

04.79.02

CNEA-NT-8/79

1 1979

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DIRECCION DE INVESTIGACION Y DESARROLLO
GERENCIA DE DESARROLLO- DTO. MATERIALES

ANALISIS DE FALLAS DE ESPARRAGOS DE CARCAZA
DE BOMBA DE AGUA

ANTONIO F. IORIO

JUAN C. CRESPI

Buenos Aires-Argentina

Marzo 1979

ANALISIS DE FALLAS DE ESPARRAGOS DE CARCAZA DE BOMBA DE AGUA

INTRODUCCION

La carcaza de la bomba de agua de refrigeración principal de la Central Nuclear de Atucha termina en una brida la cual está unida al cuerpo de la bomba mediante 16 espárragos de acero inoxidable austenítico tipo 1.4550.

Durante el funcionamiento se detectó la falla como rotura total de los 16 espárragos previamente mencionados.

El propósito de este trabajo ha sido determinar las causas que provocaron la rotura de dichos espárragos para poder establecer las adecuadas condiciones de diseño para evitar tales fallas.

MATERIAL Y CONDICIONES DE SERVICIO

Las dimensiones de los espárragos están indicadas en el esquema de la Fig. 1.

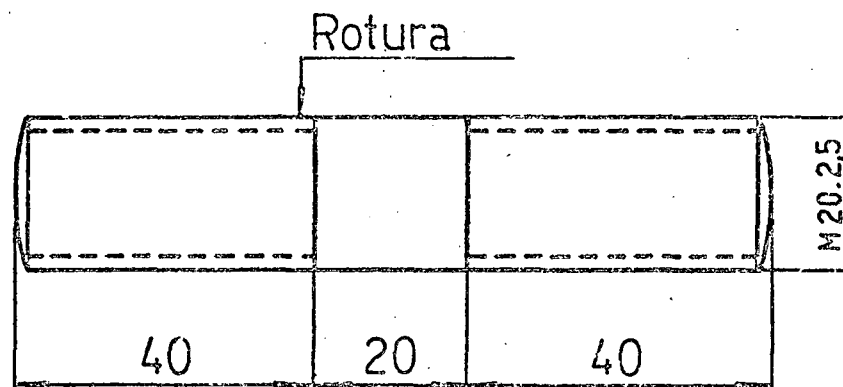


Fig. 1

La composición química del acero inoxidable austenítico se da en la Tabla 1, siendo la dureza de HRc 29 y el tamaño de grano se ha determinado corresponder a ASTM 6.

C	0,04	Mo	0,15
Mn	1,43	Cu	0,05
Si	0,37	Co	0,13
P	0,027	Nb	0,03
Cr	17,5	Ti	0,02
Ni	10,6	Ta	0,0001
		Fe	balance

Tabla 1. Composición química del acero 1.4550 (tipo AISI 347)

El agua del Río Paraná a temperatura ambiente ha sido el medio con el cual se hallaban en contacto los espárragos, su composición química se da en la Tabla 2.

	Mín.	Máx.	
Temperatura	7	28	°C
Material en suspensión y sedimentado	231	498	mg/l
Conductividad a 25°C	145	174	us/cm
pH a 25°C	7,2	7,4	
Dureza por carbonatos +m	3,05	3,98	mg/l
Residuo por evaporación a 180°C	350	599	mg/l
Residuo por calcinación	210	449	mg/l
Aerosoles	114	302	mg/l
Partes orgánicas	24,0	30,8	mg/l
CO ₂ libre		0,1	mg/l
Manganeso		0,1	mg/l
Hierro	6,48	10,37	mg/l
SiO ₂	12,1	15,35	mg/l
Oxígeno O ₂	6,2	6,5	mg/l
Cobre	0,001	0,007	mg/l
Cationes: Ca	0,06	0,07	meq/l
Mg	0,10	0,12	meq/l
Na	1,3	1,7	meq/l
K	3.10 ⁻⁵	5,6.10 ⁻⁵	meq/l
NH ₃	0,005	0,012	meq/l
Aniones: Cl	0,10	0,17	meq/l
SO ₄	0,20	0,35	meq/l
PO ₄	0,0028	0,0064	meq/l

Tabla 2.

El estado aproximado de sollicitación a que estuvieron sujetos los espárragos ha sido el siguiente:

- a) la sollicitación principal es tracción, ésta ha sido del orden de la tensión de fluencia del material .
- b) cargas cíclicas pueden estar originadas por el movimiento de rotación de la bomba , su velocidad de rotación es de 450 rpm.
- c) no existe una tensión prederminada de ajuste de las tuercas de dichos espárragos ni arandelas elásticas.

ESTUDIO MACRO Y MICROFRACTOGRAFICO

Si bien una observación macroscópica puede a menudo caracterizar como frágil o dúctil la fractura de un sólido, la confirmación debe ser obtenida mediante un examen microfractográfico. Al mismo tiempo este examen puede brindar:

- a) información acerca del modo de fractura, intergranular o transgranular.
- b) información acerca del mecanismo de fractura, el cual puede en líneas generales identificarse como 1) involucrando ruptura plástica (coalescencia de microcavidades), 2) involucrando clivaje.
- c) información acerca del efecto producido por las condiciones de servicio.

Examen macrofractográfico

En las Fig. 2 y 3 se muestran macrografías de las superficies de fractura de dos de los espárragos examinados. En éstas se

pueden apreciar características macroscópicas frágiles. Las fisuras se observaron siempre en la raíz del último filete. Una observación más detallada del resto de la rosca no reveló la presencia de otras fisuras.

La fisura se propagó en un plano perpendicular a la dirección de aplicación de la carga. La dirección principal de la propagación de la fisura ha sido indicada con una flecha. Otras fisuras han comenzado a propagarse en el mismo plano y en distintos puntos de iniciación sin llegar a alcanzar un tamaño importante.

La Fig. 2 muestra además una zona final de ruptura con grandes bordes de desgarramiento debido a la alta tensión aplicada con respecto a la tensión de iniciación y propagación.

Examen microfractográfico

Las microfractografías mostradas en las figuras 4, 5 y 6, corresponden a las muestras 1 (4a y 4b) y 2 (5a, 5b, 6a y 6b). El examen de las mismas ha permitido resumir las siguientes características:

- 1) el modo de la fractura es transgranular observándose ocasionalmente facetas de bordes de grano.
- 2) las estriaciones siguen en general la dirección de propagación de las fisuras.

El examen microfractográfico se ha realizado con un microscopio electrónico de barrido tipo JEOL.

De acuerdo a las condiciones de servicio, los mecanismos que pudieron operar para originar tales fallas podrían haber sido:

a) fatiga de alto número de ciclos, b) corrosión bajo tensiones.

Fatiga de alto número de ciclos.

Dado que el motor de la bomba gira a una velocidad de



Fig. 2

MACROFRACTOGRAFIA DE MUESTRA 1 ($\times 11$)

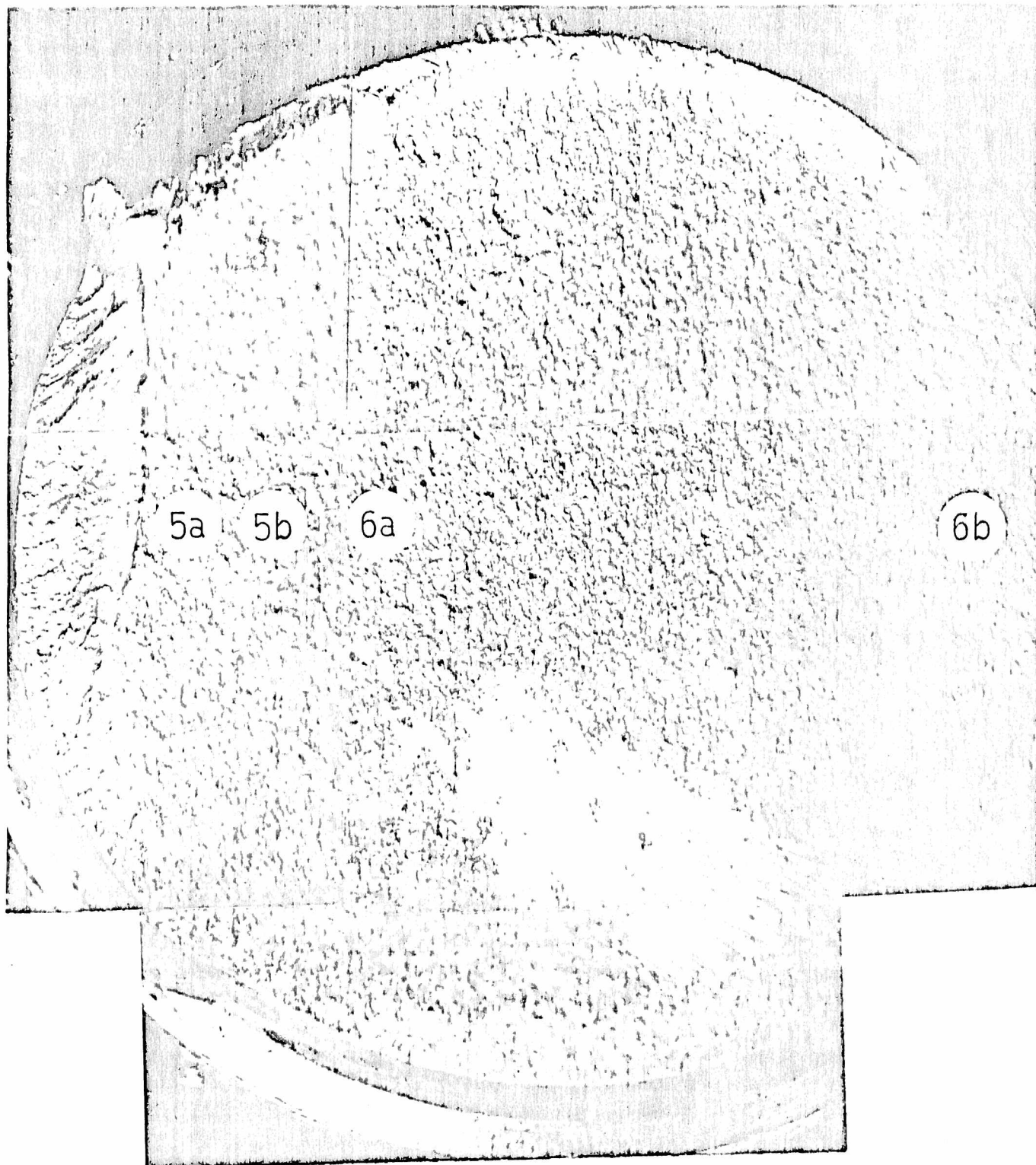


FIG. 3

MACROFRACTOGRAFIA DE MUESTRA 2 ($\times 11$)

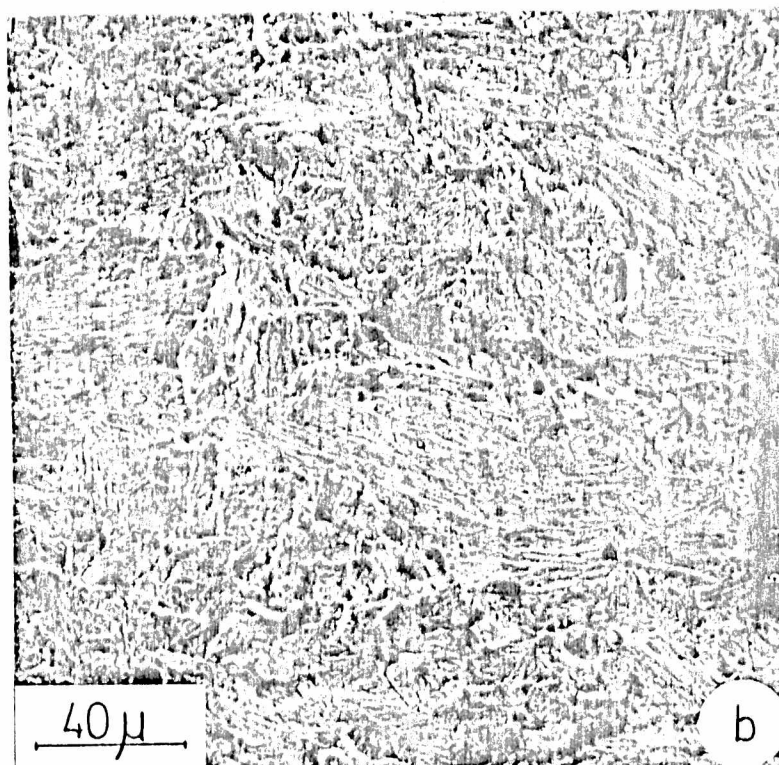
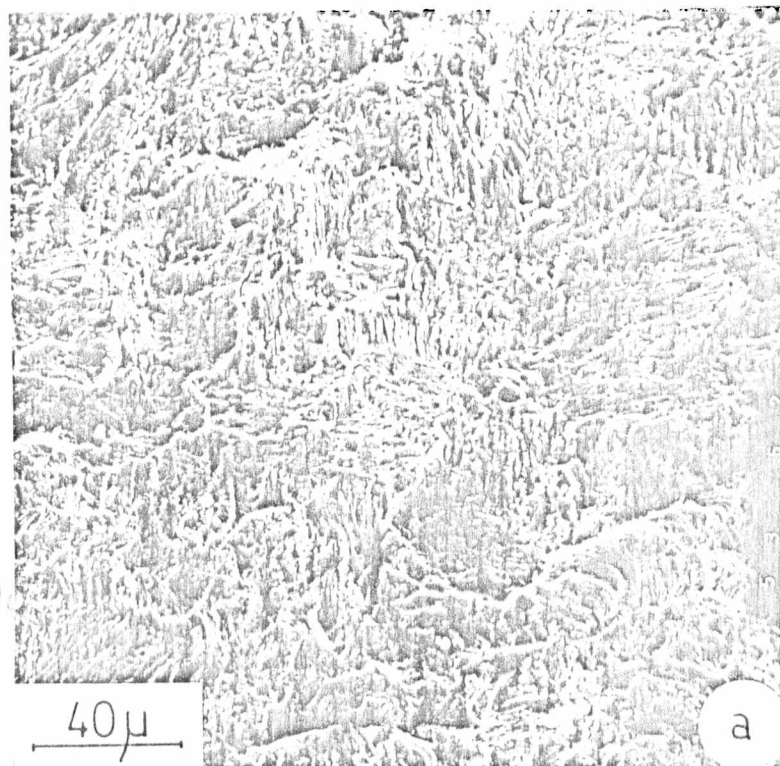


Fig. 4

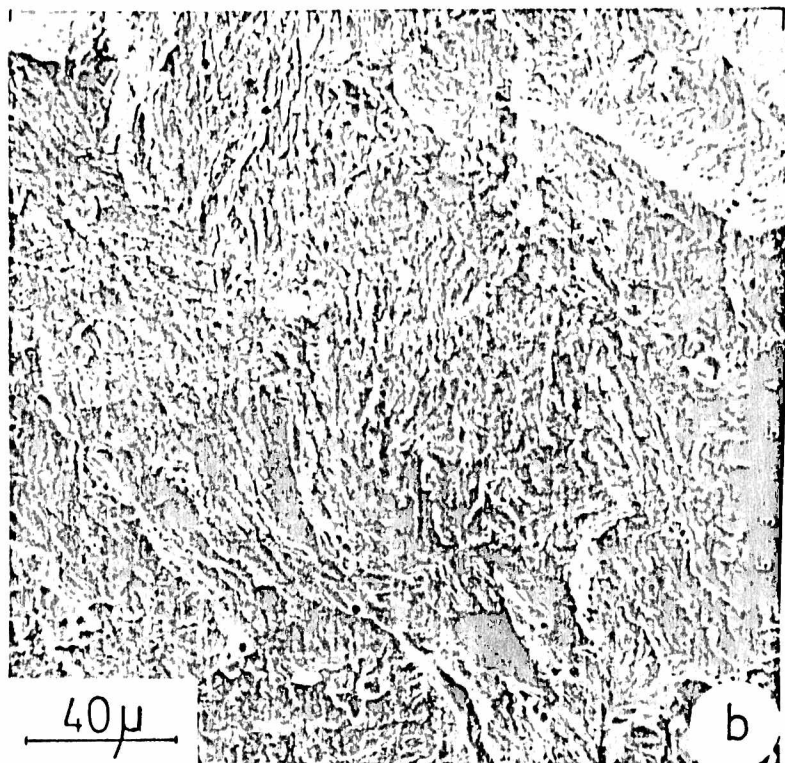
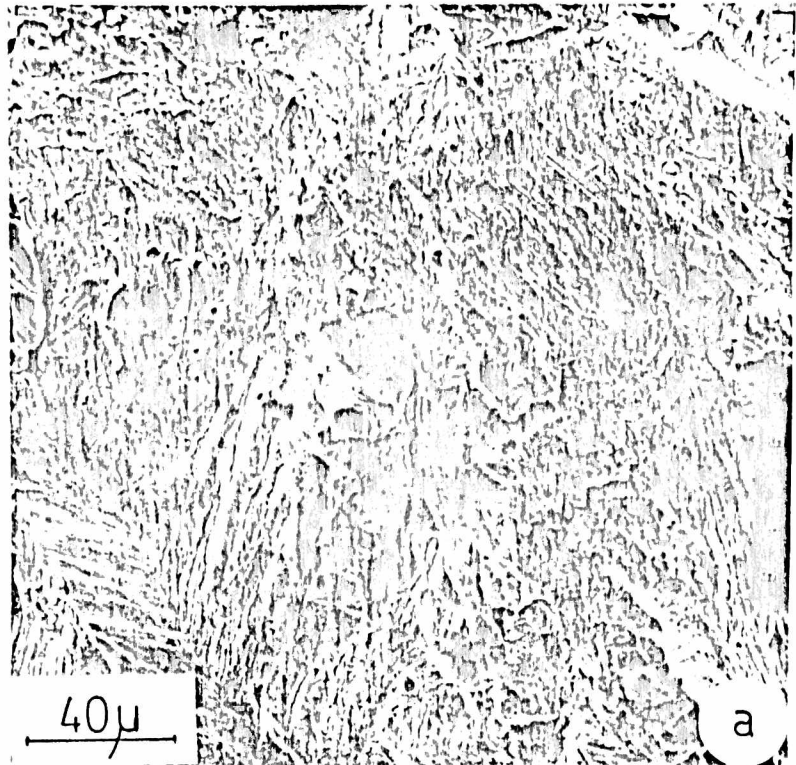


Fig. 5

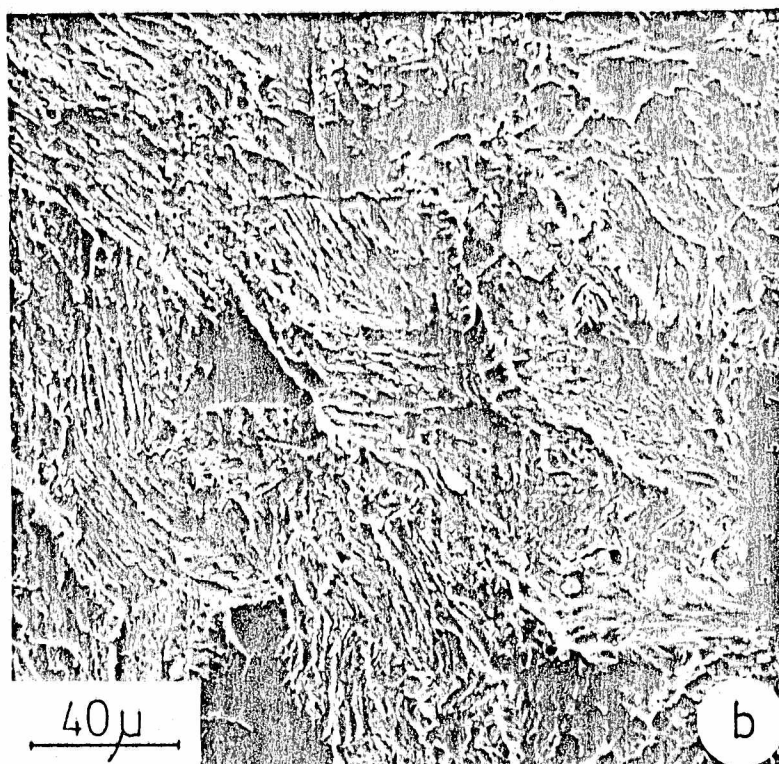
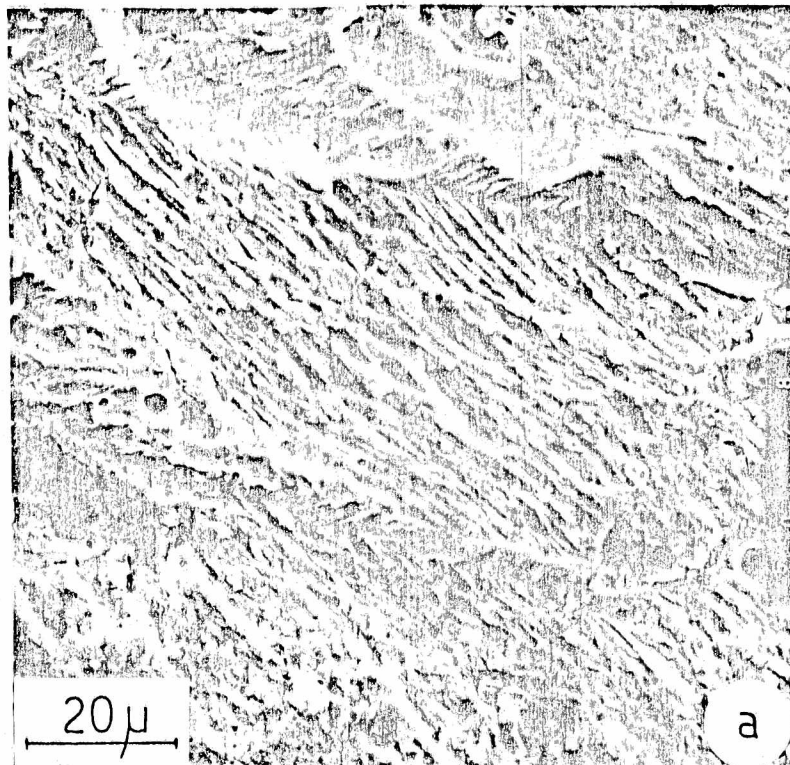


Fig. 6

450 rpm , los espárragos estarían sometidos probablemente a cargas cíclicas. Debido a ello se pensó al comienzo de éste análisis que uno de los mecanismos operativos para producir la fractura podría haber sido fatiga de alto número de ciclos. El examen microfractográfico permitió desechar esta hipótesis ya que las micrografías revelaron que las estriaciones observadas en las fracturas transgranulares de carácter frágil cambiaban de dirección en cada grano y además las mismas se observaron en general paralelas a la dirección de propagación. Como es sabido ambas características son diferentes en el proceso de fatiga, donde las estriaciones son en general perpendiculares a la dirección de propagación, componentes de deformación plástica se hallan presentes y marcas de playa macroscópicas y estriaciones microscópicas abarcan en general conjuntos de granos.¹

Por otra parte, las facetas planas presentes en las superficies de fractura transgranular no ha revelado la presencia de estriaciones de fatiga.

Corrosión bajo tensiones

Estudios microfractográficos realizados²⁻⁴ sobre corrosión bajo tensiones en aceros inoxidable austeníticos empleando como medio solución acuosa de Cl_2Mg a 150°C aproximadamente, han permitido definir las características generales de este tipo de fractura:

- 1) cuando el modo de esta fractura es transgranular las siguientes apariencias microfractográficas se distinguen: tipo aplumado, tipo helecho, estriadas y planas o aterrazadas.

- 2) en general se observa un progresivo ensanchamiento de la apariencia tipo aplumada en la dirección de propagación de la fisura.
- 3) las configuraciones de ríos que generalmente se observan en fracturas por clivaje, están también presentes en fracturas por corrosión bajo tensiones, constituyendo en este caso bordes de desgarramiento, siendo la cantidad de deformación plástica proporcional a la tensión aplicada normal al plano de propagación de la fisura.
- 4) la apariencia de la fractura llega a hacerse más plana debido a que la nucleación múltiple de la fisura se va suprimiendo. A medida que las fisuras encuentran obstáculos en su camino como por ejemplo, límites de grano o macías, la renucleación sólo ocurrirá si la desorientación cristalográfica es suficiente como para provocar el arresto de la fisura.
- 5) generalmente en corrosión bajo tensiones las estricciones formadas no son perpendiculares a la dirección de propagación macroscópica de la fisura.

El examen microfractográfico ha revelado características semejantes a las detalladas en los puntos anteriores; por lo cual se concluye que el mecanismo principal de fractura de los espárragos fué corrosión bajo tensiones.

CALCULO DEL TORQUE MAXIMO APLICADO A LAS TUERCAS

Debido a que las condiciones del medio, ambiente no pueden ser alteradas, resta únicamente fijar la tensión a la cual van a estar sujetos los espárragos. Dicha tensión se puede calcular

a partir de la tensión umbral de propagación de la fisura.

Según datos tomados de la literatura⁵ para aceros inoxidables austeníticos del tipo 1.4550 el límite inferior de este umbral sería del orden de 17 Kg/mm^2 .

Por otra parte, como ha quedado demostrado que esta tensión umbral depende del valor de las tensiones residuales tensiles existentes en el material como consecuencia del trabajado mecánico o del tratamiento térmico, dicho valor se obtuvo de muestras donde tales tensiones residuales han sido eliminadas previo a la realización de los ensayos.

Redondeando la raíz del filete lo máximo que permitan las roscas ya existentes y estimando para este perfil un factor concentrador de tensiones del orden de 2, la tensión umbral se reduce a $8,5 \text{ Kg/mm}^2$.

Tomando un coeficiente de seguridad de 2 sobre el valor de la tensión anteriormente indicada, ésta quedaría reducida a $4,25 \text{ Kg/mm}^2$. El peso de la carcasa introduce tensiones del orden de $1,5 \text{ Kg/mm}^2$ por lo cual el valor final de la tensión de ajuste es de $2,75 \text{ Kg/mm}^2$.

Calculando el torque máximo a ser aplicado a las tuercas por medio de la siguiente expresión:⁶

$$T = \frac{F_a p}{2 \pi} \left[1 + \frac{f}{\sin \alpha (\cos \theta - f \sin \alpha)} + \frac{f_c \pi D_c}{p} \right]$$

donde:

$$\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \phi + \operatorname{tg}^2 \alpha}}$$

F_a : carga axial

- p : paso de rosca
 f : coeficiente de fricción
 α : ángulo de rosca al diámetro medio
 ϕ : $\frac{1}{2}$ del ángulo de rosca
 θ : ángulo entre la normal a la superficie de rosca
 y una línea paralela al eje
 f_c : coeficiente de fricción en el cuello de la tuerca
 D_c : diámetro medio en el cuello de la tuerca

reemplazando valores y operando se obtiene que el torque máximo es de aproximadamente 400 libras-pulgada.

MATERIAL ALTERNATIVO

Se debe hacer notar que para aceros inoxidables ferríticos-austeníticos del tipo 1.4462, el límite inferior del umbral de propagación es el orden de 25 Kg/mm^2 (condiciones de ensayo: solución acuosa al 3% de ClNa a diferentes pH y potenciales redox, 100°C) por lo que se recomendaría su uso para una mayor confiabilidad.⁷

CONCLUSIONES

1. Se ha determinado que la principal causa de rotura fué debido a fisurado transcristalino por corrosión bajo tensiones.
2. El torque de ajuste máximo no deberá ser mayor de 400 libras-pulgada, a cuyo valor se recomienda llegar ajustando en tres etapas (50, 150 y 400 libras-pulgada).

3. Se recomienda redondear el fondo del filete del espárrago lo máximo posible a fin de evitar una excesiva concentración de tensiones.
4. Sería conveniente la colocación de arandelas elásticas para evitar que eventuales vibraciones aflojen las tuercas.
5. Debe ser realizado un correcto tratamiento térmico final a fin de aliviar las tensiones residuales tensiles ocasionadas por el mecanizado.
6. Se sugiere el empleo del acero inoxidable ferrítico-austenítico del tipo 1.4462 a fin de obtener una mayor confiabilidad.

REFERENCIAS

1. R.W. Hertzberg "Deformation and fracture mechanics of engineering materials" pp415 y 465. Ed. John Wiley & Sons, 1976.
2. N.A. Nielsen "Electron microfractography of stress corrosion cracking" Proc. Conf. Fundamental Aspects of stress corrosion cracking, Ohio State University, NACE, pp 308, 1967.
3. J.D. Harston, J.C. Scully "Fractographic observation on the stress corrosion cracking of some austenitic stainless steels in $MgCl_2$ solutions at 154 °C" Corrosion 26,9 (1970) pp387.
4. H. Okada, Y. Hosoi, S. Abe "Effect of Mo on stress corrosion cracking of austenitic stainless steel" Proc. Fifth Int. Congress on Metallic Corrosion, Tokyo, Japan NACE pp507, 1972.
5. H.H. Uhlig "An evaluation of stress corrosion cracking mechanism" Proc. Conf. Fundamental Aspects of stress corrosion cracking, Ohio State University, NACE, pp 86, 1967.
6. "Design of Machine Members" Mc Graw Hill, 1964, chapter 6 pp. 127.
7. H.E. Bock "Beitrag zum Spannungs-und Schwingungsrißkorrosionsverhalten stickstofflegierter austenitischer und ferritisch-austenitischer Chrom-Nickel-(Molybdän) Stähle" Tech. Mitt, Krupp, Forsch, Ber. Vol. 36 (1978) N° 2, pp. 49-60. 8 ill., 4 tab., 18 ref.