrosiva y la justificación de los valores de reserva de corrosión que se introducen en los cálculos y diseños.

Recomendamos realizar estudios similares para los métodos de protección propuestos y evaluar las particularidades constructivas y tecnológicas para determinar la influencia de la corrosión intersticial en los nuevos proyectos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. **Alonso, J.A.** "Conferencias sobre metalurgia aplicada a la construcción naval." IPIN. Cuba. 1996.
2. **Anderson, T.L.** "Fracture Mechanics. Fundamentals and Applications." Ph. D. Department of mechanical Engineering. Texas. 1995.
3. **AWS Code.** "Código para la soldadura de estructuras de acero." 1991.
4. **BS 5762.** Methods for Crack Opening Displacements. 1996.
5. **DIN 50049.** Ensayos mecánicos de los metales ferrosos y sus aleaciones. 1993.
6. **EN 10204.** Ensayos mecánicos de los metales. 1993.

7. **Faulkner, D.**, "Toward a unified approach to ship structural safety ." RINA. 1979.
8. **GOST 17332 - 91**. Ensayos de metales a la corrosión. (En ruso.) 1991.
9. **Hertberg, Richard W.**, "Deformation and fracture mechanics of engineering materials. " John Wiley. N. Y. 1989.
10. **Hirohiko Emi, Masaaki Matoba.** "A new fatigue design guidance for ship structures. " IPEN Journal . No. 17 . Jan. 1996.
11. **ISO 7539. (1...7)**. Edic. 1, TC 17 /SC 10 . Corrosion of metals and alloys. 1991.
12. **Lloyd's Register**. Rules for the manufacture, testing and certifications of materials. 2000.
13. **Lyublinskovo, E.Y.** "Corrosión y protección de los buques. " Len. Sud. 1987.
14. **Rodríguez Nuñez, L., Corvo, F.**, "Informe del comportamiento corrosivo del aceros navales." CNIC. 1998. (Sin publicar.)
15. **Schumachen, M.** " Seawater corrosion handbook." N.Jersey. 1979.
16. **Takao Wade.** "Design of hull structures With wider scope." Ishikawajima - Harima Heavy Ind. IPEN Journal. Nov. 1992.